МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Кіровоградський національний технічний університет

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

За загальною редакцією М.І. Черновола

Заснований у 2001 році

В и п у с к 23

Кіровоград • 2010

ББК 34.751+32.965=31
УДК 62:631.3

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ /ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ/– ВИП. 23 – КІРОВОГРАД: КНТУ, 2010. – 399 с.

У збірнику представлені статті, присвячені проблемам проектування та експлуатації сільськогосподарської техніки, технології виробництва, енергозбереження, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень у галузях народного господарства.
Збірник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень вчених, аспірантів університету, а також інших навчальних закладів та промислових підприємств України.
Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ВНЗ, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Кіровоградського національного технічного університету, протокол №10 від 31 травня 2010 року.

Відповідальний редактор: д-р техн. наук, проф. Черновол М.І.

Редакційна колегія: Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Автоматизація”); Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Кропівний В.М., канд. техн. наук, проф. (заступник відповідального редактора); Осадчий С.І., канд. техн. наук, доц.; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Галузеве машинобудування”); Пестунов В.М., канд. техн. наук, проф.; Петренюк А.Я., д-р ф.-м. наук, проф.; Сабірзянов Т.Г., д-р техн. наук, проф.; Сидоренко В.В., д-р техн. наук, проф.; Сисолін П.В., канд. техн. наук, проф. (науковий редактор за напрямком “Техніка в сільськогосподарському виробництві”); Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар).

Адреса реакційної колегії: 25006, м. Кіровоград, проспект Університетський, 8, Кіровоградський національний технічний університет, тел.: 390-472, 390-437, 55-10-49.

Автори опублікованих матеріалів несуть відповідальність за підбір і точність наведених фактів, цитат, економіко-статистичних даних, власних імен та інших відомостей, а також за те, що матеріали не містять даних, які не підлягають відкритій публікації. Редакція може публікувати статті в порядку обговорення, не поділяючи точки зору автора.

Збірник включений ВАК України в перелік наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук. Затверджений постановою президії ВАК України від 14 жовтня 2009 року №1-05/4 (бюлетень ВАК України №11, 2009).

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 15253-3825 ПР від 30.04.2009 р.

© Кіровоградський національний технічний університет, 2010

УДК 621. 9. 048. 4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.М. Шмельов, асист.
Кіровоградський національний технічний університет
О.С. Чумаченко, доц., канд. техн. наук
Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії

Виконано експериментальні дослідження технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою, зокрема продуктивності, шорсткості і зносу інструменту, при виготовленні спряжених пар деталей штампів суміщеної дії, а саме, матриць, пуансонів, виштовхувачів, тримачів, проміжних електродів. Отримано математичні моделі зазначених технологічних характеристик і побудовано графіки, що надає можливість подальшої розробки конкретних технологічних процесів виготовлення таких штампів
електрична дуга, розмірна обробка, електрод-інструмент, технологічні характеристики, продуктивність, стійкість інструменту, розділові штампи, штампи суміщеної дії

Вступ. Для отримання листових деталей, які складають в машинобудуванні до 70% від загальної кількості, в умовах крупносерійного і масового виробництва застосовують штампи суміщеної дії, які забезпечують високу точність і складають близько 10% розділових штампів. Економічна ефективність застосування таких штампів залежить від їх стійкості. Остання визначається перш за все рівномірністю зазора в спряжених парах робочих деталей штампа, які утворюють поміж собою пуансон-матриці, пуансони, матриці, знімачі, виштовхувачі, штовхачі. Виготовлення таких спряжених пар із рівномірним зазором являє собою складну технологічну задачу, здійснюється звичайно механічною обробкою та різноманітними методами традиційної електроерозійної обробки і відрізняється низькою продуктивністю [1], високою собівартістю і трудомісткістю.

В цьому зв’язку науковий і практичний інтерес являє спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), який відрізняється високою продуктивністю (в 5...10 разів і більше, порівняно з традиційними процесами) та отримує все більш широке застосування [2], зокрема для виготовлення спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії [3, 4] і дозволяє забезпечити рівномірний зазор в спряжених парах. Всі ці деталі в умовах РОД виготовляють із застосуванням послідовно лише одного електрода-інструмента (ЕІ), що забезпечує рівномірний зазор, на відміну від традиційних технологій, де кожну деталь виготовляють окремим інструментом.

Опис технологічних прийомів і послідовність технологічних схем формоутворення представлено в роботах [3, 4] проте, невизначеними залишаються якісні і кількісні технологічні характеристики, дослідження і опис яких дозволить ефективно реалізувати запропонований процес в умовах інструментального виробництва.

Постановка задачі. Для розробки і реалізації в умовах виробництва конкретних технологічних процесів, необхідно визначити технологічні характеристики РОД спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії, зокрема, продуктивність обробки M, шорсткість обробленої поверхні Ra, знос ЕІ γ залежно від статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_s та сили струму I. Для цього доцільно використати математичне моделювання і статистичні методи планування та обробки результатів

© В.І. Носуленко, В.М. Шмельов, О.С. Чумаченко, 2010

експериментів.

Результати досліджень. Виготовлення робочих спряжених пар штампів суміщеної дії способом РОД відбувається у визначеній послідовності [2] за декілька переходів з використанням лише одного точно виготовленого графітового ЕІ. Проведено серію експериментів при варіюванні керуючих факторів (P_s та I) на трьох рівнях, на підставі яких, з використанням методів статистичного аналізу (перевірка адекватності і значущості коефіцієнтів), отримано математичні моделі, які показують вплив зазначених факторів обробки на продуктивність, шорсткість та знос ЕІ в умовах РОД спряжених пар робочих деталей розділових штампів суміщеної дії. Опишемо їх відповідно до застосованих переходів обробки. Межі варіювання керуючих факторів обумовлені потребою забезпечити якість поверхні деталей. Вибравши потрібне значення шорсткості поверхні Ra, за величиною сили струму I і тиском P_s визначають продуктивність M і час обробки, розраховують знос ЕІ γ та його необхідні розміри в плані та по висоті.

Перший перехід – графітовим ЕІ 1 (рис. 1) виготовляють знімач 2, при цьому робочу

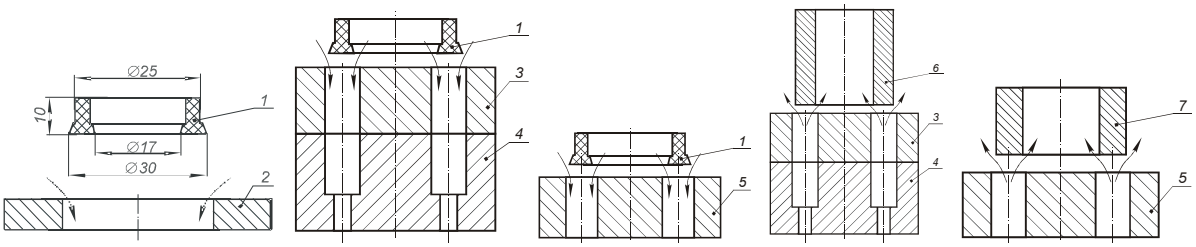


Рисунок 1 – Послідовність переходів обробки спряжених пар деталей розділового штампа

рідину прокачують від периферії ЕІ до його центра. Матеріал знімача – сталь 45, матеріал ЕІ – графіт МПГ 7, полярність електродів зворотна.

Продуктивність обробки прямо пропорційна силі струму і знижується із підвищенням тиску робочої рідини. При силі струму 200 А досягає 2000 мм^3/хв. Залежність продуктивності обробки знімача від P_s та I (рис. 2, а) визначають згідно наступної математичної моделі, мм^3/хв

$$M = 6{,}41 \cdot I^{1{,}06} \cdot P_s^{-0{,}07}. \quad (1)$$

Шорсткість (рис. 2, б) обробленої поверхні Ra знімача зменшується при збільшенні тиску робочої рідини і визначається P_s та I згідно наступної математичної моделі, мкм

$$Ra = 2{,}63 \cdot I^{0{,}28} \cdot P_s^{-0{,}84}. \quad (2)$$

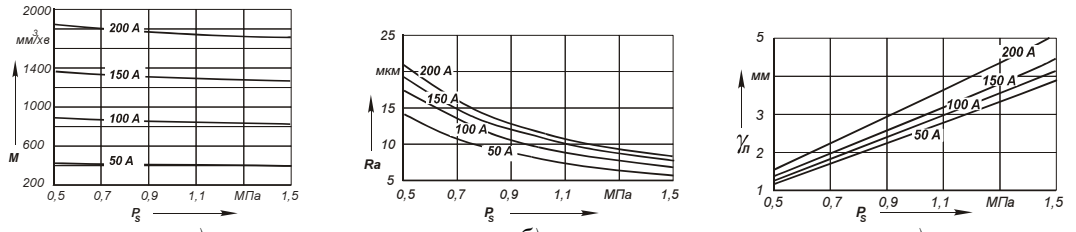
Із підвищенням тиску знос графітового ЕІ в плані збільшується. Залежність лінійного зносу ЕІ по діаметру при обробці знімача від P_s та I (рис. 2, в) визначають згідно наступної математичної моделі, мм

$$\gamma_л = 6{,}93 \cdot I^{-0{,}19} \cdot P_s^{1{,}08}. \quad (3)$$

Підвищений лінійний знос графітового ЕІ обумовлений геометрією його робочої кромки, загостреної під кутом до оброблюваної поверхні. Знос графітового ЕІ сприяє утворенню конусності на робочих поверхнях заготовок, що є необхідною умовою для подальшої обробки наступних деталей спряженої пари [3].

Другий перехід (рис. 1) – графітовим ЕІ 1 виготовляють металевий (сталь 45) ЕІ 3 для виготовлення пуансон-матриці на четвертому переході та матрицю-пуансон 4 (сталь 9ХС) на зворотній полярності, при цьому робочу рідину прокачують одночасно від периферії і від центра графітового ЕІ з відводом через отвори в матриці-пуансоні, які призначені для встановлення штовхачів, що приводять в рух виштовхувач штампа.

Оптимальні умови прокачування робочої рідини та видалення продуктів ерозії сприяють значному зростанню продуктивності (рис. 3, а), яка визначається P_s та I і описана наступною математичною моделлю, мм^3/хв

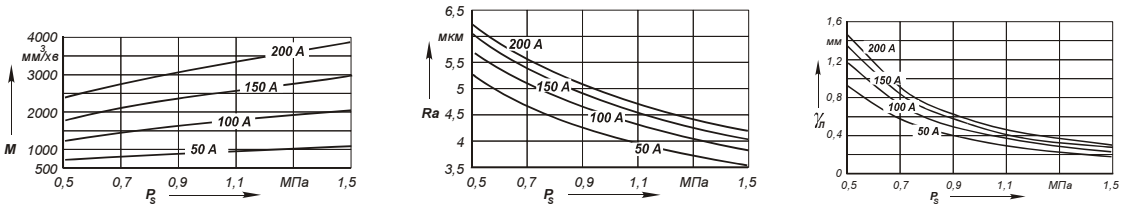


а) *б)* *в)*

Рисунок 2 – Залежність технологічних характеристик процесу від I та P_s на першому переході

$$M = 26{,}73 \cdot I^{0{,}93} \cdot P_s^{0{,}45}. \quad (4)$$

Шорсткість обробленої поверхні (рис. 3, б) значно знижується при зростанні тиску робочої рідини, а її залежність від P_s та I описує наступна математична модель, мкм



а) *б)* *в)*

Рисунок 3 – Залежність технологічних характеристик процесу від I та P_s на другому переході

$$Ra = 4{,}477 \cdot I^{0{,}13} \cdot P_s^{-0{,}36}. \quad (5)$$

В перших двох переходах обробку виконують ЕІ з нахиленою кромкою, внаслідок чого має місце інтенсивний знос по діаметру, який для даного розміру ЕІ вимірювали в міліметрах, на відміну від традиційного, у відсотках до висоти обробленої заготовки. Залежність лінійного зносу ЕІ (рис. 3, в) по діаметру від P_s та I в зазначених межах варіювання факторів розраховують згідно математичної моделі, яка має наступний вигляд, мм:

$$\gamma_{\text{ë}} = 0{,}086 \cdot {}^{2}0{,}33 \cdot Ð_s^{-1{,}47}. \quad (6)$$

Наявність попередніх отворів сприяє швидкому відведенню продуктів ерозії і значному підвищенню продуктивності обробки майже вдвічі порівняно зі схемою першого переходу, де виконують обробку суцільної заготовки. В даному випадку видаляється незначний припуск, траса евакуації продуктів ерозії мінімальна і статичний тиск переходить в динамічний з мінімальними втратами. Останнє сприяє підвищенню енергетичних характеристик електричної дуги і зниженню шорсткості обробленої поверхні втричі порівняно з першим переходом. Знижується знос графітового ЕІ, що пояснюється збільшенням рухливості електричної дуги.

Третій перехід (рис. 1) − графітовим ЕІ 1 при зворотній полярності виготовляють металевий (сталь 45) ЕІ 5 для виготовлення виштовхувача з прокачуванням робочої рідини аналогічно як і для другого переходу.

Математичні моделі продуктивності процесу, шорсткості поверхні та зносу ЕІ відповідають другому переходу.

Четвертий перехід (рис. 1) − при зворотній полярності металевим (сталь 45) ЕІ 3, закріпленим на матриці-пуансоні 4, виготовляють пуансон-матрицю (сталь У10А) 6 з прокачуванням робочої рідини через отвори в матриці-пуансоні.

Схема формоутворення, прокачування робочої рідини, зміна матеріалу ЕІ сприяє зростанню продуктивності (рис. 4, а) порівняно з попередніми переходами, а її залежність від P_s та I відповідає наступнійї математичній моделі, мм^3/хв

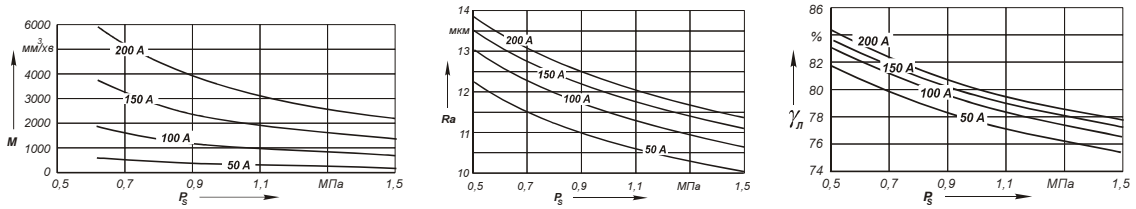
$$M = 0{,}536 \cdot I^{1{,}655} \cdot P_s^{-1{,}104}. \quad (7)$$

Шорсткість обробленої поверхні при застосуванні металевого ЕІ порівняно з використанням графітового ЕІ підвищена порівняно з попереднім переходом, її залежність від P_s та I показана на (рис. 4, б) згідно наступної математичної моделі, мкм

$$Ra = 7{,}551 \cdot I^{0{,}091} \cdot P_s^{-0{,}182}. \quad (8)$$

Лінійний знос металевого ЕІ по висоті коливається в межах 75-80%, його залежність від P_s та I показана на (рис. 4, в) згідно математичної моделі, яка має наступний вигляд, %:

$$\gamma_{\ddot{e}} = 71{,}285 \cdot {}^{2}I^{0{,}022} \cdot Đ_s^{-0{,}073}. \quad (9)$$



а) *б)* *в)*

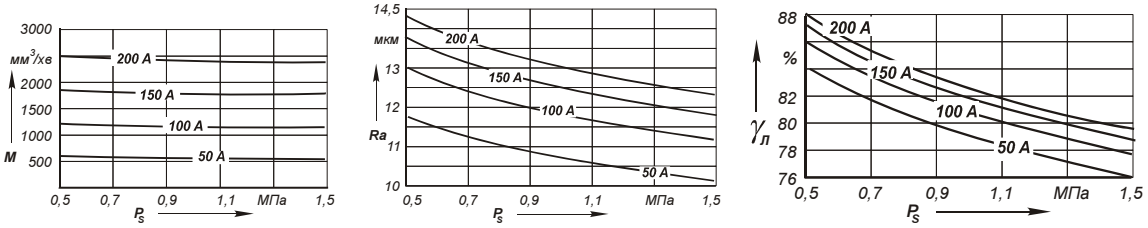
Рисунок 4 – Залежність технологічних характеристик процесу від I та P_s на четвертому переході

П'ятий перехід (рис. 1) − металевим ЕІ 5, закріпленим на матриці-пуансоні (на рис. не показано) виготовляють виштовхувач 7 з прокачуванням робочої рідини через отвори в матриці-пуансоні.

Матеріал заготовки 7 – сталь 45, матеріал ЕІ 3 – сталь 45, полярність електродів зворотна.

Продуктивність визначається переважно силою струму обробки, а її залежність від P_s та I показана на (рис. 5, а) згідно наступної математичної моделі, мм^3/хв

$$M = 10{,}29 \cdot I^{1{,}03} \cdot P_s^{-0{,}04}. \quad (10)$$



а) *б)* *в)*

Рисунок 5 – Залежність технологічних характеристик процесу від I та P_s на п'ятому переході

Шорсткість обробленої поверхні залежить від P_s та I (рис. 5, б) і визначається згідно наступної математичної моделі, мкм

$$Ra = 6{,}2 \cdot I^{0{,}14} \cdot P_s^{-0{,}14}. \quad (11)$$

Лінійний знос ЕІ по висоті в залежності від P_s та I (рис. 5, в) визначають згідно математичної моделі, яка має наступний вигляд, %:

$$\gamma_{л} = 71{,}3 \cdot I^{0{,}02} \cdot P_s^{-0{,}07}. \quad (12)$$

Досліджені і описані технологічні характеристики РОД спряжених пар в функції основних керуючих факторів дозволяють здійснити розробку технологічних процесів, виконати розрахунки продуктивності, трудомісткості, виконавчих розмірів інструменту і його стійкості, керувати якістю отримуваних деталей.

Висновки. Технологічні характеристики РОД спряжених пар деталей штампів суміщеної дії, зокрема продуктивність обробки, шорсткість поверхні оброблених деталей, стійкість робочого інструменту, визначені в результаті експериментальних досліджень, змінюються залежно від сили струму і тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор. При цьому продуктивність обробки знаходиться в межах 2000-6000 мм^3/хв, зростає при збільшенні сили струму і зменшенні тиску робочої рідини. Шорсткість обробленої поверхні спряжених пар складає *Ra* 6-20 мкм та зростає при збільшенні сили струму і зменшенні тиску. Знос ЕІ γ є керованим і знаходиться в межах 1-5 мм на розмір залежно від режиму обробки. Для підвищення ефективності розробки технологічних процесів доцільно розробити програмне забезпечення. Підлягають подальшому уточненню елементи конструкції електрода-інструмента.

Список літератури

1. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980, 184 с. ил.
2. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов, 2005, № 1. – С. 8-17.
3. Пат. 353511 А Україна, МПК В23Н 9/12, В23Н 1/00. Спосіб одержання спряжених пар робочих деталей розділових штампів. / В. І. Носуленко, І. А. Гросул, О. С. Чумаченко (Україна). – № 99095322; Заявл. 28.09.99; Опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2.
4. Носуленко В. І., Шмельов В. М. Технологія виготовлення робочих спряжених пар штампів суміщеної дії розмірною обробкою електричною дугою //Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / – Вип. 18. Кіровоград: КНТУ, 2007. – С. 86-90.
5. Висновок про видачу патента України, МПК 7В23Н1/00, В23Н1/02. Спосіб електроерозійної обробки робочих спряжених пар штампів суміщеної дії / В. І. Носуленко, В. М. Шмельов, П. М. Великий, О. С. Чумаченко (Україна). – № 200704716; Заявл. 27.04.2007; Опубл. 19.11.2007.

В.Носуленко, В.Шмельов, О. Чумаченко

Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії

Виконано експериментальні дослідження технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою, зокрема продуктивності, шорсткості і зносу інструменту, при виготовленні спряжених пар деталей штампів суміщеної дії, а саме, матриць, пуансонів, виштовхувачів, тримачів, проміжних електродів. Отримано математичні моделі зазначених технологічних характеристик і побудовано графіки, що надає можливість подальшої розробки конкретних технологічних процесів виготовлення таких штампів.

V. Nosulenko, V. Shmelyov, O. Chumachenko

Technological descriptions of size treatment by electric arc of the attended pair of the combined action stamps working details

Experimental researches of technological descriptions of process of size treatment by voltaic arc are executed, in particular the productivity, roughness and wear of instrument, at making of the attended pair of details of stamps of the combined action, namely, matrices, puncheons, holders, intermediate electrodes. The mathematical models of the indicated technological descriptions are got and the graphs which enable subsequent development of concrete technological processes of making of such stamps are built.

Одержано 02.11.09

УДК 577.31:624.132.3

В.В. Древецький, проф., д-р техн. наук, О.В. Кованько, магістр
Національний університет водного господарства та природокористування

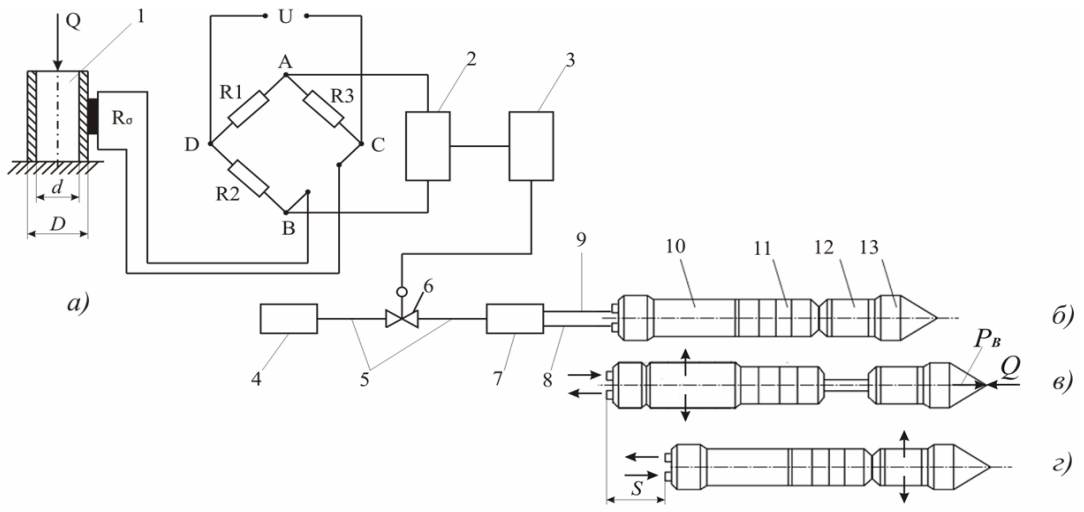
Розробка автоматичної системи регулювання швидкості дослідного зразка підземнорухомого пристрою

В статті описано принципову електричну схему автоматичної системи регулювання швидкості підземнорухомого пристрою, яка суттєво впливає на опір руйнування ґрунту. Регулювання здійснюється шляхом неперервного вимірювання величини опору грунту та реалізації відповідної сили дії робочого органу. Обґрунтовано вибір основних елементів даної автоматичної системи та наведено результати їхніх досліджень.
підземнорухомий пристрій, автоматична система регулювання, швидкість руху

Для прокладання підземних інженерних комунікацій розроблено ряд дослідних зразків підземнорухомих пристроїв (ПРП), підвищення ефективності яких можливе за рахунок автоматизації процесу переміщення у грунтовому просторі. Це дозволило б розширити діапазон їхнього застосування, зменшити енерговитратність та збільшити радіус дії без поповнення енергоресурсу. Зазначене є актуальним у зв'язку з подальшим проникненням людини у грунтовий простір, розвитком геотехнологій і зростаючою потребою у розміщенні під землею різних виробництв.

В [1, 2] описано різні модифікації ПРП. В [3] доведено, що швидкість руху суттєво впливає на силу опору руйнування грунту, у зв'язку з чим величина її повинна варіюватись. Для цього необхідно розробити відповідну автоматичну систему регулювання (АСР).

Принцип дії ПРП, оснащеного АСР швидкості руху наведено на рис.1.



а) – АСР швидкості руху; 1 – пружний пустотілий циліндр із закріпленим на ньому тензорезистором R_σ; Q – сила опору руйнування ґрунту; 2 – нормуючий перетворювач; 3 – мікроконтролер; 4 – енергоблок; 5, 8, 9 – гнучкі трубопроводи; 6 – виконавчий механізм (ВМ); б) – початкове положення ПРП; в) – фіксація хвостової частини і просування вперед відносно неї носової частини; г) – фіксація просунутої вперед носової частини і закінчення підтягування до неї хвостової частини; S – шлях на який переміщується ПРП за один цикл; 10 і 12 – задня і передня фіксуючі (розпірні) камери; 11 – лінійний гідропневмодвигун; 13 – носова частина; P_B - сила дії носової частини на грунт в процесі його деформування

Рисунок 1 – Схема процесу переміщення ПРП

© В.В. Древецький, О.В. Кованько, 2010

На рис.1а показано первинний перетворювач сили у деформацію 1 (пружний пустотілий циліндр із закріпленим на ньому тензорезистором R_σ, включеним в плече ВС вимірювального мосту). Перетворювач знаходиться під дією сили реакції Q опору ґрунту, яку долає носова частина ПРП (рис. 1в) в процесі руху. В плечі BD, DA, AC вимірювального мосту ввімкнено резистори *R1=R3=1000 Ом* та *R2=400 Ом.* Сигнал із вимірювальної діагоналі АВ ($U_{AB} = f(Q)$) через підсилювач 2 надходить на вхід мікроконтролера 3, який виробляє відповідний командний електричний сигнал – напругу $U_{кер}$, що підводиться до ВМ. Цим зумовлюється відповідне положення заслінки і регулюється тиск робочого тіла, яке спрямовується від енергоблоку 4 по гнучкому трубопроводу 5 до реверсивного розподілювача 7, а від нього по трубопроводам 8 і 9 до ПРП.

Для розрахунку вимірювальної мостової схеми застосовано метод еквівалентного генератора [4], згідно якого напруга U_{AB} в індикаторній діагоналі визначиться як

$$U_{AB} = \frac{U\left(\frac{R_\sigma}{R_2 + R_\sigma} - \frac{R_3}{R_1 + R_3}\right)R_H}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_\sigma}{R_2 + R_\sigma} + R_H}, \quad (1)$$

де U – напруга живлення мостової схеми $(U = 10B)$;

R_H - опір навантаження $(R_H = 25кОм)$.

Оскільки

$$R_\sigma = R_{\sigma 0} + \Delta R, \quad (2)$$

де $R_{\sigma 0}$ – опір тензорезистора в недеформованому стані $(R_{\sigma 0} = 400Ом)$;

ΔR – зміна його опору при деформації, то на основі явища тензоефекту [5] можна записати

$$\frac{\Delta R}{R_{\sigma 0}} = k\varepsilon, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт тензочутливості дроту тензорезистора $(k = 2...2,2)$;

ε – відносна деформація тензорезистора ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$);

l і Δl - відповідно довжина недеформованого тензорезистора і приріст його довжини при деформуванні.

Відомо [6], що в межах можливих деформацій для більшості матеріалів справедливим є закон Гука, який встановлює прямо пропорційну залежність між напруженнями σ і деформаціями ε

$$\sigma = E_n \varepsilon, \quad (4)$$

де E_n – модуль пружності (для сталі $E_n = 2 \cdot 10^{11}$ Па).

Із [6] випливає, що

$$\sigma = \frac{Q}{S^*}, \quad (5)$$

де S^* – площа поперечного перерізу перетворювача 1 (рис. 1а).

Тут $S^* = \frac{\pi\left(D^2 - d^2\right)}{4}$, $D = 0,02м$, $d = 0,018м$, $S^* = 0,00006м^2$.

Із (4) і (5) знайдемо, що

$$\varepsilon = \frac{Q}{S^* E_n}. \quad (6)$$

Підставимо у (3) значення $k = 2$ і враховуючи (6) отримаємо, що

$$\Delta R = 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}. \qquad (7)$$

Із (2) і (7) знайдемо

$$R_\sigma = R_{\sigma 0} + 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}. \qquad (8)$$

Тоді з (1) і (8) випливає, що

$$U_{AB} = \frac{U\left(\frac{R_{\sigma 0} + 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}}{R_2 + R_{\sigma 0} + 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}} - \frac{R_3}{R_1 + R_3}\right)R_H}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2\left(R_{\sigma 0} + 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}\right)}{R_2 + R_{\sigma 0} + 2\frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}} + R_H}. \qquad (9)$$

Підставивши в (9) вихідні значення параметрів елементів АСР дослідного зразка ПРП, побудуємо графік (рис. 2) залежності напруги U_{AB} в індикаторній діагоналі вимірювального мосту від сили Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП.

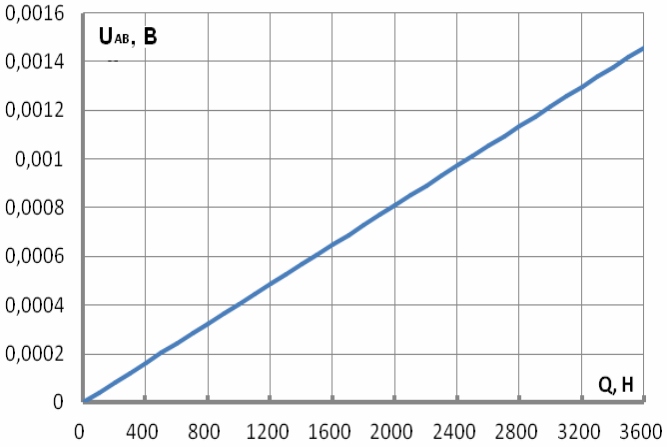


Рисунок 2 – Графік залежності вихідної напруги U_{AB} вимірювального мосту від сили Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП

Дану графічну залежність можна апроксимувати аналітичним виразом виду

$$U_{AB} = K_1 Q, \qquad (10)$$

де K_1 – коефіцієнт пропорційності ($K_1 = 4{,}05 \cdot 10^{-7}\frac{B}{H}$).

Величина напруги U_{AB}, яка надходить до мікроконтролера типу МІК-51 повинна бути уніфікованою, в зв'язку з чим вводиться коефіцієнт підсилення K_2 по напрузі ($K_2 = 6800$).

На основі наведеного побудовано принципову електричну схему АСР швидкості ПРП. Розглянемо її основні елементи і принцип дії.

До складу схеми (рис. 3) входять такі елементи: *SB1* – кнопка для ввімкнення живлення систем ПРП; *ПНС-1* – блок для перетворення напруги живлення з 24В у 10В постійного струму; *БПТ-2* – нормуючий перетворювач (перетворює сигнал з вимірювального мосту у стандартний 0…10В); *МІК-51* – програмований логічний контролер (ПЛК) виробництва компанії «Мікрол» (*AI* і *AO* – відповідно аналогові вхід і вихід); *ER-20* – електричний ВМ виробництва компанії InterAPP ($U_{кер}$ – керуючий сигнал з МІК-51 на аналоговому вході плати розширення).

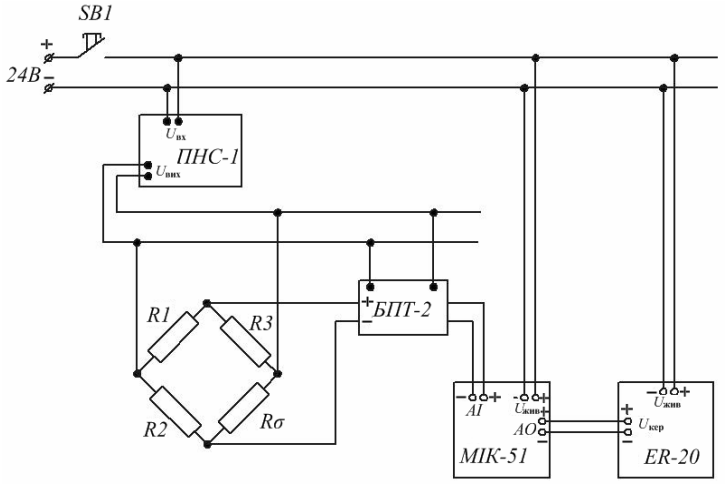


Рисунок 3 ─ Принципова електрична схема АСР швидкості ПРП

Вихідне положення ПРП показано на рис. 1б. При ввімкненні кнопки *SB* (рис. 3) напруга живлення подається на ПЛК *МІК-51* і ВМ *ER-20*. Крім того через блок перетворення напруги *ПНС-1* заживлюється схема для вимірювання сили опору руйнування ґрунту робочим органом ПРП та нормуючий перетворювач *БПТ-2*. Вимірювальний перетворювач реагує на величину сили опору ґрунту і подає через нормуючий перетворювач *БПТ-2* сигнал керування на аналоговий вхід *AI* ПЛК, який, у свою чергу, обробляє дану інформацію і подає через аналоговий вихід *AO* сигнал по напрузі $(U_{кер})$ на аналоговий вхід виконавчого механізму *ER-20*. В залежності від величини керуючого сигналу ВМ повертає на деякий кут регулюючий орган, тим самим збільшуючи чи зменшуючи подачу робочого тіла до лінійного гідропневмодвигуна (рис. 1б). В результаті цього змінюється сила P_B дії носової частини ПРП на грунт і підтримується задана швидкість його руху.

Для розробки програмного забезпечення АСР необхідно аналітично описати залежність між напругою $U_{кер}$ на виході МІК-51, силою Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП і швидкістю v руху.

Сила P_B (рис. 1в) дії носової частини на грунт дорівнює [7]

$$P_B = \frac{2m^* v^2}{S} + Q, \tag{11}$$

де m^* - рухома маса носової частини ПРП.

Враховуючи, що для дослідного зразка ПРП $P_B = K_3 U_{кер}$, де $K_3 = 378\frac{H}{B}$,

отримаємо

$$K_3 U_{кер} = \frac{2m^* v^2}{S} + Q. \tag{12}$$

З (12) визначимо напругу керування $U_{кер}$

$$U_{кер} = \frac{2m^* v^2}{SK_3} + Q. \tag{13}$$

Оскільки фактично $U_{AB} = U_Q$, де U_Q - уніфікований сигнал по напрузі на вході МІК-51, то з (10) отримаємо

$$Q = \frac{U_Q}{K_1 K_2}. \tag{14}$$

Звідси (13) можна представити у виді

$$U_{кер} = \frac{2m^*}{SK_3} v^2 + \frac{1}{K_1 K_2 K_3} U_Q . \qquad (15)$$

Підставивши в (15) числові значення коефіцієнтів дослідного зразка ПРП ($m^* = 3кг$, $K_1 = 4{,}05 \cdot 10^{-7} \frac{B}{H}$, $K_2 = 6800$, $S = 0{,}05м$), отримаємо

$$U_{кер} = \alpha v^2 + \beta U_Q , \qquad (16)$$

де $\alpha = 0{,}3175 \frac{c^2 B}{м^2}$; $\beta = 0{,}9606$.

Вираз (16) дозволяє визначити величину напруги, яку необхідно подати з виходу ПЛК на вхід ВМ залежно від заданої швидкості ПРП і сили опору руйнування ним ґрунту. Даний вираз покладено в основу програмного забезпечення розробленої АСР.

Отримані результати дозволяють вирішити задачу щодо автоматичного підтримування необхідної швидкості ПРП шляхом неперервного вимірювання сили опору руйнування грунту і реалізації відповідної сили дії на нього носової частини. Останнє зумовлює раціональне використання енергоресурсу пристрою, зменшення енергомісткості процесу переміщення у підземному просторі і збільшення радіусу дії, що в кінцевому рахунку підвищує його ефективність.

Список літератури

1. Патент України на корисну модель № 41889, E02F 5/18. Підземнорухомий пристрій / Кованько О.В. – Опубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.
2. Патент України на корисну модель №42104, E02F 5/18. Реверсивний підземнорухомий пристрій / Древецький В.В., Кованько В.В., Кованько О.В. – Опубл.25.06.09, Бюл. №12.
3. Кравець С.В., Кованько В.В. Вплив швидкості на форму та силу опору носової частини підземнорухомих пристроїв // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: Зб. наук. праць. – Харків, 2007. – Вип. 38. – С. 101-104.
4. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Вид. НУ „Львівська політехніка”, 2001. – 593с.
5. Емельянов А.И., Емельянов В.А., Калинина С.А. Практические расчеты в автоматике. – М: Машиностроение, 1967. – 316 с.
6. Федосьев В.И. Сопротивление материалов. – М: Наука, 1969. – 544 с.
7. Кованько В.В. Основи розрахунку підземнорухомих біонічно-синтезованих пристроїв// Вісник інженерної академії України. – Київ, 2008. – Вип. 3 – 4. – С.94-97.

В. Древецкий, О. Кованько

Разработка автоматической системы регулирования скорости експериментального образца подземнодвижущегося устройства

В статье описана принципиальная электрическая схема автоматической системы регулирования скорости подземнодвижущегося устройства, которая существенно влияет на сопротивление разрушения грунта. Регулирование осуществляется путем непрерывного измерения величины сопротивления грунта и реализации соответствующей силы действия рабочего органа. Обоснованно выбор основных элементов данной автоматической системы и приведены результаты их исследований.

V. Drevetskiy, O. Kovanjko

Research of the automatic system of adjusting of speed of underground moving device

In the article the of principle electric chart of the automatic system of adjusting of speed of underground moving device is described, which substantially influences on resistance of destruction of soil. Adjusting is carried out by the continuous measuring of the value of resistance and realization of the proper force of action of working organ. Grounded choice of basic elements of this automatic system and the results of their researches are resulted.

Одержано 02.12.09

УДК 519.21

С.Я. Гончарова, доц., канд. фіз.-мат. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження задачі про розладнання бінарної послідовності та її застосування у схемах захисту інформації

Досліджується задача про розладнання та її застосування в схемах захисту інформації. Побудований алгоритм для визначення моменту «переключення» ймовірностей для бінарної послідовності.
момент розладнання, бінарна послідовність

Вступ. Двійкові випадкові і псевдовипадкові послідовності широко використовуються в різних галузях науки і техніки: системах керування, контролю, захисту інформації тощо. На ймовірнісні характеристики таких послідовностей накладаються, як правило, жорсткі вимоги; особливо це стосується випадкових послідовностей, що використовуються в сучасних системах захисту інформації. Залишається актуальною задача побудови ефективних і зручних у реалізації алгоритмів визначення моментів зміни ймовірнісних характеристик різних типів випадкових послідовностей. У класичній постановці задачі про розладнання [1] існує не більше одного випадкового моменту зміни ймовірнісних характеристик випадкового процесу, для якого потрібно побудувати оцінки. При цьому часто використовується байєсівський підхід, що вимагає знань апріорного ймовірнісного розподілу моменту появи розладнання і призводить нерідко до трудомістких обчислень.

Задача про розладнання полягає у знаходженні моменту зміни ймовірностей потоку бітів. Джерело передає повідомлення з певною ймовірністю, яка в деякий момент часу змінюється. Потрібно визначити момент зміни ймовірностей. Цей момент називають моментом розладнання.

1. Постановка задачі та обґрунтування алгоритму її розв'язання. Дослідимо задачу про розладнання для потоку нулів та одиниць. Джерело повідомлень передає нулі й одиниці із заданою ймовірністю, у деякий момент часу, ймовірність передачі повідомлення змінюється. Потрібно визначити момент розладнання, тобто момент «переключення» ймовірностей.

Нехай до моменту «переключення» нулі надходять з імовірністю p_0, а одиниці – з ймовірністю $1-p_0$, після «переключення» ці ймовірності змінюються на p_1 і $1-p_1$ відповідно.

Відомо, що якщо при великих N відносна частота $v_N(A)$ появи події A мало відрізняється від деякого фіксованого значення p, то подія A стохастично стійка, а число p є ймовірністю події A.

Природно, враховуючи частотну інтерпретацію ймовірності, прийняти в якості оцінки ймовірності, тобто її наближеного значення, частоту настання події A в проведених експериментах. При цьому частота $v_N(A)$ є незміщеною і обґрунтованою оцінкою ймовірності, так як її математичне сподівання як випадкової величини рівне істинному значенню параметра і при $N \to \infty$ $v_N(A)$ збігається в середньоквадратичному до ймовірності.

© С.Я. Гончарова, 2010

Розглядаємо послідовність нулів та одиниць довжиною *M*. Для визначення моменту «переключення» підраховуємо кількість нулів *K* на інтервалі від 0 до *N*, $N < M$, потім підраховуємо кількість нулів на інтервалах від 1 до *N*+1, від 2 до *N*+2, …, від $M - N$ до *M*.

Спостережною подією *A* в серії цих стохастичних експериментів є поява нуля. Частота $v_N(A)$ появи події *A* рівна

$$v_N(A) = k_N(A) / N ,$$

де *N* – кількість експериментів,

$k_N(A)$ – кількість експериментів, в яких подія *A* відбулась.

Так як до моменту «переключення» нулі надходять з імовірністю p_0, то частота появи нулів $v_N(A)$ повинна зберігати майже стале значення, тобто $v_N(A) \approx p_0$. Тоді кількість нулів *K* на інтервалах довжиною *N* теж повинна зберігати майже стале значення:

$$K = v_N(A)N \approx p_0 N .$$

Частота $v_N(A)$ зміниться при «переключенні» ймовірності, тобто $v_N(A) \approx p_1$, а отже, зміниться і кількість нулів *K* на інтервалах довжиною *N*: $K \approx p_1 N$.

Саме ця властивість стійкості відносної частоти появи випадкової події в серії експериментів, що дає можливість розглядати емпіричну частоту як ймовірність, і лежить в основі алгоритму розв'язання задачі про розладнання.

При достатньо великому *N* і ймовірності *p*, не дуже близькій до нуля та одиниці, можна вважати, що відносна частота розподілена приблизно нормально, тому розподіл статистики *K* близький до нормального з параметрами Np, Npq, де $q = 1 - p$. Для малих вибірок ($N \le 30$) заміна розподілу нормальним приводить до грубих помилок.

Критичну область обираємо у вигляді $U_{\text{кр}} = \{K > C\}$.

При заданій помилці першого роду α для визначення порогу *C* використаємо інтегральну теорему Лапласа:

$$P\left(0 < \frac{K - Np_1}{\sqrt{Np_1q_1}} < \frac{C - Np_1}{\sqrt{Np_1q_1}}\right) = \Phi\left(\frac{C - Np_1}{\sqrt{Np_1q_1}}\right) = 1 - \alpha , \qquad (1)$$

де p_1 – імовірність надходження нулів після «переключення»;

$q_1 = 1 - p_1$ – імовірність надходження одиниць після «переключення»;

$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ – функція Лапласа.

Із співвідношення (1) отримаємо:

$$C = Np_1 + t_{1-\alpha}\sqrt{Np_1q_1} , \qquad (2)$$

де $t_{1-\alpha}$ – квантиль нормального розподілу,

$\Phi(t_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$.

Аналогічно при заданій помилці другого роду β за теоремою Лапласа

$$P\left(0 < \frac{K - Np_0}{\sqrt{Np_0q_0}} < \frac{C - Np_0}{\sqrt{Np_0q_0}}\right) = \Phi\left(\frac{C - Np_0}{\sqrt{Np_0q_0}}\right) = \beta .$$

Відповідний даному *N* і *C*, визначеному в (2), квантиль $t_{1-\beta}$ ймовірності помилки другого роду β рівний

$$t_{1-\beta} = -t_\beta = \frac{Np_0 - C}{\sqrt{Np_0q_0}} . \qquad (3)$$

Із (3) знаходимо

$$Np_0 - C = t_{1-\beta}\sqrt{Np_0q_0}\,. \qquad (4)$$

Виражаючи C із (2) і підставляючи в (4), отримаємо

$$N(p_0 - p_1) = t_{1-\beta}\sqrt{Np_0q_0} + t_{1-\alpha}\sqrt{Np_1q_1}\,,$$

звідки довжина найменшого інтервалу, на якому підраховуємо кількість нулів, буде рівною

$$N = \left(\frac{t_{1-\beta}\sqrt{p_0q_0} + t_{1-\alpha}\sqrt{p_1q_1}}{p_0 - p_1}\right)^2. \qquad (5)$$

2. Розв'язання задачі. Приклади. Для розв'язання задачі застосовуємо програму. Програма зчитує послідовність із файлу data.txt. Потім підраховує кількість нулів на інтервалах від 0 до N, від 1 до N+1, від 2 до N+2 і т.д. і виводить у файл.

За отриманими даними можна побудувати графік залежності частоти появи нулів від позиції в Excel або MathCAD.

Приклад 1. Нехай $p_0 = 0{,}8$; $p_1 = 0{,}4$; $\alpha = 0{,}01$; $\beta = 0{,}001$.

За формулою (5) знайдемо мінімальну довжину спостережного інтервалу: $N = 44$.

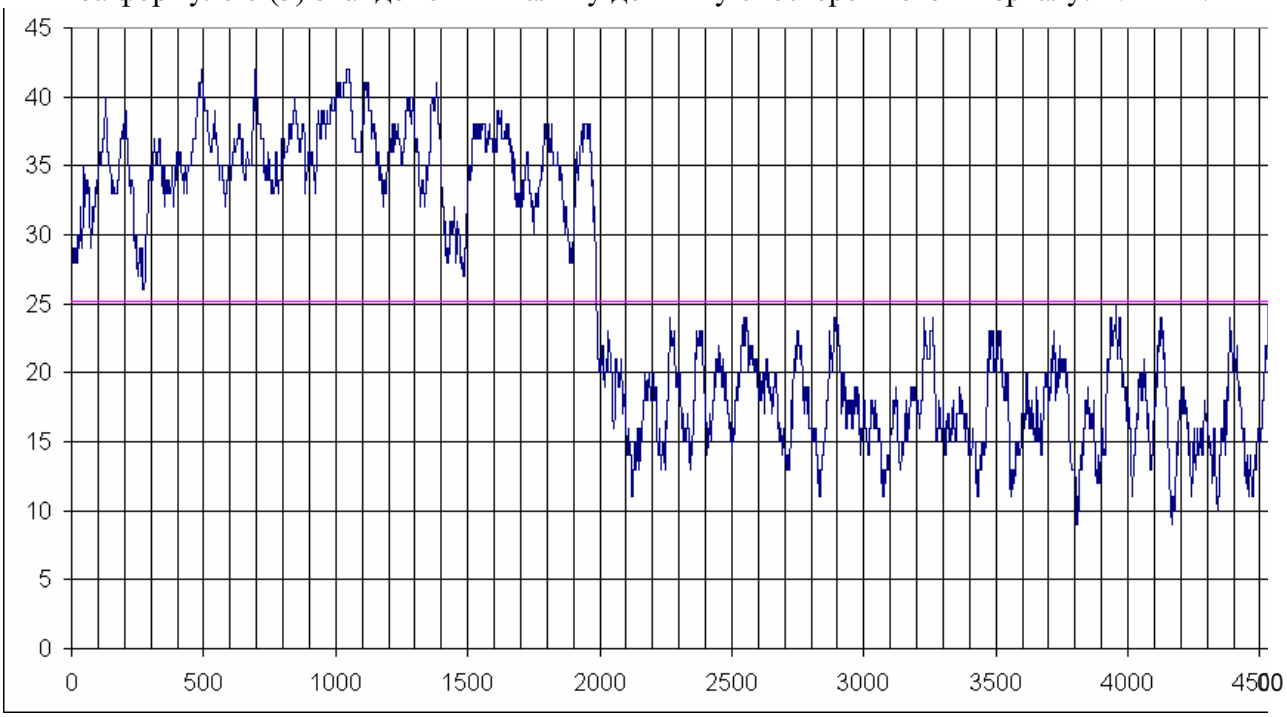


Рисунок 1- Графік, який показує кількість K нулів у кожний момент часу. Лінією позначено поріг C

Далі обчислюємо поріг C за формулою (2):

$$C = Np_1 + t_{1-\alpha}\sqrt{Np_1q_1} = 44\cdot 0{,}4 + t_{0{,}99}\cdot\sqrt{44\cdot 0{,}4\cdot 0{,}6} \approx 25{,}1 \quad (t_{0{,}99} = 2{,}326)\,.$$

Отже, для значень $K < 26$ можна вважати з імовірністю висновку 0,99, що момент «переключення» відбувся. Із графіка (рис. 1) видно, що момент розладнання знаходиться приблизно в позиції 2000.

Приклад 2. Нехай $p_0 = 0{,}7$; $p_1 = 0{,}8$; $\alpha = 0{,}01$; $\beta = 0{,}001$.

За формулою (5) знайдемо мінімальну довжину інтервалу: $N = 530$. Далі обчислюємо поріг C за формулою (2): $C \approx 395{,}5$.

Оскільки ймовірність p_0 менша, ніж ймовірність p_1, то беремо критичну область $U_{\text{кр}} = \{K < C\}$, тобто для значень $K > 396$ можна вважати з імовірністю 0,99, що «переключення» відбулося.

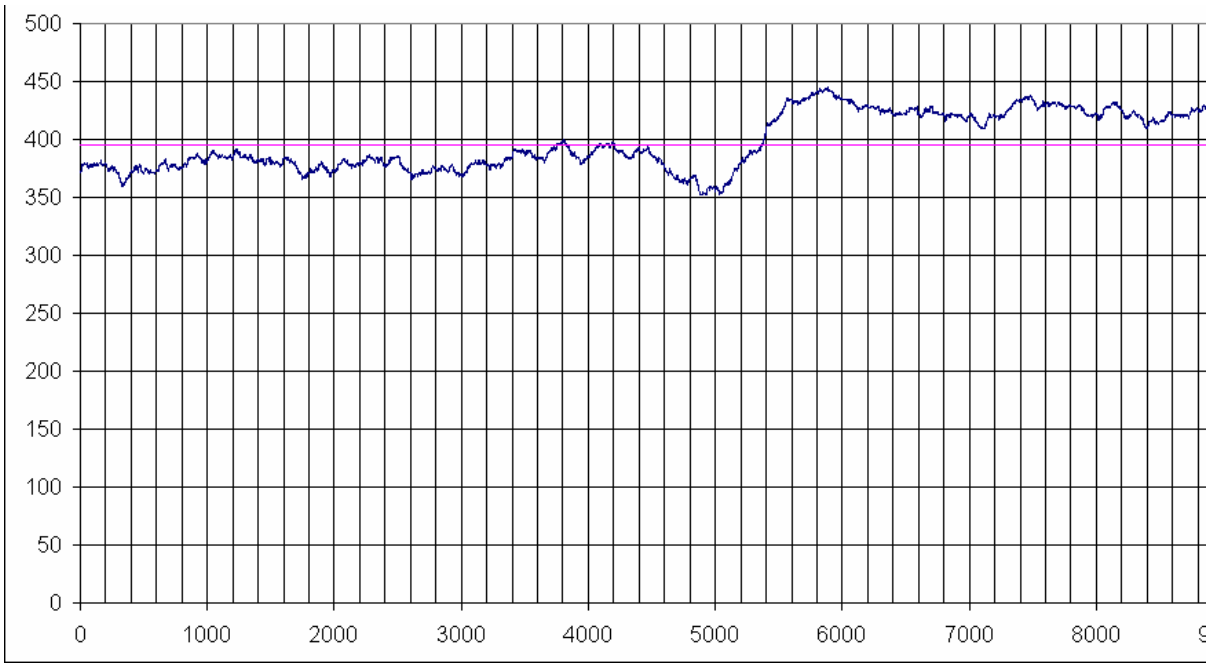


Рисунок 2- Графік, який показує кількість нулів *K*. Лінією позначена межа критичної області *C*

Як видно з графіка (рис. 2), момент «переключення» відбувся приблизно в позиції 5400.

Висновки. Для знаходження моменту розладнання у випадку потоку нулів та одиниць запропонований алгоритм, в основі якого лежить властивість стійкості відносної частоти появи випадкової події в серії експериментів. Момент розладнання співпадає з моментом зміни кількості нулів на спостережних інтервалах.

Практична цінність результатів дослідження визначається можливістю їх використання в схемах захисту інформації.

Список літератури

1. Ширяев А.Н. Статистический последовательный анализ. – М.: Наука, 1976. – 272 с.
2. Савчук М.Н., Синявский В.Ф. Об алгоритме определения моментов изменения параметров бернуллиевской последовательности // Проблемы управления и информатики. – 1999. – №1. – С.84–89.
3. Дарховский *Б.С.* Ретроспективное обнаружение «разладки» в некоторых моделях регрессивного типа // Теория вероятностей и ее применение. – 1995. – 40, №4. – С.898–903.

С Гончарова

Исследование задачи о разладке бинарной последовательности и ее применение в схемах защиты информации

Исследуется задача о разладке и ее применение в схемах защиты информации. Построен алгоритм для определения момента «переключения» вероятностей для бинарной последовательности.

S. Goncharova

Investigation of problem of the change moment of binary sequence and its application in schemes of privacy

Disorder problem and its application in schemes of privacy are investigated. The algorithm for determination of the «change» moment of probabilities for binary sequence is constructed.

Одержано 23.11.09

УДК 539. 23:621.373.42

Л.В. Коломиец, проф., д-р техн. наук, В.В. Ковальчук, доц., канд. физ.-мат. наук, О.В.Грабовський, ст.викл., Л.Н.Жеребцова, ст.викл.
Одесский институт измерительной техники

Измерение толщины кластерного слоя методом кварцевого резонатора

В статье описан метод измерения толщины кластерного в процессе его изготовления, основанный на применении кварцевого резонатора. Показано, что в условиях вакуумного осаждения кремния применение кварцевого резонатора со слабой зависимостью частоты от температуры позволяет измерять толщину напыленного слоя с точностью ~5%. Получено хорошее согласие результатов измерения по кварцевому резонатору с данными по измерению углов многократного рассеяния протонов в кремниевых пластинах.
кварцевый резонатор, контроль, толщина, кластерный слой

В измерительной технике находят широкое применение гетероструктуры, в сотав которых входят тонкие пленки, используемые в качестве гетеропереходов [1,2]. Материал и толщина пленок выбираются с учетом ее состава, геометрических размеров, физико-химических свойств и других особенностей [3]. Как правило, предпочтение отдается таким пленкам, которые обладают соразмерной с подложкой зонной струкутрой, хорошей радиационной и температурной стойкостью. В этом контексте перспективными являются пленки, имеющие кластерную морфологию [4]. Технология изготовления таких пленок, как составляющих гетеропереходов для приборов электронной техники, представляет собой комплекс сложных технологических процессов, один из этапов которого сводится к измерению толщины, который, в свою очередь, представляет серьезную современную проблему [5].

В работе поставлена задача описания оборудования и методик, применяемых для изготовления тонких пленок, определяемых нами как кластерная подсистема и используемых в качестве составляющей гетероперехода (ГП) типа nSi-(Si-КП)-pCu_2S [6].

Нами исследовались процессы формирования кластеризованных пленок (КП) кремния, которые были синтезированы из паровой фазы на подложку монокристаллической кремниевой пластины. В качестве подложки использовались монокристаллы площадью 0,28 $см^2$, толщиной в несколько мкм. Подложка наносилась на поверхность серебрянных электродов кристаллического кварца, являвшегося основой пьезокварцевого резонатора. Кристаллическая структура КП соответствовала «сильно размытой текстуре» (определяемой нами как кластерный растр на кремнии). Исследованные образцы КП синтезировались методом открытого испарения порошка Si в вакууме. Их толщина контролировалась с помощью микроинтерферометра МИИ-4. Электронно-микроскопические исследования осуществлялись на микроскопе ПЭМ-100. Процесс формирования КП проводился с помощью пъезокварцевого датчика с постоянной 1670 кГц/мм. Датчик подключался к стандартному прибору КИТП-1 (кварцевый измеритель толщины пленки), предварительно проградуированному на мокристаллы кремния. Градуировочный график строился таким образом, чтобы использовать его для малых толщин наносимой на подложку КП кремния. Оперативный контроль толщины КП производился методом кварцевого резонатора [5] с элементами методики, предложенной проф. Т.А.Яхно с сотр. [7]. Схема установки вакуумного осаждения кремния представлена на рис.1. В камере 1, где поддерживается вакуум ~ $1 \cdot 10^{-6}$ Торр, расположены пластины кварцевого измерителя 2 на ситаловой основе, лодочка из фольги тантала 4, в которой находится испаряемый кремний 3. Через контакты 5 на тантал подается напряжение, которое нагревает кремний до температуры испарения. Ток

© Л.В. Коломиец, В.В. Ковальчук, О.В.Грабовський, Л.Н.Жеребцова, 2010

варьировался в пределах 10-15 А. Задавая силу тока можно получать различные толщины КП и их различную морфологию.

Другой возможностью нагревания танталовой лодочки стала подача на электроды через контакты 5 импульсов напряжения, длительность которых задавалась таймером. Частота следования импульсов изменялась от 0,1 до 0,01 Гц и выбиралась такой, чтобы обеспечить восстановление вакуумных условий в вакуумной камере в промежутке между разрядами. Энергия, которая выделялась при разряде изменялась от импульса к импульсу. Для контроля параметров разряда служит схема измерения энергии, выделяемой на электродах за один импульс (рис.1).

Микрофотография пленки 7, обработанная с помощью туннельной микроскопии, кластерного растра на кремнии [8,9], позволяет оценить геометрические размеры нанокластеров кремния (15÷20 $\overset{0}{A}$), которые оттенены углеродом. При получении особо тонких пленок толщиной ~25-50 $\overset{0}{A}$ передача энергии, выделяемой при подаче тока на тантал, должна быть достаточной для того, чтобы плотность потока испаряемых атомов кремния была постоянной.

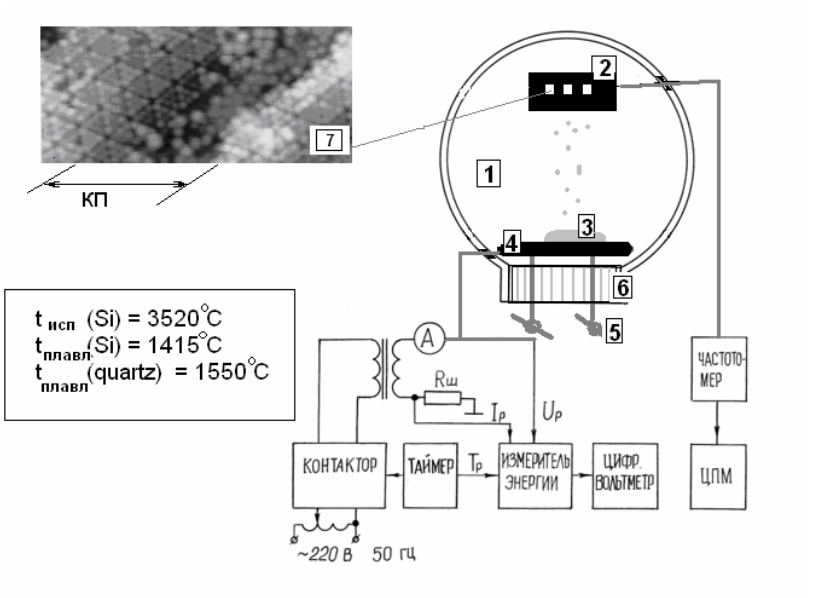


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки для получения кластеризованной пленки

Кварцевый измеритель толщины 2 и держатель подложки 4 расположены симметрично относительно оси вакуумной камеры с целью обеспечения одинаковых условий осаждения кремния. Основой кварцевого измерителя служит пластинка кварцевого резонатора, определяющего частоту стабильного автогенератора. Поскольку генерируемая частота зависит от массы кварцевого резонатора, по уходу генерируемой частоты, с учетом предварительной калибровки, можно определить толщину пленки, осевшей на кварцевой пластине, а следовательно, и на образце, который находится в таких же условиях. Масса напыленного на единицу поверхности кварца слоя Δm_c и изменение частоты кварцевого резонатора Δf связаны простым соотношением:

$$\Delta m = \frac{m_g}{f_{g\,2}} \Delta f \,, \qquad (1)$$

где m_g – масса кварцевой пластины единичной площади;

f_g – резонансная частота.

Чувствительность метода кварцевого резонатора очень высока. Так, например, для кристалла с резонансной частотой f =5 МГц, массой m_g=100 мг чувствительность $\frac{m_g}{f_g} = 0{,}02$ мкг/Гц, т.е., регистрируя уход частоты кварцевого резонатора на 1 Гц, в принципе можно контролировать приращение массы в сотые доли микрограмма.

Кварцевый резонатор чувствителен к изменению температуры. Чтобы учесть уход резонансной частоты от температуры в наших измерениях использовавшиеся кварцевые резонаторы были подвергнуты специальному отбору по результатам измерений температурной зависимости резонансной частоты. Были использованы 40 резонаторов марки РК170 и РК171 с частотой собственного резонанса 5…10 МГц. Наиболее типичные зависимости f(T) приведены на рис.2.

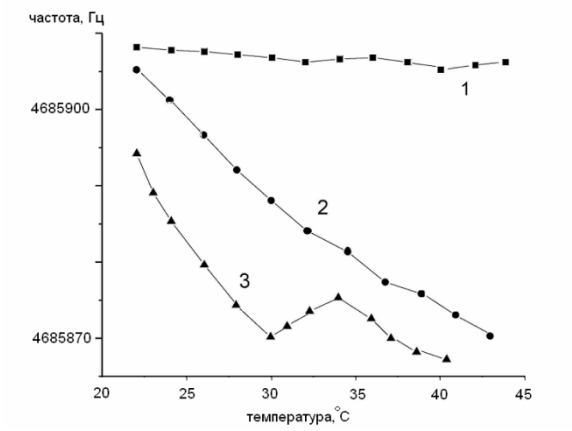


Рисунок 2 – Температурные зависимости частоты кварцевого резонатора от температуры

Как видно, температурная кривая 1 характеризуется слабой зависимостью частоты от температуры (~5% резонаторов). Приблизительно 75% резонаторов описывались графической зависимостью 2. Для более сложных зависимостей – кривая 3 – отмечено ~ 20% резонаторов.

Точность метода измерения массы напыленного слоя с применением кварцевого резонатора во многом определяется стабильностью частоты генератора, в схему которого включен кварцевый резонатор [10]. Принципиальная электрическая схема стабильного кварцевого генератора изображена на рис.3. Генератор предназначен для работы в диапазоне 1…100 МГц и собран на чувствительном высокочастотном усилителе (TI - T4) с кварцевым резонатором в цепи положительной обратной связи. Транзистор T5 является буферным эмиттерным повторителем, уменьшающим влияние нагрузки на параметры генерируемого сигнала. Усилитель генератора выполнен по схеме: общий коллектор - общая база -общий коллектор (T2 - T4). Транзистор TI включен в цепь отрицательной обратной связи, нейтрализующей емкость кварцедержателя. Кроме того, отрицательная обратная связь стабилизирует амплитуду выходных колебаний. Корректирующая емкость C_2 увеличивает устойчивость генерации на высоких частотах. В рассматриваемой схеме генератора достигнута широкая полоса пропускания усилителя. Поэтому усилитель имеет ничтожно малый дополнительный набег фаз вплоть до частот ~ 100 МГц, что и обуславливает высокую стабильность частоты генераций. Сумма входного и выходного сопротивлений усилителя меньше эквивалентного сопротивления потерь кварцевого резонатора. Относительная нестабильность частоты генератора составляет величину ~ $I0^{-7}$. Генератор смонтирован на небольшой плате и размещен в вакуумной камере. Питание и съем результирующего сигнала осуществляются через вакуумно-плотный разъем. Такое размещение позволяет до предела укоротить проводники к кварцевым резонаторам и уменьшить наводки на схему.

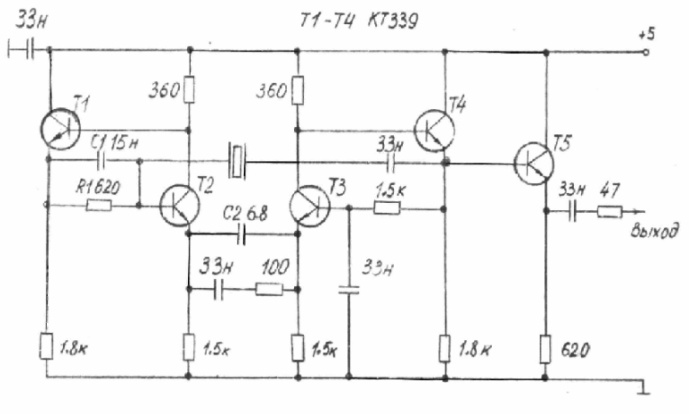


Рисунок 3 – Схема стабильного генератора

В момент испарения кремния выделяется энергия, часть которой в виде излучения, которое может разогревать пластинку кварцевого резонатора. Специально проведенные нами измерения показали, что температура подложки несколько возрастает на протяжение сеанса. Возвращение к прежней температуре происходит через 2-3 мин. Чтобы исключить вредное влияние температурного ухода частоты на результаты измерений, нами использовались резонаторы со слабой температурной зависимостью (кривая 1, рис.2).

На рис.4 представлена кривая, иллюстрирующая изменение во времени частоты резонанса кварцевого кристалла после напыления КП. Дрейф частоты после напыления обусловлен адсорбцией остаточных газов свеженапыленным слоем кремния. Применяя кристаллы со слабой температурной зависимостью, точность в определении ухода частоты Δf нам удавалось довести до 1 Гц.

Погрешность метода обусловлена точностью, с которой определялся уход резонансной частоты Δf и точностью в определении массы кристалла m_g. В нашем случае погрешность измерения толщины напыленного слоя составляла 5%.

Метод кварцевого резонатора позволил нам наладить методику изготовления КП с контролируемой и заранее заданной толщиной.

Нами применялся также альтернативный метод определения толщины уже готовых углеродных мишеней по многократному рассеянию ускоренного протонного пучка. Согласно теории многократного рассеяния заряженных частиц в тонких аморфных фольгах [9,10] существует однозначная зависимость между углом рассеяния заряженной частицы и толщиной мишени. В наших экспериментах использовался протонный пучок с энергией 75 кэВ и угловой расходимостью не более 10^{-4} рад.

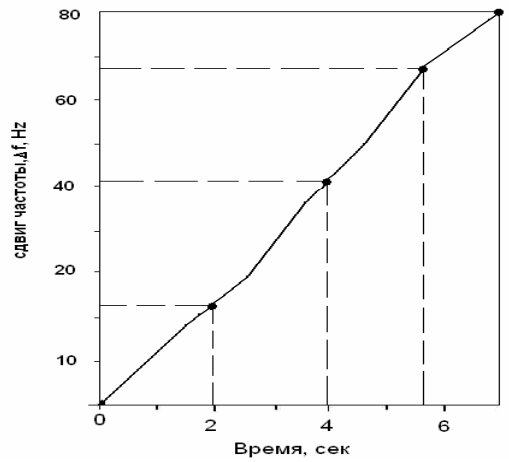


Рисунок 4 – Кинетические кривые синтеза кластеризованной пленки на подложку кремния, полученные с помощью пъезорезонансного датчика

Погрешность метода обусловлена точностью, с которой определялся уход резонансной частоты Δf и точностью в определении массы кристалла m_g. В нашем случае погрешность измерения толщины напыленного слоя составляла 5%.

Метод кварцевого резонатора позволил нам наладить методику изготовления КП с контролируемой и заранее заданной толщиной.

Нами применялся также альтернативный метод определения толщины уже готовых углеродных мишеней по многократному рассеянию ускоренного протонного пучка. Согласно теории многократного рассеяния заряженных частиц в тонких аморфных фольгах [9,10] существует однозначная зависимость между углом рассеяния заряженной частицы и толщиной мишени. В наших экспериментах использовался протонный пучок с энергией 75 кэВ и угловой расходимостью не более 10^{-4} рад.

В таблице приведены результаты измерения толщины КП методом кварцевого резонатора и методом многократного рассеяния протонов. Расчет толщины КП проводился с использованием кварцевого измерителя и измерений по многократному рассеянию протонов. Оба метода определения толщины КП дают близкие между собой значения. Описанный выше метод позволил нам измерять толщину слоя вещества (кремния) в процессе напыления в чистом виде, т.е. без учёта массы адсорбированного газа, что очень важно для определения толщины мишени в экспериментах с ионными пучками.

Таблица 1 – Сопоставление результатов измерения толщины кластеризованной пленки кремния

Номер мишени	Δf кварца, Гц	Толщина КП по данным кварца, мкм	Угол рассеяния протонов, $\alpha_{1/2}$, мрад	Толщина по данным рассеяния, мкм
1	80	1,034	2,02	1,063
2	105	1,368	2,95	1,681
3	120	1,519	3,65	2,001
4	136	1,748	4,15	2,332
5	156	2,006	4,15	2,332
6	200	2,584	5,62	3,004
7	320	4,134	7,44	4,002

Итак, в работе рассмотрена методика получения, закономерности формирования и управления толщиной КП, состоящей из нанокластеров как основной составляющей приборов с кластерной подсистемой. Предлагаемая методика открывает новые возможности для создания эффективных приборов нанометрового диапазона на основе кластерной подсистемы. Практическое разрешение зафиксированных нами проблем должно определить успех технологии получения КП. Прежде всего, это повышение рабочей частоты резонатора, что приводит к дальнейшему повышению его чувствительности.

При реализации описанного нами метода в конкретных условиях необходимо учитывать ряд особенностей:

а) упругие свойства напыленного вещества отличаются от упругих характеристик подложки;

б) плотность в тонком слое напыленного вещества меньше плотности этого вещества в массивном образце;

в) сдвиг частоты резонанса обусловлен не только массой нанесенного слоя, но также и напряжениями, возникающими на границе подложка-напыленный материал.

Список литературы

1. Zaidi S.H., Chu An-S., Brueck S.R.J. Optical properties of nanoscale, one-dimensional silicon grating structures // J. Appl. Phys. – 1996.-v. 80, №12. - P. 6997-7008
2. Alferov Z. L, Ustinov V. M., ZhukovA. E. Long-wavelength emission from self-organized InAs quantum dots on GaAs substrates //Microelectronics Journ. - 2000. - v. 31. - P.1-7
3. Халдеев Г.В., Петров С.Н. Компьютерное моделирование электрохими-ческих процессов на межфазной границе // Успехи Химии.–1998. – №2. – С.107-124
4. Ковальчук В.В. Кластерная модификация полупроводниковых гетероструктур. – Наукове видання. К.: «Хай-Тек Пресс», 2007.- 304 с.
5. Sokolov S., Wong J. High accuracy analog needs more than jhamps//Electron.Design.-1992,N1.-P.53-65
6. Дроздов В.О., Дроздов М.О. , Ковальчук В.В. Аномально-инверсируемый фотовентильный эффект в кластеризованной гетероструктуре // Сенсорна електроніка і мікросистемні технології.- 2006.- №4.-С.9-12
7. Яхно Т.А., Санин А.Г., Санина О.А., Казаков В.В., Яхно В.Г. Новая технология исследования многокомпонентных жидкостей с использованием кварцевого резонатора. Теоретическое обоснование и приложения//ЖТФ.-2009.- т.79,№10.-С.22-29
8. Kovalchuk V.V. Cluster morphology of silicon nanoparticles //Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics.- 2007.- v. 10, N 4. - P. 81-86
9. Kovalchuk V.V. , Drozdov V.A., Moiseev L.M., Osipenko O.V. Quantum Confinement and Optical Properties of Clusters // Photoelectronics.-2007.-№ 16.-P.3-6
10. Фрунзе А., Асташкевич А. О подборе кварцевых резонаторов//Схемотехника.-2001.-№5.-С.19-22.

Л.Коломієць, В.Ковальчук, О.Грабовський, Л.Жеребцова

Вимірювання товщини кластерного шару методом кластерного резонатору

В статті описано метод вимірювання товщини кластерного шару в процесі його виготовлення, що грунтується на застосуванні кварцевого резонатора. Показано, що в умовах вакумного осідання кремнію застосування кварцевого резонатора зі слабкою залежністю частоти від температури дозволяє виміряти товщину напилюванного шару із точністю ~5%. Отримано добре узгодження результатів вимірювання по кварцевому резонатору з данними по вимірюванню кутів багатократного розсіювання протонів у кремнієвих пластинах.

L Kolomiec, V Kovalchuk, O.Graboskiy, L.Gherebcova

Measuring of thickness of cluster layer by a method cluster a resonator

In article it is described the method of measurement of a thickness кластерного a layer in the course of its manufacturing, based on application of the quartz resonator is described. It is shown, that in the conditions of vacuum sedimentation of silicon application of the quartz resonator with weak dependence of frequency on temperature allows to measure a thickness of the raised dust layer with accuracy of ~5 %. The good consent of results of measurement on the quartz resonator with data on measurement of corners of repeated dispersion of protons in silicon plates is received.

Одержано 10.12.09

УДК 629.113-592.2

О.В. Бевз, доц., канд. техн. наук, С.О. Магопець, доц., канд. техн. наук, В.А. Онопа, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження працездатності пари тертя "гальмівний диск – гальмівна колодка" легкового автомобіля

В статті розглянутий вплив пари тертя "гальмівний диск – гальмівна колодка" на безпеку руху автомобіля. За допомогою сучасних методів металографічного й мікрорентгеноспектрального аналізу було встановлено характер протікання дійсного процесу тертя в парі "гальмівний диск – гальмівна колодка" та визначено оптимальний склад матеріалу гальмівної колодки й диску, що дало змогу зменшити величини їх спрацювання та підвищити довговічність пари тертя. Додаткові дослідження впливу полімерного матеріалу нанесеного на робочі поверхні гальмівної колодки та гальмівного диску не дали бажаного позитивного ефекту та зменшили ефективність гальмування.

гальмівна колодка, гальмівний диск, чавун, спрацювання, температура, шорсткість, залишкові напруження, механічні властивості матеріалу

З кожним роком автомобілі провідних світових виробників стають все досконалішими. Зростає потужність двигунів, постійно вдосконалюються характеристики підвіски й поліпшується аеродинаміка і комфорт, та значно підвищуються динамічні показники. Разом з тим, найголовнішим фактором в цьому переліку виступає безпека руху автомобіля. Автомобіль повинен не тільки інтенсивно збільшувати швидкість руху, але й при необхідності - швидко та надійно її зменшувати. Безпека руху автомобілів значною мірою залежить від характеристик та технічного стану гальмівної системи, внаслідок несправності елементів якої трапляється близько 42% дорожньо-транспортних пригод від загальної кількості пригод внаслідок всіх технічних несправностей (див. рисунок 1). Саме тому характеристикам цього механізму в експлуатаційних умовах, та під час обслуговування і ремонту, слід приділяти особливо підвищену увагу.

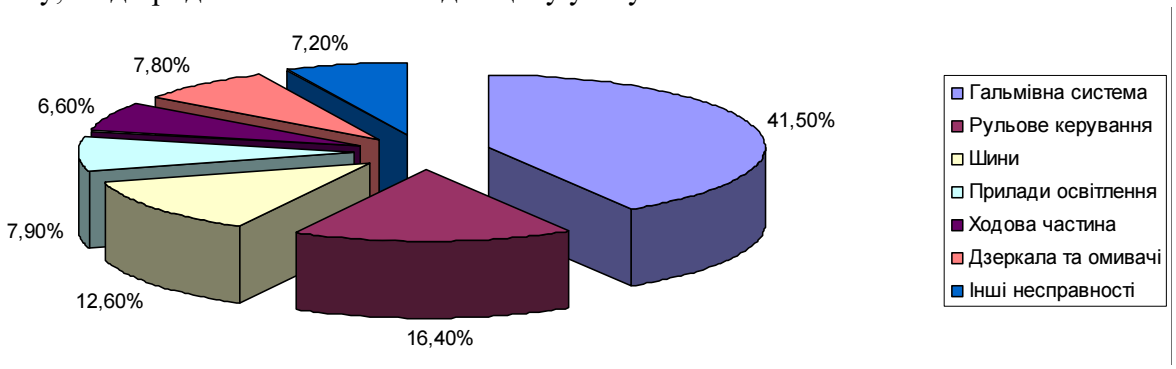


Рисунок 1 - Кількість аварій, що відбуваються через технічні несправності систем, механізмів та деталей автомобіля (узагальнені дані)

Конструктивно, більшість сучасних легкових автомобілів оснащуються як передніми так і задніми дисковими гальмами. При цьому, гальмівна система повинна постійно й максимально ефективно діяти, мати мінімальний час спрацювання й забезпечувати мінімальний шлях гальмування автомобіля із високою плавністю наростання гальмівного зусилля та одночасністю моменту початку гальмування всіх коліс.

© О.В. Бевз, С.О. Магопець, В.А. Онопа, 2010

Загальновідомо, що автомобіль який рухається, має кінетичну енергію. Процес же гальмування – це ні що інше як процес перетворення енергія руху в теплову енергію, який протікає із нагрівання гальм, в першу чергу - гальмівних дисків, температура яких може зростати до 300...400 °С та навіть перевищувати значення 500°С при інтенсивному гальмуванні. При цьому гальмівний диск прогрівається дуже нерівномірно (див. рисунок 2). Найвища температура спостерігається в області контакту диска з колодками; в інших ділянках температура нижче за рахунок охолодження повітрям і відведення тепла до більш холодних частин диску.

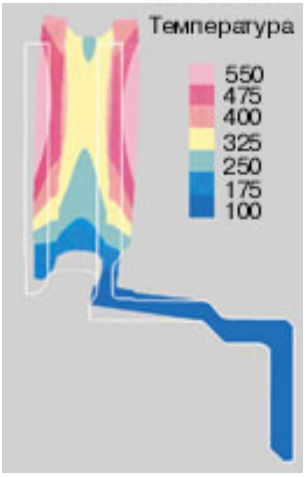


Рисунок 2 - Температура прогрівання диска під час гальмування

При такому нерівномірному нагріванні диск прогинається, а його товщина змінюється залежно від ступеня нагріву. В результаті плоскі робочі поверхні диска деформуються, здобуваючи форму, досить далеку від ідеальної, а характер їх зношення стає нерівномірним, досягаючи найвищої величини зносу в зоні максимального нагріву. Крім того, процес зношування прискорюють різні абразивні частинки, які попадають між диском і гальмівними колодками.

Таке явище приводить до зменшення площі контакту між диском і колодкою, що в свою чергу обумовлює необхідність підвищення сили дії на гальмівну педаль, з боку водія, для забезпечення необхідного зусилля гальмування. В міру збільшення ступеня зношення гальмівного диску може виникнути ситуація, коли сила тиску, що розвивається гальмівним циліндром, буде взагалі недостатньою для забезпечення надійного й ефективного гальмування. Гальмівний шлях, при цьому, стає неприпустимо більшим, а на слизькій дорозі (наприклад взимку, при ожеледиці) - особливо. В такій ситуації стійкість автомобіля та необхідний гальмівний шлях не зможе забезпечити навіть робота антиблокувальної системи (у разі її встановлення на автомобілі).

Проведені попередні дослідження показали, що однією з найбільш обмежених за ресурсом пар тертя автомобіля є пара "гальмівний диск – гальмівна колодка". Причинами, які сприяють цьому є значні (до 10 МПа, або 100 кг/см^2) діючі високі контактні навантаження та інтенсивний (до 870 К або 600 °С) фрикційний розігрів при сухому абразивному терті та нерідко виникаючі фрикційні коливання (вібрація при гальмуванні). Аналіз зазначеної проблеми показав, що вчені, дослідники, конструктори та технологи проблемою підвищення працездатності й ресурсу даної пари займаються практично з тих часів, коли на автомобілях стали застосовувати гальмівні механізми такого типу.

Основні дефекти, які виникають в парі "гальмівний диск - гальмівна колодка" (див. рисунок 3) можна охарактеризувати так:

- скривлення диску - гальмівний диск набуває відхилення від площинності найчастіше в результаті перегріву й наступного різкого охолодження (див. рисунок 3 позиція 1), які

можуть бути спричинені, наприклад, екстреним гальмуванням автомобіля при інтенсивному характеру його руху в мокру (дощову) погоду;

- нерівномірність спрацювання диску за товщиною, яка найчастіше виникає в результаті неоднорідності матеріалу диску або гальмівних колодок (див. рисунок 3 позиція 2);

- шорсткість і нерівномірне спрацювання робочої поверхні із утворенням "буртиків" – як результат абразивного спрацювання та експлуатації при граничному зношенні колодок, що призводить до підвисання останніх (див. рисунок 3 позиція 3).

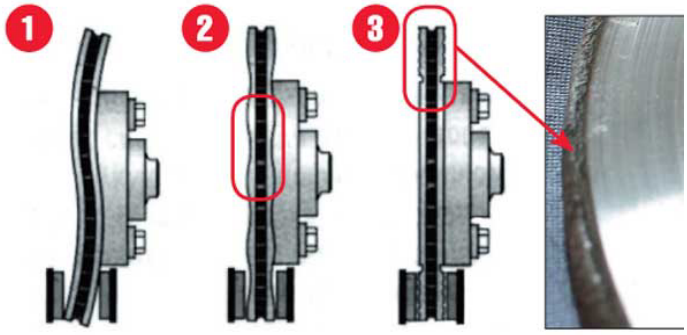


Рисунок 3 – Дефекти гальмівних дисків

Слід зазначити, що конструкцією гальмівних систем передбачено більш інтенсивне зношування саме гальмівної колодки у порівнянні із диском, який піддається зносу повільніше. Разом з тим, інтенсивність зношення спряження „гальмівний диск – гальмівна колодка" багато в чому визначається як характером протікання процесу гальмування (в більшості він визначається обраним водієм стилем керування автомобілем) так і комбінацією складових цієї пари тертя. Різні властивості матеріалів гальмівних колодок та дисків забезпечують відповідність різним технічним нормам; створюють індивідуальні області контакту із специфічним, притаманним лиш їм, тепловим навантаженням.

Так, за допомогою сучасних методів металографічного й мікрорентгеноспектрального аналізу, нами було встановлено, що реальний процес тертя в парі "гальмівний диск – гальмівна колодка" містить у собі три складові: мікрорізання, інтенсивне окислювання, перенесення і нанесення полімерних сполук і композитів, що входять до складу матеріалу гальмівної колодки, а також продуктів, що утворюються при роботі у фрикційному контакті, на поверхні гальмівного диска. Причому переважну роль може відігравати кожна із цих складових - все залежить від умов роботи, особливостей конструкції, технології виготовлення й властивостей матеріалів, що утворюють зазначену пару тертя. Наприклад, якщо взяти третю з перерахованих складових, то вона - результат дії змінного за величиною моменту тертя в контакті пари. В свою чергу, на ступінь посилення або послаблення коливань впливають декілька факторів:

- демпфуючі характеристики кінематичного ланцюга від джерела коливань до рульового колеса;

- різна товщина гальмівного диска, яка може утворитися ще в процесі його виготовлення й зрости в процесі експлуатації через нерівномірне зношування;

- зносостійкість матеріалу гальмівного диску;

- здатність матеріалу гальмівної колодки до зношування;

- биття гальмівного диску, яке обумовлене жолобленням його конструкції при релаксації залишкових напружень в експлуатаційних умовах тощо.

Необхідно також відзначити, що всі ці залежності досить складні. Приміром, якщо взяти жолоблення гальмівного диска, то це - результат дії загального рівня напружень, які складаються із залишкових ливарних напружень і напружень, які утворилися при його механічній обробці. Тому, для уникнення процесу жолоблення гальмівного диску, необхідно впливати на обидві зазначені причини. Зокрема, для зниження рівня залишкових ливарних

напружень у заготовках гальмівних дисків потрібно підібрати найбільш сприятливий, з цього погляду, режим відпалу, що й було зроблено при проведенні комплексу робіт, оскільки той факт, що відпал завжди знижує залишкові напруги у виливках, - аксіома теорії термічної обробки металів і сплавів. Однак на практиці ж виявилося, що відпал вирішує проблему не повністю, тому що фінішне шліфування знову створює залишкові напруги в гальмівному диску. Причому такої величини, що в підсумку зводиться нанівець ефект відпалу заготовок гальмівних дисків. Саме тому, шліфування було замінено точінням, що й дозволило знизити даний негативний ефект.

В результаті був прийнятий наступний варіант: відпал при температурі 853 К (580 °С) протягом 2 годин, при якому знімаються залишкові ливарні напруги у відливці без зменшення твердості матеріалу й наступне точіння – в якості фінішної операції механічної обробки.

Крім того, був випробуваний варіант термоциклічного відпалу по режиму: п'ять семигодинних циклів нагрівання до 623 К (350°С) із охолодженням до кімнатної температури. В результаті - биття гальмівних дисків зменшилося, але враховуючи велику трудомісткість цей спосіб виявився неефективним.

В процесі експлуатації було визначено, що зносостійкість гальмівних дисків помітно знижується. Причини цього - зміна (окислювання) основної структури чавуну по границях графітних пластин поблизу поверхні; дроблення (диспергування) цементиту перліту; поява зернистого перліту при розкладанні цементиту й вигорянні вуглецю - тобто в матеріалі гальмового диска протікають процеси, які змінюють його структуру. Дані процеси - дифузійні, їх можна істотно сповільнити введенням елементів-карбідоутворювачів. Зокрема, виявлено, що підвищення вмісту молібдену до 0,6 і титану до 0,02 % гарантовано збільшує зносостійкість сірого чавуну. Такий й же результат додають добавки марганцю й хрому.

Механізм підвищення зносостійкості сірого чавуну за рахунок його мікролегування карбідоутворюючими елементами пов'язаний з їх стабілізуючим впливом на цементит перліту. В результаті процес обезвуглеводження чавуну різко сповільнюється. Причому одним з найбільш ефективних із цього погляду елементів є хром.

Доведено, що на інтенсивність зношування гальмівного диску досить сильний вплив оказує матеріал гальмівної колодки. Наприклад, дослідження шести різних матеріалів гальмівних колодок вітчизняного й закордонного виробництва, в яких зв'язуючим є фенолформальдегідна смола, а твердими включеннями - сталева висічка (вата), слюда, алюмінієва й латунна (мідна) стружка, показали, що матеріали гальмових колодок із вмістом в них грубих і твердих сталевих та латунних добавок зношують гальмівний диск більше, ніж із вмістом алюмінієвих і латунних (мідних) добавок більш дрібної фракції (див. рисунок 4).

При фрикційному розігріві пари тертя понад 523 К (250°С) у контакті відбувається інтенсивне перенесення матеріалу гальмівних колодок на робочу поверхню гальмівного диску з характерним „намазуванням” на неї полімерного сполучного й окремого елементів композита. Причому товщина нанесеного шару циклічно змінюється: спочатку вона зростає, а потім, досягши деякої товщини, поступово зменшується, після чого цикл повторюється. Тривалість таких циклів для кожної ділянки робочої поверхні гальмівного диску своя, а ступінь однорідності утвореного шару залежить від дисперсності й вмісту композиційних складових і металевих включень матеріалу гальмівної колодки (наприклад включення на основі алюмінію й міді зменшують зношення гальмівного диска за рахунок плаваючого ефекту). Під час дослідження було також виявлено, що після нанесення полімерного матеріалу гальмівної колодки на поверхню гальмівного диску створюється ефект, який знижує темп зношення гальмівного диску; однак при цьому спостерігається різке падіння коефіцієнту тертя у фрикційному контакті пари, й відповідно і ефективність гальмування.

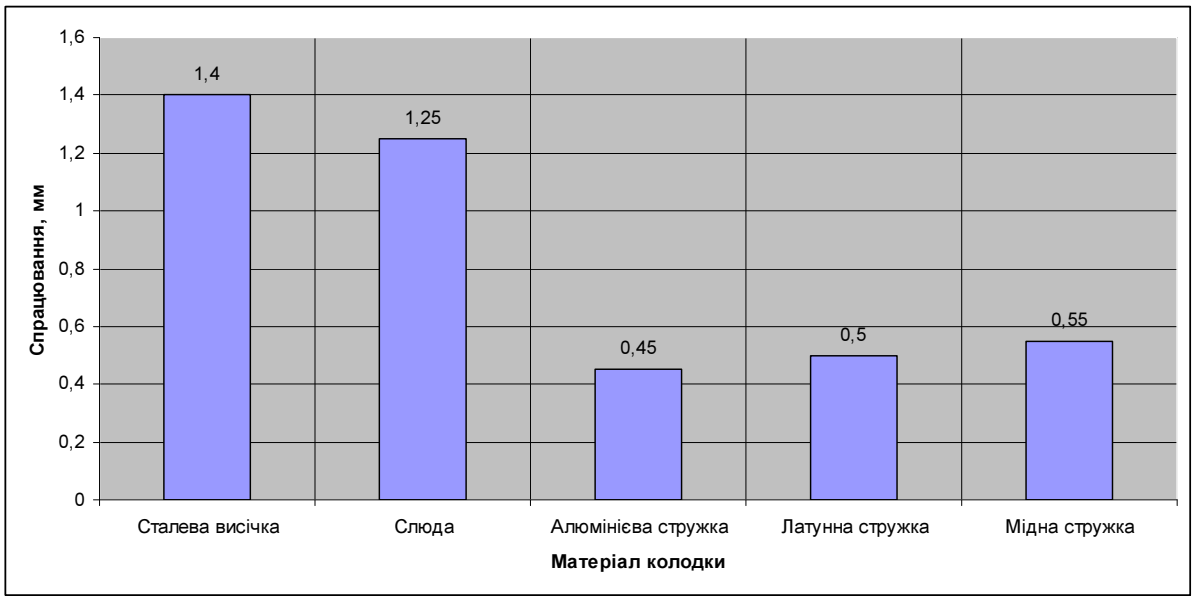


Рисунок 4 - Вплив матеріалу гальмівної колодки на інтенсивність зношування гальмівного диску

За результатами дослідження зв'язку зносостійкості гальмівних дисків з хімічним складом і механічними властивостями матеріалу, з якого вони виготовлені, було встановлено, що сірий перлітний чавун марки Сч190, традиційно використовується при виробництві гальмівних дисків автомобілів ВАЗ, ГАЗ, БАЗ та інших й за характеристиками міцності незначними чином перевершує чавунні аналоги, які застосовуються іншими закордонними автовиробниками, але поступається їм за зносостійкістю. Причому, як було встановлено, зносостійкість лінійно залежить від вмісту сірки при постійному (0,6...0,7%) вмісті марганцю, чим її більше, тим вище зносостійкість. При збільшенні кількості сірки в чавуні Сч190 із стандартних 0,02 до 0,12% його зносостійкість зросла на 50% без погіршення механічних властивостей. Вся справа в тому, що з ростом вмісту сірки в структурі чавуну збільшується кількість дрібнодисперсних тугоплавких і в той же час, пластичних включень сульфіду марганцю (Mn), якщо їх розміри не перевищують товщини графітних пластинок, то вони відіграють роль змащення.

Однак підвищувати концентрацію сірки в чавуні можна, на жаль, не безмежно. Якщо її ввести більше 0,13%, то починається укрупнення включень сульфіду марганцю до розмірів, які перевищують товщину графітних пластин. В результаті чого вони починають працювати як пори і міцність чавуну падає як показано на рисунку 5.

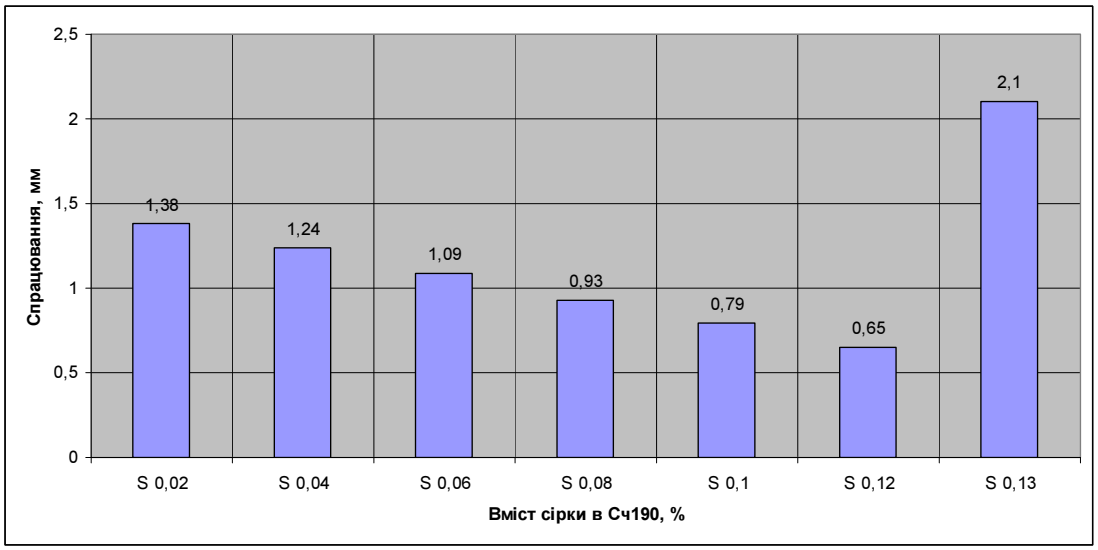


Рисунок 5 - Спрацювання гальмівного диску в залежності від вмісту в ньому сірки

Після проведення досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Для зняття остаточних напружень під час виготовлення гальмівного диску фінішною операцією повинна виступати токарна обробка робочої поверхні, а не шліфування.

2. Дослідження впливу нанесеного полімерного матеріалу гальмівної колодки на поверхню гальмівного диску не виявило бажаного ефекту та зменшило коефіцієнт тертя у фрикційному контакті пари й ефективність гальмування.

3. При збільшенні вмісту сірки в чавуні до 0,12% зношення гальмівних дисків знижується на 40%.

4. Стійкість інструменту при механічній обробці зростає більш ніж в 2 рази, а тріщиностійкість гальмівних дисків залишається задовільною.

Список літератури

1. Тормоза. Руководство по обслуживанию, диагностике и ремонту тормозных систем. М. Рэндалл. – М.: Алфамер Паблишинг, 2008. – 192 с.
2. Рынкевич С.А. Новые технологии и проблемы науки на транспорте / С.А. Рынкевич. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2009. – 337 с.
3. В.К. Вахламов. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей. – М.: Академия, 2009. – 560 с.

О. Бевз, С. Магопець, В. Онопа

Исследование работоспособности пары трения "тормозной диск - колодка" легкового автомобиля

В статье рассмотрено влияние пары трения "тормозной диск - тормозная колодка" на безопасность движения автомобиля. С помощью современных методов металлографического и микрорентгеноспектрального анализа был установлен характер протекания действительного процесса трения в паре "тормозной диск - тормозная колодка" и определен оптимальный состав материала тормозной колодки и диска, которое дало возможность уменьшить величины их срабатывания и повысить долговечность пары трения.

O. Bevz, S. Magopec, V. Onopa

Research of influence of internal resistance of the system of issue of exhaust gases on the effective indexes of work

In the article influence of pair of friction is considered a "brake disk is a skid" on safety of motion of car. By the modern methods of metallographic and mikrorentgenospectral analysis character of flowing of actual process of friction was set in a pair a "brake disk is a skid" and optimum composition of material of skid and disk is certain, which enabled to decrease the sizes of their wearing-out and promote longevity of pair of friction.

Одержано 11.01.10

УДК 004.9

О.М. Рева, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет
О.О. Смірнов, канд. екон. наук
Кіровоградський інститут регіонального управління та економіки

Організація інформаційної діяльності підприємства

В статті розглянуто питання організації інформаційної системи підприємства. Викладено методи створення ефективної інформаційної системи на базі сучасних інформаційних технологій. Запропоновані принципи забезпечують теоретичними положеннями і методичними підходами процеси створення, функціонування і розвитку інформаційних систем на всіх стадіях їх життєвого циклу.
інформація, інформаційна система, система управління база даних, захист даних

Широка інформатизація всіх сфер діяльності нашого суспільства принципово зміцнює роль інформації та інформаційних технологій. Особливо актуальні ці питання для економічних об'єктів, управління якими – постійний процес переробки значних обсягів різнобічної інформації.

На підприємстві зазвичай інформаційна служба не виділяється у окремий підрозділ. Вона являє собою інтегровану частину процесу ведення господарської діяльності та управління нею і є такою ж необхідною, як основне виробництво, служби маркетингу чи фінансового обліку. Для поєднання окремих підрозділів підприємства в єдине ціле і забезпечення ефективної господарської діяльності на підприємстві створюється цілісна інформаційна система. Саме за її допомогою відбувається обмін інформацією на підприємстві: інформація про роботу кожного підрозділу та про зовнішні зміни фіксується, аналізується, узагальнюється і використовується в процесі прийняття рішень, які, в свою чергу, доводяться до осіб, на яких покладено їх виконання. Функції контролю за діяльністю та усунення несправностей в інформаційних системах на середніх підприємствах покладаються на системного адміністратора, а на малих підприємствах такі функції може виконувати фахівець ззовні або один із працівників за сумісництвом.

Основним підходом до використання інформації, якою володіє підприємство, є створення та застосування інформаційних систем у менеджменті.

Інформаційна система – це сукупність інформації, апаратно-програмних і технологічних засобів, засобів телекомунікації, баз даних, методів та процедур обробки даних, персоналу управління, які реалізують функції збирання, передавання, обробки і накопичування інформації для підготовки і прийняття ефективних управлінських рішень [1].

В інформаційній системі розв'язується комплекс задач, реалізація яких на базі використання сучасних методів управління, застосування економіко-математичних методів і моделей, комплексу технічних засобів та інформаційних технологій забезпечує автоматизацію виконання функцій і процедур управління.

З ростом масштабів діяльності та збільшенням штату співробітників менеджерам організацій часто доводиться замислюватися над автоматиза-цією документообігу. Це зумовлює необхідність детального аналізу вимог до інформаційної системи, проектування баз даних, вибору програмних та технічних засобів, створення та заповнення баз даних, розробки прикладних програм, а також модифікації та адаптації інформаційної системи [2].

Сьогоднішня революція в інформаційних технологіях – глобальний процес, що створює нові можливості для підвищення ефективності управління. Потік різноманітних публікацій постійно нагадує менеджеру, що зміни, причому істотні, торкнуться всіх сторін

© О.М. Рева, О.О. Смірнов, 2010

підприємницької діяльності.

Інформація – найважливіший стратегічний ресурс підприємства. Відсутність необхідної інформації породжує невизначеність. Бізнес на певному етапі свого розвитку стає не достатньо керованим. При нестачі необхідної інформації в зручні формі виявляється надлишок інформації, що надходить із різних підсистем і яку важко зіставляти. Крім того, нерідко відсутнє стратегічне планування з ефективним контролем [3].

Тому для успішного розвитку потрібна комплексна система управління, яка об'єднуватиме всі аспекти менеджменту, а не лише бухгалтерію. І це не лише технологічні завдання. Це, по-перше, проблеми поста-новки регулярного менеджменту і, по-друге, проблеми вибору та порядку введення інформаційної системи.

Головними критеріями в оцінці інформаційних систем стали достовірність, своєчасність, повнота та корисність інформації для прийняття рішень. Крім цього, для визначення ефективності внутрішньої системи управління в багатьох організаціях для обліку і звітності почав використовуватися новий показник, який показує відношення отриманого прибутку до затрат на технічні засоби і забезпечення функціонування внутрішньої системи інформації.

Інформаційна система підприємства повинна володіти наступними властивостями:

- збереження інвестицій – мінімізувати витрати на введення інформаційної системи.
- надійність – передбачає гарантування збереження і доступність даних при будь-яких технічних несправностях і забезпечення ефективного захисту даних від несанкціонованого доступу;
- можливість росту – масштабованість, можливість розширення;
- ступінь автоматизації різних видів діяльності – повнота автоматизації всіх видів діяльності, а не лише бухгалтерії;
- інтуїтивність інтерфейса – можливість користувача розібратися в інтерфейсі без опису;
- можливість інтеграції з електронним документообігом – реалізація функції документообігу в системі чи можливість інтеграції із зовнішньою системою документообігу;
- адаптованість до бізнесу клієнта – ступінь узгодженості властивостей системи з потребами клієнта;
- доступна ціна. [4]

Існує три основні шляхи впровадження інформаційних систем:

- розробка системи власними силами;
- придбання універсальної системи чи пакету прикладних програм;
- аутсорсинг – делегування функцій та повноважень щодо ведення інформаційних технологій зовнішнім організаціям [5].

Основу інформаційних систем менеджменту становлять тематично орієнтовані розподілені бази даних, кожна з яких тісно пов'язана з відповідною функціональною підсистемою. Фізична організація зберігання інформації базується на концепції розподілених баз даних. Об'єднання таких баз даних створює первинне інформаційне середовище, яке забезпечує узгодженою інформацією систему управління на всіх рівнях. В свою чергу, тематичний розподіл баз даних дозволяє закріпити ведення заданих баз даних за певними функціональними відділами та підвищити відповідальність за внесення, збереження та обробку оригінальної інформації. В той же час, завдання правил користування через зовнішнього для кожної підсистеми адміністратора забезпечує використання бази даних в інтересах всього підприємства. Доступ до інформаційних баз даних відбувається через комп'ютерну мережу і регламентується правилами та нормативами даної організації.

Ефективність інформаційних технологій безпосередньо пов'язана з організацією внутрішньої інформаційної бази. Підходи до організації машинної бази даних залежать від виду та розміру підприємства. Файлова організація даних характерна для автоматизованого розв'язання окремих задач на робочому місці спеціаліста, а також є початковим етапом при

організації комп'ютерних систем. Сучасні інформаційні технології обробки економічної інформації, організація автоматизованого робочого місця та обчислювальних мереж орієнтовані на організацію баз і банків даних різного призначення, які працюють під управлінням СУБД (системи управління базами даних). На відміну від локально організованих файлів, база даних спеціально організоване зберігання інформаційних ресурсів у вигляді інтегрованої сукупності файлів, призначене для багатоцільового використання та модифікації різними користувачами. [6]

Для створення, ефективного функціонування і розвитку інформаційних систем необхідні єдині теоретичні положення і методичні підходи, які забезпечують взаємодію різноманітних економічних об'єктів та їх нормальну діяльність. Академіком В. М. Глушковим були сформульовані науково-методичні положення та рекомендації з проектування автоматизованих систем управління, які тепер склались як принципи побудови інформаційних систем. В літературних джерелах пропонуються принципи побудови інформаційних систем, принципи автоматизації управління і вимоги до формування організаційних структур підприємств. Крім цього існують принципи спеціальні, які відносяться до державного управління. Запропонована система принципів, яка складається з трьох груп: побудови, функціонування і розвитку. З метою вдосконалення системи пропонується схема, в якій згруповані принципи, їх характеристика і додаються нові, що відображають ієрархічність і безперервність роботи інформаційних систем в органах управління (табл. 1).

Таблиця 1 – Принципи побудови інформаційних систем

Принципи побудови	Принципи функціонування	Принципи розвитку
1. системності; 2. інтегрованості; 3. принцип першого керівника; 4. принцип декомпозиції; 5. принцип сумісності; 6. принцип стандартизації та уніфікації; 7. принцип автоматизації інформаційних потоків і документообігу; 8. принцип автоматизації проектування. 9. принцип ієрархічності	1. узгодженості підсистем 2. надійності; 3. ефективності; 4. інтерактивності; 5. доступності; 6. робастності; 7. єдності; 8. законності. 9. безперервності	1. еволюційності; 2. адаптивності; 3. нових задач; 4. типізації; 5. етапності; 6. удосконалення структури управління; 7. пріоритетності; 8. збалансованості; 9. історизму.

Використання одних лише баз даних не здатне забезпечити формування цілісної інформаційної системи, особливо коли фірма має територіально відособлені підрозділи. У таких випадках доцільно використовувати програмні продукти, які поєднують у собі функції зберігання, обробки, передачі даних та інші функції.

Використання інформаційних технологій для управління підприємством робить будь-яку компанію більш конкурентноздатної за рахунок підвищення її керованості й адаптованості до змін ринкової кон'юнктури.

Важливо відзначити, що автоматизація – не самоціль, а цілеспрямована перманентна діяльність по раціоналізації й оптимізації організаційно-штатної структури підприємства і його бізнес-процесів.

Сучасний етап соціально-економічного розвитку національної економіки вкрай загострює актуальність проблеми використання інформаційних ресурсів для розвитку підприємств та установ України, як необхідної умови інформатизації суспільства. Особливої

актуальності ця проблема набуває на підприємтсвах України, де інформація є визначальним ресурсом підтримки безпеки людських та вантажних перевезень, розвитку міжнародних науково-технічних та інформаційних зв'язків у сфері авіаційної діяльності тощо.

Провідне місце у вирішенні зазначених завдань посідає створення системи науково-технічної та економічної інформації, яка б виконувала роль джерел інформаційних ресурсів для прогресивного розвитку підприємств і установ та відповідала сучасним досягненням інформаційних технологій.

Система науково-технічної та економічної інформації підприємств повинна бути спрямована на підвищення ефективності науково-дослідного, проектно-конструкторського, виробничого процесів при прийнятті рішень на всіх рівнях управління науково-технічним розвитком.

Для ефективного функціонування підприємства необхідно створити інформаційну систему, яка б була здатна протягом тривалого часу задовольняти потреби підприємства. Лише великі підприємства можуть дозволити собі включати до штату фахівців, які будуть в змозі розробити та обслуговувати інформаційну систему, яка найповніше відповідатиме потребам підприємства. Тому для середніх та малих підприємств доцільніше створювати інформаційну систему на базі вже існуючих програм, різноманітність яких здатна задовольнити потреби таких підприємств.

Корпоративна система управління для будь-якого підприємства, що вирішує серйозні бізнес-завдання, є надзвичайно важливим і просто необхідним елементом. Подібна система об'єднує в єдиний інформаційний простір різнорідні програмно-апаратні платформи і має багаторівневу структуру.

В створенні корпоративних інформаційних систем сьогодні повинні бути зацікавлені багато українських підприємств. Сьогодні вони хотіли б придбати систему управління, яка дозволила б удосконалити внутрішні процеси, знизити собівартість продукції, виробляти її швидше та з більш високою якістю, ніж раніше, а крім того, виявити нові резерви, підвищити рівень бізнесу підприємства та забезпечити йому міцні позиції на цьому важкому етапі ринкової конкуренції.

При створенні корпоративних інформаційних систем у підприємства є два варіанти: або створювати такі системи власними силами, тобто створити спеціальний відділ, який би розробив проект системи, провів його втілення в життя та здійснював постійну підтримку та переробку, доробку інформаційної системи; або ж створити такі системи, скориставшись послугами професійних фірм, які здійснюють розробку, втілення та підтримку таких систем. Треба сказати, що обидва варіанти є досить затратними, але другий з них – більш вірогідний в сучасних умовах функціонування українських підприємств, коли створити відповідний відділ на своєму підприємстві досить важко у зв'язку з нестатком, перш за все, висококваліфікованих спеціалістів в комп'ютерній сфері. Такі спеціалісти, дійсно, є, але їх небагато, і вони можуть і не погодитися працювати на підприємстві через низьку заробітну плату.

Інформаційні системи є інтеграцією усіх функціональних рівнів – від інфраструктури, до рівня прийняття рішень. Щоб створити проект комп'ютерної інформаційної системи на підприємстві, потрібно вивчати і ретельно проаналізувати роботу конкретного підприємства. І потім вже пропонується схему управлінського обліку, бюджетного керування, рекомендації з реструктуризації бізнесів-процесів.

Сучасна корпоративна система керування підприємством - це особливий продукт, роботу якого забезпечують і люди, і комп'ютерна система, а результат залежить від сформованих виробничо-економічних, а часом і від соціальних умов. Така система повинна відповідати конкретним вимогам оптимального розвитку бізнесу компанії, для якої вона і розробляється.

Сьогодні існує досить багато різних програм для автоматизації бізнес-процесів, але програми – це не головне. Головний упор при реалізації проекту корпоративної

інформаційної системи треба робити на технічну підтримку продуктів фахівцями, які знають всі особливості систем керування та мають чітке уявлення про організації бізнес-процесів на українських підприємствах.

На основі аналізу поняття інформації, ролі і призначення інформаційних ресурсів, взаємодії інформаційних систем на різних рівнях підприємств, існуючих теоретичних положень, методичних підходів та практичних рекомендацій з проектування, функціонування й удосконалення автоматизованих систем, загальних тенденцій їх розвитку, розроблено систему принципів, яка складається з трьох груп: побудови, функціонування і розвитку інформаційних систем у державному управлінні. Зазначені принципи забезпечують теоретичними положеннями і методичними підходами процеси створення, функціонування і розвитку інформаційних систем на всіх стадіях їх життєвого циклу.

Список літератури

1. Сытник В.Ф., Срока Х., Еремина Н.В. Компьютеризация информационных процессов на промышленных предприятиях. – К.: Катовице: Техника: Экономическая академия им. К. Адамецкого, 2001. – 215 с.
2. Кунегин С.В. Информационные системы в экономике: Учебник. - М.: 1996.– 382 с.
3. Гаранин М.В., Журавлев С.В. Системы и сети передачи информации– М.: Экзамен, 2003. – 336 с.
4. Автоматизированные информационные технологии в экономике/ Под. ред. Г.А.Титоренко. - М.: Компьютер ЮНИТИ, 1998, – 336 с.
5. Полковский Л.М., Зайдман С.А., Беркович М.Е. Автоматизация учета на базе персональных ЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 192 с.
6. Тришанков Л.В. Записки руководителю, который думает компьютеризировать свой бизнес // Економика и прогнозирование. – 2005. – №5.
7. Орлов С. Крепкий орешек // Журнал сетевых решений/ LAN. – 2005. – Март. – С. 82–90.
8. Косарев В.П., Ерёмин Л.В. Введение в систему по “Lotus Notes” // Компьютер сегодня. – 2007. – №3. – С. 14–16.

А.Рева, А.Смирнов

Организация информационной деятельности предприятий

В статье рассмотрены вопросы организации информационной системы предприятия. Раскрыты методы создания эффективной информационной системы на базе современных информационных технологий. Предложенные принципы обеспечивают теоретическими положениями и методическими подходами процессы создания, функционирования и развития информационных систем на всех стадиях их жизненного цикла.

A.Reva, A. Smirnov

Organization of informative activity of enterprises

This article consider question of organization the information system at enterprise. The methods of creation of the effective information system are expounded on the base of modern information technologies. The offered principles provide theoretical positions and methodical approaches the processes of creation, functioning and development of the informative systems, at all stages of them life cycle.

Одержано 23.12.09

УДК 004.896; 621.7.01; 658.511.3; 658.52; 658.58; 658.589; 658.512

О.Д. Криськов, проф., канд. техн. наук, І.М. Іваник, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Робочі структури та поля САПР «TECHNOL»

В статті розкрито зміст та функціональна роль структури Technol_xxxxxx при створенні програмованих елементарних технологічних модулів (ПЕТМів), які вирішують задачу проектування регламентів технологічних процесів (РТП).
записи, програмований елементарний технологічний модуль, пакет базових процедур (ПБП), ідентифікатори

Вступ. В сучасній машинобудівній промисловості використовується ряд діалогових САПР РТП, які практично виконують функцію оформлення документа, переважно для універсального металорізального обладнання. По своєму змісту і суті вони є спеціалізованими редакторами з розширеними технологічними можливостями. Певною мірою такі САПР виконують нескладні очевидні обчислення. Опираючись на можливості сучасних ПК, клієнт-серверні технології та розгалужені, накоплені у попередні роки бази даних, САПР АВТОПРОЕКТ, ТЕХНОПРО, ИНТЕРМЕХ і деякі інші значно полегшують і пришвидшують процес оформлення тексту РТП, одночасно покращуючи його якість на рівні оформлення. Крім того, зберігаючи інформацію в електронному вигляді, такі системи порівняно легко вписуються у системи вищого рівня, зокрема корпоративні ERP (Enterprise resource planning – комплекс програм для керування виробництвом). Вище перераховані позитивні моменти та порівняна простота освоєння забезпечили їм відносну популярність на підприємствах. Одначе, при явних позитивах, в тому числі і фактичній можливості варіантного проектування, у таких САПР практично відсутні можливості оптимізації варіантів РТП не тільки в процесі проектування, а й по його закінченню. Очевидно через складність та трудомісткість алгоритмізації технологічного та трудового нормування. За ідеологією згадані САПР фіксують етапи проектування та послідовність їх виконання, яка склалась ще в середині минулого віку [1], де процеси проектування та техніко-економічної оцінки (ТЕО) технологічних рішень рознесено як по послідовно виконуємим етапам (спочатку проектування, а по його завершенню ТЕО), так і по службам (головного технолога, нормування праці тощо) підприємства. Таким чином, вирішуючи сьогоденні потреби підприємств, САПР, з такою ідеологією, є кроком назад по відношенню до ідей оптимізації та варіантного проектування, які були розвинуті в 60-80 роки минулого віку проф. Горанським Г.К., Цвєтковим В.Д., Капустіним Н.М., Норенковим І.П. та іншими розробниками. До того ж згадані САПР слабо зв’язані з теоретичними основами технології машинобудування, що певною мірою негативно впливає на дидактичному рівні на процес навчання технологів-машинобудівників.

Мета роботи. Дана робота продовжує публікації [2-5] в яких підсумовуються та систематизуються дослідження кафедри технології машинобудування та лабораторії Університетський центр САПР КНТУ, які направлені на розробку методик динамічного аналітичного проектування (ДАПР) РТП. Остання передбачає ТЕО приймаємих технологом рішень в момент їх прийняття і побудована на ідеології ПЕТМ’ів різної функціональності та складності. Центральним ядром ПЕТМ'ів є ПБП, який слугує цілям спрощення та прискорення програмування технологічних задач. Метою даної статті є розкриття змісту та призначення структури в ДАПР САПР «TEHNOL».

© О.Д. Криськов, І.М. Іваник, 2010

Основна частина. Практика розробки ПЕТМів показала необхідність використання значної кількості ідентифікаторів, поля яких несуть в собі інформацію різнопланового призначенням із суттєво різним походженням. Такі ідентифікатори використовуються при установлені режимів різання, економічній оцінці технологічних рішень та при інших технологічних розрахунках, що можуть бути виконані по усталеним алгоритмам, як це має місце при проектуванні технологічних переходів та операцій. З метою підвищення зручності використання, зважаючи на вузькоспеціальну технологічну направленість таких ідентифікаторів, було прийнято загальновизнаний мнемонічний принцип їх створення з використанням префіксів, що вказують на тип. Як виявилось ідентифікаторів для повного опису технологічних прорцесів необхідно декілька сотень. Тому оператори виклику ПЕТМів проектування технологічних переходів і операцій та їх ТЕО з використанням механізму формально-фактичних параметрів, виявились досить громіздкими. З метою їх спрощення та полегшення взаємодії між різними групами розробників програмного забезпечення, близькі по призначенню ідентифікатори були зібрані в структури, так як прийнято в сучасних мовах програмування. Це дало можливість суттєво спростити виклик ПЕТМів, уникаючи перерахування фактичних параметрів шляхом запису ідентифікатора тої чи іншої структури, необхідної для виконання чергового блока розрахунків. В подальшому це дозволяє уникнути багаточисельних повторів та помилок при розкритті змісту та порядку використання ПЕТМ'ів різного рівня. Структурі у мові Object Pascal у відповідність ставлять, звичне в програмуванні поняття – запис.

В таблиці приведено зміст **Technol_xxxxxx** – структури ідентифікаторів технологічних параметрів, що характеризують технологічний процес, операцію, перехід та режими різання.

Таблиця – Структура параметрів Technol_xxxxxx

Ідентифікатори, що описують проектувальників		
1	sPrizvuscheRozrob	Прізвище розробника
2	sPrizvuscheGolTehnol sPrizvuscheZavKafedru	Прізвище головного технолога (зав. кафедри)
3	sPrizvuscheNach	Прізвище начальника (відповідальної особи)
4	sNormoKontrol	Прізвище нормоконтролера
Ідентифікатори, що описують цех		
1	rFc	Площа цеху, $м^2$
2	rFdiln	Площа дільниці, $м^2$
Ідентифікатори, що описують деталь та заготовку		
1	sNameDet	Найменування деталі
2	sShufrDet	Шифр деталі
3	sCodeMaterialDet	Символьний код матеріалу деталі
4	bCodeMaterialDet	Внутрішній десятковий код матеріалу деталі
5	sCodeGroupeMaterialDet	Внутрішній символьний код групи матеріалу деталі
6	bCodeGroupeMaterialDet	Внутрішній десятковий код групи матеріалу деталі
7	sCodeUnderGroupe MaterialDet	Внутрішній код підгрупи матеріалу деталі
8	bCodeUnderGroupe MaterialDet	Внутрішній десятковий код підгрупи матеріалу деталі
9	boXarakterZagot	Тип заготовки
10	rSigma	Міцність оброблюємого матеріалу
11	rHb	Твердість оброблюємого матеріалу
Ідентифікатори, що описують верстат		
1	sModelMechines	Назва моделі верстата
2	bModelMechines	Внутрішній код моделі верстата

3	bGroupeVerst	Код групи верстатів
4	sGroupVerst	Символьний код групи верстатів
5	rDmax	Максимальний діаметр деталі, яку можна встановити на верстаті
6	rVulitPovz	Виліт повзуна карусельного чи стругального верстата
7	Certificate MachineObert	Масив стандартних чисел обертів шпинделя
8	rm	Маса верстата, кг
10	rNd	Потужність двигуна верстата, кВт
11	rLverst	Довжина верстата, мм
12	rBverst	Ширина верстата, мм
Ідентифікатори, що описують операцію		
1	sNameOper	Найменування операції
2	bNomOper	Номер операції
3	bTupObr	Код виду обробки
4	bMetNarizRizi	Метод формування різі
5	boMOR	Використання МОР (мастильно-охолоджувальна рідина)
Ідентифікатори, що описують перехід		
1	bCodeTransition	Код переходу
2	bInterCodeTransition	Внутрішній код переходу
3	sCodeTransition	Символьний код переходу
4	sTupObr	Вид обробки (чорнова, чистова тощо)
5	Str_S	Символьний ряд подач
6	rSmin	Мінімальне рекомендоване значення подачі, мм/об
7	rSmiddl	Середнє рекомендоване значення подачі, мм/об
8	rSpasp	Паспортне значення подачі, мм/об
9	rSmax	Максимальне рекомендоване значення подачі, мм/об
10	rS_normativ	Призначене нормативне значення подачі, мм/об
11	rS	Подача на оберт, мм/об
12	rSz	Подача на зуб
13	bTupRizi	Вид різі
14	rS_period	Подача періодична, мм/об
15	Str_V	Символьний ряд рекомендованих швидкостей різання
16	rVmin	Мінімальна швидкість різання, мм/хв
17	rVmiddl	Середня рекомендована швидкість різання, мм/хв
18	rVfact	Фактичне значення швидкості різання, мм/хв
19	rVmax	Максимальна швидкість різання, мм/хв
20	rV_normativ	Призначена нормативна швидкість різання, мм/хв
21	rN	Ефективна потужність різання, кВт
22	rNef	Нормативна ефективна потужність різання, кВт
23	rNef_korekt	Скорегована нормативна потужність, кВт
24	rMkr_normativ	Нормативне значення крутного моменту, Н*м
25	rMkr_korekt	Скореговане нормативне значення крутного моменту, Н*м
26	rPz_normativ	Нормативне значення сили різання, Н
27	rPz_korekt	Скореговане нормативне значення сили різання, Н
28	rRa	Параметр шорсткості обробленої поверхні, мкм
29	sRa	Параметр шорсткості обробленої поверхні
30	rNroz	Частота обертів розрахункова, об/хв
31	rN_popered	Частота обертання на попередньому переході, об/хв
32	rN_ObTran	Кількість обертів на виконання переходу, об/хв
33	rN_ObZag	Частота обертання заготовки, об/хв

34	rN_ObPasp	Частота обертання заготовки паспортна, об/хв
35	boRotate	Напрямок обертання шпинделя (false - правий)
36	rKrock	Крок різі (реальна величина), мм
37	sKrock	Крок різі (символьна величина)
38	rt	Глибина різання або ширина накатки, мм
39	boTupNakatku	Тип накатки (поперечна або поздовжня)
40	bShemaObr	Код схеми обробки
Ідентифікатори, що описують інструмент		
1	sCodeInstr	Символьний код інструмента
2	bCodeInstr	Внутрішній десятковий код інструмента
3	sCodeMaterialInstr	Символьний код матеріалу інструмента
4	bCodeMaterialInstr	Внутрішній десятковий номер матеріалу
5	rTstiy	Стійкість інструменту
6	rHderRiz	Висота державки різця, мм
7	rBderRiz	Ширина державки різця, мм
8	sB_H	Площа перерізу державки різця
9	boPererizInst	Переріз оправки інструмента
10	rL_L	Відношення довжини оправки до вильоту шпинделя
11	rd_D	Відношення діаметра оправки до діаметра шпинделя
12	rKutVplani	Головний кут в плані
13	rPeredKut	Передній кут різця
14	rRverRiz	Радіус при вершині різця
15	sRverRiz	Радіус при вершині різця (символьний код)
16	sTupDergavki	Тип державки інструмента
17	bCodeGroupMaterialInst	Код групи матеріалу інструмента
18	rVulitInst	Відношення вильоту різця (оправки) до його діаметру
19	bDmin_D	Відношення кінцевого і початкового діаметрів
20	rTosn	Основний час на перехід
21	sb_Opora	Тип опори (без роликової опори (по діаметру прутка D і вильоту), без роликової опори (по найменшому діаметру деталі d), з роликовою опорою (по найменшому діаметру деталі d при вильоті a<10мм)
Ідентифікатори, що описують поверхню що обробляється		
1	rLbp	Довжина безударного підводу, мм
2	rLvr	Додаткова довжина на врізання інструмента, мм
3	rLk	Виконуваний розмір (довжина обробки), мм
4	rLp	Довжина перебігу, мм
5	rLroz	Розрахункова довжина, мм
6	rB	Ширина (наприклад: прорізки, відрізки, фаски), мм
7	sD	Діаметр оброблюваної поверхні, мм
8	rD	Діаметр оброблюваної поверхні (більший), мм
9	rDm	Менший діаметр із двох заданих, мм
10	bL_D	Відношення довжини заготовки до діаметра
11	sL_H	Розміри оброблюваної поверхні (довжина х ширина)
12	rBn	Нормативна ширина фрезерування, мм
Ідентифікатори, що описують допоміжні параметри		
1	bKodKart	Номер нормативної карти призначення швидкостей
2	bNomerKart	Номер нормативної карти призначення подач
3	sNazvaKart	Найменування карт
4	sFileNameX	Робоче ім'я файлу
5	sSubDirNameX	Ім’я підкаталогу мікробази проекту

6	iLowLimit	Три параметри описані в поцедурі CorrectOfNumber_023 [2] , як то iPH, iPV та LevelInsideBorde відповідно в %
7	iMiddleLimit	
8	iHightLimit	
9	rLowValueRow	Найменше число умовного ряду
10	rHightValueRow	Найбільше число умовного ряду
11	iNumberOfStep	Кількість ступіней в умовному ряду
12	i_Row	Номер рядка в одномірному символьному масиві

Висновок. Розроблено та описано зміст структури **Technol_xxxxxx**, яка включає ідентифікатори, що описують технологічний процес, операцію, перехід та режими різання, які рекомедуються при розробці ПЕТМів технологічного призначення, що суттєво спрощує як розробку процедур САПР «TEHNOL» так і пояснення алгоритмів їх роботи в публікаціях, звітах, методичних вказівках тощо.

Список літератури

1. Размерный анализ технологических процессов / В.В.Матвеев, М.М. Тверской, Ф.И. Бойко и др. –М.: Машиностроение, 1982. -264 с.
1 Криськов О.Д., Петренко М.М. Основи комп'ютерної технології обґрунтування структури технологічних операцій та графічного моделювання. – Кіровоград, «РВЛ КНТУ», 2009. – 348 с.
2 Криськов О.Д. Модуль уточнення розрахункового значення по преференційному ряду в системах автоматизованого рішення конструкторських та технологічних задач. Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету / Техніка у сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. Вип. 17. – Кіровоград: КДТУ. 2006. – С.323-328.
3 Криськов О.Д. Економічна оцінка технологічного рішення в момент його прийняття. Сборник трудов XV Международной научно-технической конференции / Машиностроение и техносфера XXI века/ г. Севастополе 15-20.09.2008 Том.2. Донецк, 2008.– С161-165.
4 Криськов О.Д. Оперативна техніко-економічна оцінка рішення технолога-проектанта в САПР регламентів технологічних процесів. Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету / Техніка у сільському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація /. Вип. 21. – Кіровоград: КДТУ. 2008. – С.328-331.

О. Крыськов, И. Иваныk

Рабочие структуры и поля САПР «TECHNOL»

В статье раскрыто содержание и функциональная роль структуры Technol_xxxxxx при создании программируемых элементарных технологических модулей (ПЭТМов), которые решают задачу проектирования регламентов технологических процессов (РТП).

O. Kryskov, I. Ivanyk

Workings structures and fields of SAPR of «TECHNOL»

In the article it is exposed maintenance and functional role of structure of Technol_xxxxxx at creation of the programmable elementary technological modules (PETM) which decide the task of planning of regulations of technological processes (RTP).

Одержано12.01.10

УДК [621.31+620.9]:691

Ю.И.Казанцев, доц.,канд. техн. нак, Г.Ю.Маклаков, проф.,д-р техн. наук, В.Ф. Мануйлов, доц.

Основная энергетическая характеристика группы предприятий с многономенклатурным производством как некорректная стохастическая связь

В статье показан вывод основной энергетической характеристики группы предприятий с многономенклатурным производством, являющейся некорректной стохастической связью.
энергетические характеристики, методы решения некорректных задач

Рост электровооруженности промышленности предъявляет новые требования к точности и обоснованности решений различных технико-экономических и оптимизационных задач, решаемых в энергетике и связанных, в конечном итоге, с рациональным использованием электроэнергии.

Исследования в этой области заложены в работах Гофмана И.В., Авилова-Карнаухова Б.Н., Ястребова П.П., Волобринского С.Д. и др.

Целью данной статьи является определение связи между основными электроэнергетическими показателями предприятий и их выпускаемой продукцией и на этой базе вывод основной энергетической характеристикой, являющейся основой нормирования расходов электроэнергии и ее рационального использования.

Для группы предприятий с многономенклатурным производством можно построить зависимость, между электропотреблением и выпускаемой продукцией. Такая связь становится более явной, если потребление электроэнергии и производительность предприятий выразить в относительных единицах.

Иллюстрацией этих предложений может служить вывод методами математической статистики расчетно-опытных связей между потреблением электроэнергии и выпускаемой продукцией предприятий стекольной промышленности с многономенклатурным производством.

Опытные данные по суточному электропотреблению и выпуску продукции были собраны по пяти предприятиям объединения «Укрстекло».

Рассматриваемая совокупность предприятий представляет случайную выборку из общего числа предприятий данной отрасли промышленности.

Начальная обработка опытных данных заключалась в вычислении удельного потребления электроэнергии, удельной установленной мощности, отношения первой из этих величин ко второй, а также производительности в относительных единицах.

Результаты вычислений были сгруппированы и расположены в форме так называемой двойной корреляционной таблицы, которая является основой для вывода расчетно-опытной связи между электропотреблением и выпускаемой продукцией методами математической статистики.

Известно, что основой исследования и нормирования являются энергетические балансы и энергетические характеристики. Использование последних, встречает значительные трудности, связанные с выбором показателя нормирования при многономенклатурном производстве. Эти трудности можно обойти путем перехода к условным натуральным единицам.

© Ю.И.Казанцев, Г.Ю.Маклаков, В.Ф. Мануйлов, 2010

После изучения электроэнергетических показателей указанной группы предприятий и их анализа было установлено, что отношения удельного потребления электроэнергии ω к удельной установленной мощности электроприемников p_y находится в реальной корреляционной связи с производительностью предприятий α, выраженной в относительных единицах, т.е.:

$$\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = f(\alpha), \tag{1}$$

где $\omega = \frac{W}{A}$; $p_y = \frac{P_y}{A_0}$; $\alpha = \frac{A}{A_0}$.;

W – потребление электроэнергии предприятием, $\frac{тыс\ кВт \cdot ч}{сутки}$;

A – производительность предприятия, $\frac{тыс\ усл.тон}{сутки}$;

A_0 – проектная производительность предприятия;

P_y – установленная мощность электроприемников, *тыс кВт.*

Связь вида (1) названа основной энергетической характеристикой предприятий[1].

Из основной энергетической характеристики можно получить производные энергетические характеристики:

$$\omega = f_1(\alpha; p_y);\ K_u = f_2(\alpha),$$

где K_u – коэффициент использования установленной мощности электроприемников.

Связь (1) может быть выведена как аналитически, так и по опытным данным. В общем случае эта связь выражается многочленом:

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + ... + a_p x^p. \tag{2}$$

Здесь $Y = \left(\frac{\omega}{p_y}\right)$; $x = \frac{1}{\alpha}$ *или* $\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$;

$a_0, a_1, a_2 .... a_p$ – постоянные коэффициенты.

Перевод выпускаемой продукции в условные натуральные единицы осуществляется, например, в случае трех видов продукции по выражению:

$$A_{усл} = K_A \cdot A + K_B \cdot B + K_C \cdot C, \tag{3}$$

где K_A, K_B, K_C – коэффициенты энергоемкости;

A, B, C – выпуск продукции по видам.

Для определения коэффициентов энергоемкости обычно используют метод решения систем линейных алгебраических уравнений вида:

$$\left.\begin{aligned} W_1 &= A_1 \cdot \omega_A + B_1 \cdot \omega_B + C_1 \cdot \omega_C \\ W_2 &= A_2 \cdot \omega_A + B_2 \cdot \omega_B + C_2 \cdot \omega_C \\ W_3 &= A_3 \cdot \omega_A + B_3 \cdot \omega_B + C_3 \cdot \omega_C \end{aligned}\right\}. \tag{4}$$

Исследования показали, что системы вида (4) относятся к плохо обусловленным системам линейных алгебраических уравнений, а, следовательно, к некорректным связям.

Их решения, например, методом Гаусса дает, в ряде случаев, отрицательное значение корней (удельных расходов) не имеющих физического смысла.

Решение таких систем может быть осуществлено путем регуляризации по Тихонову [2].

В данной работе предлагается заменить решение систем вида (4) методом Гаусса решением на экстремумы функции:

$$\xi^2 = e = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(A_i \cdot \omega_A + B_i \cdot \omega_B + C_i \cdot \omega_C \right) - W_i \right]^2 = \min . \qquad (5)$$

То есть ставится задача отыскания значений переменных $\omega_A, \omega_B, \omega_C$ при которых разность ξ между правой и левой частью системы (5) возведенной в квадрат будет минимальной.

Полученные таким образом положительные значения переменных используются для определения коэффициентов энергоемкости в уравнении (3).

Приняв за базисную энергоемкость продукцию А находим значения коэффициентов энергоемкости:

$$K_A = \frac{\omega_A}{\omega_A}, K_B = \frac{\omega_B}{\omega_A}, K_C = \frac{\omega_C}{\omega_A}.$$

Основная энергетическая характеристика

Приведя показатели нормирования предприятий к условной натуральной единице, выведем связь вида (1) по опытным данным, собранным по перечисленным предприятиям. Эта связь относится к связям статистического вида, и, поэтому, в соответствии с теорией корреляционного анализа определяем реальность ее существования и форму по методу, изложенному в [1, 6, 7].

Исходные опытные данные приведены в двойной корреляционной таблице 1. А пояснения к ней приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Двойная корреляционная таблица к выводу связи $w/p_y=f(\alpha)$ группы предприятий

α_h / $\left(\frac{\omega}{p_y}\right)_i$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	n_i
4,0							1	3	4
5,0						7	21	10	38
6,0					14	26	7	1	48
7,0			4	14	19	9			46
8,0	2	4	14	30	24	15			89
9,0		9	9	3	2				23
10,0	4	7							11
n_h	6	20	27	47	59	57	29	14	259
$\left(\frac{\overline{\omega}}{p_y}\right)_h$	9,33	9,15	8,19	7,77	7,24	6,56	5,2	4,96	

Для определения реальности существования и формы связи (1) находим следующие показатели статистической связи:

– полные средние:

$$\overline{\alpha} = \frac{1}{\ddot{\imath}} \Sigma \ddot{\imath}_h \cdot \alpha_h = 0{,}9892;$$

$$\left(\frac{\overline{\omega}}{\eth_{\acute{o}}}\right) = \frac{1}{\ddot{\imath}} \Sigma \ddot{\imath}_{з} \cdot \left(\frac{\omega}{\eth_{\acute{o}}}\right)_i = 6{,}486.$$

Таблица 2 – Пояснения к двойной корреляционной таблице к выводу связи $w/p_y=f(\alpha)$ группы предприятий

Наименование завода	Выпускаемая продукция	Показатели нормирования	Проектная производительность, A_0	P_y	$p_y = \frac{P_y}{A_0}$;
1. Бучанский стекольный завод	3 вида продукции	тыс. усл. штук	98,2 тыс. усл. труб	5,2 тыс. кВт	0,0529 тыс. кВт ч/ тыс. усл. труб
2. Львовская стеклофирма «Радуга»	15 видов	тыс. тонн	0,028 тыс. тонн/сутки	2,42 тыс. кВт	75,7 тыс. кВт ч/ тыс.тонн
3.Константиновский стекольный завод	3 вида продукции	тыс. усл. тонн	1,0209 тыс. усл. штук /сутки	11,1191 тыс. кВт	10,8914 тыс. кВт ч/ тыс. усл. тонн
4. Киевский завод художественного стекла	более 100	тыс. тонн	0,01 тыс. тонн/сутки	1,506 тыс. кВт	150,5 тыс. кВт/ тыс.тонн
5. Керченский стеклотарный завод	6 видов продукции	тыс. тонн	0,215 тыс. тонн/сутки	1,617 тыс. кВт	7,35 тыс. кВт/ тыс.тонн

1. Стандарты:

$$\sigma_\alpha = \sqrt{\frac{1}{n}\Sigma n_h \cdot \alpha_h{}^2 - \overline{\alpha}_h{}^2} = 0{,}1675.;$$

$$\sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum n_i \cdot \left(\frac{\omega}{p_y}\right)_i{}^2 - \left(\frac{\overline{\omega}}{p_y}\right)^2} = 1{,}4060.$$

2. Ковариация (cov):

$$\mu_{II} = \frac{1}{n}\sum n_{h,i} \cdot \alpha_h \cdot \left(\frac{\omega}{p_y}\right)_i - \overline{\alpha} \cdot \left(\frac{\overline{\omega}}{p_y}\right) = -0{,}1932.$$

3. Коэффициент корреляции:

$$r = \frac{\mu_{II}}{\sigma_\alpha \cdot \sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}} = -0{,}82.$$

Коэффициент корреляции оценивается по соотношению:

$$|r|\sqrt{n-1} > 3;$$

$$0{,}82\sqrt{259-1} = 13{,}17 > 3,$$

чем определяется его значимость и реальность существования связи (1).

4. Корреляционное отношение:

$$\eta = \frac{\sigma_{\left(\frac{\overline{\omega}}{p_y}\right)}}{\sigma_{\left(\frac{\omega}{p_y}\right)}} = 0{,}8367.$$

Так как $\eta > r$, то это указывает на наличие нелинейной связи вида (1), но требуется доказать, что это различие существенное (не случайное). Для этого определяем критерий:

$$T_\eta = \frac{(n-S)(\eta^2 - r^2)}{(S-2)(1-\eta^2)} = 3{,}77,$$

где S – число строчек корреляционной таблицы.

По таблице F – распределения [7] при 5% пределе и степеням свободы $K_1 = S - 2 = 8 - 2 = 6$; $K_2 = n - S = 259 - 8 = 251$ находим значение $T_{табл} = 2{,}74$.

Так как $T_{табл} < T_\eta$, то это указывает, что различие между η и r существенное и, следовательно, на наличие нелинейной связи между $\frac{\omega}{p_y}$ и α.

Далее с помощью метода наименьших квадратов [5] выводятся полиномы вида (2) вплоть до десятого порядка относительно переменной $x = \frac{1}{\alpha}$ и $x = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$.

Наименьшую среднеквадратичную погрешность (2,97%) по отношению к опытным данным имеет уравнение шестого порядка относительно переменной $x = \frac{1}{\sqrt{\alpha}}$ (2,97%). Оно и применяется для практического использования с целью нормирования электропотребления.

$$\left(\frac{\omega}{p_y}\right) = -48{,}9 + 83{,}9 \cdot \alpha^{-\frac{1}{2}} - 8{,}56 \cdot \alpha^{-1} - 23{,}4 \cdot \alpha^{-\frac{3}{2}} + 11{,}7 \cdot \alpha^{-\frac{5}{2}} + 8{,}8 \cdot \alpha^{-3}. \quad (6)$$

Умножая обе части уравнения (6) на α получим зависимость коэффициента использования установленной мощности электроприемников от относительной производительности α, т.е.:

$$24Ku = f(\alpha). \quad (7)$$

Умножая обе части уравнения (6) на p_y получим зависимость:

$$\omega = f(\alpha, p_y). \quad (8)$$

Графики, изображающие уравнения (6), (7), (8)представлены на рисунке 1 и рисунке 2.

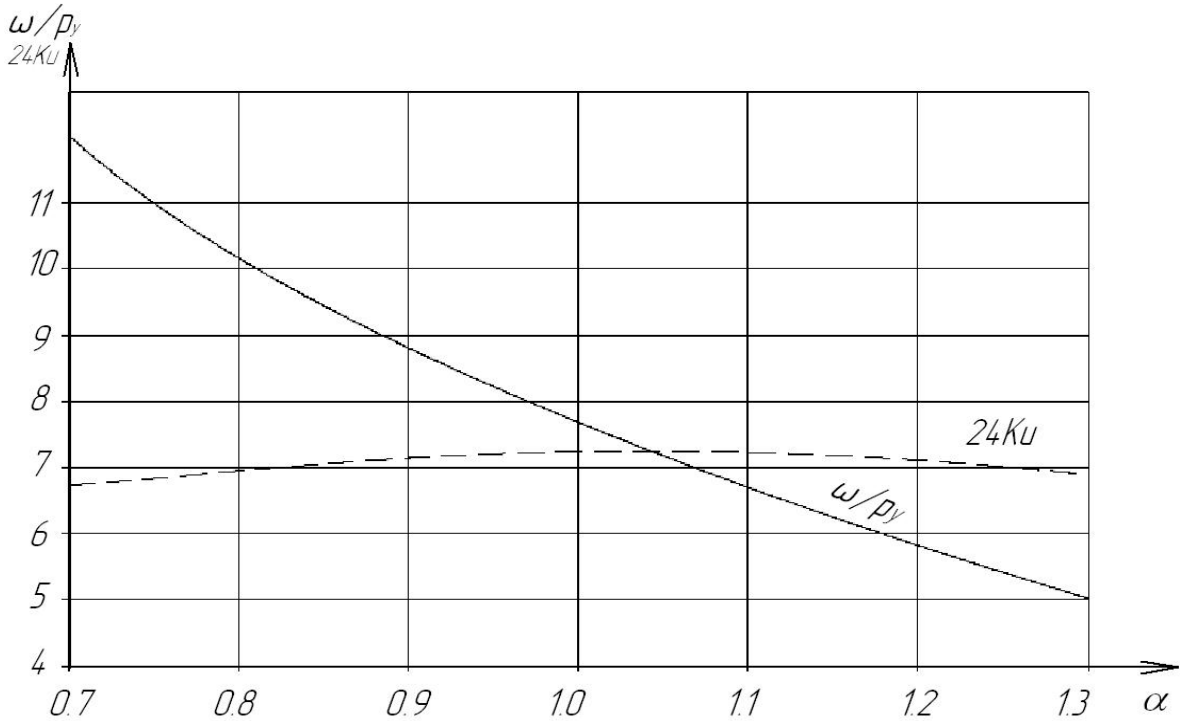


Рисунок 1 – Основная энергетическая характеристика и коэффициент использования установленной мощности группы предприятий

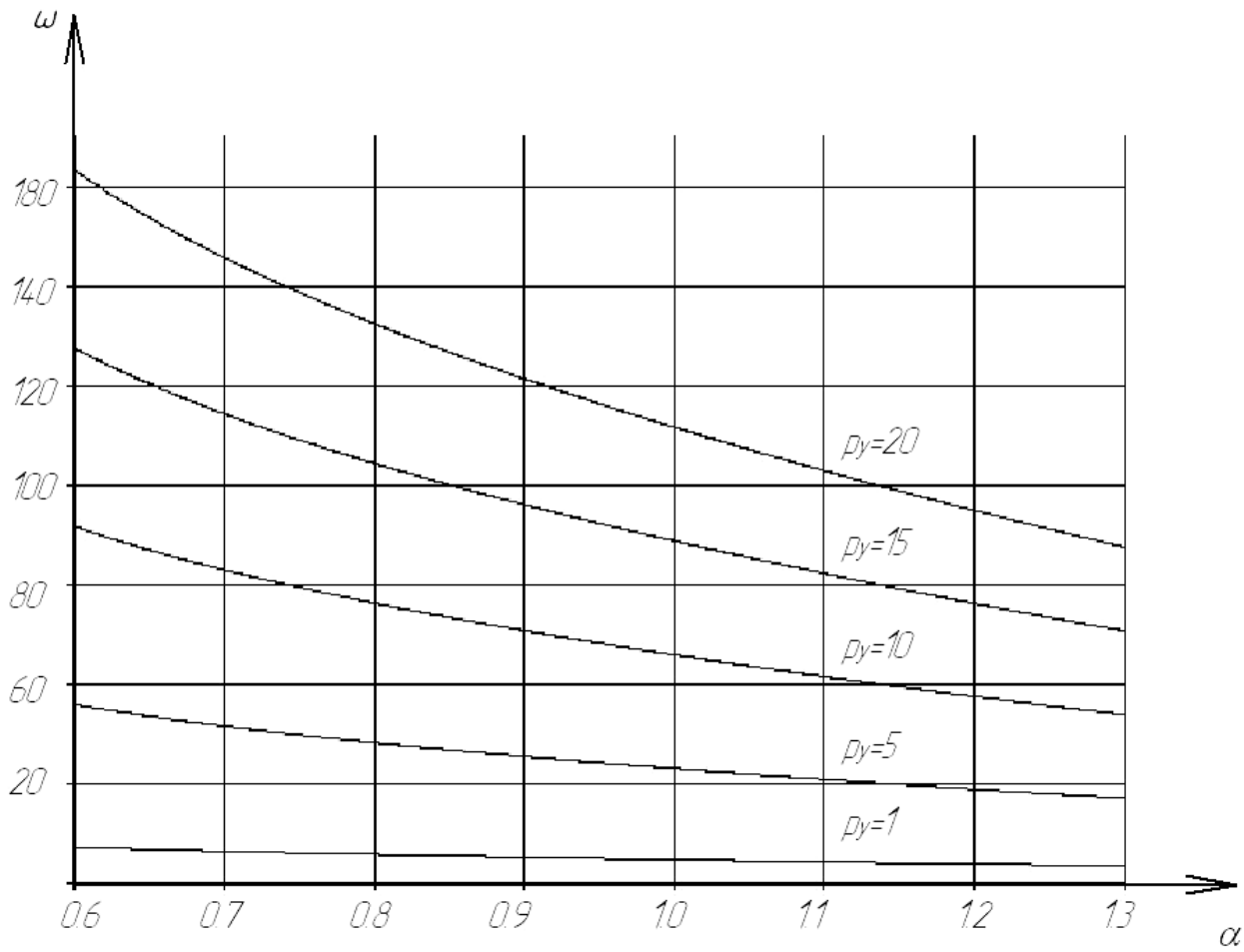


Рисунок 2 – Зависимость удельного расхода электроэнергии от относительной производительности и удельной установленной мощности предприятия

Выводы.

1. Доказаны значимости и реальность существования связи между основными электроэнергетическими показателями предприятий и выпускаемой продукции.
2. Приведение номенклатуры выпускаемой продукции к одной условной натуральной единице дает возможность использовать энергетические характеристики для нормирования общих и удельных расходов электроэнергии предприятий с многономенклатурным производством.
3. Основная энергетическая характеристика, впервые предложенная проф. Авиловым- Карнауховым Б.Н., дает возможность исследовать режимы электропотребления большей группы однородных предприятий и выразить эту зависимость одним полиномом вида (2).
4. Выведенная здесь основная энергетическая характеристика с погрешностью, не превышающей 3%, может быть положена в основу практических расчетов по нормированию электропотребления указанных предприятий, а метод ее вывода использован для дальнейших исследований.
5. Показано, что энергетические характеристики являются некорректными стохастическими связями и предложен метод их решения.

Список литературы

1. Авилов- Карнаухов Б.Н. Электроэнергетические расчеты для угольных шахт. – М.: Недра, 1969.
2. Тихонов А.И., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач.– М.: Наука, 1979.

3. Ю.И. Казанцев, Ю.Б. Рей. Исследование электропотребления и электрических нагрузок в системе электроснабжения Ингульской шахты//Збірник наукових праць КНТУ, випуск 22, 2009.
4. Ю.І. Казанцев. Нормирование электропотребления и экономия электроэнергии в системе электроснабжения Кировоградского ремонтно-механического завода// Збірник наукових праць КНТУ, випуск 19, 2007.
5. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия С.О.А.Н. СССР, № 3, 1970.
6. Соколов Г.А., Гладких И.М. Математическая статистика.- М.: Экзамен, 2007.

Ю.Казанцев, Г.Маклаков, В. Мануйлов

Основна енергетична характеристика групи підприємств з багатономенклатурним виробництвом як некоректний стохастичний звязок

В статті показаний вивод основної енергетичної характеристики групи підприємств з багатономенклатурним виробництвом, який є некоректним стохастичним зв'язком.

Yu. Kazantsev, G. Maklakov, F. Manuilov

The basic energy characteristic of enterprise group with the multiproduct manufacture as a false stochastic connection

The article suggests the conclusion of the basic energy characteristic of enterprise group with the multiproduct manufacture which is a false stochastic connection.

Одержано 20.01.10

УДК 631.365.22+621.317

Т.Ф. Шмельова, доц., канд. техн. наук
Державна льотна академія України
М.О.Калита, ас., І.О.Скриннік, ас., В.О.Шалімов, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Оцінювання висоти дисперсного матеріалу при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушильної установки (ЗСУ) з киплячим шаром

В статті вперше запропоновано методику визначення оцінки зміни висоти киплячого шару дисперсного матеріалу непрямим способом безпосередньо в камері сушіння та проаналізовано вплив співвідношень вихідних сигналів та завади системи вимірювання.
киплячий шар, спостерігач, система спостереження, матриця спектральних щільностей, дисперсія, середньоквадратичне відхилення

Вступ. Одним з перспективних напрямків сушки зернових культур є сушіння в киплячому шарі. Переваги такого методу наведені в [1]. Установка, в основу якої покладено принцип псевдозрідженого стану, зображена на рис 1. Вологий матеріал з бункера завантажування потрапляє безпосередньо в камеру сушіння. Під дією теплоносія, що подається знизу каскадів, дисперсний матеріал спочатку розрихлюється, збільшуючись в об'ємі, а потім набуває рухливості, переміщуючись з каскаду на каскад. Проведені

© Т.Ф. Шмельова, М.О.Калита, І.О.Скриннік, В.О.Шалімов, 2010

3. Ю.И. Казанцев, Ю.Б. Рей. Исследование электропотребления и электрических нагрузок в системе электроснабжения Ингульской шахты//Збірник наукових праць КНТУ, випуск 22, 2009.
4. Ю.І. Казанцев. Нормирование электропотребления и экономия электроэнергии в системе электроснабжения Кировоградского ремонтно-механического завода// Збірник наукових праць КНТУ, випуск 19, 2007.
5. Казанцев Ю.И. Основная энергетическая характеристика промышленных предприятий с массовым выпуском однородной продукции. Известия С.О.А.Н. СССР, № 3, 1970.
6. Соколов Г.А., Гладких И.М. Математическая статистика.- М.: Экзамен, 2007.

Ю.Казанцев, Г.Маклаков, В. Мануйлов

Основна енергетична характеристика групи підприємств з багатономенклатурним виробництвом як некоректний стохастичний звязок

В статті показаний вивод основної енергетичної характеристики групи підприємств з багатономенклатурним виробництвом, який є некоректним стохастичним зв'язком.

Yu. Kazantsev, G. Maklakov, F. Manuilov

The basic energy characteristic of enterprise group with the multiproduct manufacture as a false stochastic connection

The article suggests the conclusion of the basic energy characteristic of enterprise group with the multiproduct manufacture which is a false stochastic connection.

Одержано 20.01.10

УДК 631.365.22+621.317

Т.Ф. Шмельова, доц., канд. техн. наук
Державна льотна академія України
М.О.Калита, ас., І.О.Скриннік, ас., В.О.Шалімов, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Оцінювання висоти дисперсного матеріалу при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушильної установки (ЗСУ) з киплячим шаром

В статті вперше запропоновано методику визначення оцінки зміни висоти киплячого шару дисперсного матеріалу непрямим способом безпосередньо в камері сушіння та проаналізовано вплив співвідношень вихідних сигналів та завади системи вимірювання.
киплячий шар, спостерігач, система спостереження, матриця спектральних щільностей, дисперсія, середньоквадратичне відхилення

Вступ. Одним з перспективних напрямків сушки зернових культур є сушіння в киплячому шарі. Переваги такого методу наведені в [1]. Установка, в основу якої покладено принцип псевдозрідженого стану, зображена на рис 1. Вологий матеріал з бункера завантажування потрапляє безпосередньо в камеру сушіння. Під дією теплоносія, що подається знизу каскадів, дисперсний матеріал спочатку розрихлюється, збільшуючись в об'ємі, а потім набуває рухливості, переміщуючись з каскаду на каскад. Проведені

© Т.Ф. Шмельова, М.О.Калита, І.О.Скриннік, В.О.Шалімов, 2010

дослідження неодноразово підтверджували необхідність створення автоматичної системи стабілізації висоти киплячого шару, що являє собою значну складність, адже в ході експериментів було з'ясовано – ЗСУ відноситься до класу складних взаємопов'язаних динамічних систем з розподіленими параметрами.



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд експериментальної ЗСУ з киплячим шаром

Аналіз літературних джерел показав, що для розробки такої САУ, яка б забезпечувала найкращу якість стабілізації висоти киплячого шару в реальних експлуатаційних умовах, необхідно застосовувати методи динамічного проектування оптимальних систем. Вихідними даними для таких методів є математичні моделі об'єкта керування і збурюючих діянь. Якщо на сьогодні засоби вимірювання вологості в потоці відомі і широко застосовуються на фермерських господарствах, то вимірювання висоти киплячого шару виконується, зазвичай, непрямими методами. Тому постає питання: як синтезувати САУ при неповних вимірюваннях вихідних сигналів об'єкта? Відомий клас подібних об'єктів [2], в яких оцінювання динаміки зміни вихідних координат відбувається при неповних вимірюваннях за рахунок визначеної певним чином системи спостереження.

Постановка задачі. Нехай динаміка зерносушильної установки з киплячим шаром описується системою диференційних рівнянь виду:

$$P \cdot x = M \cdot u + \psi, \tag{1}$$

де x – вектор вихідних координат ЗСУ, компоненти якого V – висота киплячого шару на каскадах та W – вологість матеріалу;

u – вектор управляючих сигналів, компоненти якого Sh – зміна положення шиберу та T – зміна температури теплоносія;

P і M – поліноміальні матриці з наступною структурою:

$$P_s = \begin{bmatrix} \dfrac{a_{11}}{(s+w_2)} & \dfrac{a_{21}}{(s+p_2)} \\ \dfrac{a_{12}}{(s+w_2)} & \dfrac{a_{22}}{(s+p_2)} \end{bmatrix}; \tag{2}$$

$$M_з = \begin{bmatrix} k_1(s+w_1)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{shV}(\Delta)} + k_2(s-\varphi)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{shw}} & m_{12}(s+\varphi)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{Tw}} \\ m_{21}(s+w_1)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{shV}(\Delta)} + k_2(s-\varphi)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{shw}} & m_{22}(s+\varphi)\overset{\circ}{a}^{-s\cdot\tau_{Tw}} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де τ_{shV}, τ_{shw}, τ_{Tw} – запізнення по каналу *Sh –V, Sh – w, T – w* відповідно;

Δ – характеризує місцезнаходження каскаду, *i* – номер каскаду.

ψ – двомірний вектор збурень (початкові вологість і температура матеріалу, його енергія проростання, відсоток домішок), що безпосередньо впливають на вихідні сигнали ЗСУ та їх спектральна щільність виду:

$$S'_{\psi\psi} = \frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\begin{bmatrix} S_{11}^0 & \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}\alpha S_{12}^0 \\ \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}\alpha S_{21}^0 & \frac{\sigma_{22}^2}{\sigma_{11}^2}S_{22}^0 \end{bmatrix} = \frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\begin{bmatrix} S_{11}^0 & \gamma_1\alpha S_{12}^0 \\ \gamma_1\alpha S_{21}^0 & \gamma_1^2 S_{22}^0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $\gamma_1 = \frac{\sigma_{22}}{\sigma_{11}}$ – характеризує співвідношення середньоквадратичного відхилення сигналів вологості та висоти киплячого шару в об'єкті відповідно,

$$S_{11}^0 = \frac{b_{11}\left|(s+\beta_1)(s+\beta_2)(s+\beta_3)\right|^2}{z_1 z_2}, \quad S_{22}^0 = \frac{b_{22}\left|s^2 - 2d_1\varphi s + \varphi^2\right|^2}{z_1};$$

$$S_{12}^0 = \frac{b_{12}(s+k_1)(s-k_2)(s^2 - 2d_3k_3s + k_3^2)(s^2 - 2d_4k_4s + k_4^2)}{z_1 z_2};$$

$$S_{21}^0 = \frac{b_{12}(s-k_1)(s+k_2)(s^2 + 2d_3k_3s + k_3^2)(s^2 + 2d_4k_4s + k_4^2)}{z_1 z_2};$$

$$z_1 = \left|(s^2 + 0.108s + 0.0081)\right|^2 \text{ і } z_2 = \left|(s+0.05)\right|^2.$$

Будемо вважати, що одним з доступних для вимірювання вихідних сигналів ЗСУ є лише кінцева вологість **W** матеріалу, а його висота **V** по кожному з каскадів не може бути виміряна безпосередньо.

Припустимо, що в якості вимірювача вологості обрано дієлькометричний датчик з відомими паспортними даними [3], згідно яких його передаточна функція має наступний вигляд:

$$K_W = \frac{0.5}{(8s+1)}, \quad (5)$$

тоді сама система вимірювання описуватиметься матрицею передаточних функцій виду:

$$K = \begin{bmatrix} 0 & K_W \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де перший елемент дорівнює нулю, адже вимірювання висоти не виконується.

Спектральну щільність $\boldsymbol{S_{\varphi\varphi}}$ завади **φ**, що виникає на виході вологоміру-датчика**,** виразимо так:

$$S_{\varphi\varphi} = \frac{1.5^2}{3\pi} = \left(\frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\right)^{-1} S_{\varphi\varphi 1} = \gamma_2 S_{\varphi\varphi}^0, \qquad (7)$$

де $\left(\frac{\sigma_{11}^2}{\pi}\right)$ – загальний коефіцієнт нормування матриці $S'_{\psi\psi}$;

$\gamma_2 = \frac{\sigma_\varphi^2}{\sigma_{11}^2}$ – коефіцієнт, що характеризує співвідношення дисперсій завади датчика вологості та вихідного сигналу ЗСУ – висоти киплячого шару.

Складемо структурну схему розімкнутої системи автоматичного регулювання процесом сушіння в зерносушарці з киплячим шаром (рис 2).

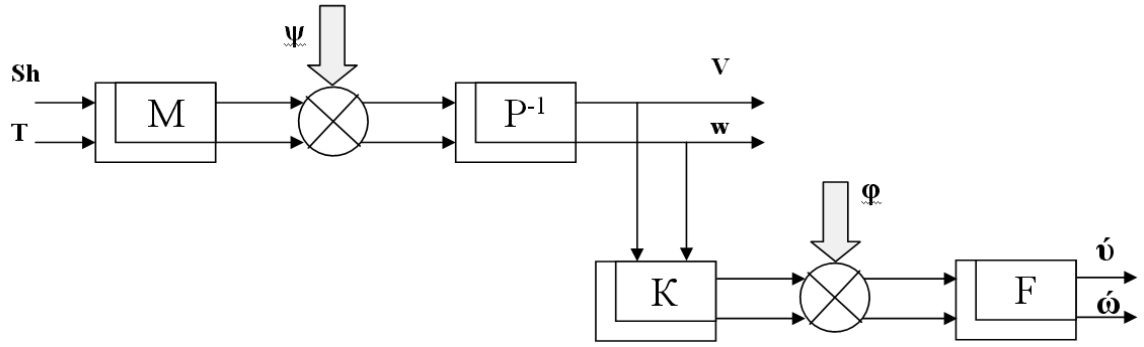


Рисунок 2 – Структурна схема системи оцінювання динаміки об'єкта при неповному вимірюванні вихідних сигналів

Задача. Тоді потрібно визначити структуру і параметри спостерігача ***F*** такого, який би, вимірюючи лише вологість **w** на виході об'єкта (рис 2), давав би оцінку висоти киплячого шару ***ύ*** та вологості ***ώ*** по кожному каскаду з мінімальною середньоквадратичною похибкою. А також проаналізувати та дослідити вплив зміни співвідношення завада-вихідний сигнал, що характеризується коефіцієнтом γ_2, та співвідношення вихідних сигналів (γ_1) на якість оцінювання системою спостереження.

Розв'язання. Для розв'язання поставленої задачі застосуємо метод оцінювання, наведений в [7].

Згідно нього матриця передаточних функцій спостерігача F, яка задовольняє умовам задачі, визначається як:

$$F = -G(T_0 + T_+)D^{-1}, \qquad (8)$$

де G – стійка частина результату факторизації матриці вагових коефіцієнтів R, така що $G \cdot G_* = R$;

* – символ ермітового спряження;

D – стійка частина результату факторизації [6] виразу $D \cdot D_* = S'_{\psi 0 \psi 0}$,

де $S'_{\psi 0 \psi 0} = K \cdot P^{-1} \cdot S'_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} \cdot K_* + S'_{\varphi\varphi}$,

$T_0 + T_+$ – стійка частина результату сепарації [7] виразу, така що

$T = T_0 + T_+ + T_- = G(-P^{-1} S'_{\psi 0 \psi}) D_*^{-1}$,

де $S'_{\psi 0 \psi} = S'_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} \cdot K_*$.

Після поетапного застосування приведеного алгоритму (8) до вихідних даних (2) – (7) отримана математична модель спостерігача ***F***,

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} \\ F_{21} \end{bmatrix} = \frac{1}{(s+g)} \begin{bmatrix} \dfrac{-\alpha_{11}(s+0,01)}{(s+w_2)} \\ \alpha_{21} \end{bmatrix}, \tag{9}$$

структура якої є загальною для усіх каскадів але зі змінними параметрами, що зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів математичної моделі спостерігача F

	1 каскад	**2 каскад**	**3каскад**	**4 каскад**	**5каскад**	**6 каскад**	**7 каскад**
$\boldsymbol{a_{11}}$	0.022	0.039	0.0285	0.0179	0.0121	0.0085	0.0063
$\boldsymbol{a_{21}}$	0.0123	0.032	0.031	0.0273	0.0243	0.0221	0.0167
$\boldsymbol{g}$	0.01567	0.025	0.02703	0.02539	0.0253	0.02385	0.2032
$\boldsymbol{w_2}$	0.022	0.015	0.018	0.020	0.022	0.025	0.026

Визначення міри якості оцінювання, що досягається за рахунок застосування відшуканого оптимального спостерігача (9), проведемо за допомогою функціонала виду:

$$e_o = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} tr[S_{ee}(s)]ds, \tag{10}$$

де tr – слід матриці;

$S_{ee}(s)$ – матриця спектральних щільностей погрішностей оцінювання компонентів вектора $x = \begin{bmatrix} \mathrm{v}' \\ \mathrm{w}' \end{bmatrix}$, яка у відповідності з [5] визначається співвідношенням

$$S_{ee} = (F \cdot K - E_{2x2}) P^{-1} S_{\psi\psi} \cdot P_*^{-1} (F \cdot K - E_{2x2})_* + F \cdot S_{\varphi\varphi} F_* \tag{11}$$

і має наступну структуру:

$$S_{ee} = \begin{bmatrix} S_{ee(1.1)} & S_{ee(1.2)} \\ S_{ee(2.1)} & S_{ee(2.2)} \end{bmatrix},$$

де елемент $S_{ee(1.1)}$ характеризує спектральну щільність погрішності оцінювання висоти дисперсного матеріалу на відповідному каскаді, а $S_{ee(2.2)}$ – оцінювання вологості.

В такому разі, як відомо з [7], дисперсії похибок оцінювання висоти D_V дисперсного матеріалу та вологості D_W можуть бути визначені з виразів:

$$D_{v'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{ee(1.1)}(s)ds; \tag{12}$$

$$D_{W'} = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} See_{(2.2)}(s)ds. \tag{13}$$

В результаті виконання (10) – (13), визначено дисперсії D_V, D_W похибок оцінювання висоти ***ύ*** і вологості ***ώ*** матеріалу по кожному з семи каскадів. Чисельні значення дисперсій занесені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення похибки (дисперсії) оцінювання спостерігачем ***F***

спостерігач	сигнал	1 каскад	2 каскад	3 каскад	4 каскад	5 каскад	6 каскад	7 каскад
F	***ύ***	0,37	0,25	0,11	0,084	0,032	0,01	0,0065
	ώ	1,03	0,84	0,501	0,105	0,055	0,048	0,0377

Як видно з таблиці 2, найменшою похибкою оцінювання як по вологості, так і по висоті володіє система спостереження, розрахована для сьомого каскаду. Це можна пояснити тим, що проточний вологомір встановлений на виході з ЗСУ, тобто в безпосередній близькості до нижнього (сьомого) каскаду. Тому і розбіжність виміряного від реального результату мінімальна.

Проваріюємо вищезгаданими коефіцієнтами γ_1 та γ_2 саме для тієї структури спостерігача, що відповідає сьомому каскаду, в діапазоні γ_1=0,7…0,81745 (що характеризує зміну початкової вологості в межах 20…17,5%, а висоту киплячого шару в області 0,16 см) та γ_2=0,231…2,08 (обрано широкий діапазон для більшої наочності зміни погрішності вимірювальної системи та висоти киплячого шару з середнім значенням 0,16 см). В результаті чого отримано структури систем спостереження ідентичні до виразу (8). Значення коефіцієнтів цих структур зведено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Коефіцієнти елементів спостерігача F при змінних γ_1 та γ_2

при α=0,58 w_2=0,026	**γ_2=0,231**	**γ_2=1,0**	**γ_2=2,08**
γ_1=0,7153	a_{11}=0,0035 a_{21}=0,0095 g=0,01584	a_{11}=0,00091 a_{21}=0,0026102 g=0,01156	a_{11}=0,00045 a_{21}=0,0013 g=0,00984
γ_1=0,81745	a_{11}=0,0040 a_{21}=0,011 g=0,01682	a_{11}=0,001056 a_{21}=0,0305 g=0,0185	a_{11}=0,00052 a_{21}=0,001532 g=0,01092

Застосувавши (10) – (13) до отриманих структур систем спостережень здобуто оцінки (дисперсії) по вологості D_W і по висоті D_V для різних γ_1 та γ_2 (табл. 4).

Таблиця 4 – Зміна дисперсій оцінювання висоти D_V і вологості D_W на сьомому каскаді при варіюванні коефіцієнтами γ_1 та γ_2

γ_1	**γ_2**	**0,231**	**0,5**	**0,75**	**1,0**	**1,25**	**1,50**	**1,75**	**2,08**
0,7	D_V	0.0062	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063	0.0063
	D_W	0.0347	0.0360	0.0364	0.0366	0.0366	0.0367	0.0367	0.0367
0,7153	D_V	0.0064	0.0064	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	*0.0065*
	D_W	0.0356	0.0370	0.0374	0.0375	0.0376	0.0377	0.0377	*0.0377*
0,75	D_V	0.0067	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068
	D_W	0.0376	0.0392	0.0396	0.0398	0.0399	0.040	0.040	0.040
0,8	D_V	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073
	D_W	0.0407	0.0425	0.0430	0.0432	0.0433	0.00434	0.0435	0.0435
0,81745	D_V	0.0074	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	0.0075
	D_W	0.0418	0.0437	0.0442	0.0445	0.0446	0.0447	0.0447	0.0448

Виконаємо побудову поверхонь на основі даних таблиці 4.

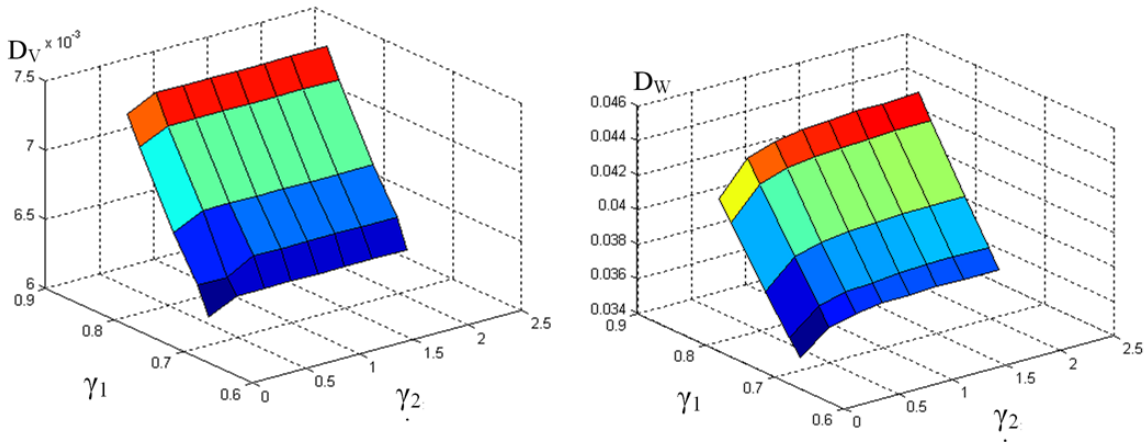


Рисунок 3 – Поверхні, що характеризують оцінювання системою спостереження дисперсій вихідних сигналів ЗСУ при зміні коефіцієнтів γ_1 та γ_2

Аналіз отриманих залежностей показав, що ні зміна співвідношення похибка-висота, ні відношення самих вихідних сигналів не призводить до суттєвого впливу на оцінку системою спостереження вихідних координат ЗСУ.

Висновок. В даній роботі знайдена структура і параметри оптимальної системи спостереження, яка за даними датчика вологості дає найкращий результат оцінювання вихідних сигналів ЗСУ. Аналіз отриманих даних показав, що мінімальною дисперсією похибки оцінювання володіє система спостереження, розрахована для сьомого каскаду. Змінюючи співвідношення вихідних сигналів та завада-сигнал було виявлено, що точність оцінювання (середньоквадратичне відхилення) складає по висоті 0,08см, а по вологості 0,19%

Список літератури

1. С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік. Зерносушильна установка з киплячим шаром як об´єкт автоматизації //Збірник наукових праць КНТУ/ Вип. 17.– Кіровоград: КНТУ, 2006.– 388 с.
2. С.І. Осадчий, М.О. Калита, І.О. Скриннік. Визначення структури і параметрів математичної моделі зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах // Збірник наукових праць КНТУ/ Вип..27.– Кіровоград: КНТУ, 2008.– 345 с.
3. http://www.tis.md/catalog/irvz.html
4. С.І. Осадчий, М.О. Скриннік, І.О. Скриннік. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах //Вісник Хмельницького національного університету – 2007.– №3, т. 1.–С. 38-41.
5. M.C. Davis, Factoring the spectral matrix, IEEE Trans. Automat. Control 8 (1963).
6. Алиев Ф.А., Науменко К.И., Ларин В.Б., Сунцев В.Н. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления. – К.: Наукова думка, 1978. – 309 с
7. В.Н. Азарсков и др. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации, монография. К.: НАУ, 2006, С. 438.
8. Блохін Л.М. Бурiченко М.Ю. Статистична динаміка систем управління. – К.: Видавництво НАУ, 2003. – 209 с.

Т. Шмелева, М. Калита , И. Скрынник, В.Шалимов

Оценка висоты дисперсного материала при неполных измерениях выходных сигналов зерносушильной установки (ЗСУ) с кипящим слоем

В статье впервые предложена методика определения оценки изменения высоты кипящего слоя дисперсного материала непрямым способом непосредственно в камере сушения и проанализировано влияние соотношений выходных сигналов и помехи системы измерения.

T. Shmelyva, M. Kalita, I. Skrynnik, V. Shalimov

Estimation of Higher of dispersible material at the incomplete measurings of output signals of the grain setting with a boiling layer

In the article the method of determination of estimation of height of boiling layer of dispersible material is first offered by an indirect method in a drying chamber. Having connection of height of boiling layer on all of cascades between itself, it is possible to get the estimation of height material on each of cascades at any moment to time.

Одержано 20.04.10

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.О. Карчевська, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами

У статті приведені результати дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами. Встановлено, що взаємодія торців первинних перетворювачів і куль є випадковим процесом. Знайдена імовірність попадання кулі в торець перетворювача, що пропорціональна відношенню куба діаметра торця перетворювача до квадрата діаметра кулі. Її ще наближено можна подати як відношення числа попадань до числа випробувань. Оцінка цієї імовірності у даних умовах показала, що надійній імовірності 0,997 відповідає інтервал 0,00021…0,00135, який, наприклад при 10000 випробувань, гарантує не менше 2 і не більше 13 попадань кулі у торець перетворювача. Певне число випробувань визначається кількістю обертів барабана млина або часом його роботи. Встановлено, що за 240 с число попадань кулі в торець основного перетворювача буде дорівнювати п'яти. За інтервал часу 960 с гарантовано відбудеться одне попадання кулі в додатковий перетворювач. Такі тимчасові інтервали цілком задовольняють практику.

основний, додатковий первинний перетворювач, торець, кулі, взаємодія, кульовий млин, завантаження, випадковий процес, імовірність попадання

Подрібнення руд класів 0…25 мм перед збагаченням здійснюють в кульових млинах, які є організаційно-технічними об'єктами з великою енергоємністю, витратами молольних тіл і футерівки. У даний час відсутні достатньо ефективні засоби ідентифікації завантаження цих організаційно-технічних об'єктів рудою, що примушує їх експлуатувати в режимі недовантаження і нести значні збитки, які полягають у перевитрачанні електричної енергії, куль і футерівки з одночасним недоотриманням значної кількості готового продукту. За таких умов не здійснюється передбачений законодавством України напрям реалізації ресурсозберігаючих технологій в промисловості. Тому тема статті, присвяченої ідентифікації завантаження кульового млина рудою, є актуальною. Матеріали даної статті являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих в процесі виконання науково-дослідної роботи «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (державний реєстраційний номер 0109U007939).

Розв'язанням задачі завантаження кульових млинів з циркулюючим навантаженням рудою тривалий час займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені та практики. В Україні в різні роки дану задачу розв'язують А.Г. Астахов, М.В. Федорівський, В.О. Бунько, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, А.С. Давидкович та ін. Найбільш широке

© В.О. Кондратець, М.О. Карчевська, 2010

Estimation of Higher of dispersible material at the incomplete measurings of output signals of the grain setting with a boiling layer

In the article the method of determination of estimation of height of boiling layer of dispersible material is first offered by an indirect method in a drying chamber. Having connection of height of boiling layer on all of cascades between itself, it is possible to get the estimation of height material on each of cascades at any moment to time.

Одержано 20.04.10

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, М.О. Карчевська, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичне дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами

У статті приведені результати дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами. Встановлено, що взаємодія торців первинних перетворювачів і куль є випадковим процесом. Знайдена імовірність попадання кулі в торець перетворювача, що пропорціональна відношенню куба діаметра торця перетворювача до квадрата діаметра кулі. Її ще наближено можна подати як відношення числа попадань до числа випробувань. Оцінка цієї імовірності у даних умовах показала, що надійній імовірності 0,997 відповідає інтервал 0,00021…0,00135, який, наприклад при 10000 випробувань, гарантує не менше 2 і не більше 13 попадань кулі у торець перетворювача. Певне число випробувань визначається кількістю обертів барабана млина або часом його роботи. Встановлено, що за 240 с число попадань кулі в торець основного перетворювача буде дорівнювати п'яти. За інтервал часу 960 с гарантовано відбудеться одне попадання кулі в додатковий перетворювач. Такі тимчасові інтервали цілком задовольняють практику.

основний, додатковий первинний перетворювач, торець, кулі, взаємодія, кульовий млин, завантаження, випадковий процес, імовірність попадання

Подрібнення руд класів 0…25 мм перед збагаченням здійснюють в кульових млинах, які є організаційно-технічними об'єктами з великою енергоємністю, витратами молольних тіл і футерівки. У даний час відсутні достатньо ефективні засоби ідентифікації завантаження цих організаційно-технічних об'єктів рудою, що примушує їх експлуатувати в режимі недовантаження і нести значні збитки, які полягають у перевитрачанні електричної енергії, куль і футерівки з одночасним недоотриманням значної кількості готового продукту. За таких умов не здійснюється передбачений законодавством України напрям реалізації ресурсозберігаючих технологій в промисловості. Тому тема статті, присвяченої ідентифікації завантаження кульового млина рудою, є актуальною. Матеріали даної статті являють собою частину результатів наукових досліджень, отриманих в процесі виконання науково-дослідної роботи «Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди» (державний реєстраційний номер 0109U007939).

Розв'язанням задачі завантаження кульових млинів з циркулюючим навантаженням рудою тривалий час займаються як вітчизняні, так і зарубіжні вчені та практики. В Україні в різні роки дану задачу розв'язують А.Г. Астахов, М.В. Федорівський, В.О. Бунько, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, А.С. Давидкович та ін. Найбільш широке

© В.О. Кондратець, М.О. Карчевська, 2010

розповсюдження отримали звукометричні засоби контролю завантаження кульових млинів рудою, однак технологічний параметр вони визначають недостатньо точно. На ці та інші засоби сильний вплив здійснюють молольні тіла, пульпа, що знаходиться в барабані, стан самого барабана та інші фактори. Тому в роботі [1] сказано, що дану проблему необхідно розв'язувати в напрямку пошуку та обґрунтування засобів автоматичного контролю параметрів, які безпосередньо характеризують енергетичну ефективність процесу руйнування матеріалу в барабані млина. Такий підхід ідентифікації завантаження кульового млина запропоновано в [2], однак взаємодію первинного перетворювача з кулями ніхто не вивчав.

Метою даної роботи є дослідження взаємодії первинних перетворювачів стержневого типу з молольними тілами в умовах визначення завантаження кульового млина рудою.

Система ідентифікації завантаження кульового млина рудою містить два стержневих перетворювача, що встановлюються поряд радіально, проходячи через отвір у футерівці. Хвостовики первинних перетворювачів виходять за поверхню барабана млина, де знімається корисна інформація. При наявності шматків крупної руди частина енергії падаючої кулі витрачається на їх руйнування і сигнал помітно ослабляється. Ослаблення сигналу визначається об'ємом крупних шматків руди на торці первинного перетворювача. Система ідентифікації завантаження кульового млина рудою містить два стержневих перетворювача – основний з більшим і додатковий з меншим діаметром робочої частини стержня. Вимірювання відбудеться лише за умови попадання падаючої кулі в торець стержневого перетворювача.

Взаємодія торця стержневого перетворювача з кулями при обертанні барабана кульового млина являє собою випадковий процес. Швидкість обертання барабана млина дорівнює [3]

$$n = \psi n_{кр} = \psi \frac{42{,}3}{\sqrt{D}}, \text{ об/хв} \qquad (1)$$

де $n_{кр}$ - критична швидкість обертання барабана, що залежить від внутрішнього діаметра D барабана і дорівнює $42{,}3/\sqrt{D}$.

При рівномірному розташуванні куль по перерізу барабана в точці відриву молольних тіл від футерівки на параболічну траєкторію переводиться наступна кількість куль в одиницю часу

$$n_{уж} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{D}{d_к}, \text{ куль/с.} \qquad (2)$$

У промислових умовах кульові млини працюють при значенні ψ = 0,7…0,8, що відповідає трифазовому руху зовнішнього шару куль [4]. Зважаючи на те, що при трифазовому контурі зовнішнього шару молольного навантаження тривалість циклу його руху не змінюється [5], по закінченню попереднього і початку нового циклу по довжині кола поперечного перерізу при обертанні барабана кулі розташовуються в порядку їх надходження на кінцевій ділянці траєкторії.

Торець стержневого перетворювача центральною частиною встановлюється в певному середньому поперечному перерізі барабана кульового млина. Кулі по траєкторіям руху розташовуються довільно, але зміщуватися вільно вони не можуть, зважаючи на щільне розташування сусідніх молольних тіл. При обертанні барабана кулі «бомбардують» футерівку в нижній зоні. За таких умов координати ударів куль по виділеній зоні відповідають закону рівномірної щільності [6], якщо розглядати відхилення вздовж барабана млина l. Аналіз показує, що відхилення можуть здійснюватися в межах діаметра кулі $d_к$, а

зона торця стержньового перетворювача буде обмежена його діаметром $d_П$ (рис. 1). Імовірність попадання кулі, координати якої розподілені по закону рівномірної щільності, на ділянку торця перетворювача, що є частиною загальної ділянки, являє собою площу, заштриховану на рис. 1. Дана імовірність дорівнює [6]

$$P_T = \frac{d_П}{d_к}. \tag{3}$$

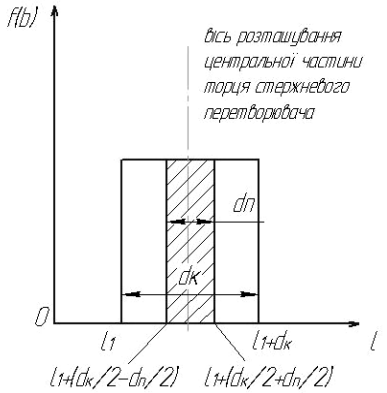


Рисунок 1 - Ділянка з розподілом по закону рівномірної щільності з виділеною в ній ділянкою торця перетворювача

Імовірність P_T можна подати через кульові потоки як

$$P_T = \frac{n_{ukm}}{n_{uk}}, \tag{4}$$

де n_{ukm} - продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача.

З рівнянь (2), (3) і (4) визначимо продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача

$$n_{ukm} = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{d_П D}{d_к^2}. \tag{5}$$

Кулі, що «бомбардують» зону торця стержневого перетворювача, будуть наносити удари через певну відстань одна від одної по дузі кола барабана. Математичне сподівання відстані між точками нанесення ударів кулями можна визначити як відношення $m_S = \upsilon_Л / n_{ukm}$, де $\upsilon_Л$ - лінійна швидкість руху точок футерівки при обертанні барабана. Її можна визначити

$$\upsilon_Л = \pi n D = \frac{\pi n}{60} D, \text{ м/с}. \tag{6}$$

З врахуванням (5) і (6) математичне сподівання відстані між точками нанесення ударів кулями буде дорівнювати

$$m_S = \frac{d_к^2}{d_П}. \tag{7}$$

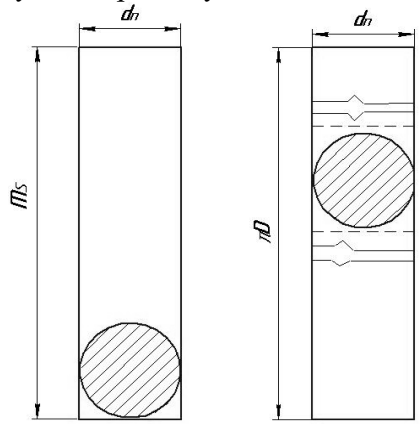
Всі ці кулі будуть діяти по ширині простору, що охоплює торець стержневого перетворювача. Кожну ділянку (рис. 2, а) по довжині кола перерізу барабана (рис. 2, б) можна подати як таку, що складається з прямокутника довжиною m_S, шириною d_n і розміщеним в ньому кругом торця стержневого перетворювача (рис. 2). Ця область зображена умовно, оскільки перетворювач реально існує тільки на одній такій ділянці (рис. 2, б). Однак таке подання є справедливим, зважаючи на те, що в мить проходження перетворювача в зоні, де кулі рухаються по прямій буде виникати саме така взаємодія системи «торець перетворювача – куля». У даному випадку імовірність удару кулі по торцю перетворювача можна визначити як відношення мір [7]. Імовірність попадання кулі в торець перетворювача дорівнює відношенню площ торця до всієї області, тобто

$$P_{ПТ1} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_П}{m_S}. \qquad (8)$$

З врахуванням (7) вираз (8) подамо у вигляді

$$P_{ПТ1} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_П^{\,2}}{d_к^{\,2}}. \qquad (9)$$

При надходженні перетворювача в зону дії куль, що рухаються по похилій прямій до футерівки, імовірність попадання кулі в торець буде визначатися виразом (9).



а) б

а – елементарна область; б – повна область

Рисунок 2 - Умовне подання області футерівки, що «бомбардується» кулями при обертанні барабана на ділянці встановлення перетворювача

Для забезпечення зіткнення кулі з перетворювачем необхідно, щоб останній опинився в зоні кульового млина, де молольні тіла зовнішнього шару рухаються по нахиленій прямій до футерівки. Імовірність появи перетворювача в зоні дії куль визначимо аналогічно [7] як відношення площі торця перетворювача до всієї площі футерівки, зв'язаної по кільцю барабана з чутливим елементом (рис. 2, б)

$$P_{ПП} = 0{,}25 \cdot \frac{d_П}{D}. \qquad (10)$$

Поява перетворювача в зоні дії куль і попадання кулі в його торець є незалежними подіями. В той же час обидві вони визначають можливість зіткнення кулі і перетворювача.

Оскільки ці події незалежні, то імовірність попадання кулі в торець перетворювача визначиться добутком знайдених імовірностей [8]

$$P_{ПТ} = P_{ПТ1} \cdot P_{ПП} = \frac{\pi}{16D} \cdot \frac{d_П^{\ 3}}{d_к^{\ 2}}. \qquad (11)$$

Аналіз залежності (11) показує, що імовірність $P_{ПТ}$ достатньо мала за величиною. Її ще можна наближено виразити як відношення кількості попадань кулі в торець перетворювача $N_П$ до числа випробувань N_n, тобто

$$P_{ПТН} = N_П / N_n . \qquad (12)$$

Число випробувань у даному випадку можна виразити як

$$N_n = n_{ожТ} \cdot T = \frac{\pi n}{60} \cdot \frac{d_П D}{d_к^2} T , \qquad (13)$$

де T – довільний відрізок часу.

З врахуванням (13) вираз (12) можливо подати у вигляді

$$P_{ПТН} = \frac{N_П}{\pi n d_П DT / 60 d_к^2} . \qquad (14)$$

Імовірність випадкової події є число, що об'єктивно характеризує можливість її появи при даному комплексі умов. Це стосується виразу (11), оскільки він теоретично об'єктивно отриманий. Стосовно виразу (12) цього сказати не можливо, враховуючи те, що він являє собою відносну частоту даної події з розподілом імовірностей, центром якого є імовірність $P_{ПТ}$ (11). З теорії імовірностей відомо, що у випадку N_n – кратного повторення випробування, якщо випадкова подія відбувалася $N_П$ разів, то відношення $N_П / N_n$ буде частинним, дослідним значенням відносної частоти. При достатньо великому N_n можливо бути практично впевненим у виконанні наближеної рівності

$$N_П / N_n \approx P_{ПТ} \qquad (15)$$

з будь-якою наперед заданою точністю [8]. На практиці це проявляється в тому, що значення $N_П / N_n$ відносної частоти володіє стійкістю. При конкретних значеннях N_n точність наближеної рівності (15) потребує оцінки [8].

Знайдемо оцінку дослідної імовірності $P_{ПТН}$. Оскільки центром розподілу імовірності попадання кулі в торець перетворювача є число $P_{ПТ}$ (11), будемо його рахувати за експериментально знайдене значення. Визначимо за (11) значення $P_{ПТ}$ для умов кульового млина з D = 4,0 м, $d_к$ = 50 мм, $d_П = 0{,}6d_к = 30$ мм. Воно буде дорівнювати $P_{ПТ}$ = 0,0003. Будемо визначати надійні межі з рівнем імовірності, що дорівнює P = 0,997. Для P = 0,997 параметр $t_{0,997}$ = 3 [9]. Для визначення надійних інтервалів невідомої імовірності застосуємо найбільш розповсюджений підхід, викладений в [9]. Він забезпечує задовільні результати при $N_n P_{ПТ} q > 9$, де $q = 1 - P_{ПТ}$. Даній умові задовольняє випадок при N_n = 18000, коли $N_n P_{ПТ} q = 9{,}54$.

У даному методі межові імовірності мають значення [9]

$$P_1\left(P_{ПТН}, N_n\right) = \frac{2N_n P_{ПТН} + t_p^2 - t_p\sqrt{D}}{2\left(N_n + t_p^2\right)}; \tag{16}$$

$$P_2\left(P_{ПТН}, N_n\right) = \frac{2N_n P_{ПТН} + t_p^2 + t_p\sqrt{D}}{2\left(N_n + t_p^2\right)}, \tag{17}$$

де $D = 4N_n P_{ПТН}\left(1 - P_{ПТН}\right) + t_p^2$.

При прийнятій кількості випробувань D = 47,14, а $P_1\left(P_{ПТН}, N_n\right)$ = 0,00021, $P_2\left(P_{ПТН}, N_n\right)$ = 0,00135.

Отже, надійній імовірності P = 0,997 у даному випадку відповідає інтервал $0{,}00021 < P_{ПТН} < 0{,}00135$.

Знайдений надійний інтервал показує, що з 10000 випробувань буде не менше 2 і не більше 13 попадань кулі у торець перетворювача. Виходячи з того, що імовірність $P_{ПТ}$ знайдена теоретично точно, слід рахувати, що це не її оцінка і можливо визначити вираз для знаходження кількості попадань кулі у торець перетворювача. З врахуванням рівності (11) і (13), (15) число попадань буде дорівнювати

$$N_n = \frac{\pi^2 n}{960} \cdot \frac{{d_П}^4}{d_к^4} T, \tag{18}$$

де n – швидкість обертання барабана млина, об/хв.;

T – довільний інтервал часу, с.

У рівнянні (18) довільний інтервал часу T необхідно приймати таким, щоб забезпечувалась достатньо велика кількість випробувань. Його можна встановити з наступних міркувань. При 16,5 об/хв барабана кульового млина з D = 4 м, $d_П$ = *30* мм, $d_к$ = *50* мм продуктивність кульового потоку, що діє в зоні торця стержневого перетворювача, $n_{ukm} = 41{,}448$ куль/с. Число випробувань можливо взяти наближено 10000. Тоді тимчасовий інтервал можна прийняти T = 240 с. За цей час барабан здійснить 66 обертів, а число попадань кулі в торець стержневого перетворювача буде дорівнювати $N_П$ = 5. Такий тимчасовий інтервал можливо прийняти для обробки сигналів перетворювача, оскільки агрегат інерційний і за 4 хвилини в ньому не може відбутися суттєвих змін.

Рівняння (18) також дозволяє знайти тимчасовий інтервал для обробки сигналів додаткового стержневого перетворювача. При діаметрі додаткового стержневого перетворювача $d_П$ = 15 мм і прийнятих останніх параметрах за 960 с (16 хв) гарантовано відбудеться одне попадання кулі в його торець. Оскільки цей сигнал несе інформацію лише про умови роботи куль у млині, такий тимчасовий інтервал цілком задовольняє практику. Дані сигнали можливо осереднювати і за більш тривалий відрізок часу зважаючи на те, що режим у кульовому млині швидко не змінюється.

Таким чином, враховуючи інерційність технологічного агрегату і неможливість суттєвих змін його стану за достатньо тривалий час, сигнали основного і додаткового перетворювачів слід фіксувати в тимчасових проміжках 240 і 960 с.

На підставі проведених теоретичних досліджень відкривається перспектива розробки системи зчитування показань з датчиків завантаження кульового млина рудою з наступним керуванням режиму роботи технологічного агрегату.

Список літератури

1. Измельчение. Энергетика и технология: учебн. пособ. для вузов/[Г.Г. Пивняк, Л.А. Вайсберг, В.И.Кириченко и др.]/ - М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2007. – 296 с.
2. Пат. на корисну модель 45414 Україна, МПК B 02 C 25/00. Спосіб ідентифікації завантаження кульового млина рудою /Кондратець В.О., Карчевська М.О.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №u200905505; заявл. 01.06.09; опубл. 10.11.09, Бюл. №21.
3. Андреев С.Е. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых / Андреев С.Е., Зверевич В.В., Перов В.А. – М.: Недра, 1966. – 396 с.
4. Маляров П.В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки: [монография] / Маляров П.В. – Ростов-на-Дону: ООО «Ростиздат», 2004. – 320 с.
5. Шинкоренко С.Ф. Гидромеханика рабочей среды шаровых мельниц мокрого измельчения / С.Ф. Шинкоренко // Горный журнал. – 2002. – №7. – С.19 – 24.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей /Вентцель Е.С. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1969. – 576 с.
7. Каневский З.М. Вероятностные задачи в радиотехнике / Каневский З.М. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 174 с. (Библиотека по радиоэлектронике. Вып. 3).
8. Румшиский Л.З. Элементы теории вероятностей. Избранные главы высшей математики для инженеров и студентов втузов / Румшиский Л.З. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1966. – 156 с.
9. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений/Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – М.:Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1969.–512 с.

В. Кондратец, М. Карчевская

Теоретическое исследование взаимодействия первичных преобразователей загрузки шаровой мельницы рудой с мелющими телами

В статье приведены результаты исследования взаимодействия первичных преобразователей загрузки шаровой мельницы рудой с мелющими телами. Установлено, что взаимодействие торцов первичных преобразователей и шаров является случайным процессом. Найдена вероятность попадания шара в торец преобразователя, которая пропорциональна отношению куба диаметра торца преобразователя до квадрата диаметра шара. Её еще приближенно можно подать как отношение числа попаданий к числу испытаний. Оценка этой вероятности в данных условиях показала, что надежной вероятности 0,997 соответствует интервал 0,00021…0,00135, который, например при 10000 испытаний, гарантирует не менее 2 и не более 13 попаданий шара в торец преобразователя. Определенное число испытаний определяется количеством оборотов барабана мельницы или временем ее работы. Установлено, что за 240 с число попаданий шара в торец основного преобразователя будет равно пяти. За промежуток времени 960 с гарантировано состоится одно попадание шара в дополнительный преобразователь. Такие временные промежутки полностью удовлетворяют практику.

V. Kondratec, M. Karchevskaya

Theoretical research of interaction of primary converters of loading of a spherical mill by ore with grindings bodies

In the article the results of research of interaction of primary converters of loading of a spherical mill by ore with grindings bodies are given. The probability of hit of a sphere in an end face of the converter is found which is proportional to the attitude of a cube of a diameter of an end face of the converter up to a square of a diameter of a sphere. Its still approximately it is possible to submit as the attitude of number of hits to number of tests. The estimation of this probability in the given conditions has shown, that to reliable probability 0,997 there meets an interval 0,00021…0,00135, which, for example at 10000 tests, guarantees not less than 2 and no more than 13 hits of a sphere in an end face of the converter. The certain number of tests is determined by quantity of revolutions of a drum of a mill or time of its job. Is established, that for 240 about number of hits of a sphere in an end face of the basic converter will be equal to five. For an interval of time 960 with is guaranteed one hit of a sphere in the additional converter is held. Such temporary intervals completely satisfy practice.

Одержано 21.01.10

УДК 004.896; 621.7.01; 658.511.3; 658.58; 658.52; 658.589

О.Д.Криськов, проф., канд. техн. наук, І.М. Іваник, асп., К.К.Щербина, магістр
Кіровоградський національний технічний університет

Особливості взаємозв'язку полів при проектуванні переходів в САПР регламентів технологічного процесу на основі ООП

На основі методики об'єктно-орієнтованого програмування (ООП) висвітлено зв'язки між полями, що використовуються в процесі проектування елементарного регламенту технологічного процесу, що складається з однієї операції в складі одного технологічного переходу. Розглянуто поля різного рівня доступності, визначено спільні поля та поля-властивості: для батьківського класу TexprocesClass, дочірнього класу TokarOperacClass та похідного від класу технологічна операція – PidrizTorClass. Запропоновано алгоритм отримання техніко-економічної оцінки на різних етапах проектування.

регламент технологічного процесу, техніко-економічна оцінка, поля, поля-властивості, ООП

Вступ. На даному етапі розвитку промисловості важливою справою є своєчасність розробки економічних, вигідних для даного підприємства в даний час регламентів технологічних процесів (РТП) виготовлення деталей. Кожна хвилина затримки приводить до економічних втрат. Втрати різко зростають, якщо для впровадження у виробництво вибрати економічно не обґрунтований варіант РТП. Для прискорення процесу проектування шляхом автоматизації рутинних процесів використовують програмні продукти типу "Автопроетк", "SWR-Технология" [1,2] тощо. Проте при їх розробці методиці економічної оцінки приймаємих технологом рішень уваги приділялось недостатньо. Між тим, питання про економічну доцільність технологічних рішень є одним із наріжних каменів теорії технології машинобудування. Рішенню цього питання перешкоджає не тільки складність вирішення задачі, а й рухомість в часі та в просторі (тобто від підприємства до підприємства) як основних техніко-економічних показників РТП так і значень коефіцієнтів та величин, покладених в основу такої оцінки. Не останньою причиною є відсутність базових автоматизованих методик. Питання значно спрощується якщо поєднати методику об'єктного проектування РТП з біжучою оцінкою технологічних рішень на основі нормативного методу техніко-економічного аналізу (ТЕА) технологічних рішень.

Метою дослідження є висвітлення структури алгоритму проектування, що дозволяє уникнути дублювання інформації та паралельних чи повторних алгоритмів при виконанні технологічних та економічних обчислень, дякуючи певній структуризації процесу проектування, на основі ідей наслідування, інкапсуляції та інших особливостей програмування в середовищі, що підтримує ООП.

Основна частина. Досягнення поставленої мети демонструється через певний механізм отримання поточної техніко-економічної оцінки прийнятого рішення на рівні переходу в процесі динамічного аналітичного проектування РТП на прикладі найпростішого варіанта технологічного процесу, що складається з однієї операції (токарної) в складі якої є один перехід (підрізка торця). При цьому пропонуються певні схеми організації взаємодії та взаємозв'язку простих полів та полів-властивостей об'єкту ПЕРЕХІД як в самому об'єкті, так і з батьківськими полями об'єктів ОПЕРАЦІЯ та ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС. При черговій модернізації САПРТ РТП TEXNOL [3], спираючись на ООП, на базі TokarOperacClass для кожного з технологічних переходів може бути створено свій клас, наприклад, клас PidrizTorClass. Згідно з принципами ООП батьківський щодо переходу клас TokarOperacClass є похідним від класу TexprocesClass. Класу перехід притаманні певні поля, що необхідні для відповідного опису алгоритму моделювання фізичних та економічних

© О.Д.Криськов, І.М. Іваник, К.К.Щербина, 2010

процесів. Для прикладу, звернемо увагу на поля, які відображають зміст робіт, притаманних для ряду поширених одноінструментальних токарних (свердлильних) операцій. Далі на основі класу PidrizTorClass створюємо об'єкт ПЕРЕХІД, перелік полів якого представлені в таб.1. Серед інших є поле символічного коду типового переходу, яке відображає його назву, поле для розміщення операційного ескізу (рис. 1), що графічно відображає зміст технологічного переходу тощо.

Розглянемо взаємозв'язки полів дочірнього класу PidrizTorClass, що описують вищезгадану технологічну операцію з батьківськими класами TokarOperacClass та TexprocesClass (рис.1). Необхідні поля цих класів зведені до таблиць 1,2, що підкреслює структуру їх взаємозв'язку і дозволяє чіткіше висвітлити доступність та взаємозв'язок полів.

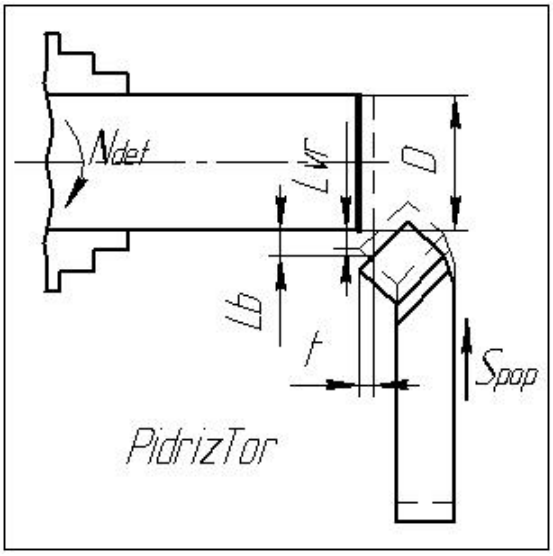


Рисунок 1 – Підрізати торець прутка діаметром D

Розглянемо спочатку особливості доступу до простих полів, притаманних вищезгаданим класам, позначеним в табл. 1,2 однією зірочкою (*). Ряд таких полів класу TexprocesClass технолог-проектант заповнює в інтерактивному режимі, наприклад, вказуючи шифр та назву деталі, її матеріал, тип заготовки та її механічні властивості, тип виробництва, вартість 1 КВт/год електроенергії тощо. Другі прості поля користувач заповнює в TokarOperacClass в діалоговому режимі при визначені змісту чергової операції. До таких полів віднесемо назву операції, модель верстата, назву чи код кріпильного чи контрольного пристосувань і таке інше.

Проектуючи зміст наступної технологічної операції у діалоговому режимі та орієнтуючись на стилізовані графічні зображення, відповідні змісту типових технологічних переходів, користувач конструює зміст технологічної операції, як послідовність типових переходів. При цьому він додатково заповнює ряд простих полів, зокрема, параметри, що конкретизують типові переходи до рівня індивідуальних, притаманних саме цій деталеоперації чи детале-переходу. До таких полів віднесемо, геометричні розміри оброблюваної поверхні, марку ріжучої частини інструменту, тип обробки (чорнова, напівчистова) тощо.

В подальшому, опираючись на методику ООП, та програмуючи певні розрахунки, притаманні тому чи іншому переходу, використовуючи можливості наслідування, інкапсуляції та обумовлені цими технологіями методики доступу до полів об'єктів різних класів ми можемо в об'єкті ПЕРЕХІД забезпечити доступ по простих полів знизу вверх по ієрархії підпорядкування об'єктів ОПЕРАЦІЯ та МАРШРУТ, створених на базі батьківських класів (TokarOperacClass та TexprocesClass). Програмно це забезпечується описом полів, як змінних в процедурах типу SetAll, наприклад:

Procedure SetAll (Name Det, ShufrDet, CodeMaterialDet, PrizvuscheRozrob, PrizvuscheNach, PrizvuscheZavKafedru, TermoObrob, Galvanic, NumberChex, XarakterZagot, TupVurob, DateRozrob:string; GroupVerst, ModelVerstat, NameOper, Prisposob, Vudprivod, KontPrispo, SposobNorm:String; FVerst, P, KiltDvug, KiltYRE, VartistOblad, rTshtuch1:real; sTransition1:string; S, V, NewN, Tosn, Lraz, D, t, Lbez, Lvri, Ldov, Tshtuch:real; Certfcate_MachineOborot1, CodeInstr, GOST, XarakInstr, sTupObr1:string; rEnergia, rVutratrRijInstr, rZatrNaInstrument, rSigma, rHb, rKrock, rB, rKutVplani, rTstiy:real; bPeretoch: byte); overload.

Таблиця 1 – Поля PerehodovClass

Зміст поля			Ідентифікатор поля	Доступ	Тип поля	Класи переходів				
						PidrizTorClass	ProtPovClass	SverdOtvClass	VidrizDetClass	FrezPazKincClass
Ріжучий інструмент	Найменування		sNameInstr	pb	*					
	ГОСТ (ДСТУ)		sGOSTInstr	pb	*					
	Особливі характеристики ін-та		sXarakInstr	pb	*	+	+	+	+	+
	Код	Символьний	sCodeInstr	pb	*	+	+	+	+	+
		Числовий	bCodeInstr	pb						
	Період стійкості, хв		rTstiy	pb	*	+	+	+	+	+
	Кількість переточок		bPeretoch	pb	*	+	+	+	+	+
	Головний кут в плані, φ		rKutVplani	pb	*	+	+	+	+	+
	Діаметр інструмента (поверхні), мм		rD	pb	*					
Обробляєма поверхня	Глибина різання, мм		rt	pv	*	+	+	+	+	+
	Величина врізання, мм		rLvr	pb	*	+	+	+	+	+
	Величина перебігу, мм		rLp	pb						
	Довж.безударного підводу, мм		rLbp	pb	*	+	+	+	+	+
	Довж.обробляєм. поверхні, мм		rLк	pb	*	+	+	+	+	+
Параметри реж. різання нормативні	Подача	мм/об	rS_normativ	pv	**	+	+	+	+	+
		мм/зуб	rSz	pv	**	-	-	-	-	+
	Швидкість різання	м/хв	rV_normativ	pv	**					
	Оберти	об/хв	rNroz	pv	**					
Параметри реж. різання фактичні	Подача	мм/об	rS_fact	pv	**	+	+	+	+	+
		мм/зуб	rSz_fact	pv	**	-	-	-	-	+
		мм/хв	rSx_fact	pv	**					
	Швид. різання	м/хв	rVfact	pv	**					
	Оберти	об/хв	rN_ObPasp	pv	**					
Основний час, хв			rTosn	pv	**	+	+	+	+	
Контрольний інструмент	Найменування		sNameKistr	pb	*					
	ГОСТ (ДСТУ)		sCodeKistr	pb	*					
Витрати, віднесені до переходу, на	Експлуатацію приміщення		rVutr_p_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Оплату послуг робітника		Vposl_r_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Оплату електроенергії		Venerg_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Обладнання	Амортизація	Vamor_P	pv	**	+	+	+	+	+
		Ремонт	Vrem_P	pv	**	+	+	+	+	+
		Утримання	Vutr_o_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Пристосування		Vpris_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Контрольний інструмент		Vpris_k_P	pv	**	+	+	+	+	+
	Ріжучий інструмент		Vins_rij_P	pv	**	+	+	+	+	+

Примітка: поля з доступом private – pv, public – pb; * - просте поле; ** – поле-властивість (поле-член).

Візьмемо, для прикладу, просте поле sNameInstr, у якому буде записано назва ріжучого інструмента. Основними факторами при виборі останнього є форма оброблюваної поверхні, форма та траєкторія руху формоутворюючого леза інструмента відносно заготовки,

які в сукупності визначають зміст переходу. Останній в системі TEXNOL закодовано в виді певного символьного коду. Очевидно, що в багатьох випадках одну і ту ж поверхню можна обробити з прийнятними показниками якості різними інструментами. При цьому може навіть змінитися структура операції чи навіть структура РТП. В кожному разі виникає очевидне питання, яка з можливих структур буде економічно вигіднішою.

Особливістю полів-властивостей, позначених в табл. 1 та 2 двома зірочками, є те, що до них прямого доступу користувач не має. Вони інкапсульовані (простіше скажемо сховані) в дочірніх класах, а доступ до них єдино можливий через спеціальні методи Set та Get. Алгоритм останніх передбачає певні аналітичні розрахунки в залежності від змісту процедур, які побудовані на основі алгоритмів відомих з курсів теорії різання, проектування ріжучих інструментів, технології машинобудування, металорізальних верстатів тощо.

Нижче приведено фрагмент коду, який забезпечує доступ до об'єкта поля класу PidrizTorClass з типом захисту private з використанням методів Get та Set.

```
function PidrizTorClass.GetsTransition:ts;
 begin
 GetsTransition := Technol.sTransition;
end;
procedure PidrizTorClass.SetsTransition(sTransition1:string);
 begin
 Technol.sTransition := sTransition1;
end;
```

Стосовно Get та Set. Зазвичай це префікси в назві процедур, які дозволяють прив'язати певні методи до яких буде використовуватися той чи інший алгоритм. Решта назви процедури це вже прив'язка до алгоритму проекту.

Другим прикладом поля-властивості, об'явленим з типом доступу private, є поле відповідальне за основний час, величина якого може змінюватися лише в конкретному об'єкті ПЕРЕХІД з використанням методу ***SetTosn*** згідно коду:

```
function ProtPovClass.GetTosn:real;
begin
 GetTosn:=Technol.rTosn;
end;
procedure ProtPovClass.SetTosn(Tosn:real);
begin
 Technol.rTosn:=Tosn;
end;
```

Таблиця 2 – Поля класів OperacionClass та TexprocesClass

Зміст поля			Ідентифікатор поля	Доступ	Тип поля
Поля OperacionClass	Назва операції		sNameOper	pv	**
	Назва верстата	Група	sGroupVerst	pv	**
		Модель	sModelMechines	pv	**
	Виробнича площа під верстат		rFverst	pv	**
	Потужність двигунів верстата, кВт	Головного	rNd	pv	**
		1 допоміжного	rNd1	pv	**
		2 допоміжного	rNd2	pv	**
	Кількість одиниць ремонтної складності	Механічної	rRSM	pv	**
		Електричної	rRSE	pv	**
		Електронної	rRSEl	pv	**
	Балансова вартість обладнання, грн		rVartistOblad	pb	**

	Затискне пристосування		Код	bZatuskPrispos	pb	*
			Назва	sZatuskPrispos	pb	*
	Контрольне пристосування		Код	bKontrPrispos	pb	*
			Назва	sKontrPrispos	pb	*
	Витрати в грн., віднесені до операції, на	Експлуатацію приміщення		rVutr_p_O	pv	*
		Оплату послуг робітників		rVposl_r_O	pv	*
		Електроенергію		rVenerg_O	pv	*
		Амортизацію обладнання		rVamor_O	pv	*
		Ремонт обладнання		rVrem_O	pv	*
		Утримання обладнання		rVutr_o_O	pv	*
		Пристосування		rVpris_O	pv	*
		Контрольний інструмент		rVpris_k_O	pv	*
		Ріжучий інструмент		rVins_rij_O	pv	*
		Технологічна вартість операції		rTechnolSobivartOper	pv	*
Поля TexprocesClass	Тип виробництва			sTupVurob	pb	**
	Матеріал деталі			sCodeMaterialDet	pb	**
	Група (оброблюваності) матеріалу			sCodeGroupMaterialDet	pv	**
	Розробник			sPrizvuscheRozrob	pb	*
	Нормоконтроль			sNormoKontrol	pb	*
	Затверджую			sPrizvuscheNach	pb	*
	Назва		Деталі	sNameDet	pb	*
	Шифр			sShufrDet	pb	*
	Характеристика та механічні властивості заготовки		Тип	boXarakterZagot	pb	**
			Особливості	bStanPov	pb	**
			Маса	rMasa	pb	**
			Міцність	rSigma	pb	**
			Твердість	rHb	pb	**
	Вартість 1 кВт*год. електроенергії, грн			rEnergia	pv	**
	Витрати в грн. віднесені до операції на	Експлуатацію приміщення		rVutr_p_M	pv	**
		Оплату послуг робітників		rVposl_r_M	pv	**
		Оплату електроенергію		rVenerg_M	pv	**
		Амортизацію обладнання		rVamor_M	pv	**
		Ремонт обладнання		rVrem_M	pv	**
		Утримання обладнання		rVutr_o_M	pv	**
		Пристосування		rVpris_M	pv	**
		Контрольний інструмент		rVpris_k_M	pv	**
		Ріжучий інструмент		rVins_rij_M	pv	**
Технологічна вартість деталі				rTechSobivart	pv	**

Примітка поля з доступом private – pv, public – pb; * - просте поле; ** - поле-властивість (поле-член).

Основний час є величиною розрахунковою, яка визначається за певним алгоритмом автоматично в об'єкті ПЕРЕХІД на основі даних, приведених як в простих так і в полях-властивостях. Отже між цими полями існують певні алгоритмічні зв'язки, які, для прикладу, у загальному вигляді можна записати так:

$$Tosn\_P_i = \frac{Lroz}{Sxv},\ хв., \quad N_i = \frac{P_z v}{102 \cdot 60};\ кВт, \quad Q_i = \frac{Tosn\_P_i * N}{\cdot 60},\ кВт*час.$$

Отже в той час, коли між полями $Tosn\_P_i$, N_i *та* Q_i об'єкту ПЕРЕХІД існує вище приведений алгоритмічний зв'язок, то на рівні ОБ'ЄКТУ операція існує очевидний зв'язок і

необхідність сумування основного часу та витрат електроенергії на перехід. Ці та очевидні зв'язки економічного характеру (трудомісткість та технологічна вартість переходу і операції в цілому) інкапсульовані в методах типу SetTosn_Pi та GetTosn_Pi, забезпечують цілісність та актуальність даних в процесі моделювання структури технологічної операції, внаслідок автоматичного перерахування по інкапсульованим алгоритмам при зміні значень простих полів. При допомозі методу property опис здійснюється так:

property rTshtuch:real read GetrTshtuch write SetrTshtuch;

Поле властивості сили різання rPz з полем доступом public, який залежить від заданих параметрів глибини різання, подачі та іншого ряду показників. Значення поля змінюється один раз в кожному об'єкті з використанням лиш методу SetrPz, за кодом:

```
procedure PidrizTorClass.SetrPz(rPz:real);
 begin
   rPz:=rPz;
 end;
```

Висновок**. Запропонована ідеологія проектування переходів та операцій РТП на основі ООП** та приведено алгоритм побудови її структури. Досліджена організація взаємодії простих полів та полів-властивостей, різних класів: батьківського, дочірнього та субдочірнього в процесі ДАПР та біжучої ТЕО, що дозволяє визначити економічну доцільність використання технологічного переходу в одноінструментальній операції.

Список літератури

1. Криськов О.Д., Щербина К.К. ООП та методика проектування регламенту технологічного процесу. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип.. 39 – Кіровоград: КНТУ, 2009. - 448с.
2. Картавов С.А Технология машиностроения / специальная часть / : Учебник для машиностроительных спец. вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища школа, 1984. – 272с.
3. Криськов О.Д. Система автоматизированого орформления регламентов технологических процнссов на ЭВМ ЕС для серийного многономенклатурного производства Республиканский межведомственный научно-технический сборник /Автоматизация производственных процессов / Вып. 23.,1984.-Львов: Вища школа, С.119-126

О. Крыськов, И. Иваныk, К. Щербина

Особенности взаимосвязи полей при проектирование переходов в САПР регламентов технологического процесса на основе ООП

На основе методики объектно-ориентированного программирования (ООП) отражены связки между полями, которые используются в процессе проектирования элементарного регламента технологического процесса, который состоит из одной операции в составе одного технологического перехода. Рассмотрены поля разного уровня доступности, определенно общие поля и поля-свойства: для родительского класса Texprocesclass, дочернего класса Tokaroperacclass и производного, от класса технологическая операция – Pidriztorclass. Предложен алгоритм получения технико-экономической оценки на разных этапах проектирования.

O. Kriskov, I. Ivanyk, K. Scherbina

Features of intercommunication of the fields at planning of passing to CAD of regulations of technological process on the basis of OOP

On the basis of method of the object-oriented programming (OOP) copulas are reflected between the fields, which are used in the process of planning of elementary regulation of technological process which consists of one operation in composition of one technological transition. The fields of different level of availability are considered, certainly the common fields and fields-properties: for the paternal class of Texprocesclass, daughter's class of Tokaroperacclass and derivative, from a class technological operation – Pidriztorclass. The algorithm of receipt of tekhniko-ekonomichnoy estimation is offered on the different stages of planning.

Одержано 21.01.10

УДК 681.542.35

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, А.М. Мацуй, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Обґрунтування параметрів і структури блока ідентифікації співвідношення тверде/рідке по тиску пульпи

У статті приведені параметри і структура інформаційного блока комп'ютеризованої системи ідентифікації співвідношення тверде/рідке по показанням двох перетворювачів тиску, встановлених у донній частині приймального пристрою завиткового живильника з невеликим перепадом висоти. Обґрунтовано підхід розв'язання даної задачі в організаційно-технічному об'єкті, розглянуті проміжні алгоритми і алгоритми визначення співвідношення тверде/рідке та осереднення параметра.
інформаційний блок, ідентифікація, співвідношення тверде/рідке, алгоритми, основний, додатковий перетворювач, випадковий процес

Найбільш енерговитратним процесом у збагачувальній галузі, яка дедалі отримує найбільш широке розповсюдження, є подрібнення руди. Розповсюджені на Україні міцні залізні руди в перших стадіях подрібнюють з використанням схеми, де кульовий млин працює в замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором, з першої спіралі якого надходить мокре вихідне живлення. Такі умови роботи даного організаційно-технічного об'єкта, що несе в циклі основне навантаження, не дозволяють підтримувати в ньому необхідне розрідження пульпи (співвідношення рідке/тверде), яке в значній мірі визначає ефективність роботи куль і транспортуючі можливості рідкого матеріалу. У даній технологічній точці найкращі умови роботи організаційно-технічного об'єкта забезпечуються при вмісті твердого в пульпі 80…82%. Невитримування такого розрідження приводить до перевитрати електричної енергії, куль, футерівки та знижує продуктивність технологічного агрегату по готовому продукту. Це не відповідає вимогам законодавства України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Оскільки стаття спрямована на розв'язання вказаної технічної задачі, її тема є актуальною. Крім того, матеріали, що висвітлюються в даній статті, спрямовані на виконання науково-дослідної роботи "Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора" (державний реєстраційний номер 0107U005470), яка є частиною розв'язання даної проблеми.

Задачу автоматичної стабілізації заданого розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням в різні роки розв'язує ряд науковців, однак розроблені засоби для згаданого циклу подрібнення не підходять. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікаторів, запропоновано лише один пристрій [1], який забезпечує ефективну стабілізацію розрідження пульпи, однак він відрізняється можливістю забивання каналу витратоміра піскового потоку сторонніми включеннями. Тривалий час інші засоби не розроблялися. Авторами даної статті запропоновано підхід [2] ідентифікації розрідження пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника по тиску, що вимірюється двома пневматичними трубками і дозволяє обійти згадану трудність. Однак цю задачу в таких технологічних умовах ніхто не розв'язував.

Метою даної роботи є обґрунтування параметрів і структури блока ідентифікації співвідношення тверде/рідке по тиску пульпи в двох пневматичних трубках.

Блок ідентифікації співвідношення тверде/рідке здійснює автоматичне визначення

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй, 2010

даного параметра в організаційно-технічному об'єкті з можливістю наступного автоматичного регулювання заданим його значенням. Ідентифікація співвідношення тверде/рідке виконується в приймальному пристрої завиткового живильника, де пульпа здійснює складні коливальні рухи, які являють собою випадковий процес. Інформаційними засобами виступають дві пневматичні трубки – відкриті гідростатичні перетворювачі, встановлені в донній частині з невеликим перепадом висоти. Нижній перетворювач є основним, а зміщений по вертикалі – додатковим.

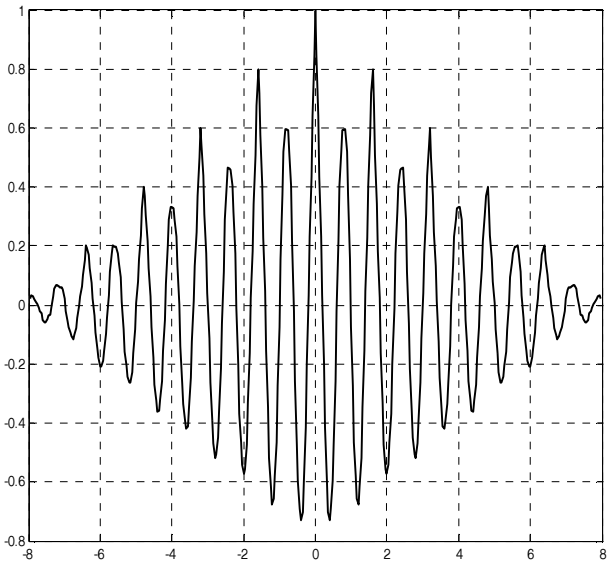
При визначенні співвідношення тверде/рідке вимірювання тиску у відкритих гідростатичних перетворювачах найкраще здійснювати при незмінних їх показаннях. Це гарантує найвищу точність визначення параметра та відсутність перехідного процесу як по каналу рівня, так і по каналу густини пульпи, що виступає фактором незмінності процесу, який ідентифікується. Визначення моменту знімання сигналів з перетворювачів тиску можливо здійснити кількома підходами. Концепція загального підходу до розв'язання цієї задачі розглянута в [3].

Одним з найбільш простих підходів вимірювання тиску в перетворювачах є фіксування їх вихідних величин безпосередньо перед входженням захватного органу завиткового живильника в пульпу, оскільки час заспокоєння рідкої суміші при цьому є найбільш тривалим. Тут необхідно здійснити керування процесом в часі. Такий процес потребує наявності точки відмітки часу в кожному циклі захоплення матеріалу з приймального пристрою завиткового живильника. Керування в часі дозволяє здійснити незмінна швидкість обертання захватного органу завиткового живильника. За точку відліку найбільш зручно прийняти горизонтальне положення захватного органу. Воно може бути зафіксованим, наприклад за допомогою безконтактного індуктивного вимикача ВБДР-1 або пристрою аналогічного призначення, розробленого спеціально для умов гірничої промисловості [4], який необхідно встановлювати в кожусі завиткового живильника. При проходженні змінного козирка захватного органу через поле вимикача він формує імпульс, який проявляється в замиканні або розмиканні контактів виконавчого реле. При цьому замикаючі контакти роз'єднуються, а розмикаючі – з'єднуються. По даній команді розпочинається відлік часу до моменту початку зняття інформації з перетворювачів тиску і відлік тривалості зняття значень тиску пульпи у перетворювачах. Як показав аналіз та експериментальна перевірка, хвильовий процес у завитковому живильнику в режимі вільних коливань після виходу захватного органу з пульпи не заспокоюється настільки, щоб можливо було визначити співвідношення тверде/рідке з великою точністю, особливо при невеликій і близькій до неї витраті пісків.

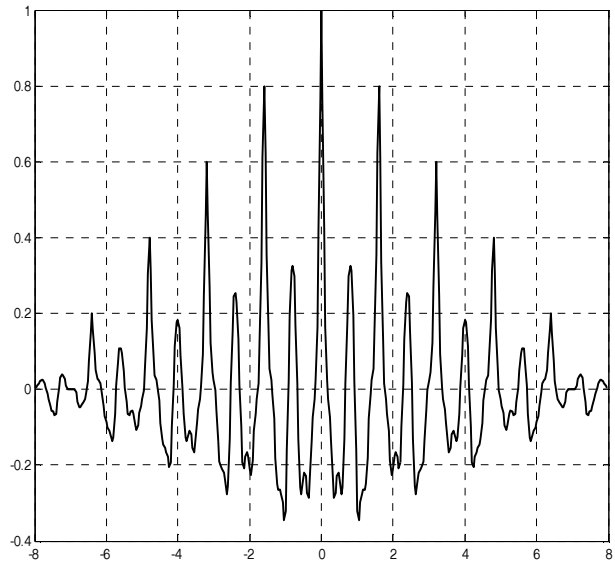
Характер створення і затухання хвильового процесу в приймальному пристрої завиткового живильника та надходження хвильового потоку вихідного матеріалу з піскового жолоба дозволяють допустити існування періодичного процесу коливань, параметри якого можливо використати при отриманні надійної інформації про процес з перетворювачів тиску. Такий процес, якщо він існує, може виявити кореляційна функція при умові великих значень тимчасового інтервалу τ і відсутності затухання. На рис.1 приведені нормовані кореляційні функції випадкового процесу зміни рівня пульпи в центральній частині приймального пристрою завиткового живильника при різних усталених значеннях рівня рідкої суміші, отримані по експериментальним реалізаціям значної протяжності відповідно програмі MATLAB. З графіків кореляційних функцій видно (рис.1), що вони мають складні окреслення, які змінюються з усталеним значенням рівня пульпи. Однак в усіх випадках характер зміни є затухаючим, що приходить до нуля. Отже, кореляційні функції випадкових процесів зміни рівня пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника в часі не мають періодичної складової. Сам конкретний випадковий процес її також не має і цю властивість випадкових процесів використати для отримання інформації про параметри

пульпи на основі показань перетворювачів тиску не можливо.

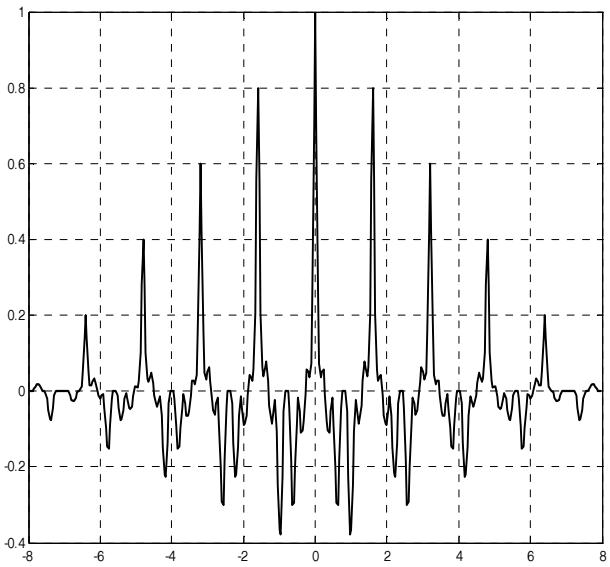
Тому розв'язати дану задачу можливо лише пошуком ділянки випадкового процесу з незмінними показаннями основного перетворювача в реалізації випадкового процесу, яка за тривалістю дорівнює половині оберту завиткового живильника. Її можна розв'язати кількома



а



б



в

а – при усталеному значенні рівня пульпи 340 мм; б – при усталеному значенні рівня пульпи 420 мм; в – при усталеному значенні рівня пульпи 500 мм

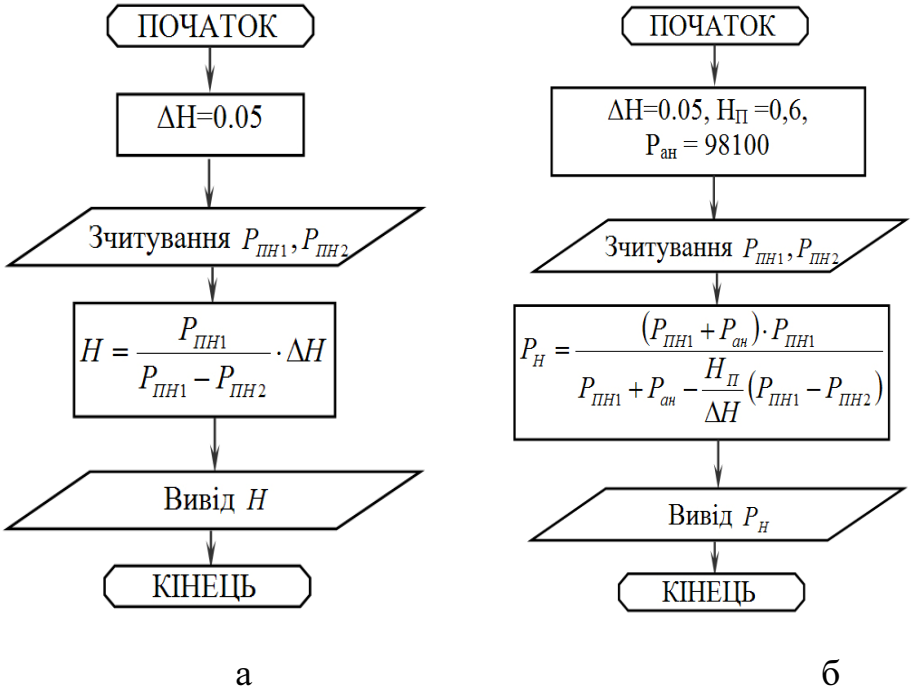
Рисунок 1 - Нормовані кореляційні функції випадкового процесу зміни рівня пульпи у центральній частині приймального пристрою завиткового живильника

підходами. Аналіз підходів показав, що найбільш раціональним є наступний. У запам'ятовуючий пристрій заносимо через 0,04 с сигнали основного і додаткового перетворювачів впродовж 1,56 с. Наступні сигнали заносимо в інші чарунки. Після обробки першого масиву дискретних сигналів результат заносимо в запам'ятовуючий пристрій, а інформацію стираємо, звільнивши чарунки для чергового масиву поточної інформації. Перший масив дискретних даних основного перетворювача у кількості 40 точок починає

оброблятися. Перший рівень сигналу порівнюється з другим, якщо їх різниця не перевищує ± 3%, ці значення запам'ятовуються. Якщо різниця третього з двома попередніми не перевищує ± 3%, його також запам'ятовують. Цей процес продовжуємо до п'яти точок підряд. Він може закінчитися після п'ятої точки або раніше, якщо відхилення перевищувало ± 3%. Менше трьох однакових значень запам'ятовувати не передбачено. Якщо ділянка випадкового процесу з однаковими показаннями основного перетворювача виявлена, то середнє значення сигналу заноситься в пам'ять. Одночасно в пам'ять заносяться відповідно значення додаткового перетворювача, а потім їх середнє значення. Після цього оброблена інформація стирається і на її місце заносяться 40 точок наступного циклу. Так процес виявлення ділянки з незмінними значеннями сигналу основного перетворювача продовжується в кожній реалізації тривалістю 1,56 с.

Далі по середнім значенням сигналів основного перетворювача $P_{ПН1}$ та додаткового перетворювача $P_{ПН2}$ визначають рівень пульпи. Алгоритмічна схема визначення рівня пульпи приведена на рис.2,а. Знайдене значення рівня пульпи запам'ятовують.

Потім по середнім значенням сигналів перетворювачів $P_{ПН1}$ і $P_{ПН2}$ знаходять



а – рівня; б - тиску

Рисунок 2 – Алгоритмічні схеми визначення рівня та наднормального тиску пульпи

значення наднормального тиску, який створює пульпа в контрольованій точці приймального пристрою завиткового живильника в момент часу, що розглядається. Алгоритмічна схема визначення наднормального тиску пульпи показана на рис.2,б. Знайдене значення тиску пульпи також запам'ятовується.

По знайденим рівню пульпи і її наднормальному тиску відповідно алгоритмічній схемі, зображеній на рис.3, знаходять співвідношення тверде/рідке $K_{P/B}$ у приймальному пристрої завиткового живильника. Значення співвідношення тверде/рідке $K_{P/B}$ запам'ятовують. Далі цикли визначення цього технологічного параметра повторюються кожні 1,56 с.

Визначені значення $K_{P/B}$ в ряді послідовних циклів 1,56 с не мають однакових значень, оскільки формування умов вимірювання і незмінності показань перетворювачів носять випадковий характер. На цей процес в певній мірі впливають зміна крупності піскового продукту, його кількості, умов перемішування в пісковому жолобі та приймальному пристрої завиткового живильника. Тому визначений параметр $K_{P/B}$ необхідно осереднювати по ряду послідовно розташованих значень. Алгоритмічна схема осереднення значень співвідношення тверде/рідке у приймальному пристрої завиткового живильника по визначеній кількості точок показана на рис.4. Цей осереднений показник заносять у спеціально відведені чарунки пам'яті і використовують при управлінні технологічним процесом.

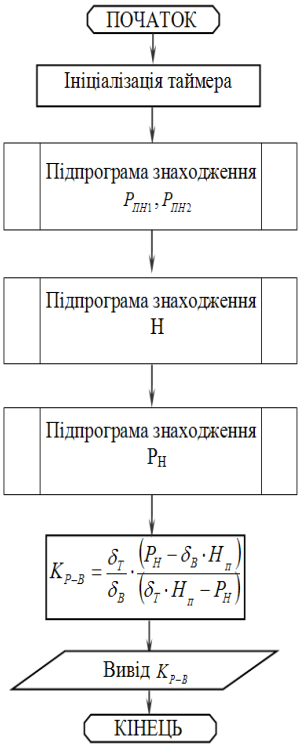


Рисунок 3 – Алгоритмічна схема знаходження $K_{P/B}$

Результати автоматичного керування процесом стабілізації співвідношення тверде/рідке в значній мірі залежать від тривалості осереднення сигналу $K_{P/B}$. З одного боку, чим більша тривалість осереднення по значній кількості точок $K_{P/B}$, тим точніше визначається істинне значення параметра , що підвищує точність керування та позбавляє систему від шкідливих перехідних процесів в наслідок випадкових змін співвідношення тверде/рідке. З іншого боку, чим триваліше осереднення, тим більше запізнювання виникає в системі керування, що погіршує її показники. Тому найкращі результати автоматичного керування процесом можливо отримати при оптимізації тривалості осереднення в конкретних умовах роботи. Якщо співвідношення тверде/рідке практично не змінюється, то осереднювати сигнал можливо і доцільно за кілька точок дві-три, порівнюючи його з попереднім результатом. У випадку значних коливань $K_{P/B}$ необхідно знаходити компромісне значення параметра.

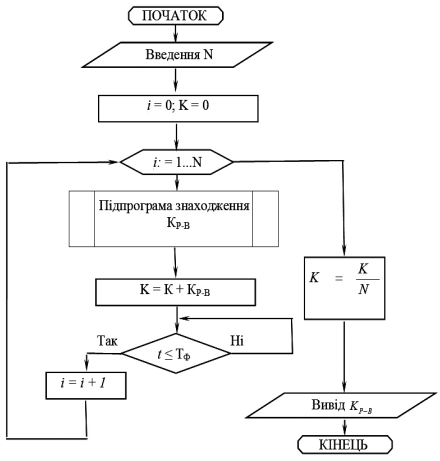


Рисунок 4 – Алгоритмічна схема осереднення значень співвідношення тверде/рідке по визначеній кількості точок

Точність автоматичного регулювання співвідношення тверде/рідке залежить і від похибки знаходження регульованого параметра - $K_{P/B}$. Вона, крім того, в значній мірі визначається розрядністю аналого-цифрового перетворення. Аналіз показав, що 12-розрядні АЦП не створюють відчутних помилок при визначенні співвідношення тверде/рідке.

Описані алгоритми можливо реалізувати мікропроцесорними засобами. При їх виборі необхідно враховувати швидкодію, оскільки за достатньо короткий відрізок часу необхідно реалізувати ряд алгоритмів, які відрізняються достатньою складністю, а також розрядність, що визначає точність отримання технологічного параметра. Крім того, при обґрунтуванні мікропроцесорних засобів слід враховувати розрядність аналого-цифрових перетворювачів, особливо, якщо вони є складовою частиною мікроконтролера. Цим вимогам відповідає мікроконтролер типу MSP430F1611PM. Він відрізняється невеликою споживаною потужністю в активному режимі – 280 мкА (1 МГц, 2,2 В), має 16 – розрядну RISC – архітектуру, 12 – розрядний АЦП з вбудованим джерелом опорної напруги, пристроєм вибору зберігання та функцією автоматичного перетворення, здвоєний синхронний 12 –

розрядний ЦАП, 16 – розрядний таймер з трьома регістрами захоплення фронтів порівняння та 16 – розрядний таймер з трьома або семи регістрами захоплення фронтів порівняння з мертвою зоною. Крім того, він забезпечений вбудованим компаратором, послідовним комунікаційним інтерфейсом (USART1), що працює в режимі асинхронного UART або синхронного SPI або I2C, супервізором напруги живлення з програмованим порогом, броунівським детектором, вбудованим послідовним внутрішньосхемним програматором, вбудованим завантажувачем, 48 кбайтами + 256 байтами флеш – пам'яті та 10 кбайтами ОЗП.

Експериментальна перевірка розроблених алгоритмів на прийнятих технічних засобах підтвердила можливість визначення вказаних технологічних параметрів з точністю, яку вимагає даний організаційно-технічний об'єкт.

На підставі проведених досліджень відкривається перспектива розробки блока ідентифікації співвідношення тверде/рідке в приймальних пристроях завиткових живильників, що дозволить здійснювати автоматичне регулювання заданими значеннями розрідження пульпи з забезпеченням економії електричної енергії та матеріальних ресурсів з одночасним підвищенням продуктивності організаційно-технічного об'єкта по готовому продукту.

Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 b 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР). – №1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Пат. 7741 Україна. МКВ 7 В 03 b 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №20041007979; заявл. 01.10.04; опубл. 15.07.05, Бюл. №7.
3. Мацуй А.М. Алгоритм обробки складних сигналів при ідентифікації розрідження пульпи у завитковому живильнику / А.М. Мацуй, В.О. Кондратець // Материалы XIII Международного молодежного форума. Часть 2. ["Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке"], (Харьков, 30 марта-1 апреля 2009г.) / М-во образования и науки Украины, Харьковский нац. ун-т радиоэлектроники.- Харьков, 2009.- С.347.
4. Технические средства автоматики в горной промышленности / [Волотковский С.А., Полтава Л.И., Бунько В.А., Подольский В.А.].- М.: Госнаучтехиздат лит. по горному делу, 1962.- 332с.

В. Кондратец, А. Мацуй

Обоснование параметров и структуры блока идентификации соотношения твердое / жидкое по давлению пульпы

В статье приведены параметры и структура информационного блока компьютеризованной системы идентификации соотношения твердое/жидкое по показаниям двух преобразователей давления, установленных в донной части приемного устройства питателя с небольшим перепадом по высоте. Обосновано подход решения данной задачи в организационно-техническом объекте, рассмотрены промежуточные алгоритмы и алгоритмы определения соотношения твердое/жидкое и усреднение параметра.

V. Kondratec, A. Macuy

The ground of parameters and structure of block of authentication of correlation is hard / liquid on pressure of pulp

In the article parameters and structure of informative block of the computer-assisted system of authentication of correlation are resulted hard/liquid on the testimonies of two sensators, set in the ground part of takers-off of feeder with a small overfall on a height. Approach of decision of this task is grounded in an organizationally-technical object, intermediate algorithms and algorithms of determination of correlation are considered hard/liquid and finding of middle parameter.

Одержано 22.01.10

УДК 6П2.1-081

Ю.О. Єрмолаєв, доц., канд. техн. наук, Т.Г. Руденко, магістр.
Кіровоградський національний технічний університет

Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8

Стаття присвячена визначенню параметрів схеми заміщення за паспортними даними асинхронних двигунів АИР80А2 та АИР160S2 електроприводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8, побудові механічних і електромеханічних характеристик двигунів з аналізом їх та визначенням розрахункової похибки.
електропривод, схема заміщення, асинхронний двигун, механічна характеристика, електромеханічна характеристика, фрезерувальний верстат

В роботі [1] узагальнено коло питань з визначення ефективності технологічних процесів обробки виробів на фрезерувальному верстаті СФ-АСТРА-РК8. Показано, що не зважаючи на те, що ефективність обробки виробів залежить від багатьох факторів, велику роль відіграє оптимальна робота електромеханічних приводів. У той же час для дослідження експлуатаційних режимів асинхронних електроприводів необхідно використовувати механічні та швидкісні характеристики виконавчих асинхронних двигунів (АД) з короткозамкнутим ротором.

Актуальність статті полягає в тому, щоб визначити параметри схеми заміщення асинхронного двигуна за паспортними даними. Це викликано тим, що в довідниках, наприклад [2, 3], не наведені ці дані для двигунів серії АИР80 (1.5 кВт, $n_н$=2880 об/хв) та АИР160 (15 кВт, $n_н$=2940 об/хв), які використані для привода подачі та головного руху верстата. Подібній проблемі велика увага приділялась Ю.А. Мощинським, В.Я. Беспаловим, А.А. Кірякіним, В.І. Поповим, Л.Н. Макаровим, Д.Н. Бистрицьким, Л.Я. Теличком та іншими [4, 5, 6, 11].

При використанні Т-подібної схеми заміщення (рис. 1) необхідно знати її параметри [7, 8]: R_1, R_2', $R_м$ – активні опори фаз статора, ротора і ланки намагнічування; X_1, X_2', $X_м$ – індуктивні опори розсіювання фаз статора, ротора і ланки намагнічування.

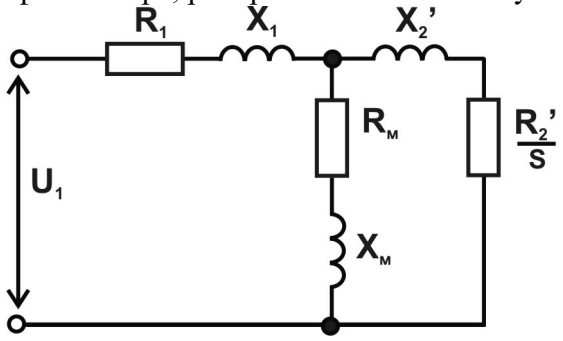


Рисунок 1 – Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна

На основі їх можуть бути визначені взаємна індуктивність ротора і статора, сталі часу обмоток ротора і статора та інші, що належать до параметрів ланок структурних схем, запропонованих, наприклад, в [9, 10] для дослідження динамічних режимів електроприводів.

Метою роботи є визначення статичних механічних та електромеханічних

© Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко, 2010

характеристик АД приводів фрезерувального верстата з використанням різних розрахункових методик.

Для визначення параметрів АД автори використали методику теоретичного розрахунку за каталожними даними, наведену в [4] для двигунів АИР80А2 та АИР160S2. Отримані значення зведені у таблицю 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунків параметрів АД

Тип двигуна	Струм холостого ходу I_0, А	Активний опір статора R_1, Ом	Активний опір ротора R_2', Ом	Реактивний опір статора X_1, Ом	Реактивний опір ротора X_2', Ом
АИР80А2	1.26	3.28	2.92	5.70	7.87
АИР160S2	11.47	0.39	0.24	0.40	0.55
АИР160М2	11.23	0.16	0.12	0.42	0.57
АИР160М4	7.50	0.19	0.13	0.46	0.63
АИР160М6	15.51	0.25	0.21	0.52	0.72

Отримані результати у порівнянні зі значеннями параметрів АД, наведеними в [5], не дають значних розходжень, що дозволяє зробити висновок про їхню достовірність та можливість використання для розрахунків статичних характеристик двигунів.

Механічна характеристика розрахована з використанням спрощеної (1) та уточненої (2) формули Клосса [7, 8]:

$$M(s) = \frac{2 \cdot M_к}{s / s_к + s_к / s}, \tag{1}$$

$$M(s) = \frac{2M_к(1 + \beta \cdot s_к)}{s / s_к + s_к / s + 2 \cdot \beta \cdot s_к}, \tag{2}$$

де $M_к$ – максимальний (критичний) момент;

s – поточне значення ковзання;

$\beta = \frac{R_1}{C_1 \cdot R_2'}$, $C_1 \approx 1.02 .. 1.06$. [4, 11].

Значний вплив на результат розрахунків має значення критичного ковзання $s_к$. Для визначення цієї величини існує чимало формул, які дають різний результат і відповідно різну форму механічної та електромеханічної характеристик. Спрощена формула розрахунку $s_к$ надана в [8]:

$$s_к = s_н\left(\lambda_к + \sqrt{\lambda_к^{\,2} - 1}\right), \tag{3}$$

де $\lambda_к = \frac{M_к}{M_н}$ – каталожне значення відношення критичного моменту до номінального;

$s_н$ – номінальне ковзання.

В [4] надана інша формула розрахунку критичного ковзання:

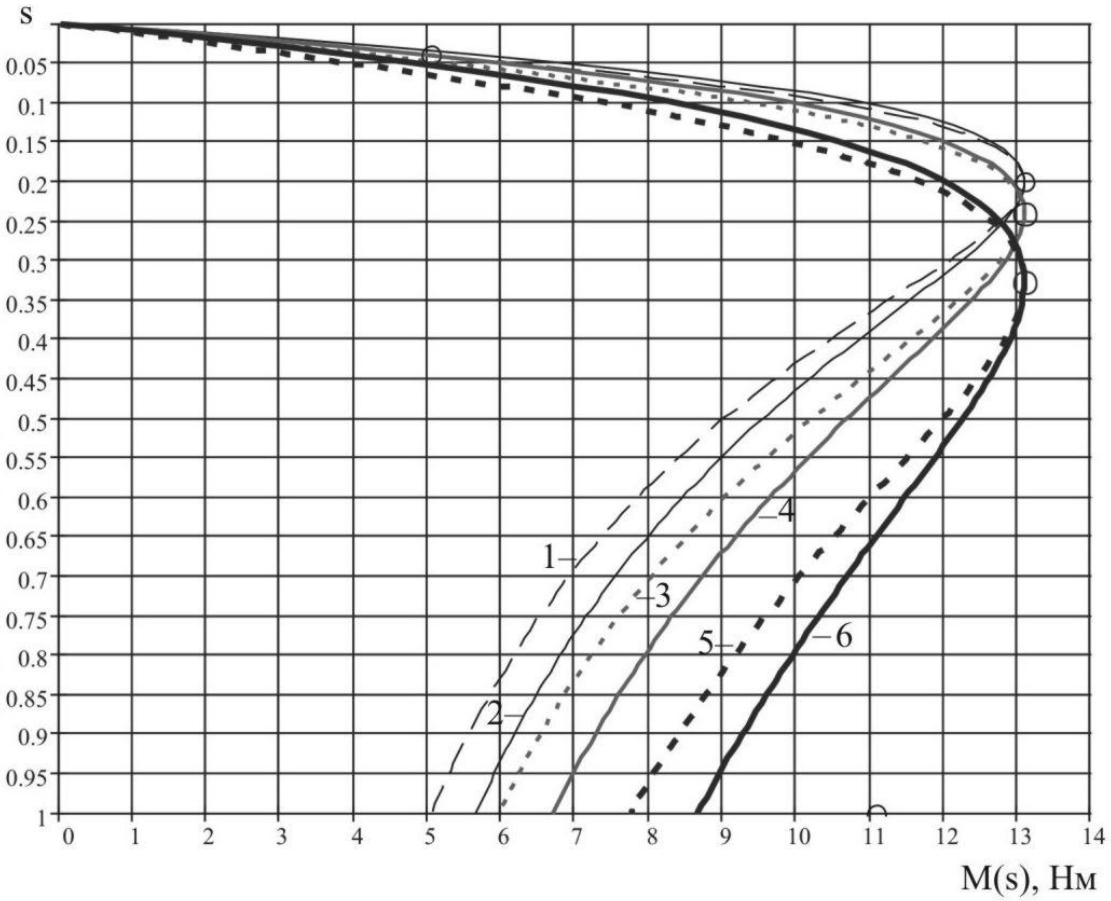
$$s_к = s_н \frac{\lambda_к + \sqrt{\lambda_к^{\,2} - (2 \cdot s_н \cdot \beta \cdot (\lambda_к - 1))}}{1 - 2 \cdot s_н \cdot \beta \cdot (\lambda_к - 1)}. \tag{4}$$

В [11] запропоновано декілька формул для розрахунку критичного ковзання, одна з яких:

$$s_к = \sqrt{\frac{s_н \cdot (\lambda_п - s_н)}{1 - \lambda_п \cdot s_н - 2 \cdot \beta \cdot s_н \cdot (\lambda_п - 1)}}, \qquad (5)$$

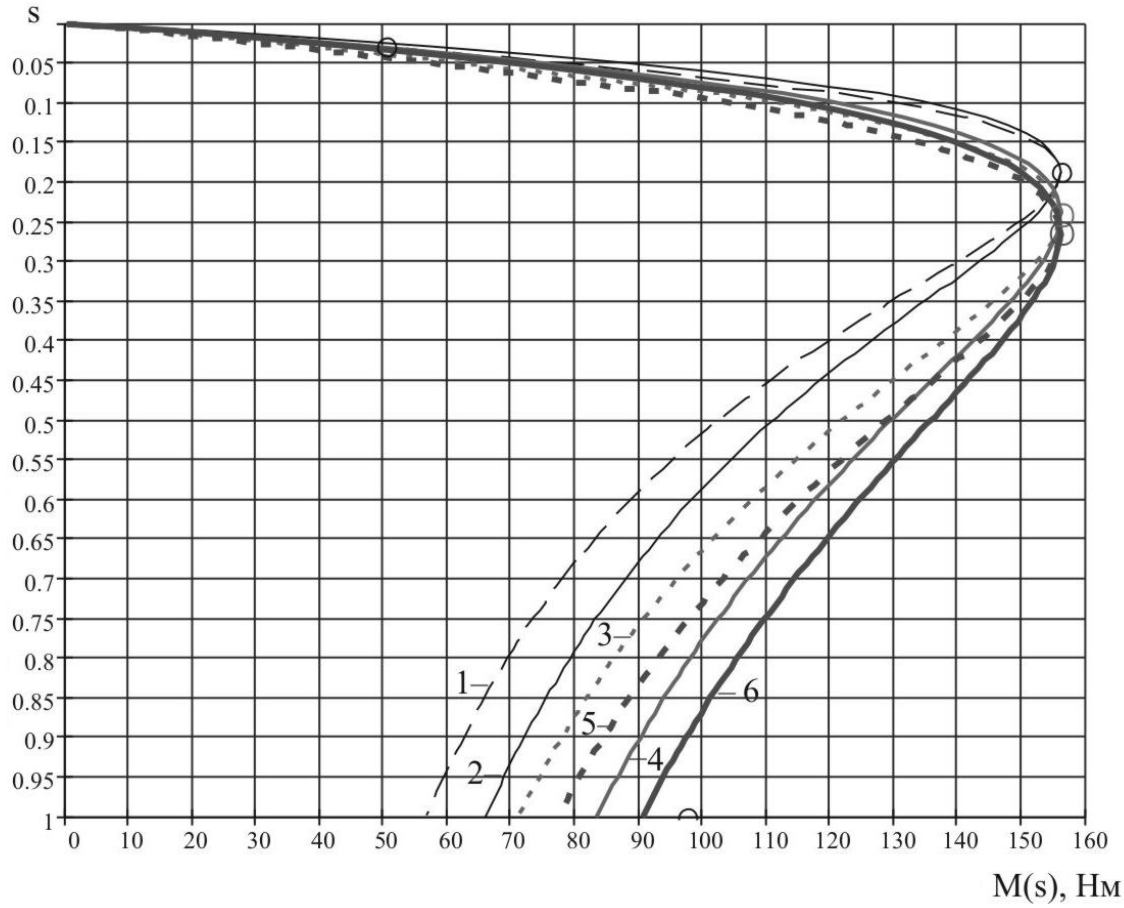
де $\lambda_п = \frac{M_п}{M_н}$ – каталожне значення відношення пускового моменту до номінального.

Вигляд механічних характеристик, розрахованих за формулами (1) та (2) при $s_к$ визначеному за формулами (3 – 5), показаний на рис. 2, 3.



1 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (3), 2 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (3), 3 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (4), 4 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (4), 5 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (5), 6 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (5)

Рисунок 2 – Механічні характеристики асинхронного двигуна АИР80А2 при $s_к$ розрахованому за формулами (3 – 5)



1 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (3), 2 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (3), 3 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (4), 4 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (4), 5 – розрахунок механічної характеристики за спрощеною формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (5), 6 – розрахунок механічної характеристики за уточненою формулою Клосса при $s_к$ визначеному за формулою (5)

Рисунок 3 – Механічні характеристики асинхронного двигуна АИР160S2 при $s_к$ розрахованому за формулами (3 – 5)

Аналіз характеристик, приведених на рис. 2, 3 показує:

а) практично повне співпадання механічних характеристик на робочій ділянці до значення $M_н$;

б) найбільші розходження виявились в зоні пускового моменту. На рис. 2, 3 крапками позначені характеристики, побудовані для відповідних двигунів за паспортними даними для порівняння отриманих результатів.

Паспортні дані для АИР80А2:

- $M_н$ = 5.03 Нм;
- $M_к = \lambda_к \cdot M_н$ = 2.6·5.03 = 13.08 Нм;
- $M_п = \lambda_п \cdot M_н$ =2.2·5.03 = 11.07 Нм.

Паспортні дані для АИР160S2:

- $M_н$=48,72 Нм;
- $M_к = \lambda_к \cdot M_н$ = 3.2·48.72 = 155.9 Нм;
- $M_п = \lambda_п \cdot M_н$ = 2.0·48.72 = 97.44 Нм.

До цих значень найбільше наблизились характеристики 6 на рис. 2 та 3;

в) жорсткість механічних характеристик, розрахованих за спрощеною формулою $s_к$ в

(3), більша, ніж при використанні формул (4 і 5). Різниця перепадів кутових швидкостей, наприклад, при 100% перевантаженні складає для двигуна АИР80А2 $\Delta\omega_1 = 31{,}98$ рад/с, для двигуна АИР160S2 $\Delta\omega_2 = 10{,}68$ рад/с.

Залежність струму статора в функції ковзання можна визначити за формулою [11]:

$$I_1(s) = \sqrt{\frac{I_n^{\,2} \cdot \frac{s}{s_н} + I_0^{\,2}\left(\frac{s_к}{s} + 2 \cdot \beta \cdot s_к\right)}{\frac{s}{s_к} + \frac{s_к}{s} + 2 \cdot \beta \cdot s_к}}, \qquad (6)$$

де $I_п$ – пусковий струм, А, який визначається за даними каталогів;

I_0 – струм холостого ходу, А.

Існує кілька шляхів визначення струму холостого ходу асинхронних двигунів. Одна з формул, яка вважається більш точною, наведена в [4, 11]:

$$I_0(s) = \sqrt{\frac{I_{1\lambda p}^{\,2} - \lambda_p^{\,2}\left(\frac{1 - s_н}{1 - \lambda_p \cdot s_н}\right)^2}{1 - \lambda_p^{\,2}\left(\frac{1 - s_н}{1 - \lambda_p \cdot s_н}\right)^2}} \cdot I_н, \qquad (7)$$

де $I_н$ – номінальний струм;

$I_{1\lambda p}$ – струм при частковому навантаженні λ_p, $\lambda_p = P_{\lambda p}/P_н$ – відношення часткової потужності до номінальної.

Як відмічається в [11] при використанні формули (6) можна прийняти, що струм статора мало залежить від похибки розрахунків струму холостого ходу, але має відхилення при різних значеннях критичного ковзання $s_к$.

На рис. 4, 5 побудовані електромеханічні характеристики двигунів АИР80А2 та АИР160S2 відповідно при $s_к$ визначеному за формулами (3) – (5).

За паспортними даними двигуна АИР80А2:

- $I_н = 3.3$ А;
- $I_п/I_н = 6.5$;
- звідки $I_п = 21.45$ А.

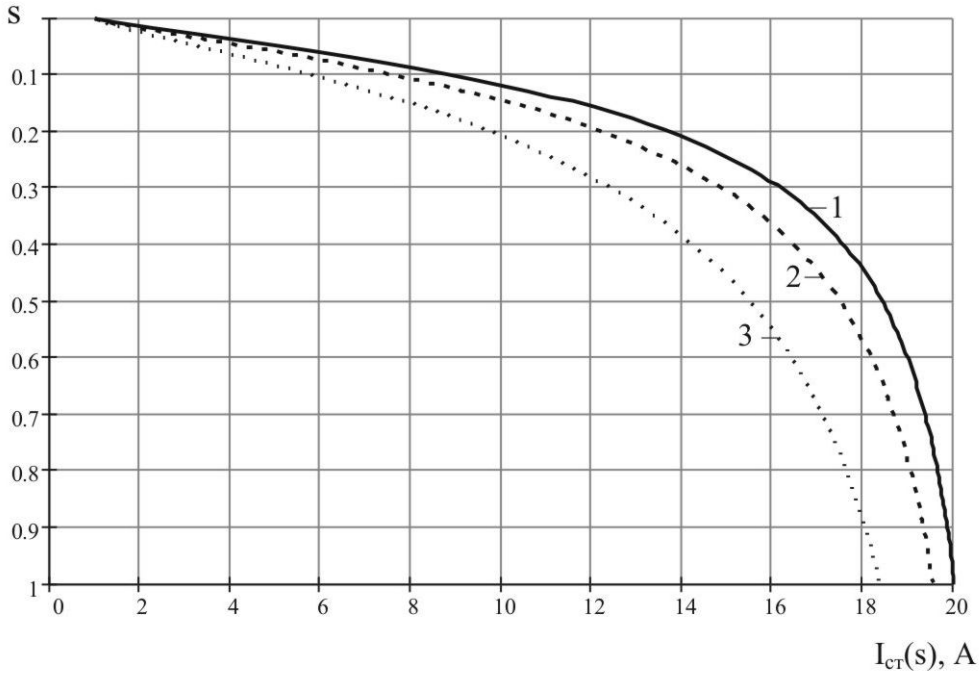
Похибка з використанням характеристики 1 (рис. 4) складатиме 6.75 %.

За паспортними даними двигуна АИР160S2:

- $I_н = 30$ А при 380 В;
- $I_п/I_н = 7.5$;
- звідки $I_п = 225$ А.

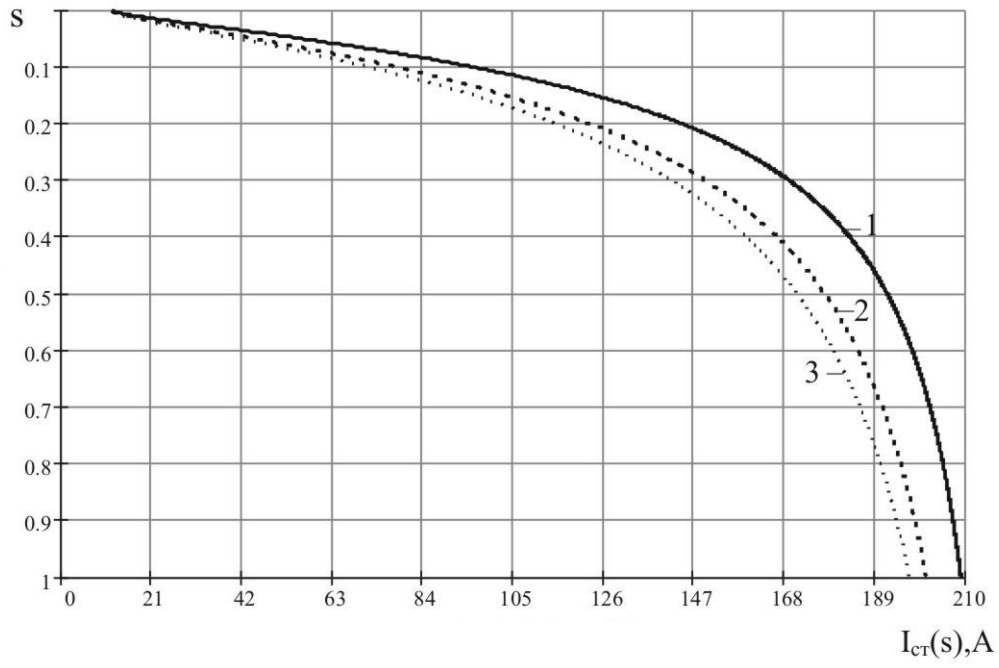
Похибка з використанням характеристики 1 (рис. 5) складатиме 6.6 %.

Необхідно відмітити, що механічні характеристики 6 (рис. 2 і 3) та електромеханічні характеристики 1 (рис. 4 і 5), які показують найбільш точні результати, розраховані за різними формулами для $s_к$.



1 – $s_к$ розраховано за формулою (3), 2 – $s_к$ розраховано за формулою (4), 3 – $s_к$ розраховано за формулою (5)

Рисунок 4 – Електромеханічні характеристики асинхронного двигуна АИР80А2



1 – $s_к$ розраховано за формулою (3), 2 – $s_к$ розраховано за формулою (4), 3 – $s_к$ розраховано за формулою (5)

Рисунок 5 – Електромеханічні характеристики асинхронного двигуна АИР160S2

Таким чином, використовуючи вище викладену методику автори отримали наступні результати.

1. Були визначені параметри схеми заміщення для конкретних асинхронних двигунів, які не дають значних розходжень з роботою [5].

2. Аналіз побудованих механічних характеристик при різних методиках визначення $s_к$ показав достатньо точний для практичних розрахунків збіг робочих ділянок до значення $M_н$. При перевантаженні двигуна перепад кутової швидкості за уточненими формулами визначення $s_к$ більший.

3. Аналіз побудованих електромеханічних характеристик паказав, що розрахункові похибки знаходяться в межах 6,6 – 6,75%.

Результати роботи будуть використані при розрахунках динаміки та енергетики електроприводів, а також при моделюванні режимів.

Список літератури

1. Єрмолаєв Ю.О., Руденко Т.Г., Босов Є.П. Експериментальні дослідження електроприводів верстата СФ-АСТРА-РК8 // Збірник наукових праць КНТУ /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/ – вип. 22 – Кіровоград, КНТУ, 2009. – С. 189-192.
2. ELDIN.Трехфазные низковольтные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Серия А. Ярославский электромашиностроительный завод (ОАО "ELDIN") [Електронний ресурс]: Каталог КМЗ. – 2005. ISO 9001. – 6 с. – Режим доступу до документа: http://eldin.ru/upload/Loads/Catalogue_ELDIN_mini-A.pdf
3. HELZ. Харьковский электротехнический завод «Укрэлектромаш» [Електронний ресурс]: Каталог. – 2007. ISO 9001:2000. – 44 с. – Режим доступу до документа: http://www.td_helz.com.ua/upload/main/Motors_catalog.pdf
4. Мощинский Ю.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю.А. Мощинский, В.Я. Беспалов, А.А. Кирякин // Электричество. – 1998.– №4.– С. 38-42.
5. Попов В.И., Макаров Л.Н. К экспериментальному определению параметров схемы замещения асинхронной машины. // Электричество. – 1993.– №1.– С. 49-52.
6. Теличко Л.Я., Цыков А.А. Метод определения параметров асинхронной электрической машины.// Электротехнические комплексы и системы управления. – 2008. - №. – С. 28 – 30.
7. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г.Поповича. – К.: Вища шк. 1993. – 494 с.: іл.
8. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – М. Энергоиздат; 1981. – 576 с.
9. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. – Екатеринбург: УРО РАН, 2000. – 654 с.
10. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: Учебник. – М.: АКАДЕМА, 2006, - 265 с.
11. Регулируемые асинхронные электродвигатели в сельскохозяйственном производстве/ Под ред. Д.Н.Быстрицкого. – М.: «Энергия», 1975. – 400 с.

Ю. Ермолаев, Т. Руденко

Определение параметров асинхронных двигателей с построением статических характеристик для приводов фрезерного станка СФ-АСТРА-РК8

Статья посвящена определению параметров схемы замещения по паспортным данным асинхронных двигателей АИР80А2 и АИР160S2 электроприводов фрезерного станка СФ-АСТРА-РК8, построению механических и электромеханических характеристик указанных двигателей с анализом их и определением расчетной погрешности.

U..Ermolaev, T. Rudenko

The definition of asynchronous engines parameters with construction of static characteristics for the milling machine tool СФ-АСТРА-РК8 drives

The article is devoted to definition of parameters of an equivalent circuit on nameplate data of asynchronous engines of АИР80А2 and АИР160S2 electric drives of the milling machine tool of СФ-АСТРА-РК8, to construction of mechanical and electromechanical characteristics of the specified engines with their analysis and definition of a settlement error.

Одержано 09.12.10

УДК 658.011.56

В.О. Кондратець, проф., канд. техн. наук, О.М. Сербул, канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет

Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів

Однією з основних складових системи автоматичного регулювання розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням є блок ідентифікації співвідношення руда/вода, на вхід якого подається шість параметрів (вологовміст пісків класифікатора, густина руди, витрата води в пісковий жолоб, витрата води в млин, об'ємна витрата пульпи в пісковому жолобі, масова витрата руди в кульовий млин), а на виході формується одна величина – співвідношення руда/вода. Даний блок слугує інформаційним засобом в системі, що розглядається. Перші чотири вхідні величини практично є постійними при ідентифікації, а дві останні являють собою випадкові процеси. Це приводить до похибок при ідентифікації вихідної величини. Зменшити похибку ідентифікації до мінімуму можливо фільтрацією цих випадкових процесів. Встановлено, що необхідно застосовувати цифрову фільтрацію. В якості алгоритму фільтрації слід вибрати розрахунок середнього значення випадкового процесу. Доведено, що сигнал витратоміра пульпи у пісковому жолобі необхідно фільтрувати впродовж 10 с або 20 с, 30 с і т.д., а витратоміра руди – впродовж не менше 2 с з можливістю збільшення часового інтервалу до 4 с, 6 с і т.д.

точність, розрідження пульпи, млин, ідентифікація, фільтрування сигналів, тривалість, алгоритм, витратоміри

У світовій практиці збагачення руд чи не найширше розповсюдження при подрібненні корисних копалин отримали кульові млини з циркулюючим навантаженням, які споживають велику кількість електричної енергії, куль і футерівки. Найкраще вони працюють при певному співвідношенні руда/вода в барабані, яке залежить від крупності та особливостей руди, що переробляється. Відсутність точних засобів ідентифікації розрідження пульпи приводить до перевитрат електричної енергії, куль і футерівки на тону переробленої руди та до недоотримання готового продукту порівняно з оптимальними умовами роботи. Це не відповідає законодавству України про ресурсозберігаючі технології в енергетиці та промисловості. Оскільки дана стаття спрямована на розв'язання цих задач, її тема є актуальною. Вона також спрямована на виконання науково-дослідної роботи "Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням" (реєстраційний номер 0105U008334), яка розв'язує частину даної проблеми.

Дослідженням і розробкою даних засобів займаються за кордоном і в Україні. В Україні в різні роки такі дослідження проводили А.Г. Астахов, М.В. Федорівський, В.О. Бунько, О.М. Марюта, Ю.Г. Качан, Є.В. Кочура, А.С. Давидкович, В.І. Дмитрієв та ін. По різним причинам розроблені засоби і підходи не отримали розповсюдження на рудозбагачувальних фабриках. Запропонований в останній час спосіб ідентифікації співвідношення руда/вода у млині з циркулюючим навантаженням [1] дозволяє більш ефективно організувати автоматичне регулювання цього технологічного параметра, однак, результати його визначення сильно залежать від точності подання сигналів витратомірів пульпи у пісковому жолобі та руди в кульовий млин, які є випадковими процесами. Підвищенням точності подання цих сигналів у блок ідентифікації співвідношення руда/вода, який реалізує запропонований алгоритм, ніхто не займався.

© В.О. Кондратець, О.М. Сербул, 2010

Метою даної роботи є підвищення точності САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів витратомірів пульпи у пісковому жолобі та руди в технологічний агрегат.

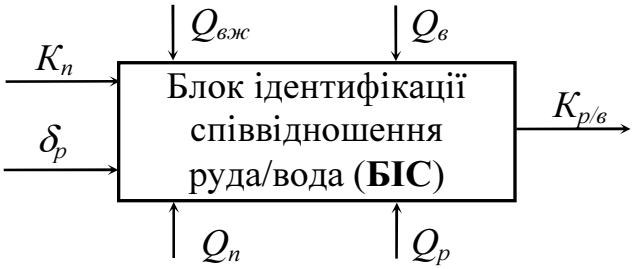


Рисунок 1 – Схематичне подання блока ідентифікації співвідношення руда/вода в кульовому млині

Однією з основних складових системи автоматичного регулювання розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням є блок ідентифікації співвідношення руда/вода (БІС) (рис. 1), на вхід якого подається шість параметрів, а на виході формується одна величина – співвідношення руда/вода $K_{р/в}$. БІС слугує інформаційним засобом у даній системі автоматичного регулювання. Три вхідні величини – густина $\delta_р$, вологість пісків класифікатора $K_п$ і витрати води в пісковий жолоб $Q_{вж}$ є сталими, дві перші з яких вводяться задавачами, а остання заноситься до запам'ятовуючого пристрою блока. Витрата води в кульовий млин $Q_в$ може змінюватися в часі, оскільки з магістралі подачі води відбувається її відбір багатьма споживачами. Оскільки всі споживачі здебільшого відрізняються певною витратою, то величина $Q_в$ частіше всього мало змінюється або змінюється плавно і з достатньо малою частотою. Цього не можливо сказати про параметри масової витрати руди $Q_р$ і об'ємну витрату пульпи в пісковому жолобі $Q_п$ враховуючи те, що вони є випадковими процесами. Зміна $Q_р$ і $Q_п$ приводить до похибок визначення $K_{р/в}$. Попередніми дослідженнями встановлено, що єдиним підходом підвищення точності визначення співвідношення руда/вода на вході в кульовий млин є фільтрація цих випадкових процесів перед подачею на вхід БІС.

Під фільтрацією розуміють будь-яке перетворення сигналів з метою зміни співвідношення між їх різними компонентами. Таке перетворення може бути як лінійним, так і нелінійним. Однак по розповсюдженості і математичній обґрунтованості методи лінійної фільтрації значно перевершують методи нелінійної фільтрації. Крім того, в нелінійній фільтрації виникають труднощі строгого розв'язання задач [2]. Для кількісної характеристики якості фільтрації використовують кілька критеріїв. Найширше розповсюдження отримали критерій мінімуму середньоквадратичної помилки, критерій максимуму апостеріорної імовірності [2], максимуму відношення сигнал/перешкода [3]. Фільтри, що відповідають останньому критерію, називають оптимальними фільтрами. Їх теорія розроблена найбільш глибоко [4]. Оскільки корисний сигнал і перешкода в кожному каналі БІС не є їх простою сумою, даний спосіб фільтрації не забезпечує необхідного результату. Більш підходящим є критерій мінімуму середньоквадратичної помилки. Задача фільтрації розв'язується в два етапи – визначення передавальної функції фільтра, реалізація по знайденій передавальній функції структури та параметрів фільтра. Традиційно задачі розв'язувалися шляхом аналогової фільтрації [5]. Однак в більшості практично важливих випадків вимірювальної техніки реалізація фільтрів з заданою передавальною функцією у вигляді аналогових пристроїв виявляється достатньо складною задачею [5]. Це насамперед зв'язано з фізичною нездійсненністю фільтрів з заданими характеристиками [5]. Практичне розв'язання даної задачі ускладнюється ще й тим, що нестабільність параметрів аналогового пристрою обробки викликає неконтрольовані зміни вихідного сигналу і, як наслідок, вносить додаткову помилку.

Цифрові фільтри володіють рядом переваг, основною з яких є можливість отримання частотних характеристик, реалізація котрих за допомогою аналогових пристроїв практично не можлива [3]. Цифрові фільтри ефективно працюють до сотень кілогерц [5], що відповідає

умовам функціонування БІС. В якості алгоритму фільтрації тут слід вибрати розрахунок поточного середнього значення сигналу на даному відрізку часу [5].

Реалізація цифрового фільтра випадкові процеси на вході БІС переводить у невипадкові функції часу, тому система автоматичного регулювання буде піддана не випадковим, а ступінчастим сигналам, які в часі змінюються циклічно [6]. Реалізація прийнятого алгоритму фільтрації передбачає визначення оптимального часового інтервалу згладжування сигналів. Всі три випадкові функції на вході БІС мають різні характеристики. Найбільш несприятливим є випадковий процес, що характеризує рух пульпи у пісковому жолобі класифікатора.

Потік пульпи у пісковому жолобі класифікатора має сталу і хвильову складові. Хвильова складова наближено може рахуватись синусоїдальною з амплітудою $H_{ПМ}$ і коловою частотою ω, тобто $H_{ПМ}\sin(\omega t)$ [6]. Хвильовий потік в кінці піскового жолоба класифікатора вимірюється датчиком об'ємної витрати, який фіксує рівень пульпи. Оскільки процес вимірювання (відлік) розпочинається з впадини потоку, а не з центральної частини хвилі, сигнал витратоміра буде $H_{ПМ}\cos(\omega t)$. Хвиля потоку не є чисто гармонічною, оскільки її певним чином спотворюють особливості процесу сходження пісків через поріг класифікатора та процесу розтікання, заповнення матеріалом піскового жолоба класифікатора. Ці особливості виступають в якості перешкод, що діють на даний процес. Нехтуючи певним викривленням форми потоку пульпи, будемо рахувати сигнал витратоміра гармонічним $H_{ПМ}\cos(\omega t)$. Зважаючи на те, що при зміні циркулюючого навантаження зростає або зменшується швидкість руху матеріалу, при певній точці розвантаження пісків і деякому базовому віддаленню від неї витратоміра, хвильовий потік буде змінювати початкову фазу. Тоді випадкова функція прийме вигляд

$$Q_n(t) = H_{ПМ}\cos(\omega t + \varphi), \tag{1}$$

де φ – випадкова початкова фаза потоку пульпи в пісковому жолобі класифікатора.

Корреляційна функція такого випадкового процесу дорівнює [2]

$$K_{Q_n}(\tau) = \frac{1}{2}H^2_{ПМ}\cos(\omega\tau). \tag{2}$$

Оптимальний інтервал згладжування $2T$ будемо визначати шляхом знаходження мінімуму дисперсії на виході фільтра. Помилку фільтрації згладжуванням можна визначити залежністю

$$\sigma_T^2 = \sigma_{Q_n}^2 - \frac{1}{T}\int_{-T}^{T} K_{Q_n}(\tau)d\tau + \sigma_{mQ_n}^2 + \sigma_{m\xi}^2, \tag{3}$$

де T – половина інтервалу згладжування;

$\sigma_{Q_n}^2$ – дисперсія корисного сигналу;

$K_{Q_n}(\tau)$ – корреляційна функція корисного сигналу;

$\sigma_{mQ_n}^2, \sigma_{m\xi}^2$ – дисперсії оцінки математичного сподівання корисного сигналу і перешкоди.

Дисперсії оцінки математичного сподівання корисного сигналу і перешкоди визначаються за залежністю

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{2T^2}\int_0^{2T} K(\tau)[2T-\tau]d\tau. \tag{4}$$

Продиференціюємо (3) з врахуванням (4) і отримаємо

$$\frac{2}{T}\int_0^T K_{Q_n}(\tau)d\tau - 2K_{Q_n}(T) - \frac{1}{T^2}\int_0^{2T}(T-\tau)K_{Q_n}(\tau)d\tau = 0. \tag{5}$$

Рівняння (5) дозволяє визначити значення T.

Підставимо в (5) значення $K_{Q_n}(\tau)$ (2), візьмемо інтеграли і виконаємо перетворення виразу. В результаті отримаємо

$$\sin(\omega T) - \omega T\cos(\omega T) + \sin(\omega T)\cos(\omega T) - \frac{1}{\omega T}\sin^2(\omega T) = 0. \quad (6)$$

Після ряду перетворень отримаємо

$$\left(\sin(\omega T) - \omega T\cos(\omega T)\right)\left(1 - \frac{\sin(\omega T)}{\omega T}\right) = 0. \quad (7)$$

З (7) можна записати

$$1 - \frac{\sin(\omega T)}{\omega T} = 0, \quad (8)$$

$$\sin(\omega T) - \omega T\cos(\omega T) = 0. \quad (9)$$

Умови (8) і (9) практично однакові, розглянемо останню. Після перетворення отримаємо

$$tg(\omega T) = \omega T. \quad (10)$$

Розв'язком рівняння (10) буде

$$\omega T = \alpha_{рад} + 3{,}14k, \quad (11)$$

де $\alpha_{рад}$ – кут, що забезпечує справедливість співвідношення $tg(\omega T) = \omega T$;

k – показник, що приймає значення 0, 1, 2,... .

Кут $\alpha_{рад}$ – це малий кут, при якому найкраще забезпечується умова (10). Його доцільно приймати в межах 1°...3°. Зважаючи на малість $\alpha_{рад}$ при $k = 0$, умову оптимального інтервалу фільтрації реалізувати не можливо. Тому k повинно приймати значення 1, 2, 3,... . Визначимо ωT при мінімальному $k = 1$ і $\alpha_{рад} = 30$,

$$\omega T = 0{,}0523 + 3{,}14 = 3{,}1923,$$

звідки $T = 3{,}1923/\omega$, с.

Для даного процесу $\omega = 0{,}628$ с$^{-1}$, тоді $T = 5{,}08$ с, а $2T = 10{,}16$ с.

Отже, найменшим оптимальним інтервалом осереднення буде 10 с, що відповідає повному періоду хвильового процесу руху матеріалу в пісковому жолобі класифікатора. Однак, відповідно (11) оптимальними будуть і два, три періоди..., або 10 с, 20 с, 30 с,... і т.д.

Оптимальний інтервал фільтрації сигналу витрати руди в кульовий млин можна обґрунтувати аналогічно з деякими особливостями.

Корреляційна функція таких випадкових процесів може бути визначеною за залежністю

$$K_{Q_p}(\tau) = \sigma_{Q_p}^2 e^{-\alpha|\tau|}\cos(\beta\tau), \quad (12)$$

де σ_{Q_p} – середньоквадратичне відхилення випадкового процесу $Q_p(t)$;

τ – тимчасовий інтервал між перерізами випадкового процесу;

α, β – сталі, які характеризують випадковий процес.

Використовуючи вирази

$$\frac{2}{T}\int_0^T K_{Q_n}(\tau)d\tau - 2K_{Q_n}(T) - \frac{1}{T^2}\int_0^{2T}(T-\tau)K_{Q_n}(\tau)d\tau = 0 \quad (13)$$

і (12), можна визначити оптимальний інтервал фільтрації випадкового сигналу $Q_p(t)$. Зважаючи на складність математичного апарату перетворень і незалежність поведінки експоненти і гармонічної складової в (12), розіб'ємо задачу визначення оптимального інтервалу фільтрації сигналу $Q_p(t)$ на дві – дослідження впливу гармонічної складової і експоненти.

Дослідження впливу гармонічної складової зводиться до вже розглянутого випадку.

$$T_Г = \frac{3{,}14 \cdot k}{\beta}, \tag{14}$$

де β – колова частота коливань.

Аналіз залежностей показує, що β може досягати в таких випадкових процесах до 400 с$^{-1}$, а α до 100 с$^{-1}$. Менш коливальні випадкові процеси, до яких можна віднести і зміну маси руди на конвеєрних вагах, будуть мати менші значення цих сталих. Якщо k = 1, а β = 400 с$^{-1}$, то $T_Г$ = 0,00785 с, а оптимальний інтервал осереднення $2T_Г$ = 0,0157 с, що відповідає одному періоду коливань. Оптимальним інтервал осереднення буде і при кількох періодах коливань. Зменшення колової частоти коливань β буде збільшувати інтервал осереднення сигналу.

Вплив експоненціальної складової встановимо за допомогою (13), враховуючи, що

$$K_{Q_p}(\tau) = \sigma^2_{Q_p} e^{-\alpha|\tau|}. \tag{15}$$

Після підстановки (15) в (13) і ряду перетворень отримаємо

$$\left(\frac{1}{\alpha T} - \frac{2\alpha T + 1}{\alpha^2 T^2}\right) e^{-2\alpha T} - 2\left(\frac{1}{\alpha T} + 1\right) e^{-\alpha T} + \left(\frac{1}{\alpha T} + \frac{1}{\alpha^2 T^2}\right) = 0. \tag{16}$$

Покладемо $x = e^{-\alpha T}$, $x^2 = e^{-2\alpha T}$, тоді

$$\left(\frac{1}{\alpha T} - \frac{2\alpha T + 1}{\alpha^2 T^2}\right) x^2 - 2\left(\frac{1}{\alpha T} + 1\right) x + \left(\frac{1}{\alpha T} + \frac{1}{\alpha^2 T^2}\right) = 0. \tag{17}$$

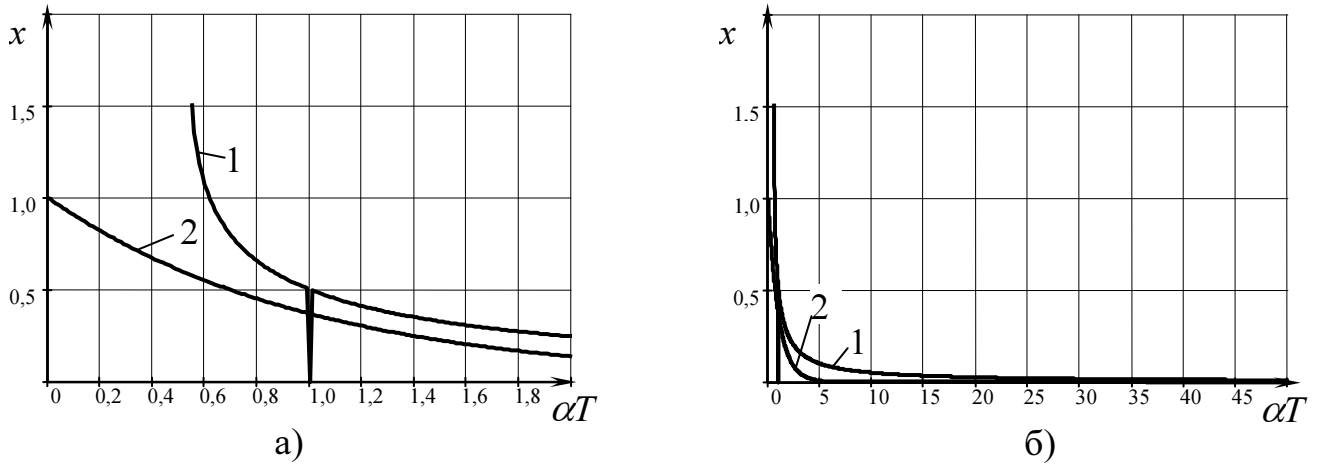
Розв’язавши (17) і виконавши перетворення, отримаємо

$$x = \frac{(1 + \alpha T) \pm \sqrt{(1 + \alpha T)^2 - \frac{1}{\alpha^2 T^2} + 1}}{\frac{(1 - \alpha T)}{\alpha T}}. \tag{18}$$

Аналіз (18) показує, що при знаку “+” перед радикалом рівняння не має сенсу. Отож, його слід подати у вигляді

$$x = \frac{(1 + \alpha T) - \sqrt{(1 + \alpha T)^2 - \frac{1}{\alpha^2 T^2} + 1}}{\frac{(1 - \alpha T)}{\alpha T}}. \tag{19}$$

Отже, маємо функцію x (19) і $x = e^{-\alpha T}$. Обидві функції мають спільний аргумент αT. Тому можна стверджувати, що (19) є апроксимуючою функцією для $x = e^{-\alpha T}$. На рис. 2 приведені дані залежності. Аналіз виразу (19) показує, що при αT = 1 відбувається розрив функції. При інших значеннях аргумента вона плавно змінюється. При малих αT (рис. 2, а) функції практично не співпадають. Апроксимація відбувається практично після αT = 20, де відхилення між кривими порівняно невелике. Достатньо невелика різниця між значеннями кривих при αT порядку 100. Отже, при αT = 100 і α = 100 с$^{-1}$, T_E = 1 с. Якщо α зменшується, то оптимальний інтервал фільтрації збільшується. Експоненціальна складова T_E оптимального інтервалу інтегрування строго не зафіксована, тому її можливо в певних межах змінювати, приймаючи кратне значення з $T_Г$. Для розглянутого випадку $2T_E$ = 2 с, $2T_Г$ = 0,0157 с, що відповідає 127 періодам повних коливань. Більш точно $2T_E$ = 2,0096 с.



а – при малих значеннях аргументу; б – при великих значеннях аргументу
1 – апроксимуюча функція; 2 – основна функція

Рисунок 2 – Залежність функцій від αT

Знання верхнього значення частоти спектра випадкового сигналу дозволяє встановити інтервал інтегрування Δt за залежністю [7]. Для похибки, що не перевищує 2 % він, дорівнює

$$\Delta t \le \frac{1}{2 f_в}, \qquad (20)$$

де $f_в$ – верхня частота спектра випадкового процесу.

Таким чином, для отримання високої точності керування розрідженням пульпи в кульовому млині сигнал витратоміра матеріалу у пісковому жолобі класифікатора необхідно фільтрувати впродовж 10,16 с або 20,32 с, 30,48 с, 40,64 с, ... , а витратоміра руди – не менше 2,0096 с.

З використанням сучасної мікропроцесорної техніки даний інтервал можна значно зменшувати.

Таким чином, підвищити точність системи автоматичного регулювання розрідження пульпи у кульовому млині з циркулюючим навантаженням можливо фільтруванням сигналів витратомірів пульпи в пісковому жолобі класифікатора і руди в кульовий млин. Точність автоматичного регулювання покращиться за рахунок зменшення похибки визначення співвідношення руда/вода в процесі фільтрування сигналів витратомірів. Необхідно застосовувати цифрову фільтрацію, реалізуючи алгоритм визначення середнього значення випадкових сигналів витратомірів. При цьому сигнал витратоміра пульпи необхідно фільтрувати впродовж 10 с або 20 с, 30 с і т.д. Тимчасовий інтервал фільтрації сигналу витратоміра руди повинен складати 2 с або 4 с, 6 с і т.д.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки блока ідентифікації співвідношення руда/вода на вході кульового млина з циркулюючим навантаженням, який забезпечить підвищення точності визначення технологічного параметра і, як наслідок, – точності системи його автоматичного регулювання.

Список літератури

1. Кондратець В.О. Ідентифікація співвідношення руда/вода на вході кульового млина /В. Кондратець, О. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2006. – № 17. – С. 265-272.
2. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника /Тихонов В.И.– М.: Советское радио, 1966. – 678 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы /Гоноровский И.С. – М.: Советское радио, 1971. – 672 с.
4. Бессонов Л.А. Линейные электрические цепи /Бессонов Л.А. – М.: Высшая школа, 1968. – 256 с.

5. Алиев Т.М. Измерительная техника /Т. Алиев, А. Тер-Хачатуров. – М.: Высшая школа, 1991. – 384 с.
6. Кондратець В.О. Комп'ютерно інтегрована система автоматичного управління співвідношенням руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням /В. Кондратець, О. Сербул //Академический вестник. – 2006. – № 17-18. – С. 37-41.
7. Солодовников В.В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления /Солодовников В.В. – М.: Физматгиз, 1960. – 600 с.

В. Кондратец, А. Сербул

Повышение точности стохастической САР разжижения пульпы в мельницах с циркулирующей нагрузкой фильтрованием сигналов

Одной с основных составляющих системы автоматического регулирования разжижения пульпы в шаровых мельницах с циркулирующей нагрузкой есть блок идентификации соотношения руда/вода, на вход которого подается шесть параметров (влагосодержание песков классификатора, плотность руды, расход воды в песковый желоб, расход воды в мельницу, объемный расход пульпы в песковом желобе, массовый расход руды в шаровую мельницу), а на выходе формируется одна величина – соотношение руда/вода. Данный блок служит информационным средством в рассматриваемой системе. Первые четыре входные величины практически являются постоянными в процессе идентификации, а две остальные представляют собой случайные процессы. Это приводит к погрешностям при идентификации выходной величины. Уменьшить погрешность идентификации до минимального значения возможно фильтрацией этих случайных процессов. Установлено, что необходимо применять цифровое фильтрование. В качестве алгоритма фильтрации необходимо избрать расчет среднего значения случайного процесса. Доказано, что сигнал расходомера пульпы в песковом желобе необходимо фильтровать в течение 10 с или 20 с, 30 с и т.д., а расходомера руды – на временном отрезке не менее 2 с с возможностью увеличения длительности часового интервала до 4 с, 6 с и т.д.

V. Kondratec, A. Serbul

Increase of exactness of stochastic SAR of dilution of pulp in mills with the circulatory loading by filtration of signals

One of the basic constituents of the system of automatic control of dilution of pulp in ball mills with the circulatory loading there is a block of authentication of correlation ore/water, on the entrance of which six parameters (contents of moisture of sands of classifier, closeness of ore, expense of water in a sand chute, expense of water in a mill, volume expense of pulp in a sand chute, mass expense of ore in a ball mill) are given, and on an output one parameter is formed – this is correlation ore/water. This block serves as an informative mean in the considered system. First four entrance parameters practically are permanent in the process of authentication, and two other are casual processes. It results in errors during authentication of output parameter. To decrease the error of authentication to the minimum value possibly by filtration of these casual processes. It is set that it is necessary to apply digital filtration. As an algorithm of filtration it is necessary to choose the calculation of mean value of casual process. It is well-proven that signal of expense measure of pulp in a sand chute it is necessary to filter during 10 s or 20 s, 30 s et cetera, and expense measure of ore – on a temporal segment no less than 2 s with possibility of increase of duration of sentinel interval to 4 s, 6 s et cetera.

Одержано 22.01.10

УДК 628.14

Н.В. Ковальчук, викл., Л.Г. Мещишена, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

Алгоритм розрахунку розгалуженої мережі водопостачання

Розроблена блок-схема розрахунку розгалуженої мережі водопостачання дозволяє за будь-якою програмою виконати багато варіантів цих розрахунків за короткий час, а також визначити оптимальні економічно-вигідні діаметри трудопроводів.
розгалужена водопровідна мережа, водонапірна башта, швидкість, діаметр, витрата рідини, втрати напору, потрібний напір, приведені витрати

В сучасних умовах виробництва сільськогосподарської продукції особливе місце займають фермерські господарства. Доля фермерських господарств у виробництві і переробці сільськогосподарської продукції з кожним роком значно зростає. А без гарантованої централізованої системи водопостачання сільськогосподарське виробництво неможливе. Безперебійне постачання високоякісної води в достатній кількості потрібне не тільки населеним пунктам, але і при виконанні сільськогосподарських робіт в полі, для водопою скотини на фермах, пасовиськах, при переробці сільськогосподарської продукції, тощо. Не кожне фермерське господарство має таку сучасну систему водопостачання. Тому задача забезпечення фермерських господарств централізованою системою водопостачання є досить актуальною і вирішити її можна тільки шляхом будівництва нових систем сільськогосподарського водопостачання.

Централізовані системи сільськогосподарського водопостачання згідно з БніП [1] можуть мати розгалужену тупікову водопровідну мережу необмеженої протяжності.

Незалежно від джерела водопостачання до складу цієї системи частіше всього входить водонапірна башта, яка створює і підтримує потрібний напір в системі, різкі коливання якого пояснюються нерівномірністю водоспоживання протягом доби.

Тому при гідравлічних розрахунках розгалужної мережі разом з діаметром трудопроводів визначається потрібний напір на початку системи і висота водонапірної башти [2].

Розрахунок діаметра безпосередньо залежить від швидкості руху рідини в трубопроводі. При збільшенні швидкості зменшуються діаметри, необхідна кількість матеріалу труб, але збільшуються втрати напору. Це призводить до збільшення потрібного напору і висоти водонапірної башти. При зменшенні швидкості збільшуються діаметри і витрати на матеріал, але зменшується висота водонапірної башти.

Вибір швидкості і діаметра в гідравлічних розрахунках повинен здійснюватись на основі техніко-економічного порівняння варіантів [3].

Тому виконання цих розрахунків за допомогою комп'ютера дозволять швидко отримати різні варіанти основних параметрів водопровідної мережі і вибрати з них оптимальні.

Розрахунок починають зі складання схеми водопостачання з урахуванням її розташування на місцевості в плані. Приклад такої схеми наведено на рис.1

Тупикова мережа містить в собі магістральний трубопровод 1-2, водонапірну башту ВБ і тупикові відгалуження 2-3; 3-4; 4-5; 2-6. Напрямки для розрахунку приймаються від

© Н.В. Ковальчук, Л.Г. Мещишена, 2010

водонапірної башти ВБ (вузол 1) до кінцевих споживачів, котрі знаходяться в найгірших умовах з точки зору віддаленості від джерела водопостачання. Цих споживачів називають такими, хто диктує, а пронумеровані вузли 5, 6 – диктуючими вузлами. На схемі водопостачання крім нумерації вузлів позначаємо їх геодезичні відмітки (z_i) і геодезичну відмітку водопровідної башти ($z_{ВБ}$), довжину магістралі 1-2 і довжини відгалужень 2-3; 3-4; 4-5; 2-6, необхідну витрату для господарчо-питних потреб мешканців, виробничих потреб підприємств та агро-промислових потреб селища, а також вільній напір $h_{віл}$ в кінцевих пунктах мережі. Ці витрати визначаються на основі норм водоспоживання по кожній групі споживачів окремо з урахуванням нерівномірності потреб за годинами доби [1,5].

Алгоритм гідравлічного розрахунку водопровідної мережі полягає в наступному.

Діаметр трубопроводу визначається за формулою

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} = 1.13 \cdot \sqrt{\frac{Q}{v}}, \qquad (1)$$

де Q - витрата в трубопроводі, м ^{3}/с;

v - швидкість руху води в трубі, м/с.

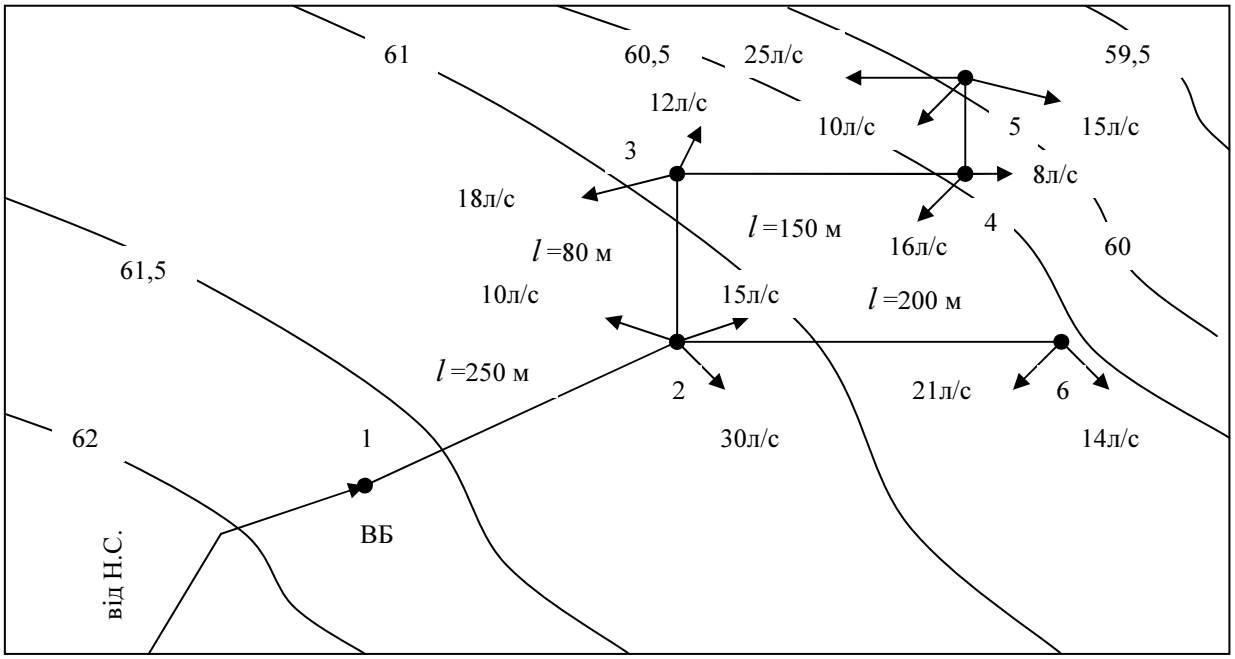


Рисунок 1 – Схема водопостачання для гідравлічного розрахунку

Витрату рідини потрібно обчислити , виходячи з вихідних даних схеми водопостачання. Розрахунок починають з кінцевих пунктів мережі водопостачання. Зручно ці розрахунки представити у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані для гідравлічного розрахунку системи водопостачання

Напрямок	Характеристика обраного напрямку					
	послідовність ділянок	перелік ділянок	довжина l, м	витрата Q, м^3/с	$h_{віл}$, м	z_i, м диктуючих вузлів
1-5	1-2-3-4-5	1-2 2-3 3-4 4-5	250 80 150 70	0,194 0,104 0,074 0,050	- - - 12	- - - $z_5 = 59,75$
1-6	1-2-6	1-2 2-6	250 200	0,194 0,035	- 12	- $z_6 = 60,7$

Згідно [1] економічну швидкість для металевих труб невеликого діаметру можна прийняти 0,75-1,25 м/с, а для труб великого діаметру – 1-1,4 м/с. Після розрахунку діаметра необхідно обрати найближчий (більший) стандартний діаметр згідно табл. 2 [2].

Таблиця 2 – Модуль витрати К для труб діаметром d при $k_e = 0,012$ мм

d, мм	50	75	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500
К, м^3/с	0,00987	0,0287	0,0614	0,1109	0,1794	0,3836	0,6921	1,121	1,6842	2,3978	4,2592	4,3242

Втрати напору на дільницях визначаються за формулою:

$$h_{втр} = \frac{Q^2 \cdot l}{K^2}, \tag{2}$$

де Q - витрата рідини, м^3/с;

l - довжина трубопроводу, м;

К – модуль витрати, значення якого вибирається в залежності від діаметра по табл. 2.

Необхідний напір на початку магістральної лінії розраховується за формулою:

$$H = h_{віл} + 1,1\sum h_{втр} + z, \tag{3}$$

де $h_{віл}$ - вільний напір в диктуючому вузлі;

z - геодезична координата диктуючого вузла;

$1,1\sum h_{втр}$ - сумарні втрати напору від водонапірної башти до диктуючого вузла з урахуванням можливих місцевих втрат напору.

Висота рівня води в резервуарі водонапірної башти:

$$h_{В.Б.} = H - z_{В.Б.}, \tag{4}$$

де $z_{В.Б.}$ - геодезична висота місця розташування водонапірної башти.

Економічні розрахунки полягають у визначенні приведених витрат, які можна знайти за формулою:

$$S_{прив} = S_{ел} + (S_{ам} + 0,15 \cdot S_к), \tag{5}$$

де $S_{ел}$ - вартість електроенергії;

$$S_{ел} = C \cdot T \cdot N_{П}, \tag{6}$$

де С – ціна 1 кВт.год;
Т – тривалість роботи насоса на рік (год.);
$N_{П}$ - потужність потоку рідини, кВт;

$$N_{П} = \rho_{води} \cdot g \cdot Q_{\max} \cdot H, \tag{7}$$

де $Q_{\max}$ - максимальна витрата на початку магістралі, м^3/с;
$S_{ам}$ - амортизаційні відрахування, грн.;

$$S_{ам} = \frac{S_k}{t_c}, \tag{8}$$

де t_c - строк експлуатації трубопровода, років;
S_k - капітальні вкладення, грн.;

$$S_к = S_T + S_м, \tag{9}$$

де S_T - вартість труб, грн.;

$$S_T = M \cdot Ц_T, \tag{10}$$

де М – маса труб, т;
$Ц_Т$ – ціна труб, грн./т;
$S_м$ - вартість монтажу труб можна прийняти:

$$S_м = 0{,}3 \cdot S_T;$$

$$M = \rho_T \cdot \frac{\pi}{4}\left[(d + 2\delta)^2 - d^2\right] \cdot l \tag{11}$$

де ρ_T - густина матеріалу труб, т/м^3;
δ - товщина стінки труб, м.

Послідовність гідравлічних і економічних розрахунків подана у вигляді блок-схеми (рис.2)

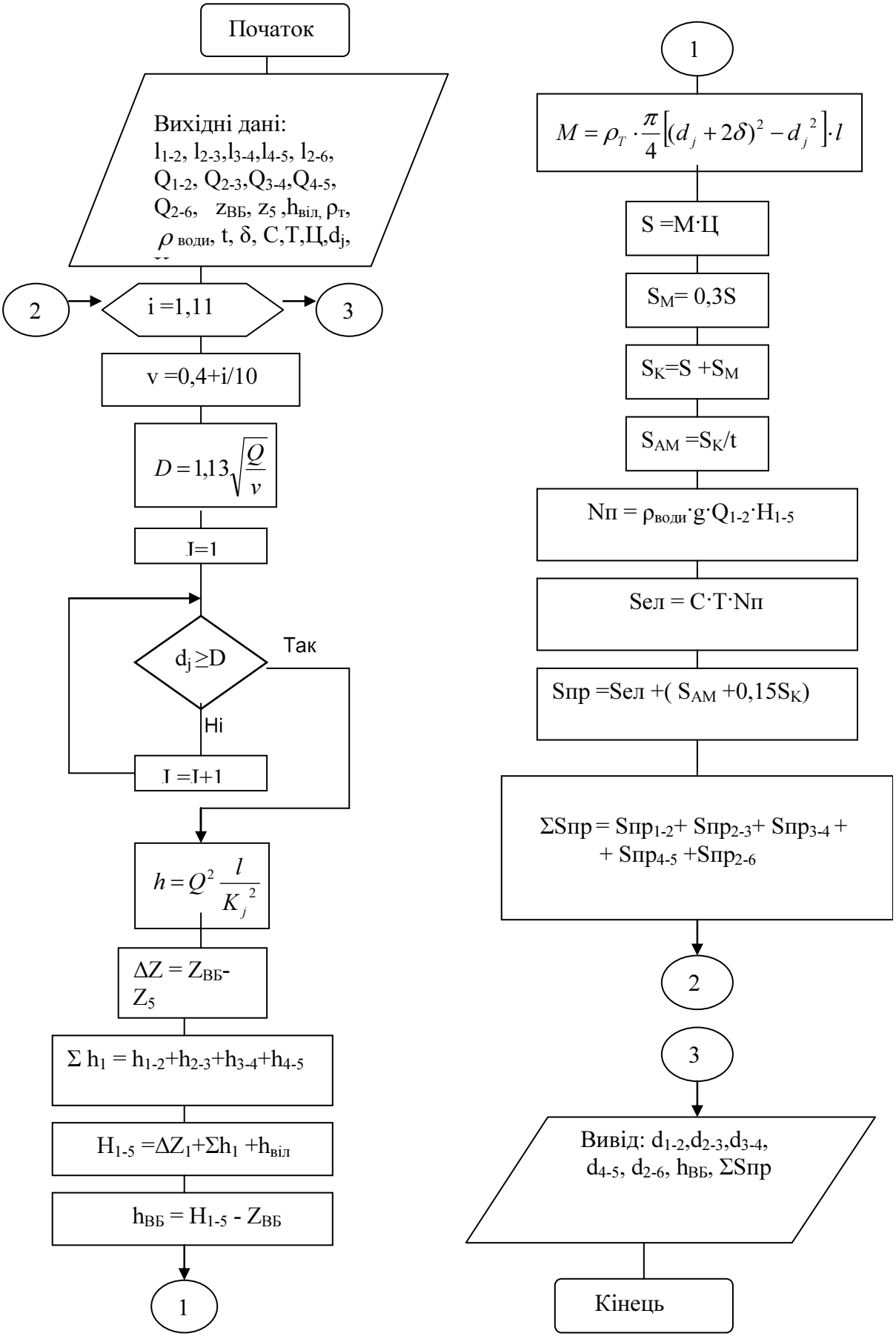


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритму гідравлічних і економічних розрахунків тупикової мережі водопостачання

Запропонована блок-схема алгоритму гідравлічних і економічних розрахунків системи сільськогосподарського водопостачання дуже проста і може бути реалізована на будь-якому алгоритмічному язиці програмування. Вона може бути корисна не тільки проектувальникам систем водопостачання, але і студентам при виконанні курсових і дипломних проектів.

Список літератури

1. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
2. Циклаури Д.С. Гидравлика, сельскохозяйственное водоснабжение и гидросиловые установки. – Москва. Издательство литературы по строительству, 1970. – 255 с.
3. Карасев Б.В. Гидравлика, основы сельскохозяйственного водоснабжения и канализации. Минск. Высшая школа, 1983. – 285 с.
4. Абрамов Н.Н., Поспелова М.М. и др. Расчет водопроводных сетей. – М.: Стройиздат, 1983. – 278 с.
5. Логинов В.П., Шуссер Л.М. Справочник по сельскохозяйственному водоснабжению/ Под. Ред. В.С. Оводова.-М.: Колос, 1980.-287 с.

Н.Ковальчук, Л.Мещишена

Алгоритм рассчёта разветвлённой сети водоснабжения

Предложенная блок-схема алгоритма гидравлических и экономических рассчётов сетей сельскохозяйственного водоснабжения позволяет с помощью компьютера очень быстро определить оптимальные конструктивные и гидравлические параметры водопроводной сети.

N.Kovalchuk, L.Meshishena

Computation algorithm for water supply extensive network

Designed algorithm of agriculture water supply systems` hydraulic and cost-efficiency evaluation is an easy-to-use approach for computer-assisted finding of the best values of water main network parameters.

Одержано 12.02.10

УДК 519.21

Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет,
М.В. Гончарова, студ.
Національний технічний університет України «КПІ», м.Київ

Дослідження задачі про розладнання послідовності з n символів

Досліджується задача про розладнання послідовності з n символів та її застосування в схемах захисту інформації. Побудовані два алгоритми для визначення моменту розладнання та зроблений порівняльний аналіз їх ефективності

момент розладнання, послідовність з n символів

Вступ. Класична задача розладнання [1] полягає у визначенні випадкового моменту зміни ймовірнісних характеристик випадкового процесу, для якого потрібно побудувати оцінки. Залишається актуальною задача побудови алгоритмів визначення моментів розладнання різних типів випадкових послідовностей, що використовуються в сучасних системах захисту інформації.

1. **Постановка задачі та обґрунтування алгоритмів її розв'язання.** Дослідимо задачу розладнання для потоку з n символів алфавіту. Якщо занумерувати символи від 1 до n, то спостережними подіями в потоці n символів будуть події $A_1, A_2, \ldots, A_n$, що вказують на появу символу з відповідним номером. Джерело повідомлень передає кожен символ алфавіту з певною ймовірністю $p_1, p_2, \ldots, p_n$; у деякий момент часу ймовірності передачі символів змінюються відповідно на $q_1, q_2, \ldots, q_n$. Потрібно визначити момент зміни ймовірностей, тобто момент розладнання.

Події $A_1, A_2, \ldots, A_n$ утворюють повну групу подій, тому

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1, \ \sum_{i=1}^{n} q_i = 1.$$

1.1. Алгоритм 1. Розглядаємо послідовність символів довжиною M. Для визначення моменту розладнання послідовності достатньо знайти момент розладнання хоча б для одного її символу, так як розладнання для всіх символів відбувається одночасно.

Кількість K_i символів під номером i на інтервалах довжиною N_i до моменту розладнання повинна зберігати майже сталу величину за властивістю стійкості відносної частоти появи випадкової події в серії експериментів, тобто

$$K_i = \nu_{N_i}(A_i) N_i \approx p_i N_i,$$

де N_i – кількість експериментів;

$\nu_{N_i}(A_i)$ – частота появи i-того символу.

Частота $\nu_{N_i}(A_i)$ змінюватиметься при зміні ймовірності, тобто $\nu_{N_i}(A_i) \approx q_i$, а отже зміниться і кількість K_i i-тих символів на інтервалах довжиною N_i:

$$K_i \approx q_i N_i.$$

Для визначення моменту розладнання підраховуємо кількість K_i знаків відповідного i-

© Г.Б. Філімоніхін, М.В. Гончарова, 2010

того символу, $i=\overline{1,n}$, на інтервалах від 0 до N_i, $N_i < M$, потім – на інтервалах від 1 до N_i+1, від 2 до N_i+2, …, від $M-N_i$ до M.

Проте при застосуванні такого алгоритму виникає проблема з визначенням довжини спостережного інтервалу, так як за умовою задачі ймовірності символів до і після моменту розладнання $p_1, p_2, \ldots, p_n$ і $q_1, q_2, \ldots, q_n$ приймають малі значення.

Критичну область для статистики K_i обираємо у вигляді $U_{\text{кр}} = \{K_i > C\}$.

При заданій помилці першого роду α для визначення порогу C використаємо інтегральну теорему Лапласа:

$$P\left(0 < \frac{K_i - Nq_i}{\sqrt{Nq_i(1-q_i)}} < \frac{C - Nq_i}{\sqrt{Nq_i(1-q_i)}}\right) = \Phi\left(\frac{C - Nq_i}{\sqrt{Nq_i(1-q_i)}}\right) = 1-\alpha, \quad (1)$$

де q_i – імовірність надходження символів під номером i після розладнання;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^x e^{-z^2/2}dz.$$

Із співвідношення (1) отримаємо:

$$C = Nq_i + t_{1-\alpha}\sqrt{Nq_i(1-q_i)}, \quad (2)$$

де $t_{1-\alpha}$ – квантиль нормального розподілу;

$\Phi(t_{1-\alpha}) = 1-\alpha$.

Аналогічно за теоремою Лапласа при заданій помилці другого роду β

$$P\left(0 < \frac{K_i - Np_i}{\sqrt{Np_i(1-p_i)}} < \frac{C - Np_i}{\sqrt{Np_i(1-p_i)}}\right) = \Phi\left(\frac{C - Np_i}{\sqrt{Np_i(1-p_i)}}\right) = \beta.$$

Відповідний даному N і визначеному в (2) C, квантиль $t_{1-\beta}$ ймовірності помилки другого роду β рівний

$$t_{1-\beta} = -t_\beta = \frac{Np_i - C}{\sqrt{Np_i(1-p_i)}}. \quad (3)$$

Враховуючи (2), (3), довжина найменшого інтервалу, на якому підраховуємо кількість символів під номером i, рівна

$$N = \left(\frac{t_{1-\beta}\sqrt{p_i(1-p_i)} + t_{1-\alpha}\sqrt{q_i(1-q_i)}}{p_i - q_i}\right)^2. \quad (4)$$

де $i=\overline{1,n}$.

Щоб точніше визначити момент розладнання, вибираємо символ із найменшою довжиною спостережного інтервалу. Моментом розладнання всього потоку символів вважатимемо момент розладнання знайденого символу.

1.2. Алгоритм 2. Для розв'язання задачі про розладнання для потоку з n символів алфавіту можна також використати алгоритм, який базується на властивості стійкості вибіркових середніх.

На основі результатів експериментів встановлюємо момент розладнання потоку символів, який співпадає з моментом зміни значення вибіркового середнього ймовірностей символів потоку, при цьому довжина спостережного інтервалу для потоку повідомлень рівна N, $N < M$.

Підраховуємо кількість K_i символів під номером i, $i=\overline{1,n}$, на інтервалах від 0 до N, потім — на інтервалах від 1 до $N+1$, від 2 до $N+2$, ..., від $N-M$ до M. На цих інтервалах обчислюємо вибіркові середні символів потоку. До моменту розладнання вони будуть рівні

$$n_{\text{в}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} iK_i \approx \sum_{i=1}^{n} ip_i ,$$

а після –

$$n_{\text{в}} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} iK_i \approx \sum_{i=1}^{n} iq_i .$$

Можливі випадки.

Перший випадок. Якщо за умовою задачі середні символів потоку до і після моменту розладнання майже рівні, тобто

$$\sum_{i=1}^{n} iq_i \approx \sum_{i=1}^{n} ip_i ,$$

то різниця між вибірковими середніми незначна і пояснюється випадковим відбором об'єктів вибірки. Тому в цьому випадку визначити момент розладнання за зміною величини вибіркових середніх неможливо, і доцільно використати алгоритм 1.

Другий випадок. Занумеруємо символи так, щоб послідовність різниць $p_i - q_i, i = \overline{1,n}$ була неспадною. При цьому величина

$$\sum_{i=1}^{n} ip_i - \sum_{i=1}^{n} iq_i$$

буде більш значною.

Потрібно перевірити нульову гіпотезу H_0:

$$n_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{n} iq_i ,$$

якщо розладнання відбулося, при альтернативній гіпотезі H_1

$$n_{\text{в}} = \sum_{i=1}^{n} ip_i ,$$

якщо розладнання не відбулося.

Якщо незалежні вибірки мають великий об'єм (не менше 30 кожна), то вибіркові середні мають розподіл, близький до нормального.

У якості критерію перевірки нульової гіпотези приймемо випадкову величину

$$U = \frac{n_{\text{в}} - \sum_{i=1}^{n} iq_i}{\sigma(n_{\text{в}})} = \frac{n_{\text{в}} - \sum_{i=1}^{n} iq_i}{\frac{\sigma_q}{\sqrt{N}}},$$

$$\text{де } \sigma_q^2 = \sum_{i=1}^{n} i^2 q_i - \left(\sum_{i=1}^{n} iq_i\right)^2 ,$$

яка нормально розподілена, до того ж при справедливості нульової гіпотези $MU = 0$, $\sigma(U) = 1$.

Критичну область вибираємо у вигляді $U_{\text{кр}} = \{U > C\}$.

При заданій помилці першого роду α для визначення порогу C використаємо інтегральну теорему Лапласа:

$$P\left(0 < \frac{n_{\text{в}} - \sum_{i=1}^{n} iq_i}{\frac{\sigma_q}{\sqrt{N}}} < \frac{C - \sum_{i=1}^{n} iq_i}{\frac{\sigma_q}{\sqrt{N}}}\right) = \Phi\left(\frac{C - \sum_{i=1}^{n} iq_i}{\frac{\sigma_q}{\sqrt{N}}}\right) = 1 - \alpha . \qquad (5)$$

Із (5) отримаємо:

$$C = \sum_{i=1}^{n} iq_i + \frac{t_{1-\alpha}\sigma_q}{\sqrt{N}}. \qquad (6)$$

Аналогічно при заданій помилці другого роду β за теоремою Лапласа

$$P\left(0 < \frac{n_в - \sum_{i=1}^{n} ip_i}{\frac{\sigma_p}{\sqrt{N}}} < \frac{C - \sum_{i=1}^{n} ip_i}{\frac{\sigma_p}{\sqrt{N}}}\right) = \Phi\left(\frac{C - \sum_{i=1}^{n} ip_i}{\frac{\sigma_p}{\sqrt{N}}}\right) = \beta, \qquad (7)$$

де $\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n} i^2 p_i - \left(\sum_{i=1}^{n} ip_i\right)^2$.

Із рівності (7) знаходимо квантиль $t_{1-\beta}$ імовірності помилки другого роду β:

$$t_{1-\beta} = t_{-\beta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} ip_i - C}{\sigma_p}\sqrt{N}. \qquad (8)$$

Із формул (6) і (8) знаходимо довжину найменшого спостережного інтервалу:

$$N = \left(\frac{t_{1-\beta}\sigma_p + t_{1-\alpha}\sigma_q}{\sum_{i=1}^{n} ip_i - \sum_{i=1}^{n} iq_i}\right)^2. \qquad (9)$$

2. Розв'язання задачі. Приклади. Для розв'язання задачі застосовуємо програму, написану на мові С++.

Приклад 1. Нехай $n = 10$; $p_i = 0{,}1$; $q_1 = 0{,}14$; $q_2 = 0{,}16$; $q_3 = 0{,}06$; $q_4 = 0{,}101$; $q_5 = 0{,}051$; $q_6 = 0{,}105$; $q_7 = 0{,}1$; $q_8 = 0{,}08$; $q_9 = 0{,}15$; $q_{10} = 0{,}053$; $\alpha = 0{,}01$; $\beta = 0{,}001$.

За алгоритмом 1 за формулою (4) обчислюємо довжину найменшого інтервалу *N* для кожного символу. Найменше значення буде *N=863* для символу *i=5.*

За формулою (2) знаходимо *C=60.*

Отже, для значень $K_i < 60$ можна вважати з імовірністю висновку 0,99, що розладнання відбулося.

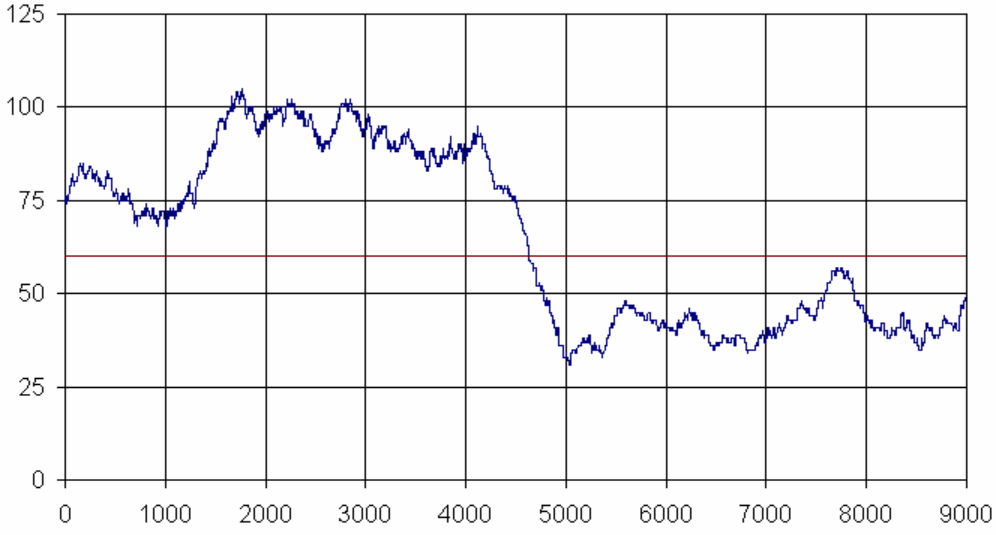


Рисунок 1- Графік, який показує кількість символів K_5 у кожний момент часу. Лінією позначено поріг *C*

Із графіка (рис. 1) видно, що розладнання відбулося приблизно в позиції 4630.

Приклад 2. Розв'яжемо ту саму задачу за алгоритмом 2.

За формулою (9) отримаємо $N = 17600$. При такому об'ємі вибірки неможливо визначити момент розладнання, тому перенумеруємо символи алфавіту: $p_i = 0{,}1$; $q_1 = 0{,}051$; $q_2 = 0{,}053$; $q_3 = 0{,}06$; $q_4 = 0{,}08$; $q_5 = 0{,}1$; $q_6 = 0{,}101$; $q_7 = 0{,}105$; $q_8 = 0{,}14$; $q_9 = 0{,}15$; $q_{10} = 0{,}16$. При цьому зміняться вибіркові середні.

За формулами (9) і (6) знаходимо значення N і C: $N = 1192$, $C \approx 6{,}179$. Отже, для значень $n_в > 6{,}179$ можна вважати, що розладнання відбулося.

Із графіка (рис. 2) видно, що розладнання відбулося приблизно в позиції 4300.

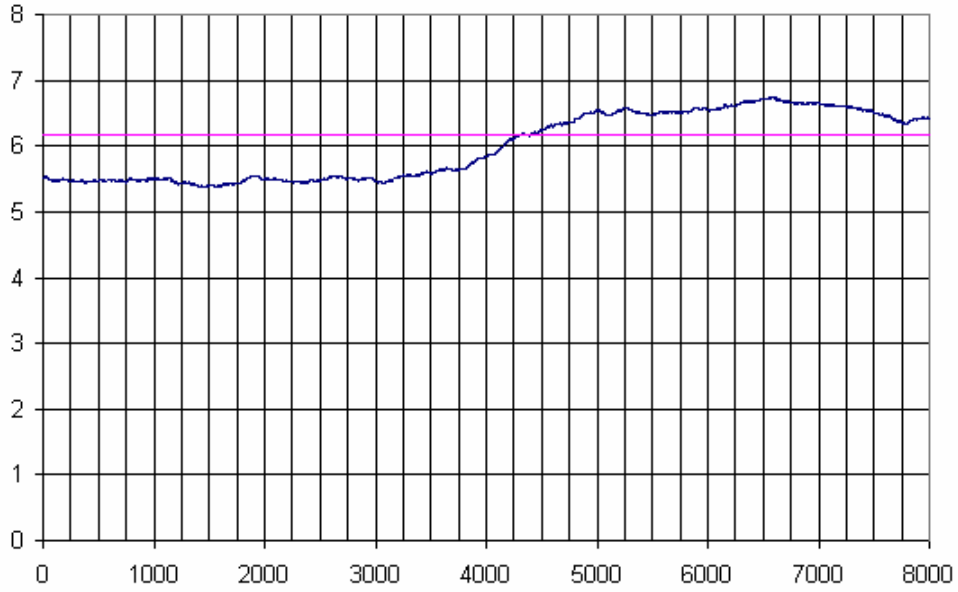


Рисунок 2- Графік випадкової величини $n_в$. Лінією позначена межа критичної області C

Зробимо порівняльний аналіз алгоритмів.

У кожному з алгоритмів був прийнятий рівень значущості $\alpha = 0{,}01$, потужність критерію $1 - \beta = 0{,}999$.

Порівнюючи результати розв'язання задачі за двома алгоритмами, отримано: момент розладнання за алгоритмом 1 відбувається в позиції 4630, за алгоритмом 2 — 4300. Мінімальна довжина N для алгоритмів рівна відповідно 863, 1192.

Таким чином, алгоритм 1 є більш точним, так як довжина спостережного інтервалу для нього є меншою, що дає змогу точніше визначити момент розладнання.

Висновки. Для знаходження моменту розладнання послідовності з n символів запропоновані алгоритми 1 і 2, в основі яких лежить властивість стійкості відносної частоти появи випадкової події в серії експериментів та властивість стійкості вибіркових середніх відповідно.

Практична цінність результатів дослідження визначається можливістю їх використання в схемах захисту інформації, а саме: для перевірки рівноймовірності випадкових послідовностей, при шифруванні, для виявлення зміни мови повідомлення, :для тестування якості випадкових послідовностей, перевірки однорідності послідовностей.

Список літератури

1. Дарховский Б.С., Бродский Б.Е. Непараметрический метод скорейшего обнаружения изменений среднего случайной последовательности // Теория вероятн. и ее примен. — 1987. — 32, №4. — С.703–711.
2. Николаев А.Ф. Об одной постановке задачи о множественной разладке // Теория вероятн. и ее примен. — 1998. — 43, №2. — С.370–374.

3. Кличене Н., Телькснис Л. Методы обнаружения моментов изменения свойств случайных последовательностей // Автоматика и телемеханика. — 1983. — №10. — С.5–56.

Г. Филимонихин, М. Гончарова

Исследование задачи о разладке последовательности из *n* символов

Исследуется задача о разладке последовательности из *n* символов и ее применение в схемах защиты информации. Построены два алгоритм для определения момента разладки и сделан сравнительный анализ их эффективности.

G. Filimonihin, M. Goncharova

Investigation of problem of the change moment of sequence from *n* symbols

Disorder problem of sequence from *n* symbols and its application in schemes of privacy are investigated. Two algorithms for determination of the discord moment are compounded. The comparative analysis of its effective is made.

Одержано 15.02.10

УДК 007.52

І.І. Павленко, проф., д–р техн. наук, В.А. Мажара, канд. техн. наук,
М.О. Сторожук, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Структурні планувально-компонувальні дослідження роботизованих комплексів

В даній статті розглянуто питання формування роботизованих комплексів в залежності від виконання технологічного обладнання, промислових роботів та допоміжних пристроїв. Запропоновано використання планувальної, конструктивно-планувальної, конструктивно-функціональної та ін. структур.
роботизований технологічний комплекс, промисловий робот планувальна структура, конструктивно-планувальна структура

Вибір технологічного обладнання, промислових роботів, допоміжних пристроїв та їх компонувального розміщення в роботизованих технологічних комплексів (РТК) значною мірою залежать від системи координат основних рухів та технічних характеристик промислового робота. Оскільки парк роботів, які можуть використовуватися в складі РТК доволі великий, то структурний аналіз даного питання на планувально-компонувальному рівні є актуальним питанням.

Важливою складовою структурного аналізу РТК є його наглядне представлення з якого детально видно, як побудовано та принципово функціонує комплекс. За ступенем деталізації таку структуру можна представити, як:

- спрощена (схемна, принципова) планувальна структура;
- реальна планувальна структура;
- конструктивно-планувальна структура;
- схемно-функціональна структура;
- конструктивно-функціональна структура та ін.

Приклади спрощеної планувальної структури РТК наведені в таблиці 1. У такій

© І.І. Павленко, В.А. Мажара, М.О. Сторожук, 2010

3. Кличене Н., Телькснис Л. Методы обнаружения моментов изменения свойств случайных последовательностей // Автоматика и телемеханика. — 1983. — №10. — С.5–56.

Г. Филимонихин, М. Гончарова

Исследование задачи о разладке последовательности из *n* символов

Исследуется задача о разладке последовательности из *n* символов и ее применение в схемах защиты информации. Построены два алгоритм для определения момента разладки и сделан сравнительный анализ их эффективности.

G. Filimonihin, M. Goncharova

Investigation of problem of the change moment of sequence from *n* symbols

Disorder problem of sequence from *n* symbols and its application in schemes of privacy are investigated. Two algorithms for determination of the discord moment are compounded. The comparative analysis of its effective is made.

Одержано 15.02.10

УДК 007.52

І.І. Павленко, проф., д–р техн. наук, В.А. Мажара, канд. техн. наук,
М.О. Сторожук, викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Структурні планувально-компонувальні дослідження роботизованих комплексів

В даній статті розглянуто питання формування роботизованих комплексів в залежності від виконання технологічного обладнання, промислових роботів та допоміжних пристроїв. Запропоновано використання планувальної, конструктивно-планувальної, конструктивно-функціональної та ін. структур.
роботизований технологічний комплекс, промисловий робот планувальна структура, конструктивно-планувальна структура

Вибір технологічного обладнання, промислових роботів, допоміжних пристроїв та їх компонувального розміщення в роботизованих технологічних комплексів (РТК) значною мірою залежать від системи координат основних рухів та технічних характеристик промислового робота. Оскільки парк роботів, які можуть використовуватися в складі РТК доволі великий, то структурний аналіз даного питання на планувально-компонувальному рівні є актуальним питанням.

Важливою складовою структурного аналізу РТК є його наглядне представлення з якого детально видно, як побудовано та принципово функціонує комплекс. За ступенем деталізації таку структуру можна представити, як:

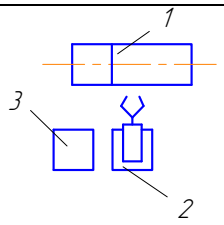
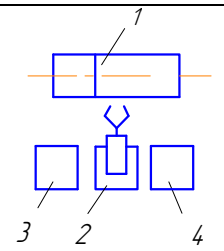
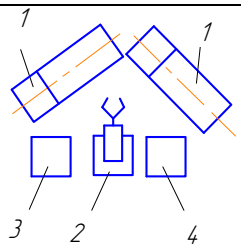
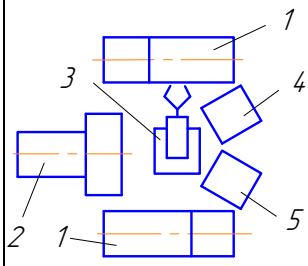
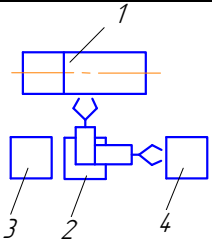
- спрощена (схемна, принципова) планувальна структура;
- реальна планувальна структура;
- конструктивно-планувальна структура;
- схемно-функціональна структура;
- конструктивно-функціональна структура та ін.

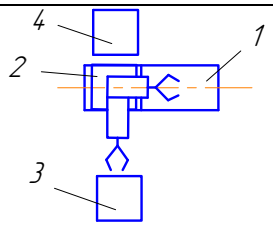
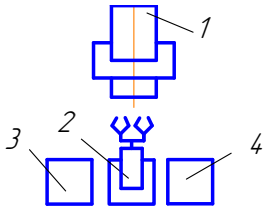
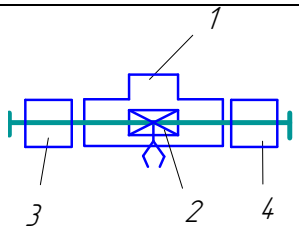
Приклади спрощеної планувальної структури РТК наведені в таблиці 1. У такій

© І.І. Павленко, В.А. Мажара, М.О. Сторожук, 2010

структурі комплекси представлені спрощеними умовними позначеннями їх елементної бази та планувального розміщення згідно з вихідними даними, що дають загальну інформацію про комплекс. Такий варіант структурного зображення є простим і дуже зручним для початкового розгляду питання будови та функціонування РТК. Умовність такої структури полягає в тому, що елементи комплексу на схемах показуються не у відповідності до дійсної форми і розмірів, які вони займають на виробничій площі.

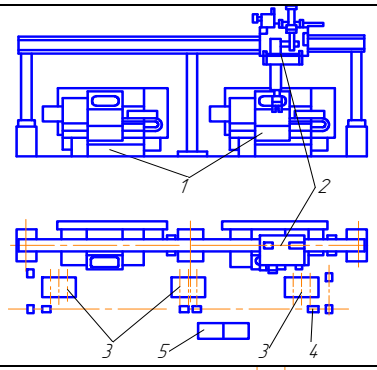
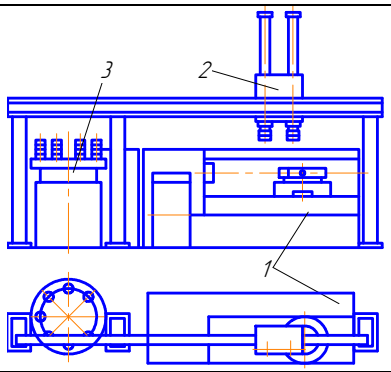
Таблиця 1 – Принципова планувальна структура РТК

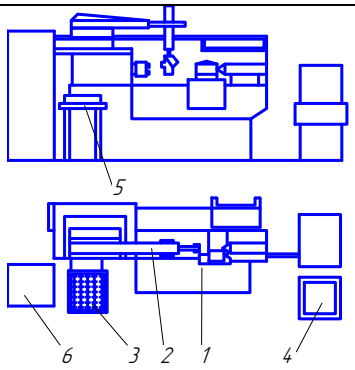
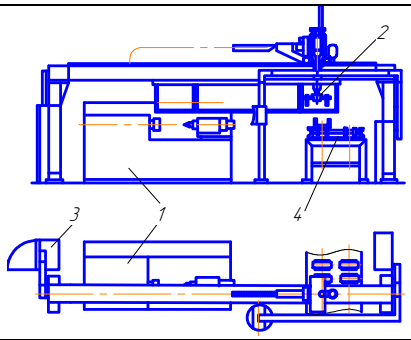
№ п/п	Вхідні дані					Структурно-планувальна схема	Примітки
	Основне обладнання		Промислові роботи		К-ть допом. пристр.		
	Тип верст.	К-ть верст.	Особл викон.	К-ть рук/ захватів			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	токарний	1	Встановлений на підлозі	1/1	1		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-но-приймаль-ний пристрій
2	токарний	1	Встановлений на підлозі	1/1	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й
3	токарний	2	Встановлений на підлозі	1/1	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й
4	токарний свердлил.	2 1	Встановлений на підлозі	1/1	2		1–токарн. верстат; 2–свердл. верстат; 3–робот; 4–подаваль-ний пр-й; 5-приймаль-ний пр-й
5	токарний	1	Встановлений на підлозі	2/2	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й

6	токарний	1	Встановлений на верстаті	2/2	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й
7	фрезер-ний	1	Встановлений на підлозі	1/2	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й
8	шліфу-вальний	1	Портальний	1/1	2		1–верстат; 2–робот; 3–подаваль-ний пр-й; 4-приймаль-ний пр-й

Більшу конкретизацію про будову комплексу дає реальне планування, яке виконано згідно до дійсних розмірів верстатів, роботів, допоміжних пристроїв та їх взаємного розміщення на виробничій площі. Ще більш наглядно представляється конструктивно-планувальна структура, де в спрощеному вигляді, але з збереженням розмірних пропорцій показуються контури обладнання в різних проекціях (табл. 2). В таких структурах наочно представляються особливості конструктивного виконання технологічного обладнання, промислового робота, допоміжних пристроїв та їх взаємного розміщення й можливого функціонування. При цьому може також бути показано розміщення та орієнтація оброблюваних деталей в різних позиціях РТК.

Таблиця 2 – Конструктивно-планувальна структура РТК

№	Типові схеми РТК	Примітки
1		1 – верстат; 2 – промисловий робот; 3 – магазин; 4 – системи світло-захисту; 5 – електрошафа
2		1 – верстат; 2 – промисловий робот; 3 – магазин

3		1 – верстат; 2 – промисловий робот; 3 – касета; 4 – блок керування; 5 – стіл; 6 – електрошафа
4		1 – верстат; 2 – промисловий робот; 3 – блок керування; 4 – конвеєр

Важливою складовою структурних досліджень є аналіз можливих варіантів функціонування комплексу. Першим кроком у цьому напрямку є використання спрощеного схемно-функціонального аналізу. Його використання є особливо доцільним для проведення оцінки варіантів переміщення транспортованих деталей. Приклади такої структури показано на рис. 1.

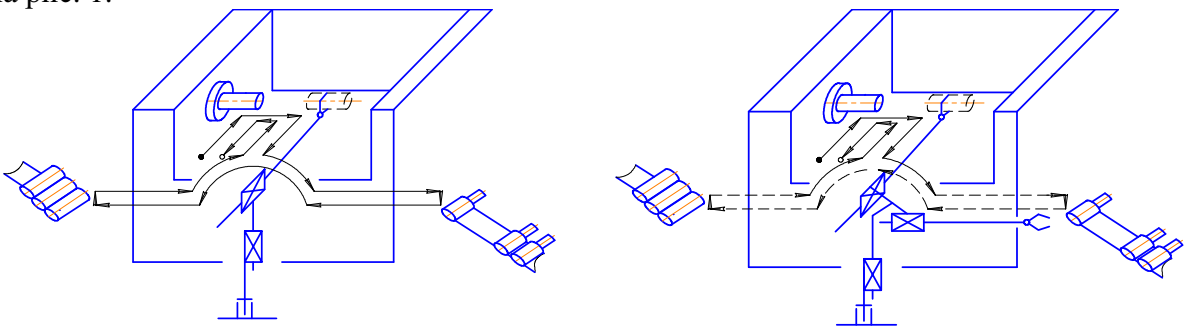


Рисунок 1 – Схемно-функціональна структура РТК

Значне уточнення про особливості функціонування РТК дає конструктивно-функціональна структура, в якій показано загальні контури елементної бази комплексу та детально представлені напрямки рухів робота, що необхідні для реалізації потрібного циклу роботи РТК.

Використання запропонованих структур дозволить більш обґрунтовано вибирати технологічне обладнання, промислові роботи та допоміжні пристрої для формування роботизованих комплексів у залежності від технологічних операцій і оброблюваних деталей та забезпечити більшу ефективність їх експлуатації.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. Кіровоград, КНТУ, 2007. – 420 с.
2. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1988. – 392 с.
3. Павленко І.І. Структура промислових роботів. Кіровоград, 1998. – 98 с.

И.Павленко, В.Мажара, М.Сторожук

Структурные планировочно-компоновочные исследования роботизированных комплексов

В данной статье рассмотрен вопрос формирования роботизированных комплексов в зависимости от использования технологического оборудования, промышленных роботов и вспомогательных устройств. Предложено использование планировочной, конструктивно-планировочной и конструктивно-функциональной структур.

I.Pavlenko, V.Mazhara, M.Storozhuk
Structural plan-layout researches of robotized complexes

In this article the question of forming of robotized complexes is considered depending on implementation of technological equipment, industrial robots and associated units. The use of plan is offered, structurally plan and structurally functional structures.

Одержано 29.02.10.

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, І.А. Валявський, ас., А.О.Гнатюк, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Інтегральний робочий простір верстатів-гексаподів

В статті запропоновані удосконалені компоновочні схеми верстатів-гексаподів з керованими параметрами робочого простору, досліджено формування та параметри їх інтегрального робочого простору.
верстат, гексапод, верстат з паралельною кінематикою, робочий простір

Аналіз технічних характеристик верстатів з паралельною кінематикою (ВПК) показує, що вони мають суттєвий недолік, який полягає у значно меншому співвідношенні об‘єму робочого простору до загального об‘єму верстата, ніж у верстатів традиційної компоновки. Крім того, форма їх робочого простору (РП) має складну конфігурацію, що ускладнює визначення розташування оброблюваної деталі на робочому столі.

Вказані недоліки значно обмежують впровадження ВПК та зменшують ефективність їх експлуатації у серійному виробництві.

З метою підвищення ефективності використання ВПК типу гексапод у виробництві пропонується розширення робочого простору шляхом керування геометричними параметрами верстата.

Отже, дослідження процесу керування параметрами робочого простору з метою збільшення коефіцієнту його використання у загальному об‘ємі верстата є актуальною науково-практичною задачею.

На підставі аналізу схеми структурно-модульної будови верстата-гексапода (рис. 1, а) запропоновані удосконалені компоновочні схеми з керованими параметрами РП (рис. 1, б), які відрізняються конструктивним виконанням та розташуванням кінематичних ланок у просторі (рис. 2).

© І.І. Павленко, І.А. Валявський, А.О. Гнатюк, 2010

В данной статье рассмотрен вопрос формирования роботизированных комплексов в зависимости от использования технологического оборудования, промышленных роботов и вспомогательных устройств. Предложено использование планировочной, конструктивно-планировочной и конструктивно-функциональной структур.

I.Pavlenko, V.Mazhara, M.Storozhuk
Structural plan-layout researches of robotized complexes

In this article the question of forming of robotized complexes is considered depending on implementation of technological equipment, industrial robots and associated units. The use of plan is offered, structurally plan and structurally functional structures.

Одержано 29.02.10.

УДК 621.9.06

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, І.А. Валявський, ас., А.О.Гнатюк, студ.
Кіровоградський національний технічний університет

Інтегральний робочий простір верстатів-гексаподів

В статті запропоновані удосконалені компоновочні схеми верстатів-гексаподів з керованими параметрами робочого простору, досліджено формування та параметри їх інтегрального робочого простору.
верстат, гексапод, верстат з паралельною кінематикою, робочий простір

Аналіз технічних характеристик верстатів з паралельною кінематикою (ВПК) показує, що вони мають суттєвий недолік, який полягає у значно меншому співвідношенні об‘єму робочого простору до загального об‘єму верстата, ніж у верстатів традиційної компоновки. Крім того, форма їх робочого простору (РП) має складну конфігурацію, що ускладнює визначення розташування оброблюваної деталі на робочому столі.

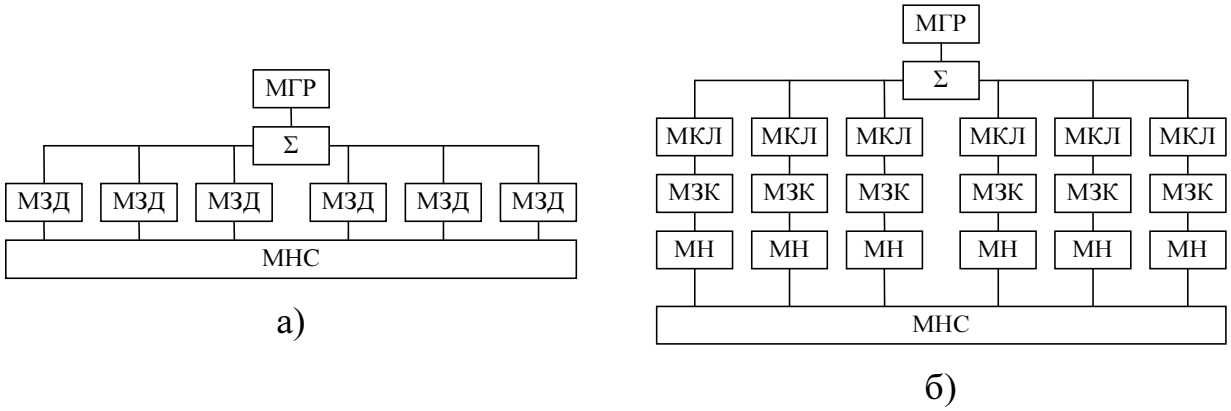
Вказані недоліки значно обмежують впровадження ВПК та зменшують ефективність їх експлуатації у серійному виробництві.

З метою підвищення ефективності використання ВПК типу гексапод у виробництві пропонується розширення робочого простору шляхом керування геометричними параметрами верстата.

Отже, дослідження процесу керування параметрами робочого простору з метою збільшення коефіцієнту його використання у загальному об‘ємі верстата є актуальною науково-практичною задачею.

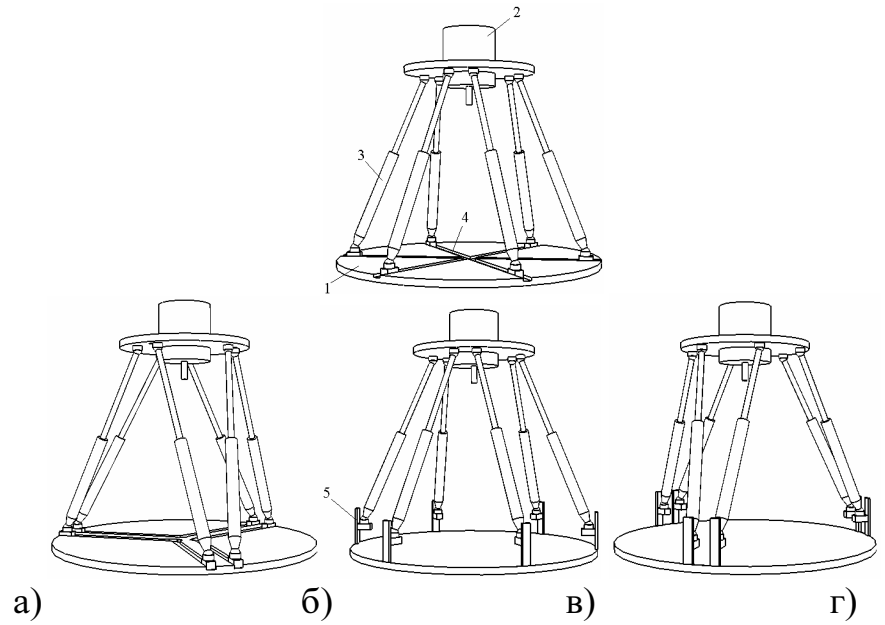
На підставі аналізу схеми структурно-модульної будови верстата-гексапода (рис. 1, а) запропоновані удосконалені компоновочні схеми з керованими параметрами РП (рис. 1, б), які відрізняються конструктивним виконанням та розташуванням кінематичних ланок у просторі (рис. 2).

© І.І. Павленко, І.А. Валявський, А.О. Гнатюк, 2010



а) без можливості керування параметрами РП; б) з можливістю керування параметрами РП
МГР – модуль головного руху; Σ – підсумковий механізм; МКЛ – модуль кінематичних ланок; МЗК – модуль зміни координат опорних шарнірів; МН – модуль напрямних; МНС – модуль несучої системи

Рисунок 1 – Структурно-модульна будова верстатів-гексаподів



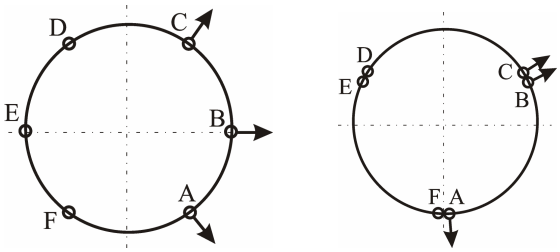
а, б) в горизонтальними напрямними; в, г) з вертикальними напрямними; 1) несуча система; 2) виконавчий орган; 3) кінематичні ланки; 4) горизонтальні напрямні; 5) вертикальні напрямні

Рисунок 2 – Удосконалені компоновки верстатів-гексаподів з керованими параметрами робочого простору

Запропоновані верстати-гексаподи удосконаленої компоновки дозволяють керувати формою та параметрами робочого простору шляхом зміни координат опорних шарнірів за допомогою додатково вбудованих напрямних (горизонтального та вертикального виконання) на несучій системі.

Розглянемо залежність параметрів робочого простору при зміні координат опорних шарнірів, змонтованих на несучій системі верстата-гексапода у горизонтальному та вертикальному напрямках.

Робочий простір верстата-гексапода з радіальними напрямними досліджувався на моделі верстата-гексапода, оснащеній додатковими горизонтальними радіально розташованими напрямними, відносно яких переміщуються опорні шарніри кінематичних ланок, внаслідок чого виконавчий орган має можливість переміщуватись додатково у визначеному напрямку на відповідну величину (рис. 3).



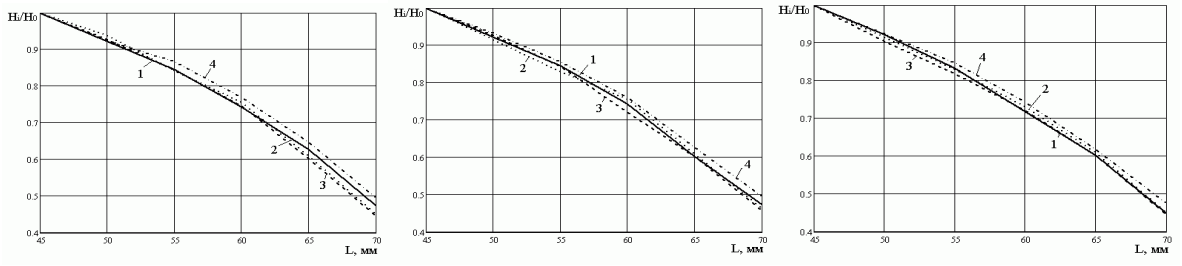
а) б)

а) для схем структури N×S=6×6 та N×S=6×3; б) для схем структури N×S=3×6 та N×S=3×3
Рисунок 3 – Схема зміни координат опорних шарнірів у радіальному напрямку

Під час дослідження змінювалися у радіальному напрямку координати одного, двох, трьох та шести опорних шарнірів послідовно на величину від 45 до 70 мм з інтервалом 5 мм. При кожному фіксованому положенні ВО визначався профіль поперечного перерізу (лінії рівня) робочого простору та його параметри: діаметр (D) (відносно осі X) та висота (H), що визначалася за сукупністю ліній рівня у вертикальній площині. Кожна зміна координат опорних шарнірів у радіальному напрямку викликає зміну форми робочого простору.

Залежність параметрів робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у радіальному напрямку наведена на рис. 4 та 5. Позначення на графіках: 1 – залежність для верстата структури N×S=6×6; 2 – N×S=6×3; 3 – N×S=3×6; 4 – N×S=3×3.

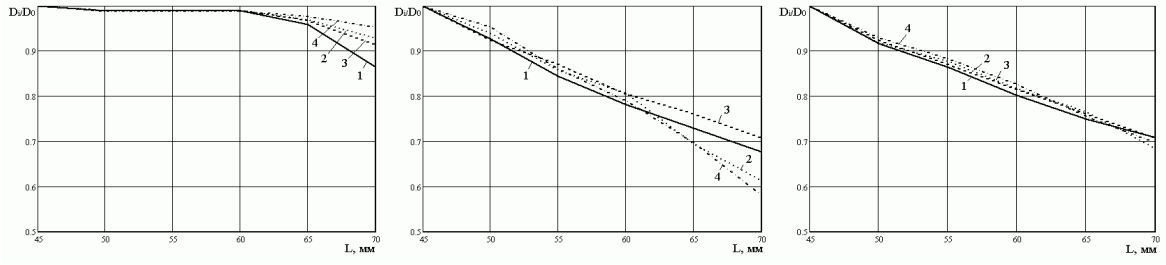
Наведені залежності показують, що кожна зміна координат опорних шарнірів у радіальному напрямку зменшує усі параметри робочого простору, що впливає на його об’єм (рис. 6).



а) б) в)

а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

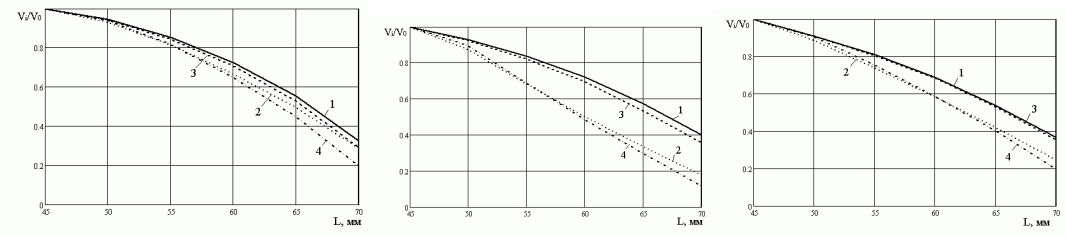
Рисунок 4 – Залежність висоти робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у радіальному напрямку



а) б) в)

а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

Рисунок 5 – Залежність діаметру робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у радіальному напрямку



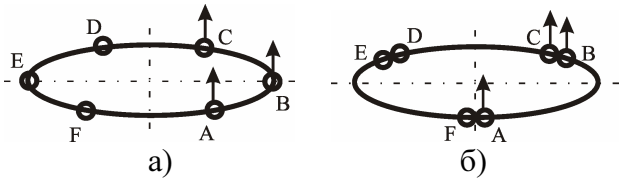
а) б) в)

а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

Рисунок 6 – Залежність об'єму робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у радіальному напрямку

Так, при зміні координат одного шарніру об'єм робочого простору зменшується у 1,4 рази, двох – у 1.56 рази, а трьох – у 1,8 разів. Найбільш інтенсивно зменшується об'єм РП для верстатів компоновок N×S=3×3.

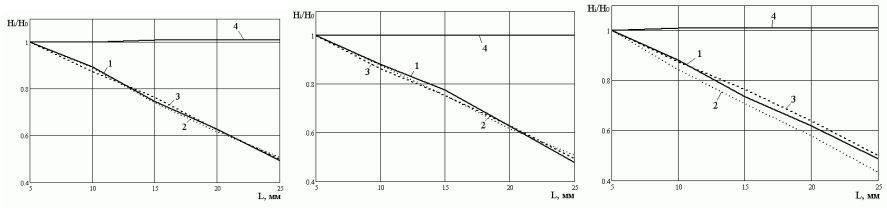
Дослідження впливу зміни координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку виконувалися на віртуальній та фізичній моделях верстата-гексапода з додатково встановленими вертикальними напрямними. Під час досліджень послідовно змінювалися координати одного, двох та трьох опорних шарнірів у вертикальному напрямку (рис. 7) на величину від h_{min} = 0 до h_{max} = 0.25 м з інтервалом 0.05 м.



а) б)

а) для схем структури N×S=6×6 та N×S=6×3;
б) для схем структури N×S=3×6 та N×S=3×3
Рисунок 7 – Схема зміни координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку

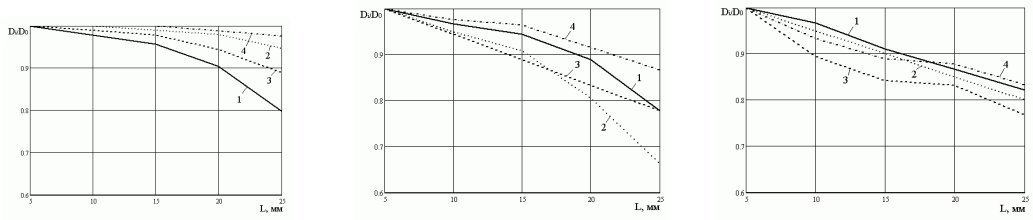
Зміна координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку впливає на висоту (рис. 8) та діаметр (рис. 9) робочого простору.



а) б) в)

а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

Рисунок 8 – Залежність висоти робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку



а) б) в)

а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

Рисунок 9 – Залежність діаметру робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку

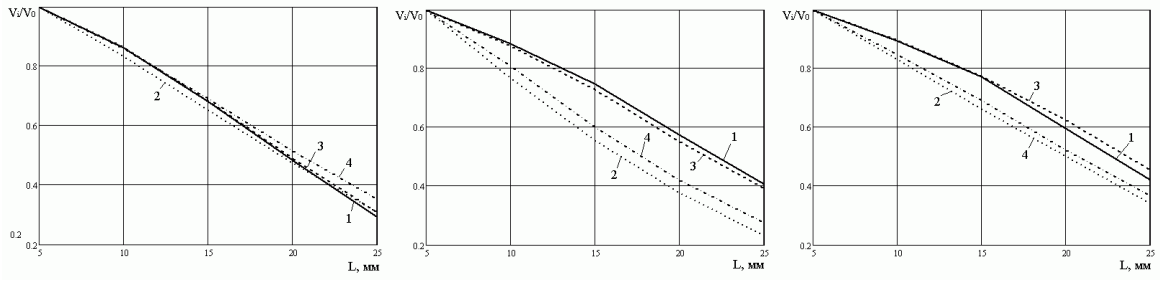
Аналіз наведених залежностей свідчить, що зміна координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку зменшує усі основні параметри робочого простору верстатів-гексаподів удосконалених компоновок, а саме:

– незмінним залишається значення висоти РП для верстата компоновки N×S=3×3;

– для інших компоновочних схем верстатів-гексаподів відбувається зменшення висоти РП за аналогічною залежністю у межах від 0,45 до 0,55 разів;

– зменшення величини діаметрів РП для верстатів різних компоновочних схем спостерігається у межах від 0,03 до 1,18 разів для компоновки структури N×S=3×3 та від 0,05 до 0,35 разів – для структури N×S=3×6.

Зміна висоти та діаметру робочого простору впливає на зміну його об‘єму (рис. 10)



а) б) в)

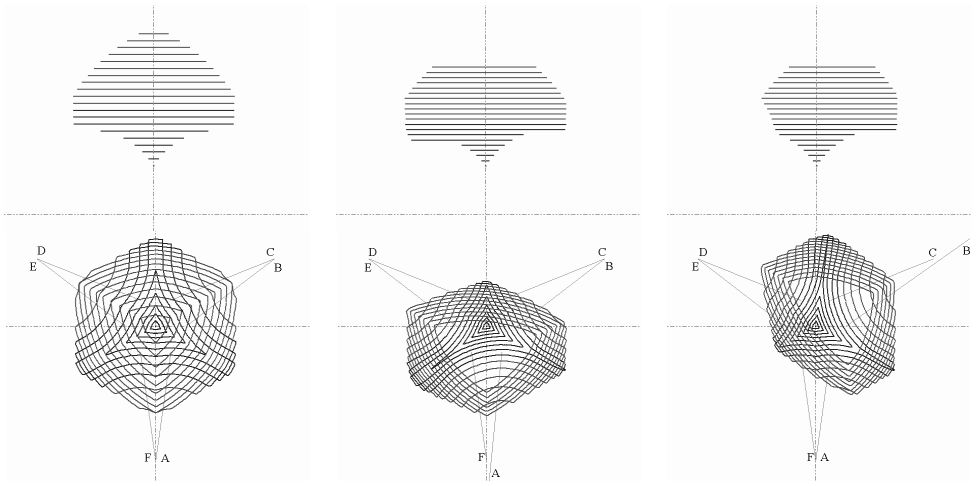
а) при зміні координат одного шарніру (А); б) двох шарнірів (А, В); в) трьох сусідніх шарнірів (А, В, С)

Рисунок 10 – Залежність об’єму робочого простору від зміни координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку

Зміна координат опорних шарнірів значно зменшує об’єм робочого простору: переміщення одного шарніру – у 0,3 рази, двох шарнірів – у 0,4 рази (для компоновок структур N×S=6×6, N×S=3×6) та у 0,3 рази (для компоновок структур N×S=6×3, N×S=3×3), а трьох – у 0,45 разів (для компоновок структур N×S=6×6, N×S=3×6) та у 0,35 рази (для компоновок структур N×S=6×3, N×S=3×3).

Отже, послідовна зміна координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку зменшує параметри робочого простору на відповідну величину залежно від визначеної компоновочної схеми верстата-гексапода.

Результати математичного моделювання, підтверджені експериментальними дослідженнями, свідчать, що зміна координат опорних шарнірів у горизонтальному або вертикальному напрямках змінює діаметр, висоту, об‘єм, конфігурацію та розташування робочого простору (рис. 11). Сукупність всіх можливих при цьому робочих просторів формує інтегральний робочий простір верстата-гексапода (рис. 12, 13).



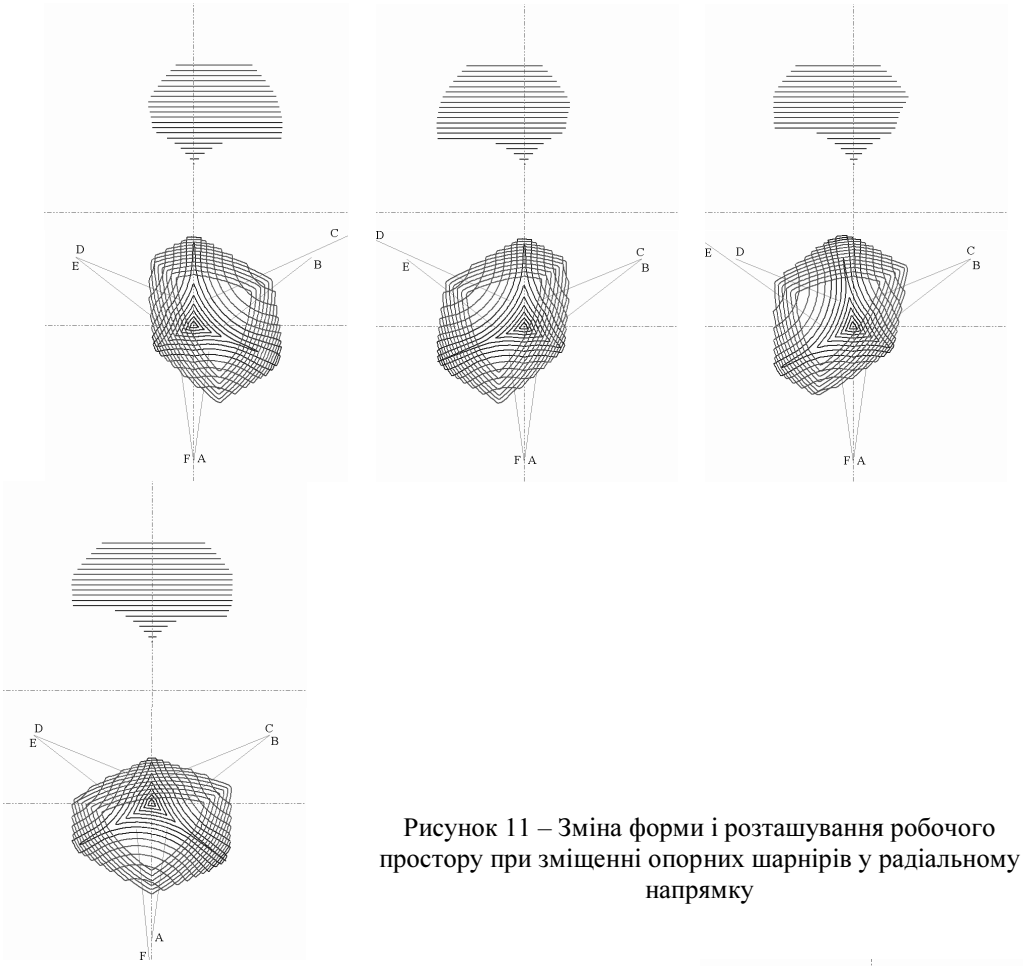
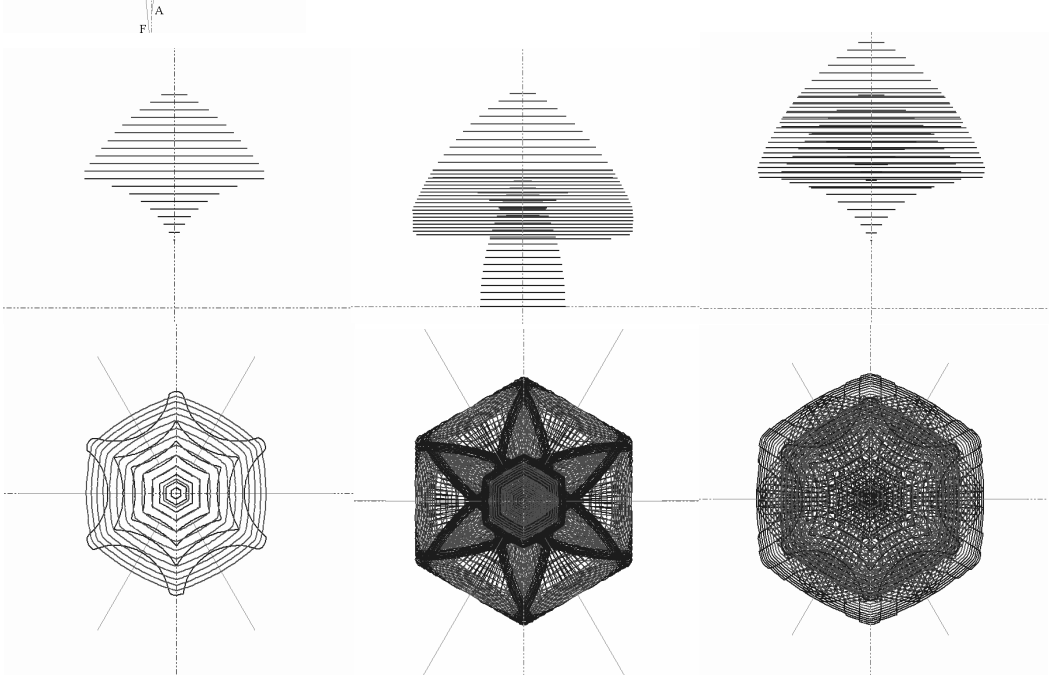


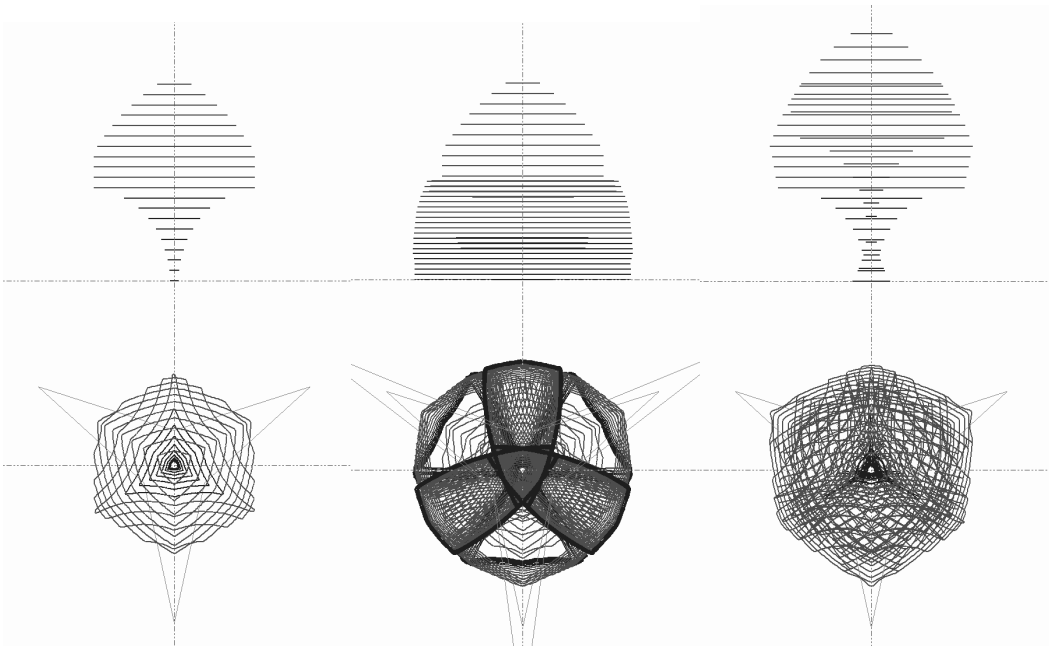
Рисунок 11 – Зміна форми і розташування робочого простору при зміщенні опорних шарнірів у радіальному напрямку



а) б) в)

а) вихідна форма РП; б) при переміщенні шарнірів у радіальному напрямку; в) при переміщенні шарнірів у вертикальному напрямку

Рисунок 12 – Інтегральний робочий простір верстата-гексапода структури N×S=6×6



а) б) в)

а) вихідна форма РП; б) при переміщенні шарнірів у радіальному напрямку; в) при переміщенні шарнірів у вертикальному напрямку

Рисунок 13 – Інтегральний робочий простір верстата-гексапода структури N×S=3×3

Отримані результати досліджень свідчать, що інтегральний робочий простір верстата-гексапода з додатковими напрямними збільшується від 1,3 до 2 разів порівняно із звичайною схемою (рис. 14, 15).

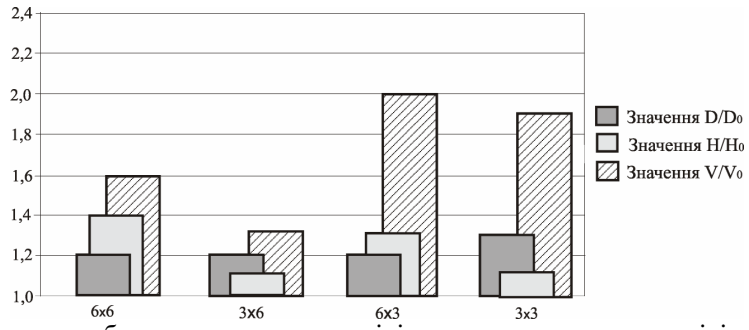


Рисунок 14 – Параметри робочого простору при зміні координат опорних шарнірів у горизонтальному напрямку

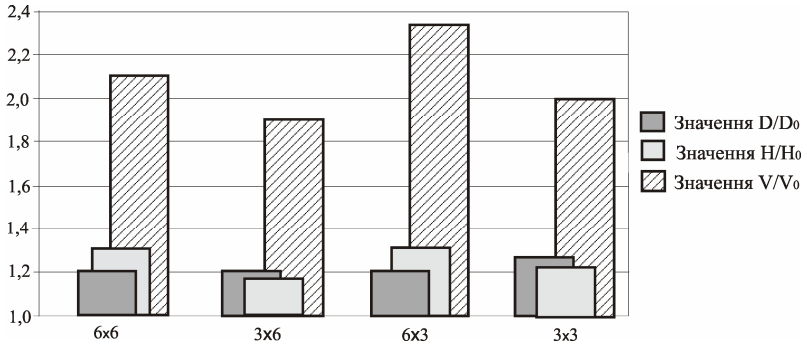


Рисунок 15 – Параметри робочого простору при зміні координат опорних шарнірів у вертикальному напрямку

Зміна координат опорних шарнірів у горизонтальному напрямку збільшує об‘єм інтегрального робочого простору у 1,3...2,0 рази, а при переміщенні опорних шарнірів у

вертикальному напрямку спостерігається збільшення об‘єму загального робочого простору у 1,9...2,3 рази.

Список літератури

1. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / [Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляров Р.А.]. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

И. Павленко, И. Валявский
Интегральное рабочее пространство станков-гексаподов

В статье предложены усовершенствованные компоновочные схемы станков-гексаподов с управляемыми параметрами рабочего пространства, исследовано формирование и параметры их интегрального рабочего пространства.

I. Pavlenko, I. Valyavsky
Integrated working space of hexapods

In article advanced layout schemes of hexapods with operated working space parameters are offered, formation and parameters of their integrated working space is investigated.

Одержано 04.03.10

УДК 621.753.1:621.073

Е.И.Чемерис, канд. техн. наук
Кировоградский институт регионального управления и экономики

Надежность оценки параметров качества штамповки тонколистових деталей сложного контура

Рассмотрен статистический метод обеспечения надежности измерения геометрических параметров качества штампуемых сложноконтурных тонколистовых изделий.
штамповка , тонколистовые изделия , статистический метод, надежность, измерение параметры качества

При массовой скоростной штамповке тонколистовых деталей сложного контура (ТДСК) прецизионными разделительными штампами последовательного действия (ПРШПД) возникает необходимость в повышенной точности определения действительных значений параметров качества. Типовыми параметрами качества данных изделий являются следующие:

– точность размеров поверхностей конструктивных элементов штампуемой ТДСК;
– точность формы плоскости контура ТДСК;
– точность формы расположения внутренних конструктивных элементов ТДСК.

Другие параметры качества – физико-механическое состояние поверхностей ТДСК и структуры материала ТДСК мало изменяются в процессе разделения и подлежат контролю на стадиях проверки качества их заготовок.

В работах автора (1, 2, 3, 4) рассмотрены геометрические и силовые факторы, влияющие на формирование точности рассматриваемых параметров качества.

© Е.И.Чемерис, 2010

вертикальному напрямку спостерігається збільшення об‘єму загального робочого простору у 1,9...2,3 рази.

Список літератури

1. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. / [Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляров Р.А.]. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

И. Павленко, И. Валявский
Интегральное рабочее пространство станков-гексаподов

В статье предложены усовершенствованные компоновочные схемы станков-гексаподов с управляемыми параметрами рабочего пространства, исследовано формирование и параметры их интегрального рабочего пространства.

I. Pavlenko, I. Valyavsky
Integrated working space of hexapods

In article advanced layout schemes of hexapods with operated working space parameters are offered, formation and parameters of their integrated working space is investigated.

Одержано 04.03.10

УДК 621.753.1:621.073

Е.И.Чемерис, канд. техн. наук
Кировоградский институт регионального управления и экономики

Надежность оценки параметров качества штамповки тонколистових деталей сложного контура

Рассмотрен статистический метод обеспечения надежности измерения геометрических параметров качества штампуемых сложноконтурных тонколистовых изделий.
штамповка , тонколистовые изделия , статистический метод, надежность, измерение параметры качества

При массовой скоростной штамповке тонколистовых деталей сложного контура (ТДСК) прецизионными разделительными штампами последовательного действия (ПРШПД) возникает необходимость в повышенной точности определения действительных значений параметров качества. Типовыми параметрами качества данных изделий являются следующие:

– точность размеров поверхностей конструктивных элементов штампуемой ТДСК;
– точность формы плоскости контура ТДСК;
– точность формы расположения внутренних конструктивных элементов ТДСК.

Другие параметры качества – физико-механическое состояние поверхностей ТДСК и структуры материала ТДСК мало изменяются в процессе разделения и подлежат контролю на стадиях проверки качества их заготовок.

В работах автора (1, 2, 3, 4) рассмотрены геометрические и силовые факторы, влияющие на формирование точности рассматриваемых параметров качества.

© Е.И.Чемерис, 2010

В данной работе рассмотрен метод оценки точности геометрических параметров ТДСК после их штамповки с заданным уровнем надежности.

Факторы, влияющие на устойчивое получение точности размеров контуров рассматриваемых элементов могут быть следующие: толщина штампуемой ленты, диаметр отверстия в ленте под фиксирующие инструменты, допуски рассматриваемых размеров, зазоры между фиксирующими инструментами и фиксирующими отверстиями, расстояния от разделяемого контура до центра ближайшего фиксирующего отверстия; прочность материала разделяемой ленты [1].

На устойчивое получение точности формы плоскости ТДСК влияют следующие факторы: двусторонний технологический зазор, предел прочности разделяемого материала при растяжении, относительное сужение и коэффициент Пуассона материала, модуль упругости материала, толщина материал заготовки, размеры вырубаемого контура [2].

Устойчивое получение точности внутренних конструктивных элементов ТДСК регламентируется следующими факторами: суммарной длиной ветвей контура элемента от крайних базовых точек до точки конца срединной линии [3]; общий допуск расположения элемента; общая длина срединной линии элемента; двусторонний режущий зазор; толщина разделяемого материала; предел прочности разделяемого материала при растяжении [3].

В основу исследования положено допущение о нормальном законе распределения измеряемых геометрических параметров при проведении измерений. Из опыта контроля указанных выше трех параметров геометрической точности ТДСК установлена также невозможность проведения достаточного количества измерений одноименного параметра. При наличии большого количества факторов, перечисленных выше, из которых подавляющее количество является случайными, можно положить, что результатом таких измерений есть не среднее значение измеряемого параметра $\bar{x}$, а неопределенность измерения вида

$$U(x) = \frac{x_{â} - õ_{í}}{2\sqrt{3}}, \qquad (1)$$

где $x_{â}$ и $x_{í}$ – верхняя и нижняя границы измеряемой величины.

Измерение рассматриваемых трех параметров качества выполняется, как правило, на оптико-механических приборах, в частности на инструментальных микроскопах. При измерении данными приборами можно положить, что к действительному значению параметров $x_{â}$ и $x_{í}$ следует прибавить погрешность способа и средства измерения, которую можно представить в виде:

$$\Delta = \pm(a + bx), \qquad (2)$$

где a – постоянная составляющая погрешности;

bx – переменная составляющая;

x – действительное значение измеряемого параметра.

Из практики измерений рассеяний указанных параметров качества при штамповке заготовок выводных рамок интегральных микросхем, как типовых представителей ТДСК, на предприятии, специализирующемся на выпуске данных изделий (завод «Пуансон», г. Знаменка) автором установлены следующие приближенные значения рассматриваемых погрешностей:

– для отклонений от точности размеров поверхностей конструктивных элементов $a + bx > 5\%$ от значения допуска $(x_{â} - õ_{í})$;

– для отклонений от точности формы и расположения внутренних конструктивных элементов ТДСК $a + bx > 10\,\%$ от значения допуска $(x_{â} - õ_{í})$;

– для отклонений от точности формы плоскости контура ТДСК $a + bx > 20\,\%$ от значения допуска $(x_{â} - õ_{í})$.

Поскольку определение величин a и b на практике представляется затруднительным, выражение (2) удобно представить в виде:

$$a + bx = k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right), \tag{3}$$

где k – доля погрешности средства и способа измерения от величины допуска измеряемой величины.

Учитывая, что качество контроля зависит от соотношения и расположения границ допуска $\left(x_{â};\ \tilde{o}_{i}\right)$ и интервала неопределенности $2\left(a + bx\right) = 2k\left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right)$, результат контроля может быть представлен в виде следующих неравенств:

$$\left.\begin{array}{l} \left[x_{i} + k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right)\right] < \tilde{o}_{s} < \left[x_{â} + k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right)\right] \\ x_{i} < \left[x_{i} - k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right)\right] \\ x_{i} > \left[x_{â} + k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right)\right] \end{array}\right\}, \tag{4}$$

где x_{i} – результат измерения.

При соблюдении первого неравенства может быть принято решение о пригодности параметра, при соблюдении второго и третьего – о его непригодности, Рис. 1.

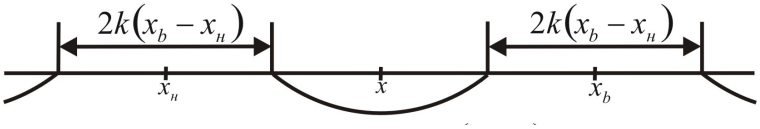


Рисунок 1 – Зоны влияний средств измерений $2k\left(x_{â} - x_{i}\right)$ и решений о пригодности $x_{â} - x_{i} - 2k\left(x_{â} - x_{i}\right)$.

Для нахождения надежного интервала для измеряемого параметра при заданном уровне надежности β может быть использована формула

$$\left[\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\beta}; \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\beta}\right], \tag{5}$$

где $\bar{x}$ – выборочное среднее измеряемого параметра;

s^2 – дисперсия выборки;

n – объем выборки;

t_{β} – параметр распределения Стьюдента, $t_{\beta} = t(\beta, n-1)$.

Величины $\bar{x}$ и s^2 вычисляются по формулам:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_{i}; \tag{6}$$

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(x_{i} - \bar{x}\right)^2. \tag{7}$$

Значение t_{β} находят по таблице распределения Стьюдента.

Граничные значения параметра k для определенных номинальных величин измеряемых параметров, нижних и верхних границ их допусков при заданных уровнях надежности β и объемах выборок n могут быть найдены из равенств:

$$x_{i} + k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right) = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\beta}; \tag{8}$$

$$x_{â} - k\ \left(x_{â} - \tilde{o}_{i}\right) = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n-1}} t_{\beta}. \tag{9}$$

Найденные граничные значения k определяют интервал погрешностей измерений геометрических параметров указанных трех видов:

$$k_1 < k < k_2,$$

где k_1 и k_2 – граничные значения k, найденные из равенств (8) – (9) соответственно.

Пример расчета

Измерение геометрического размера $4^{+0,1}$, координирующего поверхности двух конструктивных элементов ТДСК производили на инструментальном микроскопе. Количество измеренных деталей $n = 10$. В результате получен ряд измерений: 4,00; 4,01; 4,02; 4,03; 4,04; 4,05; 4,06; 4,07; 4,08; 4,09.

Оценить интервал колебаний погрешности измерений (параметра k) при уровне надежности $\beta = 0{,}95$.

1. Находим значения $\bar{x}$ и s по формулам (6) и (7): $\bar{x} = 4{,}045$; $\bar{x} = 0{,}0287$;
2. Значение t_β находим по таблицам распределения Стьюдента $t_\beta = t(\beta, n-1)$: $t_\beta = 2{,}31$;
3. Из равенств (8) и (9) получим граничные значения параметра k: $k_1 = 0{,}23$ и $k_2 = 0{,}33$;
4. Полученные граничные значения определяют интервал колебаний доли погрешности измерений размера $4^{+0,1}$ от его допуска: $0{,}23 < k < 0{,}33$.

Выводы

Применение рассмотренного метода позволяет рассчитать погрешность измерения геометрического параметра качества сложноконтурного изделия при заданных величинах партии изделий и уровне надежности измерений и таким образом оценить требуемую точность измерения и выбрать соответствующее средство измерения.

Список литературы

1. Чемерис Е. И. Вероятностная модель безотказной работы разделительного штампа последовательного действия по критерию геометрической точности штампуемой детали // Збірник наукових праць КДТУ. – Кіровоград: 2000. – № 6. – С. 41–47.
2. Чемерис Е. И. О прецизионной стойкости инструментов последовательного разделительного штампа на вырубном переходе // Збірник наукових праць КДТУ. – Кіровоград: 2001. – № 10. – С. 83–92.
3. Чемерис Е. И. Моделирование устойчивой точности геометрической формы и взаимного расположения внутренних конструктивных элементов тонколистовой сложноконтурной детали в процессе её разделительного формообразования // Вісник інженерної академії України. – К.: 2006. – №1. – С. 72–78.
4. Чемерис Е. И. Методы обеспечения надёжности прецизионных разделительных штампов последовательного действия со сложноконтурными твердосплавными инструментами по критерию геометрической точности штамповки // Вісник інженерної академії України. – К.: 2007. – №1. – С. 122–126.

Є. Чемерис

Надійність оцінки параметрів якості штамповки тонколистових деталей складного контуру

Розглянуто статистичний метод забезпечення надійності вимірювання геометричних параметрів якості відштампованих складноконтурних тонколистових виробів.

Ye. Chemeris

Reliability of assurance of quality parametres of complicated contour light-gage details pressibork

It is considered the statistical method of assurance of measuring reliability of geometrical parameters of the pressed complicated contour light-gage details.

Одержано10.03.10

УДК 621. 9. 048. 4

В.І.Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.М.Шмельов, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Розділовий штамп суміщеної дії з моноблочною матрицею-пуансоном

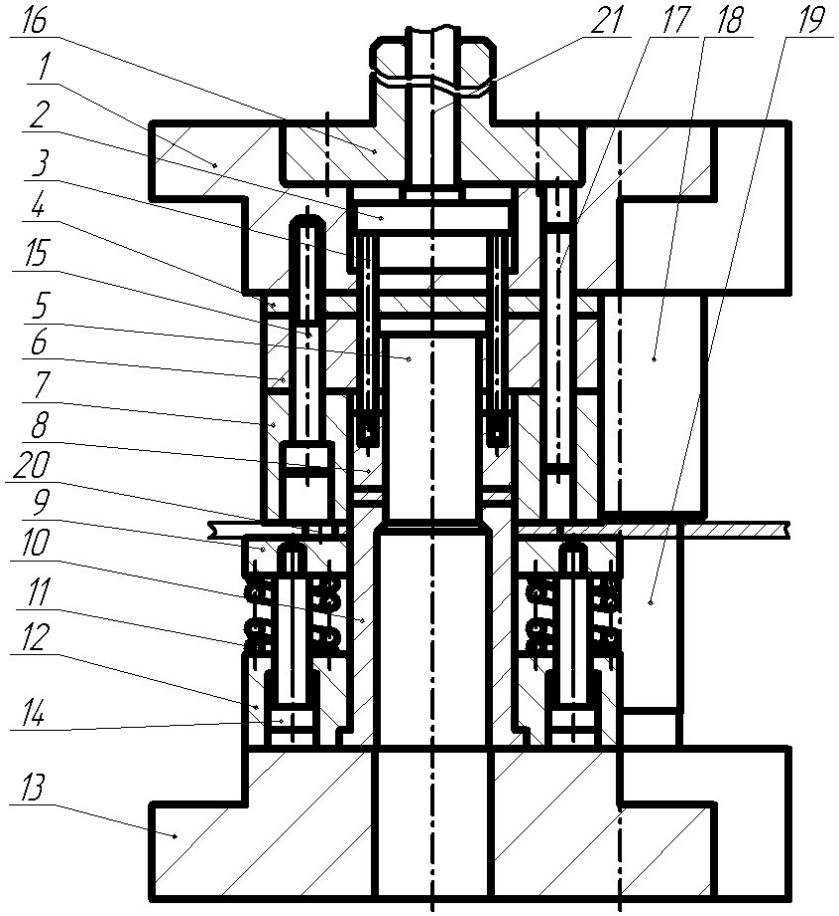
В статті описано конструкцію розділового штампу суміщеної дії для вирубування-пробивання з моноблочною матрицею-пуансоном, наведено його переваги порівняно із розділовими штампами суміщеної дії для вирубування-пробивання, виготовленими за традиційними технологіями.
пуансон, матриця, пуансон-матриця, моноблочна матриця-пуансон, спряжена пара, розділовий штамп суміщеної дії, стійкість розділового штампа суміщеної дії

В сучасному машинобудуванні значна кількість листових деталей, до яких пред'являють високі вимоги по співвісності зовнішнього і внутрішнього контурів, одержують штампуванням в розділових штампах суміщеної дії. Розділові штампи суміщеної дії мають такі робочі деталі: пуансон, матриця, пуансон-матриця. Забезпечення точності базування цих деталей достатньо трудомісткий процес, тому при підвищених вимогах до точності штампованих деталей значно збільшується собівартість виготовлення штампа.

Відомою є конструкція розділового штампа суміщеної дії для вирубування-пробивання [1], в якому до верхньої плити штампа 1 (рисунок 1) за допомогою пуансонотримача 6 кріпиться пуансон 5, під пуансон встановлюють підкладну плитку 4, за допомогою штифтів 17 і гвинтів 15 до верхньої плити штампа кріпиться матриця 7, між матрицею і пуансоном встановлено виштовхувач 8, який за допомогою штовхачів 3 з'єднано з траверсою 2, що через штовхач 21 з'єднується з виштовхувачем в повзуні преса. Для кріплення штампу до повзуна на верхній плиті штампа встановлюють хвостовик 16. Для позиціонування верхньої плити відносно нижньої в верхній плиті штампа встановлено напрямні втулки 18, а в нижній плиті напрямні колонки 19. До нижньої плити штампа 13 за допомогою тримача 12 кріпиться пуансон-матриця 10. За допомогою ступінчастих гвинтів 14 і пружин 11 на нижній плиті штампа встановлюють знімач 9 для зняття полоси з пуансон-матриці.

Для кріплення пуансона і матриці до верхньої плити штампа в зазначеному штампі необхідно передбачити декілька базових поверхонь, а саме: базова поверхня між пуансоном 5 і пуансонотримачем 6, пуансонотримачем 6 і верхньою плитою штампа 1, матрицею 7 і верхньою плитою штампа 1. Кожна з зазначених деталей мають допуски на виготовлення, а базові поверхні – похибки базування. В результаті між пуансоном і матрицею утворюється неспіввісність. Як наслідок між пуансоном і пуансоном-матрицею та пуансоном-матрицею і матрицею утворюється нерівномірний штампувальний зазор, що веде до значного зниження стійкості штампа. При цьому намагання зменшити нерівномірність штампувального зазору за допомогою слюсарної доводки призводить до збільшення часу та собівартості виготовлення штампу.

© В.І.Носуленко, В.М.Шмельов, 2010

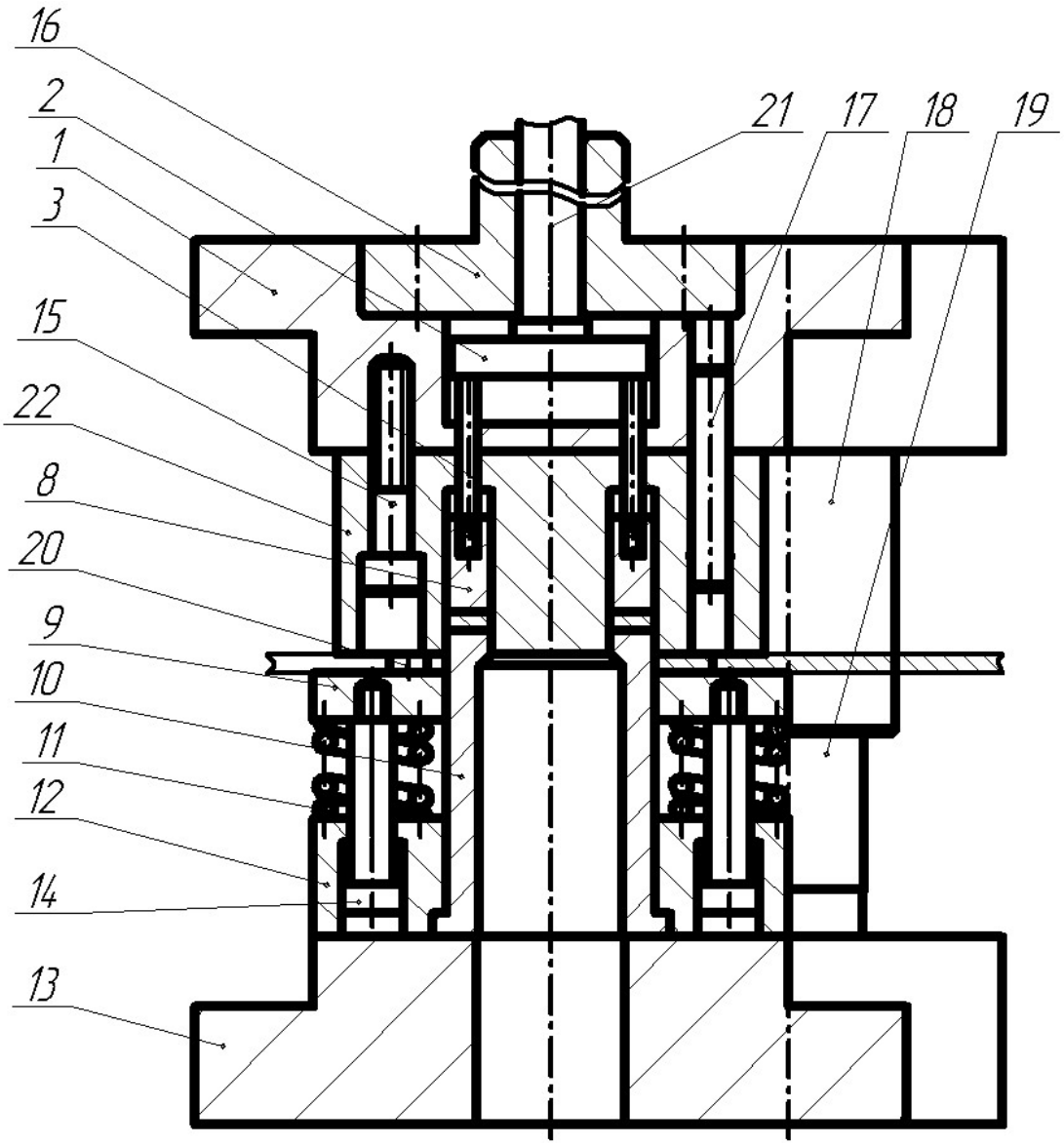


1 – верхня плита, 2 – траверса, 3 – штовхач, 4 – підкладна плитка, 5 – пуансон, 6 – пуансонотримач, 7 – матриця, 8 – виштовхувач, 9 – знімач, 10 – уансон-матриця, 11 – пружина, 12 – тримач, 13 – нижня плита, 14 – гвинт ступінчастий, 15 – гвинт, 16 – хвостовик, 17 – штифт, 18 – втулка напрямна, 19 – колонка напрямна, 20 – упор, 21 – штовхач

Рисунок 1 – Конструкція типового штампу суміщеної дії для вирубування-пробивання

Конструкція розділового штампа суміщеної дії для вирубування-пробивання з моноблочною матрицею-пуансоном відрізняється тим, що в розділовому штампі суміщеної дії взамін пуансона 5, пуансонотримача 6, матриці 7 встановлюють моноблочну матрицю-пуансон 22, а також немає необхідності в деталі підкладна плитка 4, тому, що пуансон і матриця в моноблочній матриці-пуансоні є монолітним металевим тілом, і площа контакту між нею і верхньою плитою достатня для запобіганню зминання останньої. Виготовлення моноблочної матриці-пуансона стає можливим тому, що схема формоутворення електроерозійної обробки по принципу прошивання дає можливість отримати таку моноблочну матрицю-пуансон [2].

Таке технічне рішення дозволяє забезпечити одержання робочих спряжених пар штампів суміщеної дії для вирубування-пробивання з необхідними зазорами між пуансоном, матрицею і пуансон-матрицею, а також з еквідістантним контуром, а також забезпечується підвищення стійкості та зниження собівартості виготовлення штампів і забезпечується необхідна співвісність у штампованих деталях.



1 – верхня плита, 2 – траверса, 3 – штовхач, 8 – виштовхувач, 9 – знімач, 10 – пуансон-матриця, 11 – пружина, 12 – тримач, 13 – нижня плита, 14 – гвинт ступінчастий, 15 – гвинт, 16 – хвостовик, 17 –штифт, 18 – втулка напрямна, 19 – колонка напрямна, 20 – упор, 21 – штовхач, 22 – моноблочна матриця-пуансон

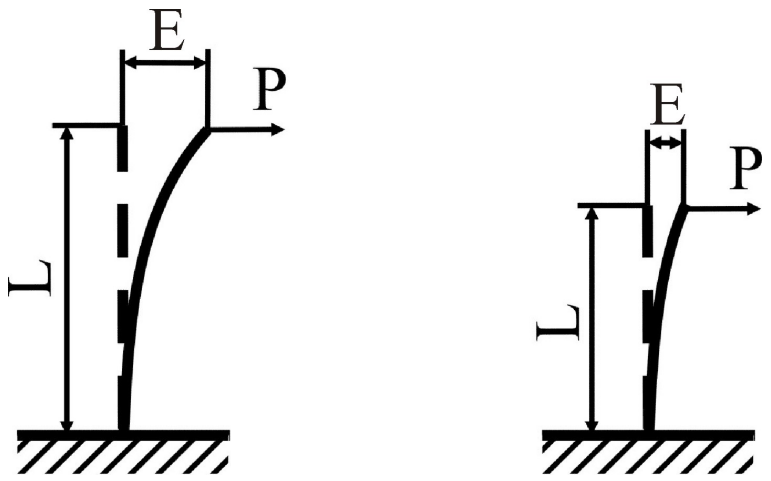
Рисунок 2 – Конструкція штампу суміщеної дії для вирубування-пробивання з моноблочною матрицею-пуансоном

Запропонована конструкція розділових штампів суміщеної дії для вирубування-пробивання, порівняно з відомою, забезпечує такі переваги:

– підвищення стійкості розділових штампів суміщеної дії для вирубування-пробивання за рахунок встановлення моноблочної матриці-пуансона;

– в замін матриці 7, пуансона 5, пуансонотримача 6, підкладної плитки 4 (рисунок 1) передбачають тільки моноблочну матрицю-пуансон 22 (рисунок 2), як наслідок зменшується висота штампа і з’являється можливість використання штампувального обладнання меншого за розмірами та зусиллям, а отже менші затрати енергоресурсів, необхідна менша площа під обладнання, дешевше обладнання, менші витрати на виготовлення штампа;

– зменшення висоти штампа дозволяє зменшити висоту напрямних колонок, що сприяє підвищенню точності і стійкості штампа (рисунок 3 а, б). При однаковому бічному зусиллі **P** і різній довжині напрямних колонок **L** зміщення верхньої плити штампа відносної нижньої **E** зменшується.



а б

Рисунок 3 – Бічне навантаження на типовий штамп суміщеної дії і відповідне зміщення верхньої плити штампа відносно нижньої (а), бічне навантаження на штамп суміщеної дії, отриманий за допомогою електроерозійної обробки, і відповідне зміщення верхньої плити штампа відносно нижньої (б)

Описано конструкцію розділового штампа суміщеної дії для вирубування-пробивання з моноблочною матрицею-пуансоном, наведено переваги застосування такої конструкції порівняно з традиційними конструкціями розділових штампів суміщеної дії для вирубування-пробивання.

Список літератури

2. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – 6-е изд. перераб. И доп. – Л,; Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 520 с., ил.
3. Пат. 29603 Україна, МПК(2006) B23H 1/00. Спосіб електроерозійної робочих спряжених пар штампів суміщеної дії / В.І.Носуленко, В.М.Шмельов, П.М.Великий, О.С.Чумаченко (Україна). - №U200704716; Заявл.27.04.2007; Опубл. 25.01.2008.

В.Носуленко, В.Шмелёв

Разделительный штамп совмещенного действия с моноблочной матрицей-пуансоном

В статье описано конструкцию разделительного штампа совмещенного действия для вырубки-пробивки с моноблочной матрицей-пуансоном, приведены преимущества такого штампа в сравнении с разделительными штампами совмещенного действия для вырубки-пробивки, изготовленными за традиционными технологиями.

V.Nosulenko, V.Shmelyov

Dividing stamp of the combined action with a monoblock matrix-puncheon

In the article the construction of dividing stamp of the combined action is described for felling-holing with a monoblock matrix-puncheon, advantages of such stamp are resulted by comparison to the dividing stamps of the combined action for felling-holing, made for traditional technologies.

Одержано 11.03.10

УДК 629.7.07

О.В. Артеменко, преп.
Государственная летная академия Украины

Построение математической модели процесса принятия решения на вылет командиром воздушного судна

Рассмотрено построение математической модели сложной задачи принятия решения на вылет командиром воздушного судна с помощью метода бинарных матриц. Графическое представление принятия решения построено в виде диаграммы в системе полярных координат.
принятие решения на вылет, факторы, влияющие на вылет, математическая модель, бинарная матрица, «Паук-ЦИС»

Одним из условий обеспечения безопасности полетов является тщательная предполетная подготовка экипажа воздушного судна (ЭВС), цель которой принятие обоснованного решения на вылет с учетом тенденции развития погодных условий и возможностей обхода зон с метеорологическими явлениями, опасными для полета [1]. Командир ВС (КВС) на земле несет ответственность за принятие решения (ПР) относительно начала полета, учитывая безопасность его выполнения, и от правильности его решения зависит исход полета [2]. Принятие решения командиром является сложным психологическим процессом, и неправильное решение пилота может привести к авиационному происшествию. Поэтому актуальной является задача построения математической модели процесса принятия решения на вылет и разработка на ее основе автоматизированного модуля поддержки принятия решения в системе подготовки предполетной информации [3].

Рассмотрение задачи принятия решения на вылет с точки зрения системного похода показало, что она является сложной слабоформализованной задачей [4,5]. Формализация процесса принятия решения и построение его математической модели позволит исследовать этот процесс и определить порядок действий КВС при принятии решения на вылет. Для построения математической модели предлагается метод организации информации в виде бинарной решающей матрицы и построения на ее основе диаграммы, позволяющей оценить ситуацию.

Согласно нормативным документам, командир ВС принимает решение на вылет на основании [2]:

- готовности экипажа к выполнению полета;
- готовности воздушного судна к полету;
- анализа метеорологической обстановки;
- информации диспетчера о состоянии аэродромов вылета, назначения и запасных, о воздушной обстановке;
- поданного плана полета.

Таким образом, факторами, влияющими на принятие решения на вылет, являются:

А – взлетная и посадочная масса ВС;

В – фактические метеорологические условия по аэродрому (АД) вылета;

© О.В. Артеменко, 2010

C – прогнозируемые метеоусловия по маршруту (наличие опасных метеорологических явлений);

D – фактические метеоусловия по АД назначения;

E – прогнозируемые метеоусловия по АД назначения;

F – подача плана полета (FPL) в Евроконтроль (IFPS);

H – состояние АД вылета, назначения и воздушной обстановки;

I – техническая готовность и годность ВС к полету;

K – готовность ЭВС к выполнению полетов;

L – выбор запасного аэродрома.

В таблице 1 представлены факторы и подфакторы, их коды и описание.

Факторам присвоены коды (шифры) больших букв английского алфавита типа A, B, C, D,... а подфакторы кодируем (шифруем) в виде маленьких букв с индексом: a_1, a_2, a_3, ... ,b_1, b_2, b_3, ...и т.д.

Исходы возможных состояний факторов обозначены большой буквой с цифрой: A1, A2, B,1 B2 и т.д.

Таблица 1 – Описание и кодирование факторов (подфакторов)

Сек-тор	№ п/п	Код фак-тора	Описание фактора (подфактора)
I	1	**T_N**	**Тип ВС**
	2	**A**	**Взлетная масса ВС**
	3	a_{adm1}	предельно допустимая масса для взлета
	4	a_{adm2}	предельно допустимая посадочная масса
	5	a_1	взлетная масса фактическая (коммерческая загрузка, включая заправку топливом)
	6	a_2	посадочная масс фактическая (учет выработки топлива)
II	7	**B**	**Метеорологические условия по аэродрому вылета:**
	8	$в_1$	($H_{НГО}$×V) высота нижней границы облачности и видимость на ВПП фактические
	9	$в_2$	($H_{НГО}$×V) допустимые:
	10	$в_{21}$	($H_{НГО}$×V) КВС – минимум КВС
	11	$в_{22}$	($H_{НГО}$×V) ВС – минимум ВС
	12	$в_{23}$	($H_{НГО}$×V) АД вылета – минимум АД
	13	$в_3$	боковая составляющая ветра ($U_б$) фактическая
	14	$в_4$	$U_б$ допустимая:
	15	$в_{41}$	$U_б$ допустимая (табличная) для конкретного T_N
	16	$в_{42}$	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного T_N
III	17	**C**	**Наличие (0) или отсутствие (1) опасных метеоявлений (ОМЯ) по маршруту**
	18	c_1	гроза
	19	c_2	град
	20	c_3	сильная болтанка
	21	c_4	сильный сдвиг ветра
	22	c_5	сильное обледенение
	23	c_6	смерч

продолжение таблицы 1

III	24	c_7	ураган
	25	c_8	сильная пыльная буря
	26	c_9	сильные ливневые осадки
IV	27	**D**	**Метеорологические условия по аэродрому назначения**
	28	d_1	($H_{НГО}$×V) высота нижней границы облачности и видимость на ВПП фактические
	29	d_2	($H_{НГО}$×V) допустимые:
	30	d_{21}	($H_{НГО}$×V) КВС – минимум КВС
	31	d_{22}	($H_{НГО}$×V) ВС – минимум ВС
	32	d_{23}	($H_{НГО}$×V) АД назначения – минимум АД
	33	d_3	боковая составляющая ветра ($U_б$) фактическая
	34	d_4	$U_б$ допустимая:
	35	d_{41}	$U_б$ допустимая (табличная) для конкретного T_N
	36	d_{42}	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного T_N
V	37	**E**	**Прогнозируемые метеоусловия на АД назначения**
	38	e_1	($H_{НГО}$×V) фактические (прогнозируемые)
	39	e_2	($H_{НГО}$×V) допустимые:
	40	d_{21}	($H_{НГО}$×V) КВС
	41	d_{22}	($H_{НГО}$×V) ВС
	42	d_{23}	($H_{НГО}$×V) АД
	43	e_3	$U_б$ фактическая
	44	e_4	$U_б$ допустимая
	45	d_{41}	$U_б$ допустимая (табличная) для конкретного T_N
	46	d_{42}	коэффициент сцепления на ВПП для конкретного T_N
VI	47	**F**	**Подача плана полета (FPL) в Евроконтроль (IFPS)**
VII	48	**H**	**Состояние АД вылета, назначения и воздушная обстановка**
	49	h_1	Состояние АД вылета
	50	h_2	Состояние АД назначения
	51	h_3	Воздушная обстановка
VIII	52	**I**	**Техническая готовность и годность ВС к полету**
IX	53	**K**	**Готовность ЭВС к выполнению полетов**
X	54	**L**	**Выбор запасного аэродрома (ЗА)**

Учитываемые факторы (точнее, их коды и значения) могут быть расположены в виде таблицы (матрицы). При этом составляются одновременно четыре матрицы:

• фактических (исходных) значений факторов;

• директивных (допустимых) значений факторов;

• нормативных значений факторов, где указаны схемы сравнения элементов клеток двух матриц и формирования соответствующего символа в соответствующей клетке бинарной решающей матрицы;

• матрица принятия решения или бинарная решающая матрица.

Исходная матрица (1) заполнена фактическими данными, директивная (2) – допустимыми значениями этих факторов.

$$A_0 = \left(\begin{array}{ccccccccc|c} T_{11} & T_{12} & T_{13} & ... & ... & T_N & ... & ... & T_{19} & T \\ a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A \\ b_1 & b_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 & c_6 & c_7 & c_8 & c_9 & C \\ d_1 & d_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D \\ e_1 & e_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E \\ f_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F \\ h_1 & h_2 & h_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H \\ i_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \\ l_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{array}\right); \quad (1)$$

$$A_N = \left(\begin{array}{ccccccccc|c} a_{adm} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & A \\ b_2 & b_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & B \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & C \\ d_2 & d_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & D \\ e_2 & e_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & F \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & K \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & L \end{array}\right). \quad (2)$$

Для выравнивания размеров матриц клетки отсутствующих подфакторов во всех матрицах заполняются символом 0 и не учитываются при принятии решения.

Далее составляем таблицу критериев (таблица 2), т.е. делаем оценку состояния факторов – удовлетворяют ли они возможности вылета. Для этого указываем критерий оценки для каждого фактора и возможный исход. При анализе имеющейся информации по конкретному фактору A_k возможны следующее ситуации:

• фактор присутствует или отсутствует. Принимаем в первом случае $F(A_k) = 1$, во втором случае $F(A_k) = 0$. Например, фактор выбора запасного аэродрома: запасной аэродром выбран $F(A_k) = 1$, запасной аэродром не выбран $F(A_k) = 0$, выбор запасного аэродрома не требуется $F(A_k) = 0$**;**

• решение с учётом фактора A_k принимается при выполнении определенного условия между директивным и исходным значением фактора (условия $F(A_k)VF(A_k)_{adm}$):

где V – один из знаков > или < ;

$F(A_k)$ – имеющееся исходное значение (величина) фактора A_k;

$F(A_k)_{adm}$ – допускаемая (директивная) величина (значение) фактора.

Например, фактор – боковая составляющая ветра в момент вылета воздушного судна 10 м/с, допускаемая (директивная) величина средняя скорость ветра в момент вылета ВС – 5м/с. Если при расчете критерия оценки оказалось, что фактическое значение превышает допустимое, то принимаем 0, т.е. вылет невозможен так как не выполняется условие безопасного вылета ($F(A_k) < F(A_k)_{adm}$).

Таблица 2 – Таблица критериев (оценка состояния факторов)

Факторы	Критерий оценки	Исход	Комментарии
A	$A=(a_{adm1}-a_1)\geq 0$	A1=1	Взлетная масса не превышает предельно допустимую
	$A=(a_{adm1}-a_1)<0$	A2=0	Взлетная масса превышает предельно допустимую
	$A=(a_{adm2}-a_2)\geq 0$	A3=1	Посадочная масса не превышает предельно допустимую
	$A=(a_{adm2}-a2)<0$	A4=0	Посадочная масса превышает предельно допустимую
B	$b_2=(b_1\leq b_{21})\wedge(b_1\leq b_{22})\wedge$ $\wedge(b_1\leq b_{23})$	B1=1	($H_{НГО}\times V$) соответствует установленным минимумам
	иначе	B2=0	($H_{НГО}\times V$) не соответствует установленным минимумам
	$b_4=(b_{41}-b_3)\geq 0$ при табличном значении b_{42}	B3=1	боковая составляющая ветра ($U_б$) соответствует предельно допустимой
	$b_4=(b_{41}-b_3)<0$ при табличном значении b_{42}	B4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
C	$(c_1=0)\wedge(c_2=0)\wedge\ldots\wedge(c_9=0$	C1=1	все ОМЯ отсутствуют
	иначе	C=0	присутствует хотя бы одно ОМЯ
D	$d_2=(d_1\leq d_{21})\wedge(d_1\leq d_{22})\wedge$ $\wedge(d_1\leq d_{23})$	D1=1	($H_{НГО}\times V$) соответствует установленным минимумам
	иначе	D2=0	($H_{НГО}\times V$) не соответствует установленным минимумам
	$d_4=(d_{41}-d_3)\geq 0$ при табличном значении d_{42}	D3=1	$U_б$ соответствует предельно допустимой
	$d_4=(d_{41}-d_3)<0$ при табличном значении d_{42}	D4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
E	$e_2=(e_1\leq d_{21})\wedge(e_1\leq d_{22})\wedge$ $\wedge(e_1\leq d_{23})$	E1=1	($H_{НГО}\times V$) соответствует установленным минимумам
	иначе	E2=0	($H_{НГО}\times V$) не соответствует установленным минимумам
	$e_4=(d_{41}-e_3)\geq 0$ при табличном значении d_{42}	E3=1	$U_б$ соответствует предельно допустимой
	$e_4=(d_{41}-e_3)<0$ при табличном значении d_{42}	E4=0	$U_б$ не соответствует предельно допустимой
F	$f_1=1$	F1=1	FPL принят IFPS
	$f_1=0$	F2=0	FPL не принят IFPS
H	$(h_1=1)\wedge(h_2=1)\wedge(h_3=1)$	H1=1	Состояние АД вылета, назначения и ВО соответствуют условиям вылета, посадки и полета по маршруту
	иначе	H2=0	Состояние не соответствует

продолжение таблицы 2

I	$i_1=1$	I1=1	ВС к полету готово
	$i_1=0$	I2=0	ВС к полету не готово
K	$k_1=1$	K1=1	ЭВС к полету готов
	$k_1=0$	K2=0	ЭВС к полету не готов
L	$l_1=1$	L1=1	ЗА выбран
	$l_1=0$	L2=0	ЗА не выбран

Таким образом, клетки бинарной матрицы (3) заполняются числами 1 или 0. Если между директивным и исходным значением фактора установленное соотношение исходных и фактических данных выполняется ($F(A_k)VF(A_k)_{adm}$), то соответствующая клетка бинарной матрицы принятия решений заполняется соответственно 1 или 0 невыполнении указанного соотношения.

$$A(G) = \left(\begin{array}{ccc|c} T_{11} & \dots & T_{1N} & T \\ 1 & 0 & 0 & A \\ 1 & 0 & 0 & B \\ 1 & 0 & 0 & C \\ 1 & 0 & 0 & D \\ 1 & 0 & 0 & E \\ 1 & 0 & 0 & F \\ 1 & 0 & 0 & H \\ 1 & 0 & 0 & I \\ 1 & 0 & 0 & K \\ 1 & 0 & 0 & L \end{array}\right). \qquad (3)$$

Если при составлении бинарной матрицы учтены все факторы, определяющие данный полет, то решение КВС о вылете:

- принимается, если все числовые значения логических переменных $\boldsymbol{x_i}$ действительных элементов матрицы равны 1;
- не принимается, если не все числовые значения логических переменных $\boldsymbol{x_i}$ действительных элементов матрицы равны 1, т.е. множество этих значений содержит хотя бы один элемент 0. В этом случае КВС должен выяснить причину появления нулевого значения.

Для принятия решения предлагается применить графическое представление информации. Целесообразность графического представления информации для принятия решениям заключается в наглядности и обозримости. Поэтому графическое представление информации имеет большое значение: 83% всей информации, которую воспринимает человек из окружающего мира, поступает через зрительный анализатор. В последние годы роль наглядных представлений быстро возрастает. Это обусловлено, с одной стороны, появлением нового подхода к статистической обработке данных (анализ данных), а с другой – расширением возможностей использования наглядного представления информации в новых поколениях ЭВМ.

Графический способ представления информации, имеющий название «Паук - ЦИС» (или «Паутина - ЦИС») [5] представляет исходную цифровую информацию в виде некоторой схемы (диаграммы) и позволяет по изображению выполнить оценку этой информации. В отличие от диаграмм, схем, построенных в прямоугольных декартовых координатах, схема

«Паук – ЦИС» представляет собой наглядную диаграмму, построенную в полярных координатах.

При представлении исходной информации схемой «Паук – ЦИС» оси, на которые наносятся критерии (в нашем случае это могут быть числа 0 или 1 значения логических переменных величин действительных элементов матрицы 3 (булевых переменных)) направлены по радиусам от центра окружности произвольного радиуса к периферии. Сами радиусы соответствуют различной исходной информации (в нашем случае – факторам (подфакторам), принятым как определяющие или существенные, при принятии решения о начале полёта по маршруту). Они в точках пересечения с окружностью образуют многоугольник – не обязательно правильный, - внутри окружности. Нулевое значение логической переменной располагается на радиусе, соответствующем некоторому фактору, дальше от центра, чем его же значение, равное единице.

Соединив соседние точки, поставленные на осях, отрезками получим некоторый замкнутый многоугольник – полигон. При таком представлении исходной информации автоматически исключаются из рассмотрения пустые клетки матрицы 3. Если полигон замкнут – командиру рекомендуется принять решение на вылет, если есть разрыв – рекомендуется уточнить причину несоответствия фактора условиям полета. Графическое представление принятия решения на вылет представлено на рисунке 1.

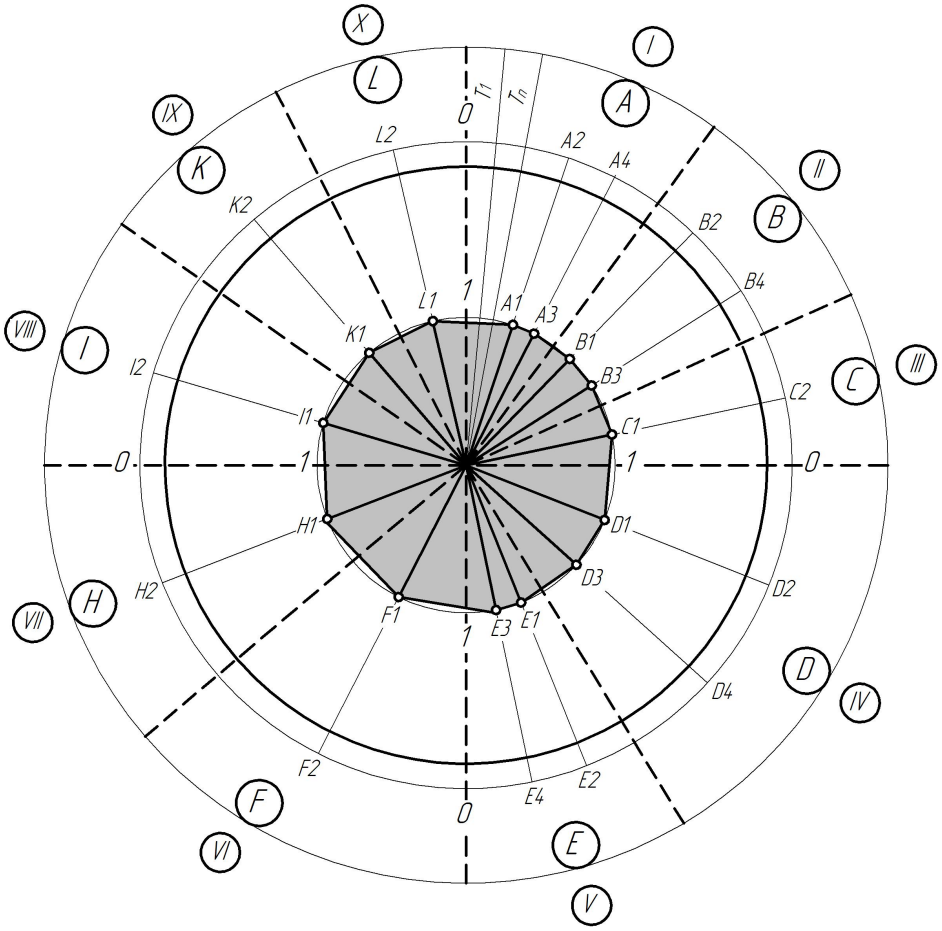


Рисунок 1 – Графическое представление принятия решения на вылет в системе полярных координат («Паук-ЦИС»)

Таким образом, предложенная математическая модель и построенная на ее основе диаграмма дает возможность в наиболее полной мере учесть все влияющие факторы на ПР КВС, что в свою очередь может снизить вероятность принятия неправильного решения.

Практическая реализация предложенной математической модели будет заложена в автоматизированную систему подготовки предполетной информации в виде интеллектуального модуля, что даст возможность значительно сократить время на принятие решения.

Список литературы

1. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР (НПП ГА – 85) (с изменениями и дополнениями). – М.: «Воздушный транспорт», 1985. – 262 с.
2. Порядок прийняття рішення на виліт та приліт повітряних суден цивільної авіації України за правилами польотів за приладами. Наказ Державіаслужби України від 28.04.05 р., №295. – 14 с.
3. Артеменко О.В. Моделирование процесса принятия решения на вылет в автоматизированной системе подготовки предполетной информации / О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмелева // Искусственный интеллект. – 2005. – №4. – С. 441–447.
4. Блауберг И.В. Системный подход и системный анализ. Системные исследования / Блауберг И.В., Мирский Э.М., Садовский В.Н. – М.: Наука, 1982. – 329 с.
5. Денисов А.А., Колесников Д.Н. Теория больших систем управления: Учеб. пособие для вузов. – Л.: Энергоиздат. Ленинградское отделение, 1982. – 288 с.
6. Науман Э. Принять решение – но как? / Науман Э.; перевод с немецкого М.С. Каценборга под ред. Ю.П. Адлера. М., Мир, 1987, 198 с.

О. Артеменко

Побудова математичної моделі процесу прийняття рішення на виліт командиром повітряного судна

Розглянуто побудову математичної моделі складної задачі прийняття рішення на виліт командиром повітряного судна за допомогою методу бінарних матриць. Графічне представлення прийняття рішення побудовано в системі полярних координат.

O. Artemenko

Construction of mathematical model of decision-making process on flight of air ship a commander

The construction of mathematical model of intricate problem of decision-making is considered on flight of air ship a commander by the method of binary matrices. Graphic presentation of decision-making is built in the system of polar co-ordinates.

Одержано 16.03.10

УДК 007.52

І.І.Павленко, д-р техн. наук, проф., М.О.Годунко, пров. фах.
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз передавальних відношень плеч сил затискних важелів захватних пристроїв роботів

У даній статті описано аналіз впливу складових плеч сил затискних важелів захватних пристроїв промислових роботів. Також у статті наведено графіки впливу визначених складових, які побудовані для умов реальної можливості утримування деталі захватними важелями. По отриманим залежностям зроблено практичні висновки.

захватні пристрої, передавальні відношення, промислові роботи, затискні важелі

Визначені сили затиску транспортованих промисловим роботом деталей забезпечуються двигуном привода захвата через проміжні передачі. Для ґрунтовного дослідження силових навантажень захватних пристроїв важливо знати особливості передачі сил через проміжні передачі та вплив їх параметрів на ці процеси. Важливою складовою цих передач є затискні важелі із затискними призмами, які забезпечують необхідні сили затиску. Кожному діаметру утримуваної деталі відповідає своє значення передавальних відношень затискних важелів. Тому для виконання розрахунку захватного пристрою потрібно визначити величину вказаних передавальних відношень.

Затискні важелі мають особливе конструктивне виконання, так як вони являють собою комбінований обертово-рухомий важіль, до одного із кінців якого приєднана затискна призма. На рис.1 показано розрахункову схему затискного важеля з утримуваною деталлю, де вказані слідуючі основні конструктивні параметри затискних важелів:

L – довжина важеля;

α – кут затискної призми;

γ – кут приєднання затискної призми до затискного важеля;

a – відстань опори затискного важеля відносно вісі симетрії захватного пристрою.

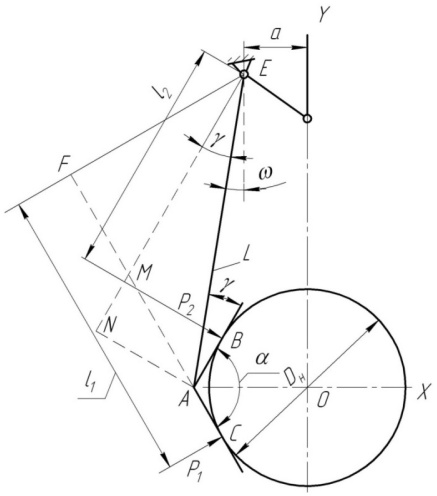


Рисунок 1 - Розрахункова схема затискного важеля

© І.І.Павленко, М.О.Годунко, 2010

Складова передавальних відношень важелів визначається довжиною плеч прикладання сил затиску, які розраховуються рівняннями, які мають однаковий загальний вигляд для різних варіантів утримування деталей:

$$l_1 = L\cdot\cos(180 - \alpha - \gamma) + D/2\cdot tg(90-\alpha/2); \quad (1)$$

$$l_2 = L\cdot\cos\gamma - D/2\cdot tg(90-\alpha/2). \quad (2)$$

Різниця для відзначених варіантів визначається величиною конструктивних параметрів затискних важелів (L, α, γ) та діаметром утримуваних деталей (D). Величина плеч включає дві складові, це: складова довжини затискного важеля (L) з відповідними кутами α і γ та складова затискної призми, яка виражається через діаметр утримуваної деталі та кут затискної призми. Складова затискної призми в плечі l_1 додається до складової (L), а в плечі l_2, ця складова віднімається від складової L. Відповідно, із аналізу формули довжини плеча l_1, її можна записати:

$$l_1 = l_{11} + l_{12}; \quad (3)$$

де

$$l_{11} = L\cdot\cos(180-\alpha-\gamma); \quad (4)$$

$$l_{12} = D/2\cdot tg(90-\alpha/2). \quad (5)$$

Таким чином, перша складова прямо пропорційно залежить від L та cos (180-α-γ). Якщо потрібно забезпечувати зменшення плеча l_{11}, то це можна вирішувати як за рахунок зменшення L, так і (або) зменшення cos (180-α-γ), що відповідно досягається за рахунок збільшення величини кута (180-α-γ), що має місце при зменшенні кута призми (α) та кута її приєднання (γ).

Друга складова (l_{12}) залежить від діаметра утримуваної деталі (D) і кута затискної призми (α). Якщо ставиться задача зменшення цієї складової, то при затиску деталі конкретного діаметру, вирішити поставлене питання можна за рахунок зменшення tg (90-α/2), а відповідно за рахунок збільшення кута затискної призми. Отриманий висновок є протилежним по відношенню величини l_{11}, де кут призми, при одній і тій же умові, потрібно зменшувати, а для величини l_{12} – збільшувати.

Подібно можна проаналізувати формулу довжини плеча l_2:

$$l_2 = L\cdot\cos\gamma - D/2\cdot tg(90-\alpha/2) = l_{21} - l_{22}; \quad (6)$$

де

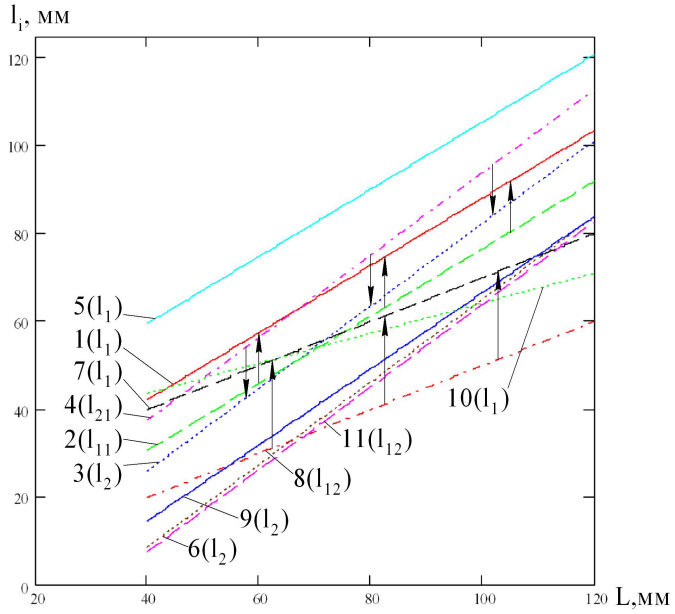
$$l_{21} = L\cdot\cos\gamma; \quad (7)$$

$$l_{22} = D/2\cdot tg(90-\alpha/2). \quad (8)$$

Перша складова довжини цього важеля прямопропорційно залежить від загальної довжини затискного важеля (L) та кута приєднання затискної призми γ до затискного важеля. Тому, наприклад, зменшення довжини цієї складової (l_{21}) можна реалізувати в основному за рахунок величини L і в обмеженій мірі за рахунок кута γ. Ці висновки співпадають з висновками отриманими для складової l_{11}.

Друга складова (l_{22}) за величиною такаж як і складова l_{12} , з тими ж висновками, але з принциповою відмінністю, що в довжині плеча l_1, складова l_{12} додається до складової l_{11}, а в довжині l_2 складова l_{22} віднімається. Більш детально особливості цих залежностей наведені на рис.2; 3; 4; 5.

На рис.2 представлено вплив довжини затискного важеля (L) на довжину плеч l_1 і l_2.



1 - l_1 (D=40; α=120°; γ=20°);

2 - l_{11} (D=40; α=120°; γ=20°);

3 – l_2 (D=40; α=120°; γ=20°);

4 – l_{21} (D=40; α=120°; γ=20°);

5 - l_1 (D=100; α=120°; γ=20°);

6 – l_2 (D=100; α=120°; γ=20°);

7 - l_1 (D=40; α=90°; γ=30°);

8 - l_{12} (D=40; α=90°; γ=30°);

9 - l_2 (D=40; α=90°; γ=30°);

10 - l_1 (D=60; α=120°; γ=20°);

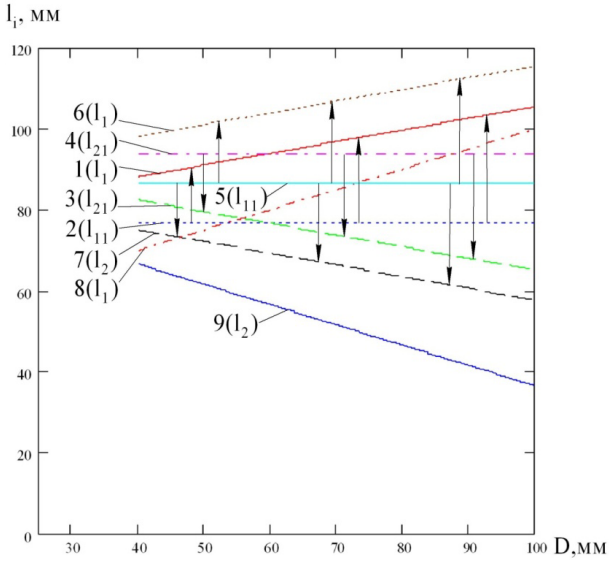
11 - l_2 (D=60; α=120°; γ=20°).

Рисунок 2 - Залежності довжини плеч сил затиску від довжини затискних важелів

При побудові цих та інших графіків прийняті умови реальної можливості утримування деталі захватними важелями при вказаних вихідних даних. Окрім цього, при встановленні наведених залежностей прийнята умова утримування деталей номінального діаметру (див.рис.1). Досліджувані залежності на рисунку представлені як окремими складовими (l_{11}; l_{12}; l_{21}; l_{22}), так і підсумковими значеннями l_1 і l_2. Для цього на рис.2 спочатку наведені складові l_{11} і l_{21}, а потім до l_{11} добавлена (вказана стрілкою вгору) складова l_{12}, а від l_{21} віднята (вказана стрілкою вниз) складова l_{22}. Така форма представлення графічних залежностей розкриває детально як впливають ті чи інші складові конструкції затискного важеля та умов утримання деталей на величину плеч прикладання сил затиску. Залежності представлені лініями 1…9 побудовані за вищенаведених умов, що призводить до зміни центру вісі обертання затискних важелів. Якщо прийняти умову, що вісь обертання важелів та відстань між ними залишити незмінною, то вплив досліджуваних параметрів на довжину плеч прикладання сил затиску може бути коли діаметри утримуваних деталей не будуть відповідати номінальному, за виключенням тільки одного значення. З урахуванням цієї умови наведені залежності при відстані між осями обертання затискних важелів (а=40мм) предсталені прямими 10, 11. Із всих наведених залежностей видно, що вони мають лінійну залежність. Тобто збільшення довжини затискного важеля (L) веде до збільшення довжин плеч l_1 і l_2 та їх складових l_{11} і l_{12} та l_{21} і l_{22}. Більш інтенсивне зростання плеч має місце при більшому куті призми (α) та утриманні деталей номінального діаметру. При зменшенні кута призми, ця інтенсивність зменшується. Дещо менша інтенсивність зростання плеч має місце і при утримуванні деталей, де відстань між осями їх обератння є величиною незмінною. Із наведених графіків також видно, що складові l_{11} та l_1 паралельні між собою, як і відповідно прямі l_{21} та l_2. Це підтверджується змістом формул, де перша складова враховує довжину

важеля (L), а друга – діметр утримуваної деталі (D). На всих залежностях $l_1 > l_{11}$, а $l_{21} > l_2$, що також відповідає структурі формул.

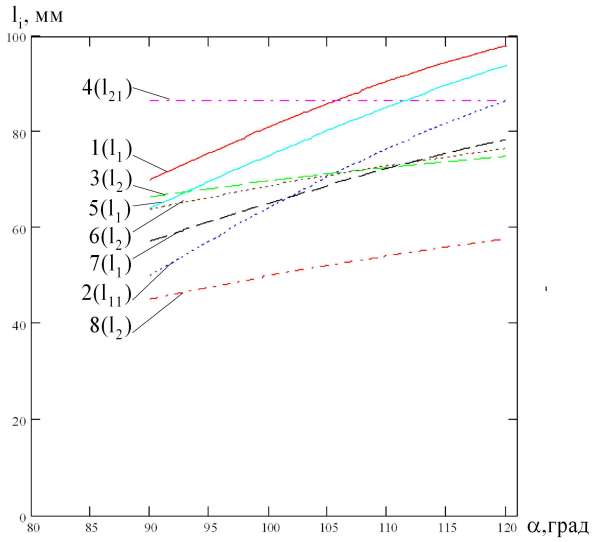
Залежність довжин плеч сил затиску від діаметру утримуваних деталей наведена на рис.3. На цьому рисунку також деякі залежності представлені у вигляді їх складових частин. Так прямі 2 та 4 відповідно представляють складові l_{11} та l_{21}, а їх підсумкові значення l_1 та l_2 – прямими 1 та 3. Для умов значень кутів α=120° та γ=30° складові l_{11} та l_{21} – співпадають між собою, що представлено прямою 5 від якої вище представлена складова l_1 (пряма 6), а нижче – складова l_2 (пряма 7). При значенні кута затискних призм α=90° підсумкові залежності l_1 та l_2 представлені прямими 8 та 9. Із наведених залежностей можна зробити слідуючі висновки. Складові l_{11} та l_{21} не змінюються при зміні діаметра утримуваних деталей, так як вони у відповідних формулах оцінюються довжиною важеля (L) та кутами (α і γ) . Тому ці складові на графіках представлені горизонтальними лініями, до яких добавляється або віднімається одна і та ж складова D/2· tg (90-α/2), що і впаховує вплив діаметра утримуваної деталі. Відповідно при збільшенні цього діаметру (D) довжина плеч l_1 – зростає, а довжина плеч l_2 – зменшується. Інтенсивність зміни плеч при зменшенні кута затискних призм зростає.



1 - l_1 (L =100; α=120°; γ=20°);
2 - l_{11} (L =100; α=120°; γ=20°);
3 - l_2 (L =100; α=120°; γ=20°);
4 - l_{21} (L =100; α=120°; γ=20°);
5 - l_{11} *та* l_{21} (L =100; α=120°; γ=30°);
6 - l_1 (L =100; α=120°; γ=30°);
7 - l_2 (L =100; α=120°; γ=30°);
8 - l_1 (L =100; α=90°; γ=30°);
9 - l_2 (L =100; α=90°; γ=30°)

Рисунок 3 - Залежність довжин плеч від діаметра утримуваної деталі

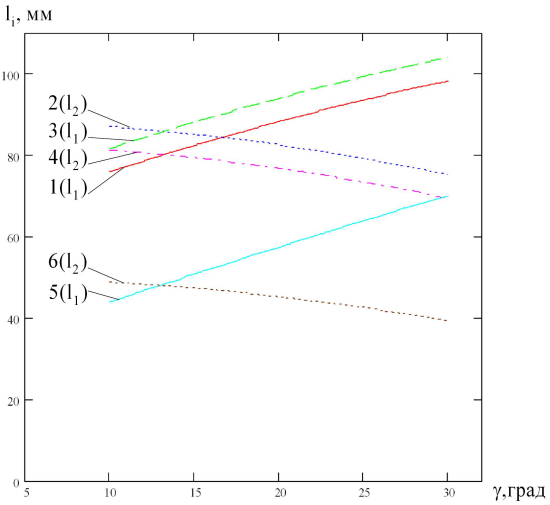
Вплив кута затискних призм на довжину плеч прикладання сил затиску представлено на рис.4. Із наведених графіків видно, що збільшення кута призм веде до збільшення плеч l_1 та l_2. Більш інтенсивно від кута α зростає величина плеча l_1 при більшій довжині затискного важеля (L), в тому числі і складова цього плеча - l_{11}. В цих залежностях складова l_{11} становить основну частину в загальній величині l_1, так як складова l_{12} значно менше. В довжині плеча l_2 основною є складова l_{21}, від якої віднімається l_{22}, що в підсумку визначає величину l_2. На цьому рисунку не показується стрілками додавання чи віднімання відповідних складових у формулах дожин плеч прикладання сил затиску.



1 - l_1 (L =100; D=40; γ=30°);
2 - l_{11} (L =100; D=40; γ=30°);
3 - l_2 (L =100; D=40; γ=30°);
4 - l_{21} (L =100; D=40; γ=30°);
5 - l_1 (L =100; D=60; γ=20°);
6 - l_2 (L =100; D=60; γ=20°);
7 - l_1 (L =80; D=60; γ=20°);
8 - l_2 (L =80; D=60; γ=20°)

Рисунок 4 - Залежність довжин плеч від кута затискних призм

Додатковим параметром в конструкції затискного важеля є кут (γ) приєднання затискної призми до вісі (L) важеля. Результати дослідження впливу цього кута на довжину плеч представлено на рис.5. Із наведених кривих можна зробити слідуючі висновки. Зміна кута γ значно впливає на зміну довжини плеча l_1 і не суттєво на l_2 . Абсолютна величина довжин плеч і в даних варіантах також досить різниться в залежності від інших конструктивних параметрів захватного пристрою (L *і* α) та діаметра утримуваної деталі. В цілому, збільшення кута γ веде до збільшення плеча l_1 і до зменшення плеча l_2 .



1 - l_1 (L =100; D=40; α=120°);
2 - l_2 (L =100; D=40; α=120°);
3 - l_1 (L =100; D=60; α=120°);
4 - l_2 (L =100; D=60; α=120°);
5 - l_1 (L =80; D=60; α=90°);
6 - l_2 (L =80; D=60; α=90°)

Рисунок 5 - Залежність довжин плеч від кута приєднання затискної призми до затискного важеля

Таким чином, виконаний аналіз передавальних відношень плеч сил затискних важелів дозволяє зробити слідуючі висновки, що вперше встановлені аналітичні залежності, які дозволяють визначити довжину плеч прикладання сил затиску затискними важелями від конструктивних параметрів затискних важелів (L, α, γ) та діаметра утримуваної деталі (D). Отримані залежності та наведені графіки дозволяють оцінювати вплив окремих параметрів на довжину плеч сил затиску, що дозволяє комплексно аналізувати силове навантаження захватних пристроїв та обгрунтовано вибирати їх конструктивні характеристики. Із виконаних досліджень встановлено, що довжини плеч прикладання сил затиску можуть бути як рівні або близькі по величині між собою, або відрізнятись до 2…3 раз. При цьому в деяких випадках довжина плеча «близької», до вісі обертання важеля, точки затиску може бути більшою за довжину плеча «віддаленої» точки затиску. Визначені аналітичні залежності можуть бути покладені в основу спеціальних програм, по яким можна виконувати розрахунок захватних пристроїв та корегувати сили затиску в процесі функціонування робота при транспортуванні деталей різних розмірів в різних напрямках їх переміщень та при різних умовах здійснення рухів.

Список літератури

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування/Павленко І.І. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
2. Павленко І.І. Конструктивна та силова структура захватних пристроїв промислових роботів/ Павленко І.І., Годунко М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2006.-С.44-49.- (Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин; вип. 36).
3. Павленко І.І. Показники оцінки якості захватних пристроїв промислових роботів / Павленко І.І., Годунко М.О. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – С.65 – 68. – (Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація; вип. 18).

И.Павленко, М.Годунко

Анализ передаточных отношений плеч сил зажимных рычагов захватных устройств роботов

В данной статье описан анализ влияния составляющих плеч сил зажимных рычагов захватных устройств промышленных роботов. Также в статье приведены графики влияния определенных составляющих, которые построены для условий реальной возможности удерживания детали зажимными рычагами. По полученным зависимостям сделаны выводы.

I.Pavlenko, M.Godunko

Analysis of transmission relations of shoulders of forces of clamping levers of grippers of robots

The analysis of influence of making shoulders of forces of clamping levers of grippers of industrial robots is described in this article. Also the graphs of influence of certain constituents which are built for the terms of the real possibility of retaining of detail clamping levers are resulted in the article. On the got dependences conclusions are done.

Одержано 12.03.10

УДК 631.3:637.1

Ю.В. Версаль, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Побудова математичних моделей функцій належності параметрів стану лактуючих корів для системи діагностики фізіологічного стану тварин

В статті обґрунтовано доцільність побудови системи діагностики фізіологічного стану лактуючих корів на базі нечіткої логіки. Проведено побудову математичних моделей функцій належності, що формалізують представлення параметрів стану тварин у вигляді нечітких множин для їх подальшого використання при розробці системи діагностики фізіологічного стану тварин.
фізіологічний стан, діагностика, теорія нечітких множин, математична модель, функція належності

Здоров'я корів-продуцентів молока є основним у визначенні степені рентабельності молочного скотарства і має широку соціальну значимість у більшості країн світу [1], тому потребує ефективного контролю, що ґрунтується на ранньому та точному виявленні захворювань.

Діагностика фізіологічного стану тварин (ФСТ) є одним з найбільш складних та інтелектуальних видів діяльності. Це обумовлено наявністю великої кількості різнорідних параметрів стану тварини, що впливають на діагноз, і важкістю побудови аналітичних залежностей, що пов'язують їх значення з типом діагнозу.

Існує багато методів діагностики ФСТ, у тому числі з використанням низки перспективних пристроїв, які функціонують на електронній основі і базуються на вимірюванні електропровідності [2, 3] або температури молока [4, 5]. Однак, вони не дозволяють описувати причинно-наслідкові зв'язки між параметрами стану тварини та її діагнозом на природній мові, моделюючи логіку суджень ветеринара з застосуванням нечислової (нечіткої) інформації. Спробу вирішення цієї проблеми здійснено зарубіжними вченими [6] шляхом застосування моделі нечіткої логіки поряд зі статистичною моделлю діагностики фізіологічного стану лактуючих корів (ФСЛК). Результати роботи системи вказують на перспективність використання методу і подальшої розробки автоматизованої системи діагностики ФСТ на базі нечіткої логіки, що включає: розробку математичних моделей і алгоритмів, що формалізують процес прийняття рішень; розробку математичних моделей функцій належності, що використовуються в моделях і алгоритмах діагностики; вирішення задачі діагностики з застосуванням розроблених моделей і алгоритмів.

Дана робота присвячена побудові математичних моделей функцій належності, що формалізують представлення параметрів стану тварин у вигляді нечітких множин, з метою їх подальшого застосування при розробці системи діагностики ФСТ.

Задачу діагностики розглядаємо як процес прийняття рішень в системі з одним вихідним параметром (діагнозом D) і $n=10$ вхідними параметрами (параметрами стану тварини $x_1 \ldots x_n$), що представлено на рисунку 1 у вигляді дерева логічного висновку.

Вхідні параметри, зведені в таблиці 1, розглядаються як лінгвістичні змінні, задані на відповідних універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами з терм-множини. Стає очевидним їх різнорідний характер: x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10} – кількісні параметри, x_1, x_2, x_3 - якісні.

© Ю.В. Версаль, 2010

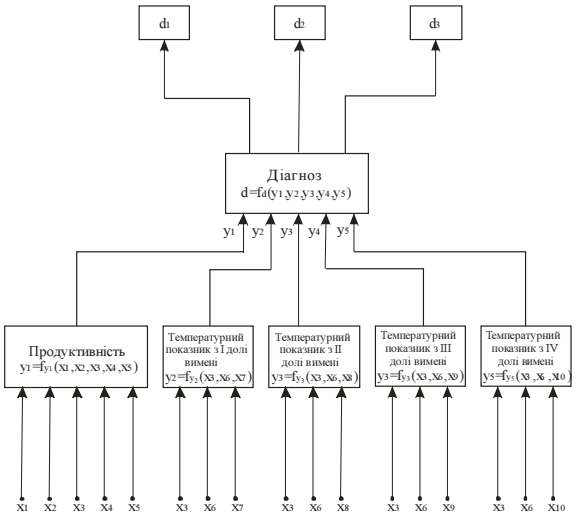


Рисунок 1 – Дерево логічного висновку

У теорії нечітких множин терм формалізується нечіткою множиною за допомогою функції належності. Побудова функцій належності може здійснюватися різними способами, вибір яких залежить від мети і виду задачі прийняття рішення. В загальному випадку функції належності можуть бути отримані спеціально розробленими методами, серед яких найбільш розповсюджені метод статистичних даних [7] і метод парних порівнянь [8]. Крім того, можна скористатися стандартними функціями належності [9]. В [10] відмічається, що нечіткі

Таблиця 1 - Формалізація параметрів стану тварини лінгвістичними змінними

Параметр стану	Універсальна множина	Терми для лінгвістичної оцінки
x_1 - номер лактації	1 ÷ 3 у.о.	перша (I); друга (II); третя і старше (III).
x_2 - тривалість лактації	1 ÷ 9 у.о.	перший етап (I); другий (II); третій (III); четвертий (IV); п'ятий (V); шостий (VI); сьомий (VII); восьмий (VIII); дев'ятий (IX).
x_3 - час доби	1 ÷ 2 у.о.	ранок (Р); вечір (В).
x_4 - температура зовнішнього повітря	0 ÷ +35 °С	нормальна (Н); жарка (Ж); дуже жарка (дЖ).
x_5 - разовий надій молока	1,5 ÷ 10,9 л	дуже низький (дН); низький (Н); набагато нижче середнього (ннС); нижче середнього(нС); середній (С); вище середнього (вС); набагато вище середнього (нвС); високий (В); дуже високий (дВ).
x_6 - температура навколишнього повітря	0 ÷ +35 °С	нормальна (Н); вище нормальної (вН); жарка (Ж); дуже жарка (дЖ).
$x_7 \ldots x_{10}$ - температура молока з різних долей вимені	+38,5 ÷ +41,6 °С	низька (Н); нижче середньої (нС); середня (С); вище середньої (вС); висока (В); дуже висока (дВ).

множини, з якими доводиться оперувати при вирішенні більшості практичних задач, є унімодальними і нормальними. Один з можливих методів апроксимації таких множин - апроксимація за допомогою функцій (L-R) типу [10]. Однак застосування (L-R) функцій пов'язано з трудоємною процедурою підбору невідомих параметрів на основі експертної інформації. Тому виникає задача побудови функцій належності в умовах мінімуму вихідних даних. Скористаємось рекомендаціями [11] для випадку різнорідних параметрів стану тварини з різною кількістю термів. Будемо апроксимувати функції належності трикутниками, що мають наступні властивості:

- основою трикутника є універсальна множина (інтервал) $U_i = [0, l_i - 1]$,

де l_i=2,3,…9 – кількість термів лінгвістичної змінної x_i, $i = \overline{1,10}$;

- вершина трикутника відповідає номеру лінгвістичного терму. Терми пронумеровані цілими числами від 1 до l_i;

- інтерпретація номера терму може бути різною в залежності від специфіки лінгвістичної змінної.

Відобразимо діапазон $[\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ зміни параметра x_i на множину $U_i = [0, l_i - 1]$, яку будемо вважати універсальною множиною змінної x_i. Перерахунок фіксованого значення $x_i^* \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ у відповідний елемент $u_i = [0, l_i - 1]$ визначаємо пропорцією:

$$\frac{\overline{x}_i - \underline{x}_i}{l_i - 1} = \frac{x_i^* - \underline{x}_i}{u_i^*}, \text{ звідки } u_i^* = (l_i - 1)\frac{x_i^* - \underline{x}_i}{\overline{x}_i - \underline{x}_i}.$$

Функція належності $\widetilde{\mu}^j(u)$ нечіткого терму з номером j визначається прямими лініями (1)

$$\mu(u) = \frac{\mu_2 - \mu_1}{u_2 - u_1} u + \frac{\mu_1 u_2 - \mu_2 u_1}{u_2 - u_1}, \tag{1}$$

які проходять через точки з координатами:

$$\begin{array}{l} (0,1) \text{ ³ } (l_i - 1, 0), \text{ ïðè } u \in [0, l_i - 1] \text{ äëÿ } j = 1; \\ \left.\begin{array}{l} (0,0) \text{ ³ } (j-1,1), \text{ ïðè } u \in (0, j-1] \\ (j-1,1) \text{ ³ } (l_i - 1, 0), \text{ ïðè } u \in (j-1, l_i - 1] \end{array}\right\} \text{äëÿ } j = 2, l_i - 1; \\ (0,0) \text{ ³ } (l_i - 1, 1), \text{ ïðè } u \in [0, l_i - 1] \text{ äëÿ } j = l_i. \end{array} \tag{2}$$

На основі (2) і (1) знаходимо аналітичні вирази функцій належності для параметрів з таблиці 1 по наступним вихідним даним:

- діапазон $[\underline{x}_i, \overline{x}_i]$ зміни значень параметра x_i, $i = \overline{1,10}$;
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_i.

1. Номер лактації x_1:

- діапазон зміни значень параметра $x_1 = [1,3]$;
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_1 l=3.

Відображаємо діапазон зміни параметра $x_1 = [1,3]$ на множину $U_1 = [0,2]$. Перерахунок фіксованого значення $x_1^* \in [1,3]$ у відповідний елемент $u_1^* = [0,2]$ визначається пропорцією: $u_1^* = x_1^* - 1$. Вирази для функцій належності $\widetilde{\mu}^j(u_1)$:

$$\left.\begin{array}{l} \widetilde{\mu}^1(u_1) = 1 - \frac{1}{2}u_1, \ u_1 \in [0,2] \\ \widetilde{\mu}^2(u_1) = \begin{cases} u_1, \ u_1 \in [0,1) \\ 2 - u_1, \ u_1 \in [1,2] \end{cases} \\ \widetilde{\mu}^3(u_1) = \frac{1}{2}u_1, \ u_1 \in [0,2] \end{array}\right\};$$

2. Тривалість лактації x_2:

- діапазон зміни значень параметра $x_2 = [1,9]$;

- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_2 l=9.

Відображаємо діапазон зміни параметра x_2=[1,9] на множину $U_2 = [0,8]$. Перерахунок фіксованого значення $x_2^* \in [1,9]$ у відповідний елемент $u_2^* = [0,8]$ визначається пропорцією: $u_2^* = x_2^* - 1$. Вирази для функцій належності $\tilde{\mu}^j(u_2)$:

$$\left.\begin{aligned}
\tilde{\mu}^1(u_2) &= 1 - \frac{1}{8}u_2, \ u_2 \in [0,8] \\
\tilde{\mu}^2(u_2) &= \begin{cases} u_2, \ u_2 \in [0,1) \\ \frac{8}{7} - \frac{1}{7}u_2, \ u_2 \in [1,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^3(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{2}u_2, \ u_2 \in [0,2) \\ \frac{8}{6} - \frac{1}{6}u_2, \ u_2 \in [2,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^4(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{3}u_2, \ u_2 \in [0,3) \\ \frac{8}{5} - \frac{1}{5}u_2, \ u_2 \in [3,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^5(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{4}u_2, \ u_2 \in [0,4) \\ 2 - \frac{1}{4}u_2, \ u_2 \in [4,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^6(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{5}u_2, \ u_2 \in [0,5) \\ \frac{8}{3} - \frac{1}{3}u_2, \ u_2 \in [5,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^7(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{6}u_2, \ u_2 \in [0,6) \\ 4 - \frac{1}{2}u_2, \ u_2 \in [6,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^8(u_2) &= \begin{cases} \frac{1}{7}u_2, \ u_2 \in [0,7) \\ 8 - u_2, \ u_2 \in [7,8] \end{cases} \\
\tilde{\mu}^9(u_2) &= \frac{1}{8}u_2, \ u_2 \in [0,8]
\end{aligned}\right\};$$

3. Час доби x_3:

- діапазон зміни значень параметра x_3=[1,2];
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_3 l=2.

Відображаємо діапазон зміни параметра x_3=[1,2] на множину $U_3 = [0,1]$. Перерахунок фіксованого значення $x_3^* \in [1,2]$ у відповідний елемент $u_3^* = [0,1]$ визначається пропорцією: $u_3^* = x_3^* - 1$. Вирази для функцій належності $\tilde{\mu}^j(u_3)$:

$$\left.\begin{array}{l} \tilde{\mu}^1(u_3) = 1 - u_3,\ u_3 \in [0,1] \\ \tilde{\mu}^2(u_3) = u_3,\ u_3 \in [0,1] \end{array}\right\};$$

4. Температура зовнішнього повітря x_4:

- діапазон зміни значень параметра x_4=[0,35];
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_4 l=3.

Відображаємо діапазон зміни параметра x_4=[0,35] на множину $U_4 = [0,2]$. Перерахунок фіксованого значення $x_4^* \in [0,35]$ у відповідний елемент $u_4^* = [0,2]$ визначається пропорцією: $u_4^* = 2\frac{x_4^*}{35}$.

Вирази для функцій належності $\tilde{\mu}^j(u_4)$ аналогічні $\tilde{\mu}^j(u_1)$ в п. 1;

5. Разовий надій молока x_5:

- діапазон зміни значень параметра x_5=[1,5, 10,9];
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_5 l=9.

Відображаємо діапазон зміни параметра x_5=[1,5, 10,9] на множину $U_5 = [0,8]$. Перерахунок фіксованого значення $x_5^* \in [1,5, 10,9]$ у відповідний елемент $u_5^* = [0,8]$ визначається пропорцією: $u_5^* = 8\frac{x_5^* - 1,5}{9,4}$.

Вирази для функцій належності $\tilde{\mu}^j(u_5)$ аналогічні $\tilde{\mu}^j(u_2)$ в п. 2;

6. Температура навколишнього повітря x_6:

- діапазон зміни значень параметра x_6 [0,35];
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_6 l=4.

Відображаємо діапазон зміни параметра x_6=[0,35] на множину $U_6 = [0,3]$. Перерахунок фіксованого значення $x_6^* \in [0,35]$ у відповідний елемент $u_6^* = [0,3]$ визначається пропорцією: $u_6^* = 3\frac{x_6^*}{35}$. Вирази для функцій належності $\tilde{\mu}^j(u_6)$:

$$\left.\begin{aligned}
\widetilde{\mu}^1(u_6) &= 1-\frac{1}{3}u_6,\ u_6\in[0,3]\\
\widetilde{\mu}^2(u_6) &= \begin{cases} u_6,\ u_6\in[0,1)\\ \frac{3}{2}-\frac{1}{2}u_6,\ u_6\in[1,3]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^3(u_6) &= \begin{cases} \frac{1}{2}u_6,\ u_6\in[0,2)\\ 3-u_6,\ u_6\in[2,3]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^4(u_6) &= \frac{1}{3}u_6,\ u_6\in[0,3]
\end{aligned}\right\};$$

7. Температура молока з різних долей вимені $x_7...x_{10}$:

- діапазон зміни значень параметра $x_7=[38{,}5,\ 41{,}6]$;
- кількість термів, що використовуються для лінгвістичної оцінки параметра x_7 l=7.

Відображаємо діапазон зміни параметра $x_7=[38{,}5,\ 41{,}6]$ на множину $U_7=[0,5]$. Перерахунок фіксованого значення $x_7^*\in[38{,}5,\ 41{,}6]$ у відповідний елемент $u_7{}^*=[0,5]$ визначається пропорцією: $u_7^*=5\dfrac{x_7^*-38{,}5}{3{,}1}$. Вирази для функцій належності $\widetilde{\mu}^j(u_7)$:

$$\left.\begin{aligned}
\widetilde{\mu}^1(u_7) &= 1-\frac{1}{5}u_7,\ u_7\in[0,5]\\
\widetilde{\mu}^2(u_7) &= \begin{cases} u_7,\ u_7\in[0,1)\\ \frac{5}{4}-\frac{1}{4}u_7,\ u_7\in[1,5]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^3(u_7) &= \begin{cases} \frac{1}{2}u_7,\ u_7\in[0,2)\\ \frac{5}{3}-\frac{1}{3}u_7,\ u_7\in[2,5]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^4(u_7) &= \begin{cases} \frac{1}{3}u_7,\ u_7\in[0,3)\\ \frac{5}{2}-\frac{1}{2}u_7,\ u_7\in[3,5]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^5(u_7) &= \begin{cases} \frac{1}{4}u_7,\ u_7\in[0,4)\\ 5-u_7,\ u_7\in[4,5]\end{cases}\\
\widetilde{\mu}^6(u_7) &= \frac{1}{5}u_7,\ u_7\in[0,5]
\end{aligned}\right\}.$$

Параметри знайдених функцій належності представлені у таблиці 2, функції належності наведені на рисунку 2.

Таблиця 2 - Параметри функцій належності нечітких термів

Параметр стану тварини		x_1			x_2									x_3	
Терми		I	II	III	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	P	B
Параметри функцій належності	a	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1
	c	3	3	4	9	9	9	9	9	9	9	9	12	2	3
	b	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2

Продовження Таблиці 2

Параметр стану тварини		x_4			x_5								
Терми		Н	Ж	дЖ	дН	Н	ннС	нС	С	вС	нвС	В	дВ
Параметри функцій належності	a	-5	0	0	0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
	c	35	35	45	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	13
	b	13	29	35	1,5	2,5	3	3,8	4,8	6,4	7,85	9,4	10,9

Продовження Таблиці 2

Параметр стану тварини		x_6				x_7, x_8, x_9, x_{10}					
Терми		Н	вН	Ж	дЖ	Н	нС	С	вС	В	дВ
Параметри функцій належності	a	-5	0	0	0	38	38,5	38,5	38,5	38,5	38,5
	c	35	35	35	45	41,6	41,6	41,6	41,6	41,6	42
	b	4,5	23,5	28	35	38,5	38,7	38,9	39,1	39,4	39,7

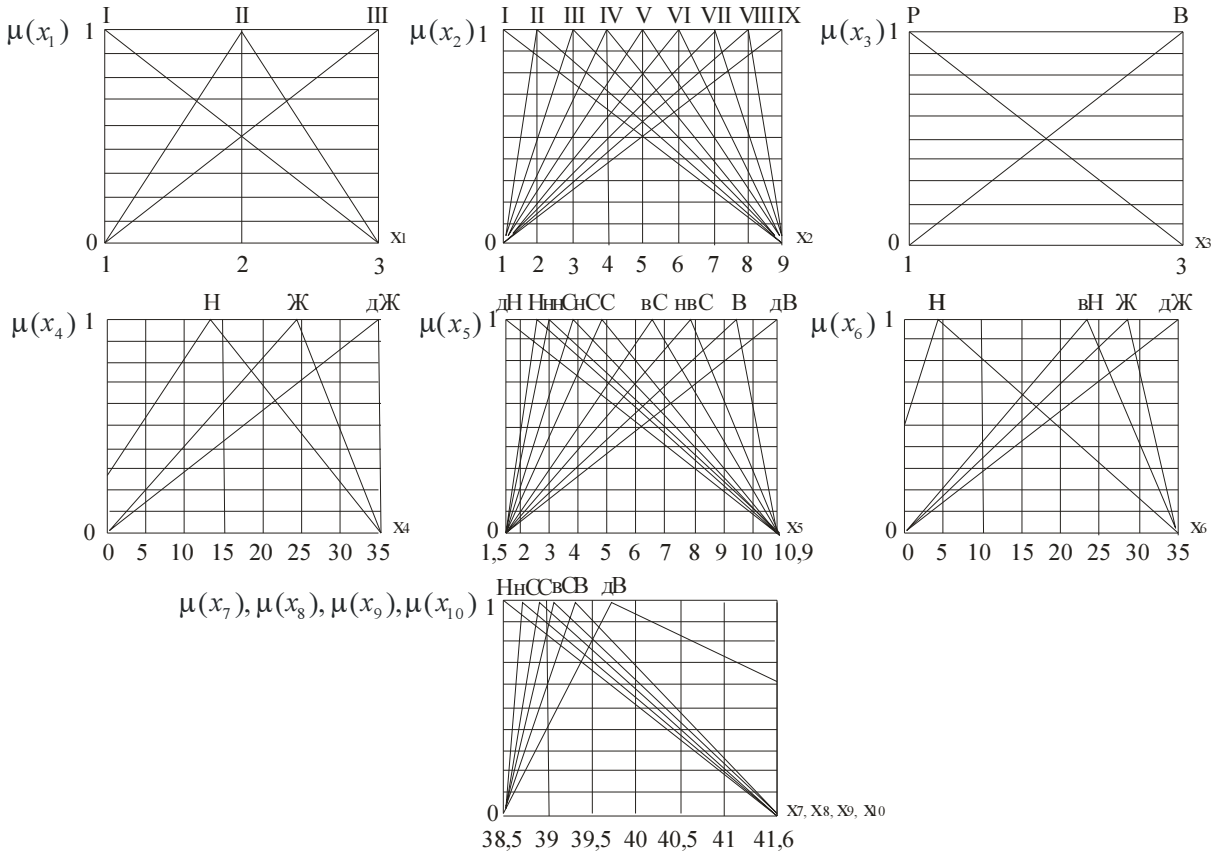


Рисунок 2 - Графіки функцій належності нечітких термів

Висновки. В даній роботі побудовано математичні моделі трикутних функцій належності, що формалізують представлення десяти параметрів стану лактуючих корів у вигляді нечітких множин, з урахуванням їх різнорідного характеру та різної кількості термів для їх лінгвістичної оцінки. Подальші дослідження будуть направлені на розробку системи діагностики ФСТ на основі побудованих моделей.

Список літератури

1. Ивашура А.И. Система мероприятий по борьбе с маститами коров. - М.: Росагропромиздат, 1991. – 240с.
2. Пешук Л. Електропровідність молока як метод виявлення прихованих маститів у корів// Пропозиція. – 2001. – № 7.
3. Firk R., Stamer E., Junge W., Krieter J. Systematic effects on activity, milk yield, milk flow rate and electrical conductivity// Arch. Tierz. – 2002. – № 3. – P. 213–222.
4. Gil Z. Milk temperature fluctuations during milking in cows with subclinical mastitis// Livestock Production Science. – 1988. – № 20. – P. 223–231.
5. Fordham D.P., Rowlinson P., McCarthy T.T. Oestrus detection in dairy cows by milk temperature measurement// Res Vet Science. – 1988. – № 44(3). – P. 366–374.
6. deMol R.M., Woldt W.E. Application of fuzzy logic in automated cow status monitoring// Journal of Dairy Science. – 2001. – № 84. – P. 400–428.
7. Скофенко А.В. О построении функций принадлежности нечетких множеств, соответствующих количественным экспертным оценкам// Науковедение и информатика. – 1981. - № 22. – С. 70-79.
8. Саати Т.Л. Взаимодействие в технических системах// Техническая кибернетика. – 1979. - №1. – С. 68-84.
9. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М.: Радио и связь. – 1982. – 432 с.
10. Модели принятия решений на основе лингвистической переменной/ А.Н. Борисов и др. – Рига: Зинатне. – 1982. – 256 с.
11. Ротштейн А.П. Медицинская диагностика на нечеткой логике. – Винница: Континент-ПРИМ. – 1996. – 132 с.

Ю. Версаль

Построение математических моделей функций принадлежности параметров состояния лактирующих коров для системы диагностики физиологического состояния животных

В статье обосновано целесообразность построения системы диагностики физиологического состояния лактирующих коров на базе нечеткой логики. Проведено построение математических моделей функций принадлежности, которые формализируют представления параметров состояния животных в виде нечетких множеств для их дальнейшего использования при разработке системы диагностики физиологического состояния животных.

J. Versal

Building of lactating cows state parameters membership functions mathematical models for the system of animals physiological state diagnostic

In article the expedientment of lactating cows physiological state system building at the fuzzy logic base is grounded. The building of membership functions mathematical models, which formalize the presentation of animals' state parameters in the form of fuzzy sets for their further using by the animal physiological state diagnostic system is made.

Одержано 25.03.10

УДК 621.9.042

Ю.Н. Внуков, проф., д-р. техн. наук, М.А. Шамровский, инж.
Запорожский национальный технический университет

Формообразование профиля кулачка исходя из расстояния до плоского толкателя

В данной статье описываются различия в формообразующих методах профиля кулачка исходя из расстояний до плоского толкателя, предложен достоверный математический метод, позволяющий произвести проверку обратным расчетом**.**

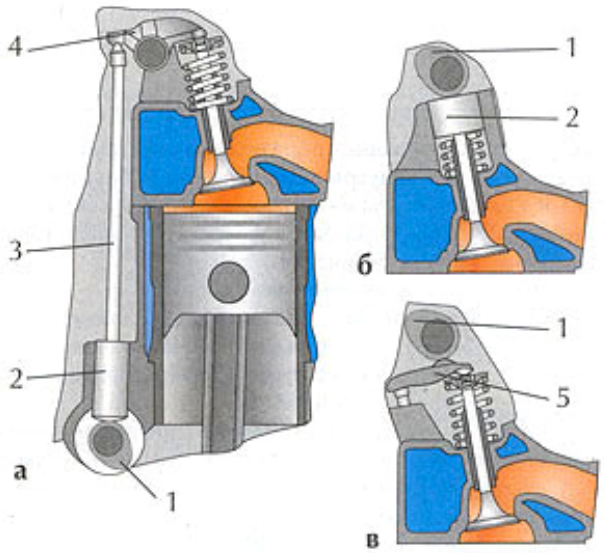
кулачек, толкатель, фреза, шлифовальный круг, двигатель внутреннего сгорания

Одной из классических методик задания профиля кулачка является траектория движения определенного толкателя: на двигателях внутреннего сгорания – это толкатели клапанов цилиндров, на иных высокоточных приборах – других соответствующих толкателей.

На рис. 1 показаны виды взаимодействия кулачка с толкателем. На рис. 1а и 1в – изображены случаи круглого толкателя, на рис. 1б – плоского толкателя.

Наиболее распространен плоский толкатель. В поперечном сечении кулачка в этом случае поверхность контакта с кулачком выглядит как отрезок (рис. 1б).

Порядок расчета газораспределения двигателя внутреннего сгорания следующий [1,2]: вначале рассчитывается ускорение клапана, задаваемое, в общем случае, в виде кусочно-аналитической зависимости; затем это ускорение дважды интегрируется для получения закона движения клапана. В общем случае такое интегрирование выполняется численно ввиду невозможности аналитического интегрирования.



а) – с нижним расположением распредвала; б) и в) – с верхним расположением распредвала

1 – кулачок; 2 – толкатель; 3 – штанга; 4 – коромысло; 5 – одноплечий рычаг

Рисунок 1 – Газораспределительные механизмы

© Ю.Н.Внуков, М.А.Шамровский, 2010

Подобным же образом производится расчет хода толкателей в иных высокоточных приборах, требующих наличия кулачков.

Для изготовления гладкого кулачка с помощью шлифовального станка с ЧПУ, имеющего кинематику круглошлифовального станка, необходимо провести математическое формообразование профиля кулачка в полярных [3] или декартовых координатах [3].

Наиболее простым методом математического формообразования кулачка является графический метод (рис. 2).

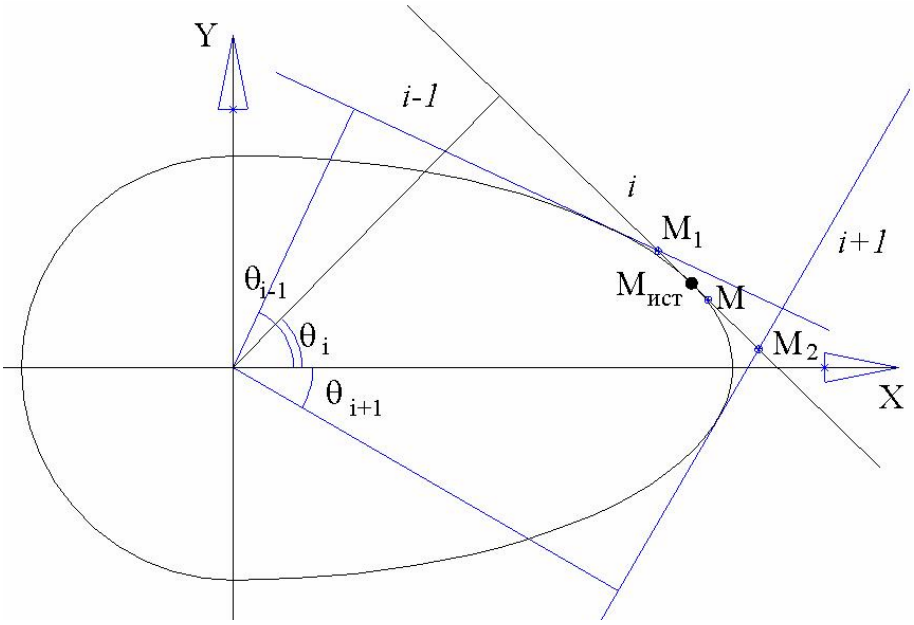


Рисунок 2 – Пример графического расчета контура кулачка

В этом методе изображаются три соседних положения толкателя (рис. 2) и находятся две точки пересечения: первая точка M_1 между толкателем i и толкателем $i-1$; вторая точка M_2 между толкателем i и толкателем $i+1$.

Затем находится середина линии M_1,M_2 – точка М. Она считается принадлежащей профилю кулачка. Данная методика популярная в существующей производственной практике. Она легко реализуется как вручную так и с использованием современных компьютерных графических редакторов. Однако как видно на рис. 2, построенная таким образом точка М не будет принадлежать контуру кулачка. На рис. 2 показана расположение истинной точки контакта $M_{ист}$ для данной задачи.

Причина, по которой положение точки М не совпадает с положением точки $M_{ист}$, заключается в том, что описанный графический метод создан для иного способа формообразования кулачка. Фактически речь идет об изготовлении кулачка методом плоской фрезеровки, при котором фреза проходит вдоль линий плоского толкателя. Кулачек после такой фрезеровки получается в виде многогранника. Окончательная обработка выполняется путем срезания углов; при этом соединяются гладкими кривыми средние точки отрезков. Это гарантирует прохождение метрологического контроля, если в качестве прибора используется плоский толкатель и замеры производятся для тех же углов, для которых заданы исходные данные. Однако, как видно из рис. 3, настоящий профиль кулачка не совпадает с гладкими линиями, получаемыми при срезании углов.

Хотя получаемая погрешность кажется небольшой, а с точки зрения метрологов вообще отсутствует, с точки зрения конструкции, для которой изготавливается кулачек (ДВС) разница может оказаться существенной. Казалось бы, незначительное изменение

контура кулачка приводит к существенному изменению диаграммы ускорений клапана, что значительно изменяет характеристики двигателя.

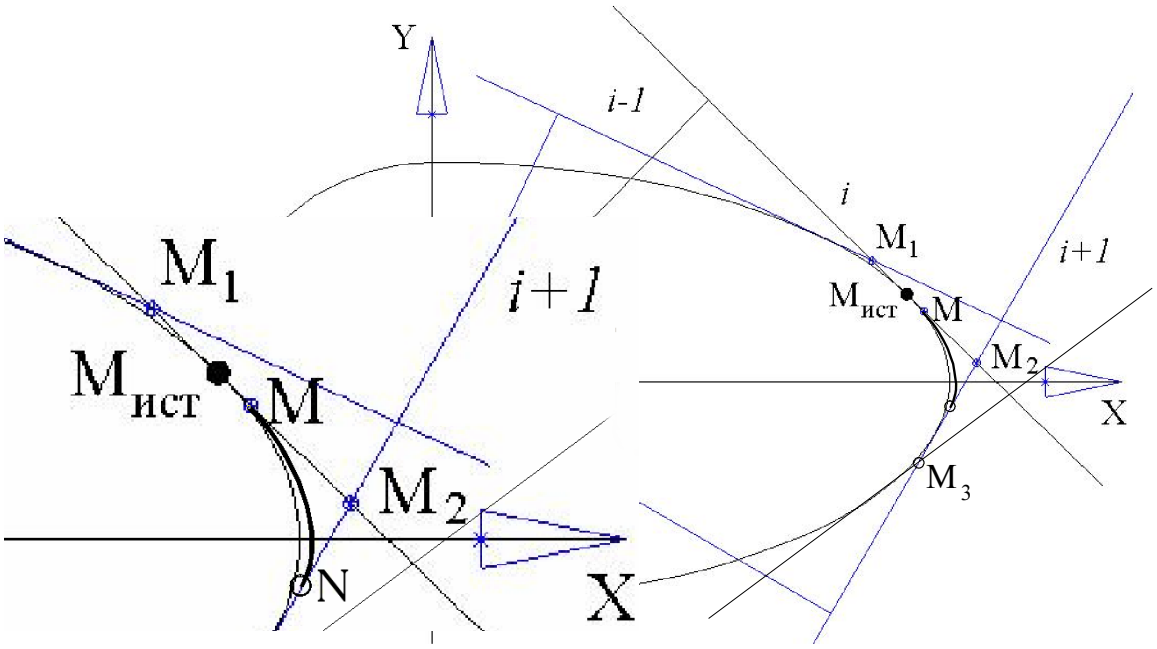


Рисунок 3 – Пример различия между точным и приближенным профилем кулачка

Таким образом, мы видим необходимость разработки более точного метода, снижающего погрешности формообразования кулачка при его изготовлении.

Этот метод заключается в следующем. Рассмотрим совместное положение кулачка и плоского толкателя (рис. 4). Считаем, что профиль кулачка задан аналитически, что возможно при помощи интерполяции табличных данных (с целью увеличения качества интерполяции был разработан специальный метод [4]).

Решим вначале задачу о нахождения хода толкателя при заданном профиле кулачка в полярных координатах $r(\varphi)$.

Угол поворота кулачка θ считаем положительным при повороте по часовой стрелке (на рис. 4 угол θ отрицателен).

Пусть кулачек контактирует с плоским толкателем в точке M (рис. 4).

В подвижной системе координат связь между полярными r,φ и декартовыми x,y координатами произвольной точки M выражается формулами:

$$x = r(\varphi)\cos\varphi;\ \ y = r(\varphi)\sin\varphi. \qquad (1)$$

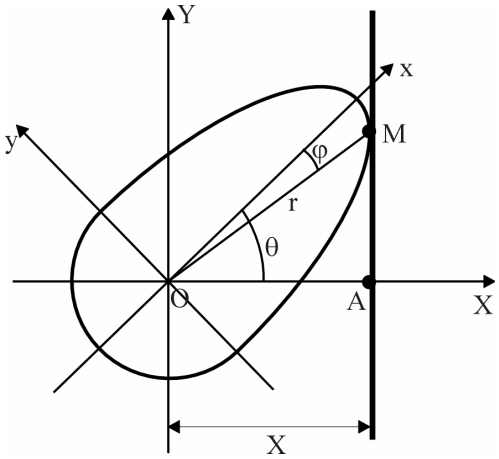
Для неподвижной системы координат XY координаты той же точки M будут:

$$X = r(\varphi)\cos(\theta-\varphi);\ \ Y = -r(\varphi)\sin(\theta-\varphi). \qquad (2)$$

Для заданного угла поворота кулачка θ требуется найти расстояние $|OA| = X$ между осью вращения кулачка и плоским толкателем по нормали, а также угол φ, задающий положение точки контакта M по отношению к кулачку. Точка O – ось вращения кулачка, является неподвижной точкой начала отсчета при определении расстояния X.

Искомое расстояние равно координате X точки M:

$$|OA| = X = r(\varphi)\cos(\theta-\varphi). \qquad (3)$$



O – ось вращения кулачка; r – функция от угла φ ; x, y – подвижные оси координат связанные с кулачком; X, Y – неподвижные оси координат; θ – угол поворота кулачка или подвижной системы координат, OA – расстояние до вертикального плоского толкателя AM, M – точка контакта плоского толкателя с кулачком

Рисунок 4 – Профиль кулачка в контакте с плоским толкателем

Формула (3) содержит неизвестную величину φ. Второе уравнение, дополняющее (3), получаем из условия, что касательная к кулачку в точке контакта вертикальна:

$$\frac{dX}{d\varphi} = \frac{dr}{d\varphi}\cos(\theta-\varphi) + r(\varphi)\sin(\theta-\varphi) = 0\,. \tag{4}$$

Решая численно уравнение (4) и пользуясь формулой (3) мы находим координаты точки M и расстояние до плоского толкателя в зависимости от угла поворота кулачка.

Решаем противоположную задачу нахождения профиля кулачка по известной траектории хода толкателя в зависимости от угла поворота кулачка.

Для решения этой задачи вычислим дополнительно производную $\frac{dX}{d\theta}$:

$$\frac{dX}{d\theta} = \frac{dr}{d\varphi}\frac{d\varphi}{d\theta}\cos(\theta-\varphi) - r(\varphi)\sin(\theta-\varphi)\left(1-\frac{d\varphi}{d\theta}\right). \tag{5}$$

Из (4) находим:

$$\frac{dr}{d\varphi} = -r(\varphi)\frac{\sin(\theta-\varphi)}{\cos(\theta-\varphi)}. \tag{6}$$

Подставляя (6) в (5) получаем:

$$\frac{dX}{d\theta} = -r(\varphi)\sin(\theta-\varphi). \tag{7}$$

Из (7) и (3) имеем:

$$r(\varphi) = \sqrt{X^2 + \left(\frac{dX}{d\theta}\right)^2}\,, \tag{8}$$

$$tg(\theta-\varphi) = -\frac{dX/d\theta}{X}. \tag{9}$$

Отсюда будет:

$$\varphi = \theta + arctg\frac{dX/d\theta}{X} \ . \qquad (10)$$

С помощью (10) находим φ, а с помощью (8) – r для заданного θ.

Достоверность изложенного метода гарантируется точностью используемого математического аппарата. Для дополнительного тестирования метода в конкретных случаях можно воспользоваться следующим методом двойного расчета. Вначале, с использованием таблицы для плоского толкателя, выполняем необходимую интерполяцию методом независимых отрезков [4] и производим расчет профиля кулачка в полярных координатах. Затем, с использованием полученного профиля, рассчитываем ход плоского толкателя. Многократное применение такого тестирования показывает отклонения от исходных данных в пределах погрешности вычислений на компьютере, то есть практически отсутствия погрешности.

Заметим, что для графического метода, в случае построения гладкого профиля, нет адекватного обратного пути расчета траектории отклонения плоского толкателя.

Выводы. В данной статье приведен метод расчетов, позволяющие выполнять математическое формообразование профиля кулачка, исходя из законов движения плоского толкателя. Произведено сравнение с одним из наиболее распространенных в заводской практике методов и показаны преимущества предлагаемого метода.

Список литературы

1. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. [Учебник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»] / [Д.Н. Вырубов, С. И. Ефимов, Н.А. Иващенко и др.]; под ред. А.С. Орлина, М. Г. Круглова. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
2. Конструирование и расчет двигателей внутреннего сгорания: [Учебник для вузов] / Н.Х. Дьяченко, Б.А. Харитонов, В.М. Петров и др.]; под ред. Н. Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. – 392 с.
3. Д.В. Клетенник. Сборник задач по аналитической геометрии / Дмитрий Васильевич Клетенник. – М.: Наука, Физматлит, 1998.
4. Яхненко В.М. Интерполяция независимыми отрезками / В.М. Яхненко, М.А. Шамровский // Прикладна геометрія та інженерна графіка: Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Вип.4. – Т. 15 – Мелітополь: ТДАТА, 2002. С. 85-89, С. 115.

Ю. Внуков, М. Шамровський

Формоутворення профілю кулачка виходячи з відстані до плаского штовхача

У даній статті описуються розходження формотворних методів профілю кулачка виходячи з відстаней до плоского штовхальника, запропонований достовірний математичний метод, що дозволяє зробити перевірку зворотним розрахунком.

U. Vnukov, M. Shamrovsky

Forming a structure of a cam proceeding from distance up to a flat pusher

In given article distinctions form-building methods of a structure of a cam proceeding from distances up to a flat pusher are described, the authentic mathematical method is offered, allowing to make check by return calculation.

Одержано 29.03.10

УДК 681.513.2

Н.В.Смирнова, ас.
Кировоградский национальный технический университет

Применение критерия Неймана-Пирсона для обнаружения скачкообразного изменения среднего значения тока дуги

Приводится решение задачи обнаружения в реальном масштабе времени скачкообразного изменения среднего значения тока в процессе размерной обработки дугой на основе статистического критерия Неймана-Пирсона для создания эффективной системы управления процессом обработки детали
система управления, скачкообразное изменение среднего значения, критерий Неймана-Пирсона

Введение. Основной задачей системы управления размерной обработкой дугой (РОД), является обеспечение стабильности величины тока дуги.

Основным параметром, который отрицательно влияет на качество обработки деталей электрической дугой, является скачкообразное изменения величины тока дуги в процессе обработки деталей. Стабильность величины тока дуги определяется в основном стабильностью величины межэлектродного промежутка (МЭП), регулирование которой осуществляется косвенными методами по отклонению тока или напряжения дуги от заданного значения.

Анализ фрагментов осциллограмм процесса обработки деталей электрической дугой (рис.1) в системе регулирования величины МЭП по отклонению напряжения дуги [2], выявил скачкообразные изменения рабочего значения тока дуги:

- от номинального значения до максимально возможного (режим короткого замыкания);
- от номинального значения до нулевого (режим обрыва дуги).

На осциллограмме процесса размерной обработки дугой отчетливо выражены участки резкого возрастания и уменьшения тока дуги, которые возникают вследствие запоздалого обнаружения скачка и, как следствие, запоздалого воздействия системы управления на привод рабочего инструмента.

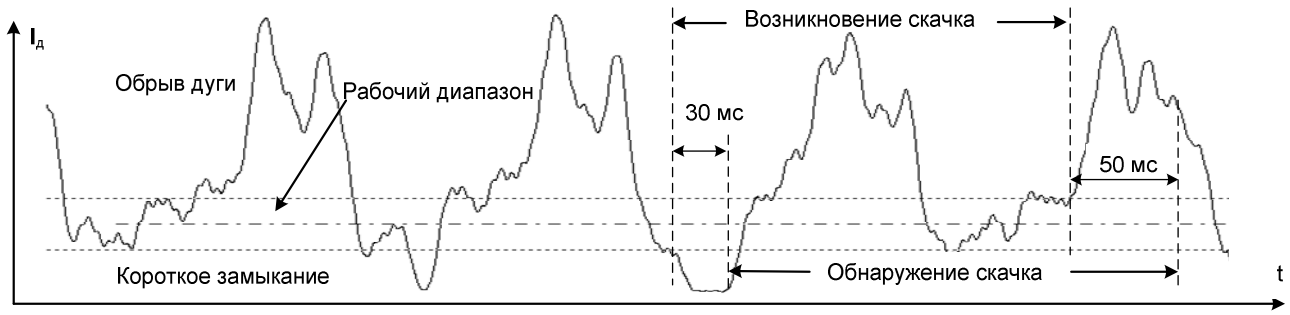


Рисунок 1 – Скачкообразное изменения тока дуги в процессе обработки детали

© Н.В.Смирнова, 2010

Анализ исследований и публикаций. Известные системы управления РОД [1,2] основаны на использовании отклонения тока или напряжения дуги от заданного значения. Недостатком таких систем является задержка времени обнаружения скачкообразного изменения среднего значения сигнала, что приводит к возникновению режима обрыва дуги или короткого замыкания и к нарушению технологического процесса обработки дугой.

Постановка задачи.

Необходимо выбрать критерий, который позволил бы минимизировать время запаздывания в обнаружении скачка среднего значения тока дуги с минимумом ложных тревог для кусочно-постоянного сигнала с аддитивной помехой детектора.

Под ложными тревогами понимается реакция на кратковременные выбросы тока, которые не приводят к нарушению режима работы системы.

Основная часть. В настоящей работе поставленная задача решается на основе использования процедуры проверки статистических гипотез с помощью критерия Неймана-Пирсона [3] для минимизации времени определения скачка рабочего значения тока дуги.

Рассмотрим множество измеренных значений тока дуги$\{i1_0, {}_i1_1, \ldots, i1_{n-1}\}$, где t_{n-1}- время до возникновения скачка, на интервале времени $[0, t_{n-1}]$, которому соответствует среднее значение рабочего тока дуги $I1_{cp}$, а также множество измеренных значений тока $\{i2_0, i2_1, \ldots, i2_m\}$, где t_n – время возникновения скачка на интервале времени $[t_n, t_m]$, которому соответствует среднее значение тока короткого замыкания $I2_{cp}$ (рис.2).

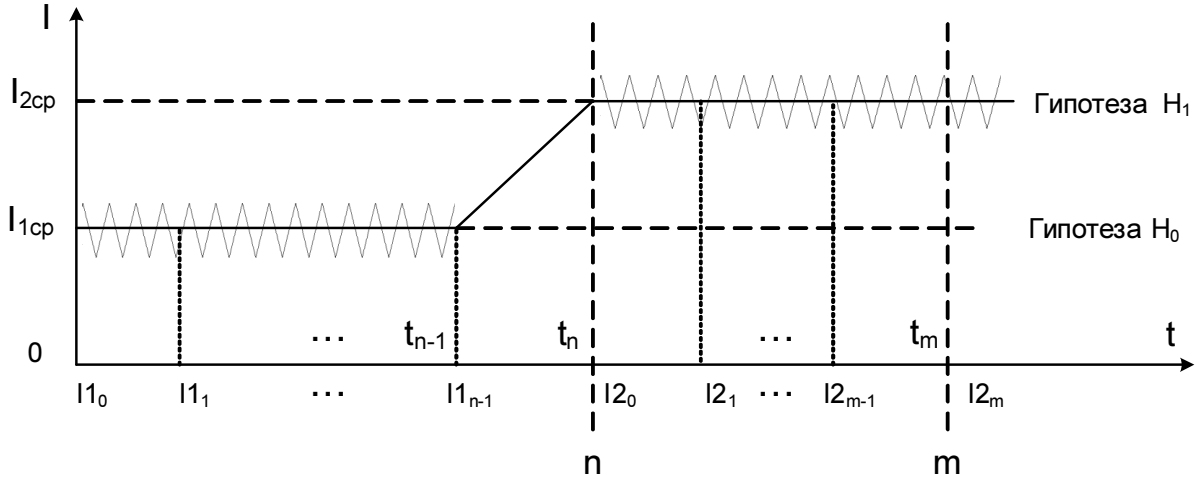


Рисунок 2 – Процедура проверки статистических гипотез

Для решения поставленной задачи воспользуемся статистическим критерием Неймана – Пирсона для проверки гипотезы H_0, которой соответствует плотность распределения $P_0(i)[t_0,t_{n-1}]$ и альтернативной гипотезы H_1, которой соответствует плотность распределения $P_1(i)$ $[t_n,t_m]$.

Покажем, что критерий Неймана – Пирсона в этом случае состоит в проверке неравенства $P_1(i) \geq \lambda P_0(i)$ для данных результатов наблюдений i, где λ – пороговое значение критерия для принятия гипотезы H_0 или H_1.

Пусть $P(i, \bar{i}, \sigma)$ – нормальные плотности распределения со средними значениями $\bar{i}$ и дисперсией σ^2, $i = (i_1, i_2, \ldots, i_n)$ – n- мерный вектор независимых одинаково распределенных величин $i_1, i_2, \ldots, i_n$.

Критерий Неймана – Пирсона в этом случае определяется неравенством (1)

$$\exp\left\{-\sum_{k=1}^{n}\frac{(i_K-\bar{i})^2}{2\sigma^2}\right\} \geq \lambda \exp\left\{-\sum_{k=1}^{n}\frac{(i_K-\bar{i}_\delta)^2}{2\sigma^2}\right\}, \qquad (1)$$

где $\bar{i}_д$ - среднее значение заданного рабочего тока дуги.

После логарифмирования критерий принимает вид (2):

$$\left(\bar{i} - \bar{i}_д\right)\sum_{k=1}^{n} i_K \geq \lambda \ . \tag{2}$$

Для класса альтернатив $\bar{i} > \bar{i}_д$ критическая область задается неравенством (3):

$$\sum_{k=1}^{n} i_K \geq \lambda , \tag{3}$$

Где погог обнаружения скачка μ_1 определяется из условия (4):

$$P_{i_д}\left(\sum_{k=1}^{n} i_K \geq \lambda\right) = \bar{i} . \tag{4}$$

Для простой гипотезы H_0 $\bar{i} = \bar{i}_p$ при неизвестном значении параметра σ критерий Неймана – Пирсона сводится к определению критической области с помощью соотношения (5):

$$C_{íï} = \frac{\bar{i} - \bar{i}_д}{\sigma} \geq \lambda , \tag{5}$$

где

$$\bar{i} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} i_k \ ; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}\left(i_k - \bar{i}\right)^2} \ .$$

Результат проверки полученных соотношений (3-5) критерия Неймана-Пирсона представлен на рис. 3.

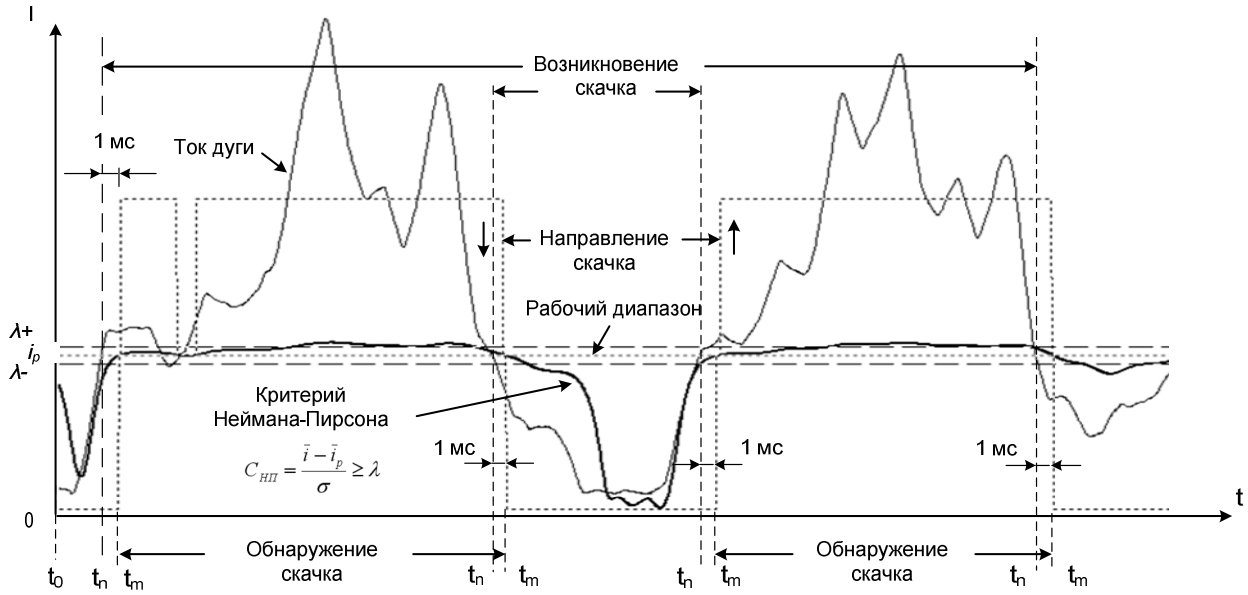


Рисунок 3 – Реализация критерия Неймана-Пирсона

Из рисунка рис. 3 следует, что обнаружение скачка среднего значения рабочего тока дуги t_n с помощью критерия Неймана-Пирсона осуществляется быстрее (время обнаружения - 1 мс), чем в системе управления по отклонению напряжения от заданного значения (время обнаружения - 30 мс). Момент обнаружения скачка и направление скачка может служить сигналом для системы управления перемещением рабочего инструмента.

Выводы

Использование статистических критериев, таких, как критерий Неймана-Пирсона позволяет осуществить обнаружение скачкообразного изменения среднего значения тока дуги с минимальным запаздыванием, что позволяет создать эффективную систему управления процессом размерной обработки дугой, предотвратить развитие процесса короткого замыкания и обрыва дуги за счет своевременного формирования сигнала управления приводом перемещения рабочего инструмента и поддержания постоянной величины межэлектродного промежутка в процессе обработки детали.

Список литературы

1. Носуленко В.И. Розмірна обробка металів єлектричною дугою. Автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07 / Кировоградський гос. техн. ун-т – К., 1999.- 36 с.
2. Носуленко В.І., Боков В.М., Великий П.М., Широботько В.П., Гросул І.А. Верстат електроерозійний копіювально – прошивний моделі “АМ - 1”. Технічний опис. Інструкція по експлуатації. Технічний паспорт. Кіровоград: 2004. – 61 с.
3. Королюк В.С. Справочник по теории вероятности и математической статистике. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 640 с.

Н.Смирнова

Примінення критерию Неймана-Пірсона для виявлення стрибкоподібної зміни середнього значення струму

Наводиться рішення задачі виявлення в реальному масштабі часу стрибкоподібній зміни середнього значення струму в процесі розмірної обробки дугою на основі статистичного критерію Неймана-Пірсона з метою підвищення якості системи управління процесом обробки деталі.

N Smirnova

Adaptation of Neymann–Pearson criterion for detecting discontuons change of arc current average value

A solution of the problem in real time detecting, an abrupt change in the average current in the arc size treatment on the basis Neymann - Pearson statistical ratio test to improve the quality management system the processing details.

Одержано 30.03.10

УДК 621.914.6

М.О.Ковришкін, **доц., канд. техн. наук, М.Л.Рудич, асп.**
Кіровоградський національний технічний університет

Вплив кута сточування на геометрію збірних незатилованих черв'ячних фрез з поділеним профілем

Вивчено вплив переточування на геометрію ріжучої частини нових збірних незатилованих черв'ячних фрез з поділеним профілем. Визначено співвідношення параметричного кута та кута сточування. Визначено вплив кута сточування на величину зміни передніх та задніх кутів. Наведено результати розрахунків величини зміни передніх та задніх кутів в залежності від значення кута сточування.
збірна незатилована черв'ячна фреза, поділений профіль, кут сточування

Для виготовлення зубчастих та черв'ячних коліс широке використання знайшли черв'ячні фрези. В порівнянні з іншими інструментами вони складніші як за конструкцією, так і за технологією виробництва.

В більшості випадків зубчасті колеса нарізуються стандартними черв'ячними фрезами, у яких передній кут має нульове значення, а задні кути на бокових ріжучих лезах знаходяться в межах від 3° до 4°. Тобто, геометрія стандартних черв'ячних фрез робить їх недостатньо ефективними у практичному застосуванні з точки зору положень теорії різання.

Тому, дослідження, спрямовані на розробку черв'ячних фрез з більш раціональною геометрією, яка відповідає положенням теорії різання є актуальними.

Відомі [1] незатиловані шліцьові черв'ячні фрези, в яких задні кути зубців отримують зміщенням рейок, що шліфуються. Суттєвою перевагою таких черв'ячних фрез є відсутність операції затилування. Профіль зубців незатилованих фрез є шліфованим по всій довжині, а у затилованих фрез цього досягнути не можна. Збірні незатиловані черв'ячні фрези допускають значно більше число переточок, а їх стійкість в середньому у 6 разів перевищує стійкість стандартних цільних черв'ячних фрез [1].

Розглянемо докладніше вплив кута сточування на геометрію зубців відомих збірних незатилованих шліцьових черв'ячних фрез.

Зв'язок між максимальним кутом сточування та параметричним кутом за умови забезпечення мінімальної похибки профілю при переточуваннях в [1] визначено так:

$$\frac{1}{\cos(\beta)} - 1 = 1 - \frac{\cos(\phi_k - \beta)}{\cos(\beta)}, \qquad (1)$$

де β – параметричний кут;

ϕ_k – кінцевий кут сточування.

Зв'язок між максимальним кутом сточування та досяжною кількістю зубців в роботі [1] визначається так:

$$\phi_k = \pi / z_u + (0° \ldots 3°), \qquad (2)$$

де z_u – досяжна кількість зубців.

Для збірних незатилованих шліцьових черв'ячних фрези в роботі [1] визначено ряд кутів сточування при яких величина впливу переточувань на геометрію зубця є максимальною або мінімальною:

© М.О.Ковришкін, М.Л.Рудич, 2010

$$\phi = 0°,\ \phi = \beta,\ \phi = 2\beta,\ \phi = \phi_k = 2{,}42\beta. \quad (3)$$

Згідно з [1] величина поточного значення заднього кута на вершині зубця в залежності від кута сточування змінюється і визначається так:

$$\sin(\alpha) = \sin(\alpha_e)\frac{\cos(\phi - \beta)}{\cos(\beta)}, \quad (4)$$

де α_e – раціональний з точки зору положень теорії різання задній кут на вершині зубця.

З роботи [1] відомо, що зміна величини заднього кута при переточуваннях викликає відхилення від радіальності передньої поверхні зубців незатилованих фрез, причому ця величина визначається так:

$$\sin(\Delta\gamma) = \frac{\sin(\alpha_e)[\cos(\phi - \beta) - \cos(\beta)]}{\cos(\alpha_e - \beta)}. \quad (5)$$

Стосовно зміни переднього кута при переточуваннях слід відмітити, що в роботі [1] запропоновано ефективний метод заточування в умовах якого цієї зміни практично немає. В умовах цього методу величина c зміщення площини заточувального круга відносно вісі фрези не є постійною величиною. Наприклад, для розглянутої фрези з додатнім переднім кутом при переточуваннях величина c зменшується [1].

Для не переточеної фрези величина c згідно з [1] визначається так:

$$c = R_e \sin(\gamma_e), \quad (6)$$

де R_e – радіус вершин зубців фрези;

γ_e – раціональний з точки зору положень теорії різання передній кут на вершині зубця.

В процесі переточування відбувається зміна величини R_e, поточне значення якої визначається відповідно до [1] так:

$$R_{ej} = R_e[\cos(\alpha_e) - \sin(\alpha_e)tg(\phi - \beta)]. \quad (7)$$

Відомі [2–5] високоефективні черв‘ячні фрези з поділеним профілем.

Згідно з роботами [2,3] усунення або часткове зменшення негативного впливу на процес зубообробки факторів, присутніх у схемі різання черв’ячних фрез стандартної конструкції, можливе за рахунок збільшення кількості стружкових канавок і рейок.

В роботі [4] виконані дослідження щодо визначення кількості зубців та задніх кутів на бокових ріжучих лезах суцільної черв‘ячної фрези для обробки черв‘ячних коліс методом тангенціальної подачі. В роботі [4] доведено, що кількість зубців цих черв‘ячних фрез вдвічі перевищує відповідний показник для стандартних черв‘ячних фрез. Проте, задні кути на бокових ріжучих лезах суцільних черв‘ячних фрез, що розглянуті в роботі [4], мають значення в межах від 2,31° до 4,53°.

В роботі [5] поєднано позитивні властивості черв'ячних фрез, що розглянуті в роботах [1,4], і отримано нові незатиловані черв'ячні фрези для яких радіус вершин технологічного та робочого черв'яка співпадають. Наступним етапом дослідження нових незатилованих черв’ячних фрез з поділеним профілем є визначення впливу переточування на геометрію їх ріжучої частини.

Приймемо за мету роботи дослідження впливу переточування на геометрію ріжучої частини нових збірних незатилованих черв’ячних фрез з поділеним профілем.

Для досягнення мети дослідження вирішимо наступні задачі:

а) визначити оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута;

б) встановити досяжну кількість зубців для визначеного співвідношення кута сточування та параметричного кута;

в) визначити вплив кута сточування на величину зміни передніх та задніх кутів;

г) розрахувати величину зміни передніх та задніх кутів в залежності від значення кута сточування;

д) порівняти характеристики нової черв'ячної фрези з відповідними показниками стандартної черв'ячної фрези за ГОСТ 9324-80Е.

Для розв'язання першої задачі скористаємося роботою [5].

Врахувавши, що $\beta < \phi_k$ та розв'язавши рівняння (1) стосовно ϕ_k отримаємо:

$$\phi_k = \beta + \arccos\left(2\cos(\beta) - 1\right). \tag{8}$$

В роботі [5] зазначено, що радіус вершин технологічного та робочого черв'яка співпадають за умови виконання співвідношення:

$$\beta = \frac{\alpha_e}{2}. \tag{9}$$

Слід відмітити [5], що для обробки бронзового вінця черв'ячного колеса $\alpha_e = 8°$. Тобто, параметричний кут для обробки бронзового вінця черв'ячного колеса такий:

$$\beta = 4°. \tag{10}$$

Після підстановки (10) до (8) та проведення відповідних математичних перетворень отримаємо:

$$\phi_k = 9{,}658°. \tag{11}$$

На основі (10) та (11) визначаємо оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута:

$$\phi_k = 2{,}4145\beta. \tag{12}$$

Тобто, для досліджуваних збірних незатилованих черв'ячних фрези ряд кутів сточування (3) при яких величина впливу переточувань на геометрію зубця є максимальною або мінімальною матиме вигляд:

$$\phi = 0°,\ \phi = \beta,\ \phi = 2\beta,\ \phi = \phi_k = 2{,}4145\beta. \tag{13}$$

Розв'язавши рівняння (2) стосовно z_u отримаємо:

$$z_u = \frac{180°}{\phi_k - (0°\ldots3°)}. \tag{14}$$

Після підстановки (11) до (14) та врахувавши, що z_u є цілим числом, отримаємо:

$$z_u = 18\ldots27. \tag{15}$$

Визначимо вплив кута сточування на величину зміни задніх кутів на зубцях досліджуваної черв'ячної фрези. В першому наближенні вважатимемо, що $\gamma_e = 0°$.

Згідно з [5] величина раціонального з точки зору положень теорії різання заднього α_e кута повинна призначатися на зубцях для другого проходу, тобто:

$$\alpha_{e2} = \alpha_e. \tag{16}$$

Оскільки раціональний задній кут призначається на вершині зубців для другого проходу, а максимальна його зміна при переточуваннях відбувається на вершинах зубців для третього проходу, то величина зміни заднього кута для j-го переточування визначатиметься так:

$$\Delta\alpha_{e3j} = \alpha_{e3} - \alpha_{e3j}, \tag{17}$$

де α_{e3j} – задній кут на вершинах зубців третього проходу після j-го переточування;

α_{e3} – задній кут на вершинах зубців третього проходу не переточеної фрези.

Величина α_{e3} згідно з [5] визначається так:

$$\alpha_{e3} = arctg\left[\frac{tg(\alpha_{e2})}{1-\frac{(-h_{03}+e)}{R_{e2}}[1+tg(\beta)tg(\alpha_{e2})]}\right], \tag{18}$$

де h_{03} – висота зубців для третього проходу;

e – величина перекриття між зубцями другого та третього проходу [5];

R_{e2} – радіус вершин зубців другого проходу.

Після підстановки (18) з урахуванням (16) до (4), а потім до (17) та після необхідних математичних перетворень для j-го переточування отримаємо:

$$\Delta\alpha_{e3j} = \alpha_{e3} - \arcsin\left[\sin(\alpha_{e3})\frac{\cos(\phi_j-\beta)}{\cos(\beta)}\right]. \tag{19}$$

Після підстановки (9) до (5) та після відповідних математичних перетворень для j-го переточування отримаємо:

$$\Delta\gamma_{\alpha j} = \arcsin\left[\frac{\sin(\alpha_{e3})[\cos(\phi_j-\beta)-\cos(\beta)]}{\cos(\alpha_{e3}-\beta)}\right]. \tag{20}$$

Аналіз формули (20) показує, що при $\phi=\beta$ величина $\Delta\gamma_{\alpha j}$ матиме додатне значення, а при $\phi=\phi_k=2{,}4145\beta$ – від‘ємне, як це зображено на рис.1. За умови, що $\phi=0°$ або $\phi=2\beta$, $\Delta\gamma_{\alpha j}=0°$.

В процесі переточування відбувається зміна величини R_{e3}, поточне значення якої визначається підстановкою (18) до (7):

$$R_{e3j} = R_{e3}[\cos(\alpha_{e3j}) - \sin(\alpha_{e3j})tg(\phi_j-\beta)], \tag{21}$$

де R_{e3} – радіус вершин зубців третього проходу.

Для j-го переточування величина c на основі (6) визначається так:

$$c_j = R_{e3j}\sin(\gamma_e). \tag{22}$$

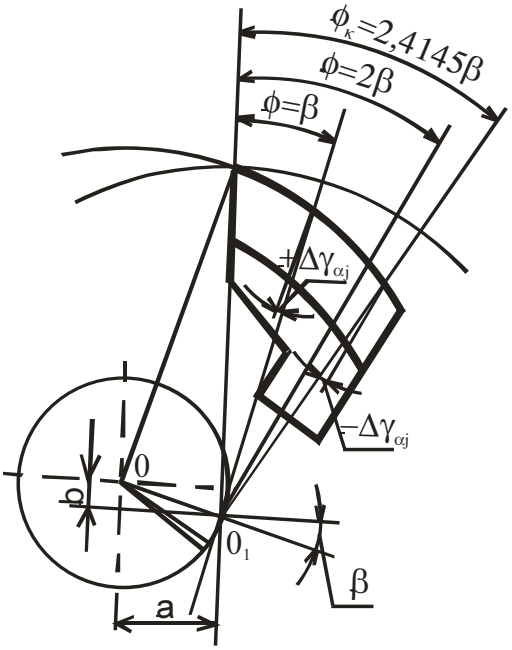


Рисунок 1 – Схема зміни величини $\Delta\gamma_{\alpha j}$ в процесі переточування зубців фрези

Для j-го переточування величина c на основі (6) визначається так:

$$c_j = R_{e3j}\sin(\gamma_e). \tag{22}$$

Враховуючи, що значення c_j витримується на верстаті з певною точністю, наприклад, 0,001 мм, 0,005 мм або 0,01 мм, то при округленні c_j до c_{oj} виникатиме похибка $\Delta\gamma_{oj}$ значення переднього кута γ_e, яка для досліджуваної фрези визначатиметься так:

$$\Delta\gamma_{oj} = \arcsin\left(\frac{c_j - c_{0j}}{R_{e3j}}\right). \tag{23}$$

Схема виникнення похибки $\Delta\gamma_{oj}$ при округленні величини c_j до c_{oj} зображена на рис.2.

Таким чином, зміна переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні буде такою:

$$\Delta\gamma_j = \Delta\gamma_{\alpha j} + \Delta\gamma_{oj}. \tag{24}$$

Аналіз формули (24) показує, що результуюче відхилення від радіальності передньої поверхні для нових черв‘ячних фрез може буди зменшеним, якщо складові формули (24) будуть мати різні знаки. При $\phi = 0°\ldots 2\beta$ величину c_j необхідно округляти в більшу сторону викликаючи від‘ємне значення $\Delta\gamma_{oj}$ при додатному значенні $\Delta\gamma_{\alpha j}$, а при $\phi = 2\beta\ldots 2{,}4145\beta$ величину c_j необхідно округляти в меншу сторону викликаючи додатне значення $\Delta\gamma_{oj}$ при від‘ємному значенні $\Delta\gamma_{\alpha j}$.

Розрахунки проводилися для черв‘ячних фрез з наступними показниками:

– модуль $m = 4$ мм, радіус зубців для третього проходу $R_{e3} = 43$ мм, величина перекриття $e = 1$ мм, задній кут $\alpha_e = 8°$, передній кут $\gamma_e = 10°$;

– модуль $m = 8$ мм, радіус зубців для третього проходу $R_{e3} = 70$ мм, величина перекриття $e = 2$ мм, задній кут $\alpha_e = 8°$, передній кут $\gamma_e = 10°$;

– модуль $m = 12$ мм, радіус зубців для третього проходу $R_{e3} = 105$ мм, величина перекриття $e = 3$ мм, задній кут $\alpha_e = 8°$, передній кут $\gamma_e = 10°$.

Результати розрахунків наведені в табл.1.

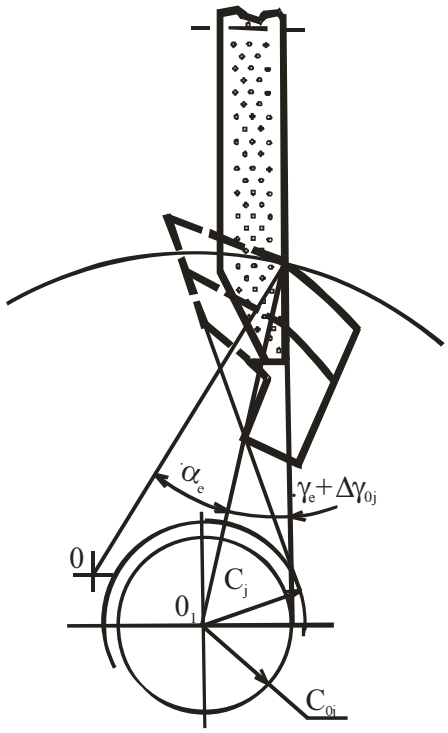


Рисунок 2 – Схема виникнення похибки $\Delta\gamma_{oj}$ при округленні величини c_j до c_{oj}

Таблиця 1 – Зміна передніх та задніх кутів при переточуванні нових фрез

m, мм	ϕ, °	R_{e3}, мм	$\Delta\alpha_{e3}$, ″	$\Delta\gamma_\alpha$, ″	c, мм	c_0, мм	$\Delta\gamma_o$, ″	$\Delta\gamma$, ″
4	4	42,6256	-66,91	+66,29	7,40185	7,402	-0,72	+65,57
						7,405	-15,24	+51,05
						7,41	-39,43	+26,86
	9,658	42,0646	+66,91	-66,29	7,30444	7,304	+2,14	-64,15
						7,30	+21,76	-44,53
						7,30	+21,76	-44,53
8	4	69,4062	-66,03	+65,43	12,05226	12,053	-2,20	+63,23
						12,055	-8,15	+57,28
						12,06	-23,01	+42,42
	9,658	68,5048	+66,03	-65,43	11,89531	11,895	+2,20	-63,23
						11,89	+17,26	-48,17
						11,89	+17,26	-48,17
12	4	104,1093	-66,02	+65,42	18,07840	18,079	-1,20	+64,22
						18,08	-3,18	+62,24
						18,08	-3,18	+62,24
	9,658	102,7573	+66,02	-65,42	17,84361	17,843	+1,23	-64,19
						17,84	+7,25	-58,18
						17,84	+7,25	-58,18

Аналіз табл.1 показує, що при переточуваннях величина зміни заднього кута становить близько $\pm 1'$, як і викликана цим величина зміни переднього кута. На зміну переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні, можна суттєво вплинути округленням величини c_0.

Для порівняння черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е та нових незатилованих черв'ячних фрез з поділеним профілем проводився перерахунок значення $\Delta\gamma$ у нормоване відхилення профілю передньої поверхні f_γ в такий спосіб:

$$f_\gamma = 2{,}5m[\sin(\Delta\gamma_2) - \sin(\Delta\gamma_4)], \qquad (25)$$

де $\Delta\gamma_2$ – зміна переднього кута під час переточування до кута сточування $\phi = \beta$;

$\Delta\gamma_4$ – зміна переднього кута під час переточування до кута сточування $\phi = \phi_k = 2{,}4145\beta$.

Результати розрахунків наведені в табл.2.

Таблиця 2 – Відхилення профілю передньої поверхні f_γ

m, мм	f_γ, мкм				
	черв'ячні фрези за ГОСТ 9324-80Е класу точності			досліджувані черв'ячні фрези	
	ААА	АА	А	точність округлення c, мм	f_γ, мкм
4	12	20	32	0,001	6,3
				0,005	4,6
				0,010	6,0
8	16	25	40	0,001	12,3
				0,005	10,2
				0,010	8,8
12	–	32	50	0,001	18,7
				0,005	17,5
				0,010	10,6

Аналіз табл.2 показує, що за показником відхилення профілю передньої поверхні f_γ досліджувані черв'ячні фрези є точнішими черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е та більше відповідають головній вимозі до таких інструментів – забезпечення мінімальної похибки профілю при переточуваннях.

Тобто, мета дослідження досягнута шляхом розв'язання усіх поставлених задач.

Таким чином, в результаті проведених досліджень було встановлено, що:

а) оптимальне для найменшої зміни профілю при переточуваннях співвідношення кута сточування та параметричного кута становить $\phi_k = 2{,}4145\beta$;

б) досяжна кількість зубців для визначеного співвідношення кута сточування та параметричного кута становить $z_u = 18\ldots27$;

в) кут сточування впливає на величину зміни передніх та задніх кутів;

г) величина зміни задніх кутів при переточуваннях визначається за формулою (19);

д) величина зміни передніх кутів при переточуваннях визначається за формулою (24);

е) при переточуваннях величина зміни заднього кута становить близько $\pm 1'$, як і викликана цим величина зміни переднього кута;

є) на величину зміни переднього кута під час переточувань, яка проявляється через відхилення від радіальності передньої поверхні, можна суттєво вплинути округленням величини c_0;

ж) при значеннях кута сточування в діапазоні $\phi = 0° \ldots 2\beta$ величину c_j необхідно округляти в більшу сторону викликаючи від'ємне значення $\Delta\gamma_{oj}$ при додатному значенні $\Delta\gamma_{\alpha j}$, а при значеннях кута сточування в діапазоні $\phi = 2\beta \ldots 2{,}4145\beta$ величину c_j необхідно округляти в меншу сторону викликаючи додатне значення $\Delta\gamma_{oj}$ при від'ємному значенні $\Delta\gamma_{\alpha j}$;

з) за показником відхилення профілю передньої поверхні f_γ досліджувані черв'ячні фрези є точнішими черв'ячних фрез за ГОСТ 9324-80Е.

Результати досліджень можна застосувати при розрахунках, профілюванні та виготовленні нових незатилованих черв'ячних фрез з поділеним профілем для обробки черв'ячних коліс.

Список літератури

1. Иноземцев Г.Г. Незатылованые шлицевые червячные фрезы / Г.Г. Иноземцев, Н.И. Иванов. – М.: Машиностроение, 1973. – 152 с.
2. Грицай І.Є. Прогресивний спосіб двохперехідного нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами та аналіз динаміки процессу / І.Є. Грицай // Проблемы создания новых машин и технологий: Науч. тр. Кременчук. гос. политехн. ун-та. – 2001. – Вип. 10, частина 1. – С. 418 - 422.
3. Грицай І.Є. Основи підвищення ефективності процесу нарізання циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.03.01 "Процеси механічної обробки, верстати та інструменти" / І.Є. Грицай. – Львів, 2003. – 34 с.
4. Ковришкін М.О. Черв'ячна фреза з поділеним профілем інструментальної рейки для обробки черв'ячних коліс методом тангенціальної подачі / М.О. Ковришкін, О.І. Садченко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6/2008 (53) частина 1. – С.69–73.
5. Ковришкін М.О. Зборна незатилована черв'ячна фреза з поділеним профілем для обробки черв'ячних коліс / М.О. Ковришкін, М.Л. Рудич // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КДПУ, 2009. – Вип. 6/2009 (59) частина 1. – С.52–56.

Н. Ковришкин, М. Рудич

Влияние угла стачивания на геометрию сборных незатылованных червячных фрез с разделенным профилем

Изучено влияние переточек на геометрию режущей части новых сборных незатилованных червячных фрез с разделенным профилем. Определено соотношение параметрического угла и угла стачивания. Определено влияние угла стачивания на величину изменения передних и задних углов. Приведены результаты расчетов величины изменения передних и задних углов в зависимости от значения угла стачивания.

M. Kovryshkin, M. Rudich

Influence of a corner of grinding on geometry modular worm mills with the divided structure

Influence of grinding on geometry of a cutting part new modular worm mills with the divided structure is investigated. The ratio of a parametrical corner and a corner of grinding is determined. Influence of a corner of grinding on size of change of forward and back corners is determined. Results of calculations of size of change of forward and back corners are resulted depending on value of a corner of grinding.

Одержано 06.04.10

УДК 515.2

Р.В. Гогаладзе, проф., д-р техн. наук, Р.Г. Кириа, проф., д-р техн. наук
Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия

Методика определения контактной линии сопряженных поверхностей пространственной передачи зубчатых зацеплений

Разработана методика исследования геометрий пространственных зубчатых зацеплений и их взаимосвязей с общими методами преобразования прикосновения и геометрические вопросы образова-ния сопряженных (взаимоогибающих) поверхностей
метод огибающих, свойство конгруэнций, математический аппарат контактной линии закрепления

В основе методов отображения пространства лежат различные группы геометрических преобразований, характеризующиеся своими инвариантами. Исследование преобразований прикосновения как многообразие элементов касания позволяет лаконично и рационально решать ряд инженерно-геометрических задач. Конкретно это относится также и к вопросам геометрии пространственных зацеплений. На основе теории преобразования прикосновений разработаны специальные геометрические методы определения сопряженных поверхностей зубьев, линий и поверхностей зацепления, а также контактных линий на поверхностях зубьев.

Рассмотрим общий случай передачи вращения между скрещивающимися осями I и II (рис.1).

Выберем неподвижную и подвижные системы координат. В неподвижной системе $O_{xyz}(\sum)$ось O_z совместим с осью вращения I ведущего звена, а оси O_x и O_y расположим в плоскости П $\perp O_z$ и проходящей через линию кратчайшего расстояния O_1O_2между осями I и II.

С вращающимся ведущим звеном передачи, имеющим поверхность зуба S_1, свяжем подвижную систему координат $O_{1x_1y_1z_1}$ $(\sum_1)$, оси которой в начальный момент $t = 0$ полностью совпадают с одноименными осями неподвижной системы.

Подвижную систему координат $O_{2x_2y_2z_2}$ $(\sum_2)$, свяжем с ведомым звеном передачи, имеющим поверхность зуба S_2. Ось O_{2Z_2} совместим с осью вращения II.

Углы поворота ведущего и ведомого звеньев обозначим $\varphi_1 = \omega_1 t$ и $\varphi_2 = \omega_2 t$, где t параметр времени (рис.1 и 2).

© Р.В. Гогаладзе, Р.Г. Кириа, 2010

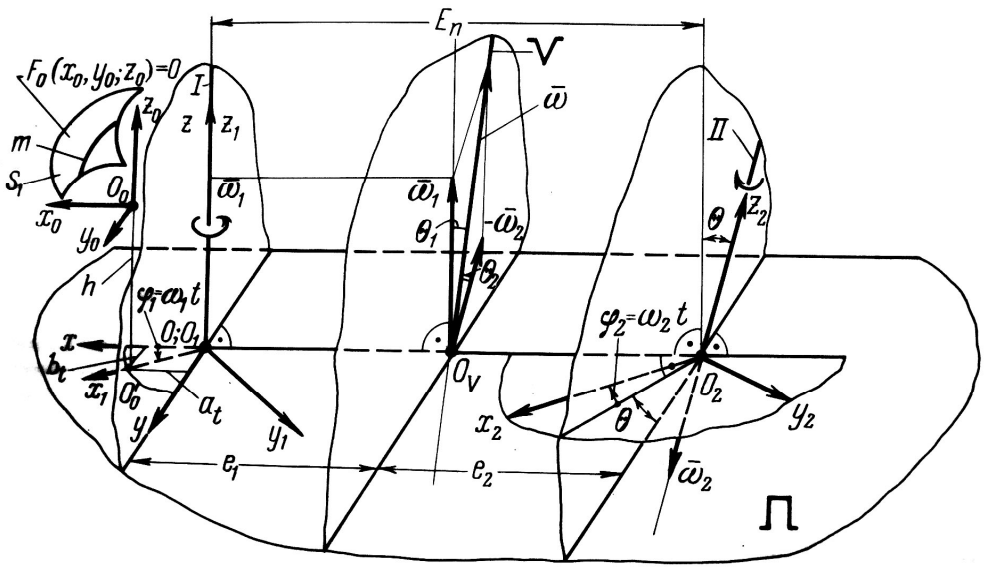


Рисунок 1 – Общий случай передачи вращения между скрещивающимися осями I и II

Введем вспомогательную координатную систему $O_{0x_0y_0z_0}$ (Σ_0),, в которой уравнение поверхности S_1 имеет канонический вид. Пусть эта система имеет оси, соответственно параллельные осям системы (Σ), а начало O_0 отстоит от плоскости П на расстоянии h.

Движущаяся в пространстве поверхность S_1 образует семейство поверхностей, зависящее от одного параметра t. Огибающая такого семейства запишется системой уравнений:

$$F(x,y,z,t) = 0; \quad (1)$$

$$F_t(x,y,z,t) = 0. \quad (2)$$

Продифференцировав уравнение (1) и учитывая (2) получим

$$F_x dx + F_y dy + F_z dz = 0. \quad (3)$$

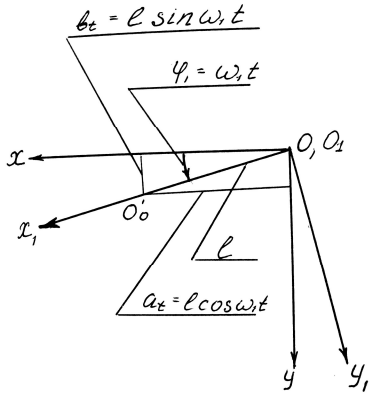


Рисунок 2 –Углы поворота ведущего и ведомого звеньев

Уравнение (1) могут быть заменены системой

$$\left.\begin{array}{l} F(x,y,z,t)=0; \\ F_x dx+F_y dy+F_z dz=0. \end{array}\right\}. \quad (4)$$

которая при фиксированном параметре t дает характеристику (линию контакта), а при переменном t – множество характеристик в неподвижном пространстве, т.е. поверхность зацепления (поверхность рассматривается в координатной O_{xyz}).

Поверхность зуба ведомого звена S_2 может быть получена как множество характеристик в пространстве, связанном с движением этого звена.

Уравнение (3) отражает тот факт, что касательные к нормали в точках поверхности взаимно перпендикулярны, и может быть преобразовано на основании следующих соображений.

Направление винтового перемещения точки P совпадает с касательной t к винтовой линии в этой точке (или с нормалью к нулевой поверхности β) и определяется уравнением:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{-x} = \frac{dz}{K}, \tag{5}$$

где ось Z совпадает с осью V винта, а K – параметр винта.

Уравнением (4) определяется, таким образом, направление касательной к винтовой линии винта заданного параметра K, а так как совокупность касательных винта образует комплекс касательных, то выражение (4) является дифференциальным уравнением комплекса касательных винта.

Заменим в уравнении (2) dx, dy, dz пропорциональными величинами из уравнения (4), получим (6)

$$F_x y - F_y x + F_z K = 0. \tag{6}$$

Таким образом, линия контакта m на поверхности зуба S получается как результат пересечения с некоторой поверхностью (см. уравнение 6), которую назовем «Г-поверхностью».

Найдя линию контакта, можно перейти от нее к поверхности зацепления передачи, так же как и к поверхности S_2 сопряженного зуба.

Заметим, что поверхность (6) в общем случае не проходит через ось V относительного винтового перемещения. Однако в случае $K = 0$, имеющем место в передачах на пересекающихся осях ось мгновенного вращения лежит на поверхности (см. уравнение (6).

Уравнение (5) комплекса касательных винта (оно же определяет и сам винт) было получено в предположении, что ось винта V совпадает с осью O_z выбранной системы координат.

Для произвольно расположенной системы координат O_{xyz} дифференциальное уравнение комплекса касательных винта примет следующий вид:

$$\frac{dx}{P(y-b)-n(z-c)+km} = \frac{dy}{-p(x-e_1)+m(z-c)+kn} = \frac{dz}{n(x-e_1)-m(y-b)+kp}. \tag{7}$$

Уравнение «Г-поверхности» для такого общего случая примет вид:

$$F_x[P(y-b) - n(z-c) + km] + F_y[m(z-c) - p(x-e_1) + kn] + F_z[n(x-e_1) - m(y-b) + kp] = 0, \tag{8}$$

где e_1, b, c - координаты точки O_v в координатной системе $\sum$;

m, n, p – угловые коэффициенты оси V относительно осей O_x, O_y, O_z;

K – параметр винта.

Найдем величины коэффициентов, входящих в уравнения (7) и (8) (рис.1):

$$\left.\begin{array}{l} e_1 = O_1O_y; \quad m = 0; \\ b = 0; \; n = \cos(V,y); \\ c = 0; \; p = \cos(V,z). \end{array}\right\}. \tag{9}$$

Тогда уравнение (8) примет следующий вид:

$$F_x[py - nz] + F_y[-p(x - e_1) + kn] + F_z[n(x - e_1 + kp)] = 0. \tag{10}$$

Уравнение (10) совместно с уравнением (1) боковой поверхности S_1зубьев ведущего звена выражает в параметрическом виде контактные линии на этой поверхности (при фиксированном параметре t) или поверхность зацепления (при переменном t).

Исследована теория огибающих и ее взаимосвязь с преобразованием прикосновения, как один общий метод проектирования пространственных зубчатых зацеплений.

Предложена методика геометрического («винтового») метода исследования пространственных зацеплений, наряду с широко применяемыми аналитическими методами.

Список литературы

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Т.2, М., «Наука», 1999.- С.552
2. Гогаладзе Р. Основные принципы теории преобразований прикосновение как аппарат для решения прикладных задач/ Georgian Engineering News. – 2009. № 1. - С.101-103.
3. Иванов В.С. Конструктивно-прикладные вопросы преобразований прикосновения и моделирования технических поверхностей, несущих каркас аэродинамических профилей. Автореф. канд. дисс., М., 1987.
4. Кон А.А. Определение параметров инструмента для обработки архимедовых винтовых поверхностей. Сб. Трудов ЛМИ, №21, вып. 2, Л., 1961. – С.126.
5. Тевлин А.М. Винтовое проектирование и его применение для решения геометрических задач. Известия высших учебных заведений. Вып.2, «Машиностроение», М., 1962.- С.130-141.
6. Челидзе М.Д. Преобразования прикосновений и их практические приложения. Автореф. канд. дисс., М., 1983.

Р. Гогаладзе, Р. Кіріа

Методика визначення контактної лінії спряжених поверхонь просторової передачі зубчатих зачеплень

Розроблена методика дослідження геометрій просторових зубчатих зачеплень та їх взаємозв'язок із загальними методами перетворення дотику та геометричні питання утворення спряжених (взаємо- огинаючих) поверхонь.

R.Gogaladze, R.Kiria

Determination of contact line of mated surfaces of space transition in gears

There are elaborated special methods of determination of surrounded cogged surfaces. Contact line of cogged surfaces and touch surface are defined. A goal of researches is conduction of examination of space cogged transitions according to touching transformations and their following practical realization.

Одержано 07.04.10

УДК 621.914:621.833

Е.В. Надєїна, здобувач
Кіровоградський національній технічний університет

Методика розрахунку параметрів різцевих головок з нахиленими різцями

В статті приведенні залежності для розрахунку виконавчих розмірів різцевих головок з нахиленими різцями для нарізування коліс наближеної циліндричної спіроїдної передачі
різцева головка, різець внутрішній, різець зовнішній, висота головки різця

Спряжені спіроїдні передачі, незважаючи на технічні показники, які при однакових габаритних розмірах редукторів з черв‘ячними передачами, значно (в 2...2,5 рази) перевищують останні, не знайшли широкого застосування. Одною з причин цього є притаманний усім гіперболоїдним передачам з лінійним контактом активних поверхонь ланок спосіб утворення останніх, відомий як другий спосіб Олів‘є [1].

Відмова від утворення активних поверхонь ланок спіроїдної передачі за другим способом Олів‘є, але використання для обробки спіроїдного колеса модифікованих у різний спосіб черв‘ячних фрез, призводить до значної некерованої неспряженості активних поверхонь, внаслідок чого передача не є працездатною[2]. Усунення цього недоліку потребує спеціальних методів обробки [3], основним з яких є взаємне притирання [4].

Наявність цього недоліку значно ускладнює виготовлення редукторів із спіроїдними передачами. Усунення основного чинника цього недоліку, а саме складного верстатно-інструментального забезпечення формоутворення спіроїдного колеса, є *актуальною* задачею редукторобудування зокрема та машинобудування в цілому Актуальність цієї задачі підтверджується і тенденціями розвитку світового ринку виробництва і споживання зубчатих передач [5]. Зважаючи на це, одним з напрямків задоволення потреб світового ринку зубчатих передач є заміна спряжених (в яких передатне відношення $i = const$) передачами наближеними ($i = \text{var}$). В [6] розроблено один із способів формоутворення наближеної спіроїдної передачі. Розроблений спосіб виготовлення спіроїдного колеса значно економічніший за існуючий. За технічними характеристиками запропонована наближена передача не поступається передачам спряженим, а також має ряд додаткових переваг. Залежності, за якими розраховують різцеві головки для виготовлення конічних коліс, для розглянутих в [6] спороїдних коліс не можна застосовувати через різницю у конструкціях. Враховуючи вищесказане, метою роботи є розробка залежностей для розрахунку основних параметрів лезових інструментів – різцевих головок – для реалізації розробленого способу формоутворення спіроїдного колеса наближеної передачі.

Різцева головка для обробки угнутої сторони зуба має більший діаметр, то нею нарізають зуб‘я в сполошному матеріалі, залишаючи припуск на обробку опуклої сторони зуба. З цього виходить, що різцева головка для угнутої сторони при чистовій обробці повинна мати різці зовнішні і внутрішні, тобто вона виконується як двостороння. Зовнішні різці обробляють угнуту сторону зуба колеса остаточно. А внутрішні різці оброблюють опуклу сторону начорно, залишаючи припуск на її чистову обробку другою різцевою головкою. Таким чином, головні різальні кромки двох послідовно розташованих різців – зовнішній і внутрішній – утворюють зуб різцевої головки.

© Е.В. Надєїна, 2010

Відповідно до цього метал западини зуба колеса розподіляється на дві частини (рис. 1). Частина 1 зрізується при обробці угнутої сторони зуба, частина 2 зрізується при обробці опуклої сторони зуба.

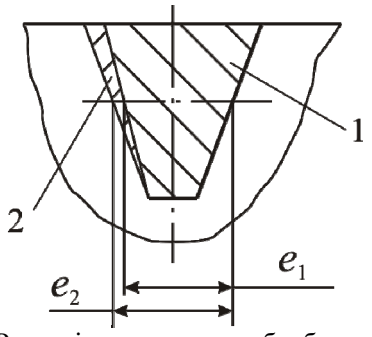


Рисунок 1– Розподіл припуску на обробку западини зуба

В пазу головки для обробки угнутої сторони зуба зовнішні і внутрішні різці розташовані відносно базової поверхні на прокладках різної товщини (рис. 2). Різниця між товщинами прокладок повинна бути такою, щоб забезпечити товщину зуба $s_{0з}$, якщо розмістити в одній площині різальні профілюючі кромки зовнішнього і внутрішнього різців, на відстані висоти головки зуба h_{ao} від вершини

$$s_{0з} = 0{,}5\pi m - z_{on}, \qquad (1)$$

де $s_{0з}$ - товщина зуба різцевої головки;

m - модуль зачеплення;

z_{on} - мінімальний припуск на обробку опуклої сторони зуба.

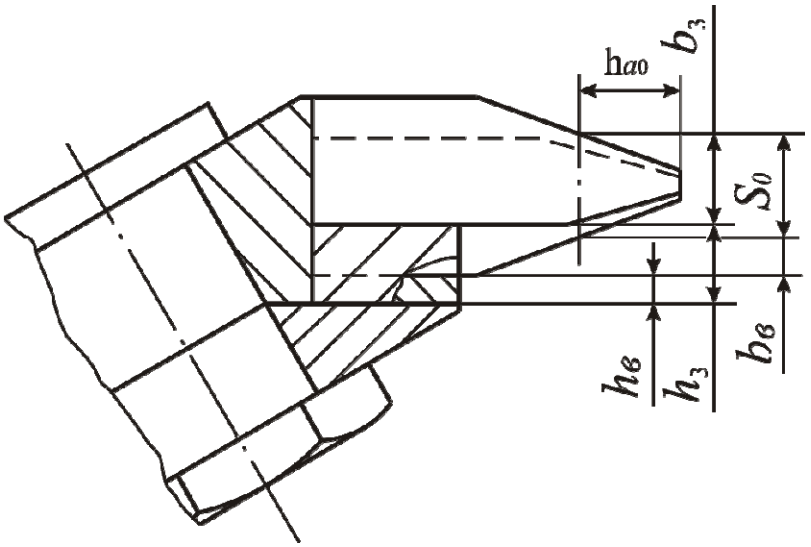


Рисунок 2 – Суміщення зовнішнього і внутрішнього різців

Товщина прокладок під зовнішні та внутрішні різці залежить від необхідного номінального радіуса (діаметра) різцевої головки та товщини її зуба.

Схема розташування зовнішніх різців в пазах корпуса показана на рис. 3. Дно паза корпуса 1 головки нахилено під кутом δ. Пази розташовані симетрично відносно осі корпуса і з вільного торця корпуса закриваються базовим конусом 2. Твірна базового конуса розташована на осі симетрії паза, а так як різці припасовані до пазів, то різець в пазу корпуса займає цілком визначене положення. Пересовуючи різець вздовж паза за рахунок товщини прокладок, можна змінювати у відповідних межах номінальний діаметр різцевої головки.

Базовий розмір $b_з$ зовнішнього і $b_в$ внутрішнього різців (рис.4) дорівнюють відстані від опорної базової поверхні різця до точки різальної кромки, яка відстоїть від вершини різця на відстані висоти головки виробного контуру h_{ao} .

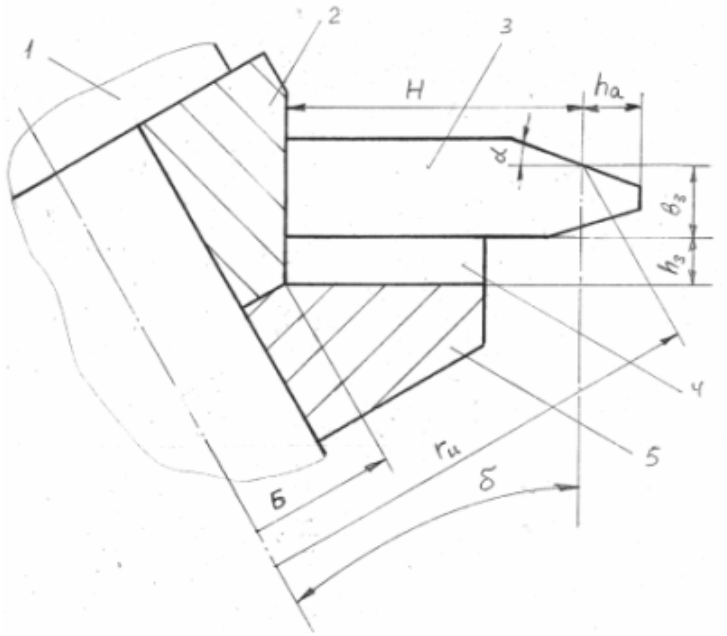


Рисунок 3 – Розташування зовнішнього різця в пазу корпуса головки

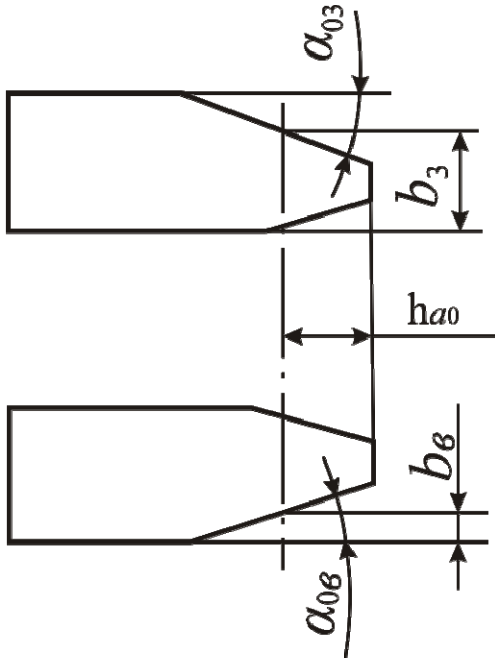


Рисунок 4 – Базові розміри зовнішнього і внутрішнього різців

Виходячи з побудови (рис.3) для зовнішнього різця товщина підкладки буде визначатись за формулою

$$h_з = r_H - Б - H\cos\delta, \qquad (2)$$

де $h_з$ - товщина підкладки під зовнішній різець;

Б - базова стала корпуса різцевої головки;

Н - відстань від опорного торця різця до розрахункової точки різальної кромки.

Величина Н залежить від висоти головки виробного контуру, тобто від положення розрахункової точки на профілюючій різальній кромці різця відносно вершинної різальної

кромки. Таку умову приймаємо для того, щоб мати можливість використовувати одні і ті ж різці для нарізання коліс в деякому діапазоні величини модуля зачеплення, усунути вплив на точність налагоджування різцевої головки похибок виконання пазів корпуса, спростити налагоджування верстата і зовнішнього діаметра різцевої головки.

Висота головки виробного контуру різця визначається з урахуванням двох умов. Відповідно до першої умови:

$$h'_{ao} = h_{f2}, \tag{3}$$

де h'_{ao} - висота головки виробного контуру різця;

h_{f2} - висота ніжки зуба спіроїдного колеса відповідно до креслення.

Друга умова полягає в тому, що дно западини зуба теоретичного спіроїдного колеса є обвідною поверхні вершин черв'ячної фрези, а тому є площиною. Дно западини наближеного спіроїдного колеса своєю формою копіює траєкторію руху вершинної різальної кромки, тому є угнутим, причому від середини в напрямку до торців зуба висота його зменшується. Це приводить до заклинювання передачі.

Для усунення заклинювання передачі необхідно збільшити висоту ніжки зуба так, щоб на торцях зуб'їв вона дорівнювала величині h_{f2}.

Форма дна западини наближеного спіроїдного колеса і його положення відносно дна западини теоретичного спіроїдного колеса показана на рис. 5.

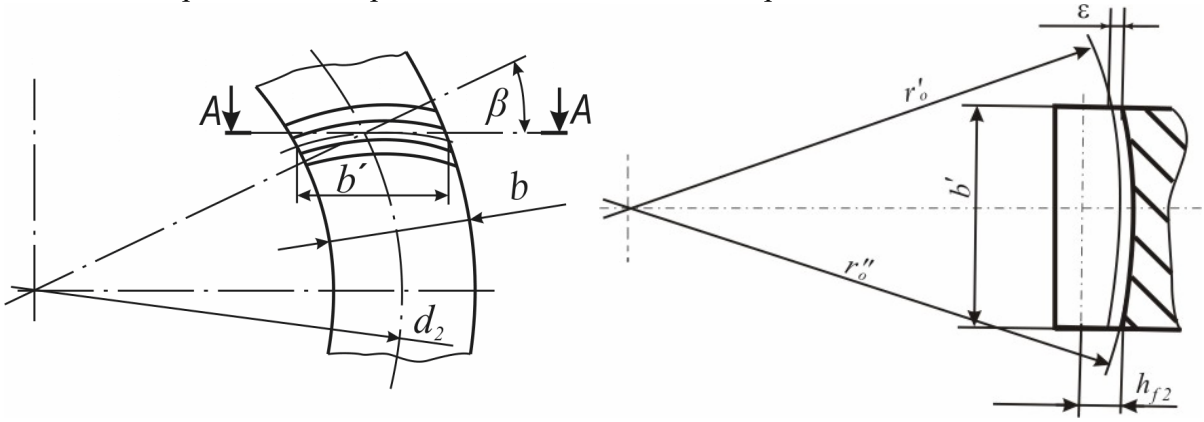


Рисунок 5 – Форма дна западини наближеного спіроїдного колеса

З достатньою для практики точністю можна вважати, що дно западини наближеного колеса є дугою кола радіусом

$$r'_{ao} = \frac{r_{ao}}{\cos\delta}. \tag{4}$$

При такій формі дна коло западини перетне торцеві поверхні зуба так, що точки перетину можуть лежати на відстані $\varepsilon > c_{12}$ де c_{12} - радіальний зазор в зачепленні.

З достатньою для практики точністю при ширині сегмента $b' = \frac{b}{\cos\beta}$:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{r'^2_u}{\cos^2\delta} - \frac{b^2}{4\cos^2\beta}}, \tag{5}$$

де ε - стрілка угнутості дуги сегмента;

b - довжина зуба спіроїдного колеса.

В такому випадку висоту головки вихідного контуру необхідно збільшити на величину, не меншу ε, тобто:

$$h''_{ao} = h'_{ao} + \varepsilon + c_{12}. \tag{6}$$

Враховуючи це, висоту головки виробного контуру h_{ao} визначають за формулою:

$$h_{ao} = m(h_a^* + c^*) + \varepsilon, \quad (7)$$

де m - модуль зачеплення;

h_a^* - коефіцієнт висоти зуба вихідного контуру;

c^* - коефіцієнт радіального зазору.

Виліт різця з корпуса різцевої головки повинен бути більше висоти зуба спіроїдного колеса на величину зменшення його при переточуванні. Орієнтовно виліт має дорівнювати ширині паза корпуса.

Зовнішній діаметр різцевої головки:

$$d_{ao} = 2\left[r_н + \frac{h_u + \rho_k}{\cos\alpha}\cos(\alpha + \delta) + \rho_k(1 - \cos\delta)\right], \quad (8)$$

де ρ_k - радіус перехідної поверхні зуба колеса

$$\rho_k = \frac{m c^*}{1 - \sin\alpha}. \quad (9)$$

Ширина дна западини спіроїдного колеса

$$e_{f2} = S_o - 2h_{ao} tg\alpha. \quad (10)$$

Ширина вершинної різальної кромки окремо зовнішнього і внутрішнього різців виконується рівною 0,75 e_{f2}. Дно западини і перехідна поверхня зуба оброблюється цією різцевою головкою і виключає з різання вершинну кромку різців різцевої головки, яка остаточно начисто оброблює опуклу поверхню зуба.

Кількість різців в різцевій головці залежить від її номінального діаметра і ширини вінця колеса. Враховуючи багаторічний досвід обробки конічних коліс з криволінійними зуб‘ями і конструювання різцевих головок, при чистовій обробці в різанні повинен бути один різець. Тоді відстань між різцями по номінальному діаметру повинна бути більше ширини вінця колеса. Взявши за цю відстань розмір $b_2 / \cos\beta$ отримаємо:

$$Z_o = \frac{2\pi r_u}{b_2}\cos\beta. \quad (11)$$

Це число округлюють до цілого, причому для першої різцевої головки воно приймається парним. Товщина прокладки під внутрішні різці першої (двосторонньої) головки:

$$h_в = h_з - (S_1 - в_з - в_в), \quad (12)$$

де $h_в$ - товщина прокладки під внутрішній різець.

Різцева головка для чистової обробки опуклої сторони зуба спіроїдного колеса має значно менший номінальний діаметр. Тому різець цієї головки має іншу форму і розташований в пазу корпуса вздовж твірної конічної виробної поверхні. Головна різальна кромка різця співпадає з твірною виробної поверхні і дном паза.

Різці цієї головки мають різальну кромку профілюючу і вершинну. Розміри профілю різця виконуються такими ж як і для різців внутрішніх для першої різцевої головки.

Зовнішній діаметр малої різцевої головки визначається за формулою:

$$d_{aon} = 2\left[r_{Hon} + \frac{h_{a1} - \rho_k}{\cos\alpha}\cos(\delta - \alpha) + \rho_k(1 - \cos\delta)\right]. \quad (13)$$

Товщина прокладки під різець малої різцевої головки і кількість її різців визначається за формулами (2) і (11) відповідно при підстановлення в них відповідних параметрів малої головки.

Таким чином, з наведеного можна зробити висновки, що:

1. Вказані залежності доповнюють існуючу методику [7] розрахунку різцевих головок;

2. Наведенні залежності дозволяють визначити основні конструктивні параметри різцевих головок з нахиленими різцями.

Список літератури

1. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений / Ф.Л. Литвин //. - М.: Наука, 1968. – 584 с.
2. Георгиев А.К. Вопросы формообразования и методики исследования геометрии зубьев спироидной цилиндрической передачи, имеющей модифицированные боковые поверхности / А.К. Георгиев, А.С. Кунивер // Совершенствование процессов обработки резанием. Ижевск, 1977. – Вып. 2. – С.58-66.
3. Кунивер А.С. Методы регулирования пятна контакта в спироидной передаче / А.С. Кунивер // Информационные технологии в инновационных проектах: Труды IV Международной научно-технической конференции. Часть 3. – Ижевск: ИжГТУ, 2003. – С. 53-55.
4. Кунивер А.С. Особенности методов притирки спироидных передач / А.С. Кунивер // Известия вузов. Машиностроение. – М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана 2008. – №9. – С. 15-24.
5. Гольдфарб В.И. Тенденции развития рынка производства и потребления зубчатых передач / В.И. Гольдфарб, В.И.Некрасов, А.А. Ширманова // теория и практика зубчатых передач: Труды научно-технической конференции. – Ижевск, ГТУ, 2004. – С.5-9.
6. Надеина Э.В. Формообразование поверхностей зубьев плоского колеса приближенной спироидной передачи / Э.В. Надеина // Резание и инструмент в технических системах: Международный научно-технический сборник. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – Вып. 65. – С.105-110.
7. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов / Г.Г. Иноземцев // Учеб. пособие для втузов. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.

Е. Надена

Методика расчета параметров резцовых головок с наклонными резцами

В статье приведены зависимости для расчета исполнительных размеров резцовых головок с наклонными резцами для нарезания колес приближенной цилиндрической спироидной передачи.

E.Nadeina

The Design procedure of parametres tools heads with inclined cutters

In article dependences for calculation of the executive sizes tools heads with inclined cutters for cutting wheels approached cylindrical spiroid transfers are resulted.

Одержано 09.04.10

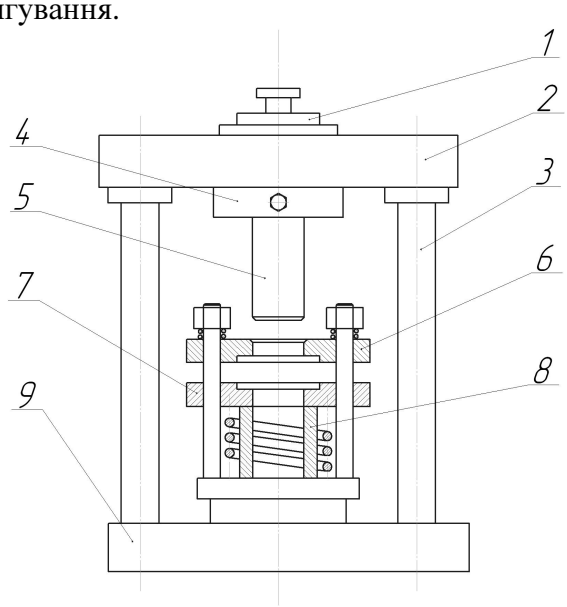
УДК 621:8.031.6:621.891

В.В. Коваленко, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук,
В.З. Хіоні, ст. викл.
Кіровоградський національний технічний університет

Експериментальне визначення енергосилових параметрів процесу витягування деталей з низьковуглецевих сталей з використанням полімерних мастил

Проведено експериментальне дослідження енергосилових параметрів процесу витягування деталей з низьковуглецевих сталей на кривошипних пресах з використанням полімерних мастил,які виготовлялись на місці.Проведене дослідження топографії поверхні інструментів, які працюють в різних мастильних середовищах з використанням найновіших засобів дослідження поверхонь тертя,при цьому виявлені вторинні структури , які створюються на фрикційному контакті.
витягування, кривошипний прес, коефіцієнт тертя, полімерне мастило

У рамках наукової роботи, що проводилась на ЗАТ “Радій” (м. Кіровоград), по впровадженню у виробництво прогресивних технологічних мастил, теоретично були визначені енергосилові параметри операції витягування «корпуса гучномовця» [1], з низьковуглецевої сталі з використанням полімерних мастил на кривошипних пресах.
Для перевірки теретичних досліджень, визначення енергосилових параметрів процесу, був виготовлений спеціальний штамп-прилад (рис. 1), який встановлювали на випробувальну машину УРС-20/6000. Конструкція штамп-прилада [2] дозволяла змінювати зусилля притискання, а спеціальний пристрій випробувальної машини фіксував, при цьому максимальне зусилля витягування.



1 – кріплення, 2 – верхня плита, 3 – колона, 4 – пуансонотримач, 5 – пуансон, 6 – з’ємник, 7 – матриця, 8 – виштовхувач, 9 – нижня плита

Рисунок 1 – Конструктивна схема штамп-прилада

© В.В. Коваленко, В.В. Пукалов, В.З. Хіоні, 2010

На рис.2 приведений результат проведених експериментальних досліджень при слідуючих параметрах витягування: ст.08кп, товщина заготовки S = 1,0мм, діаметр пуансона d = 25мм, змащування-полімерна композиція. Роботу витягування A_B визначали , як площу фігури , яка обмежена кривою $P = f(\ell)$ по формулі Сімсона [3].

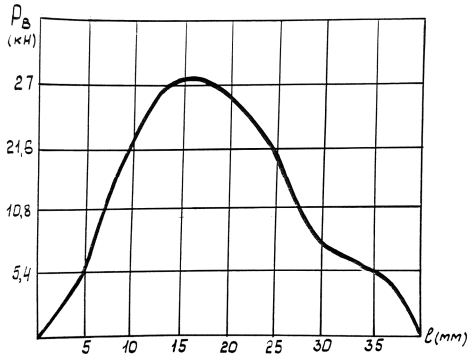


Рисунок 2 – Залежність зусилля витягування P_B від ходу пуансона (сталь 08кп , S = 1,0 мм, d_o = 25мм)

В таблиці 1 наведені результати експериментів по визначенню напруження штампування, які визначались за формулою

$$\sigma_P^{\max} = \frac{P_{\max}}{2\pi \cdot (R_n + \frac{S}{2}) \cdot S} \qquad (1)$$

де R_n – радіус пуансона, S - товщина заготовки.

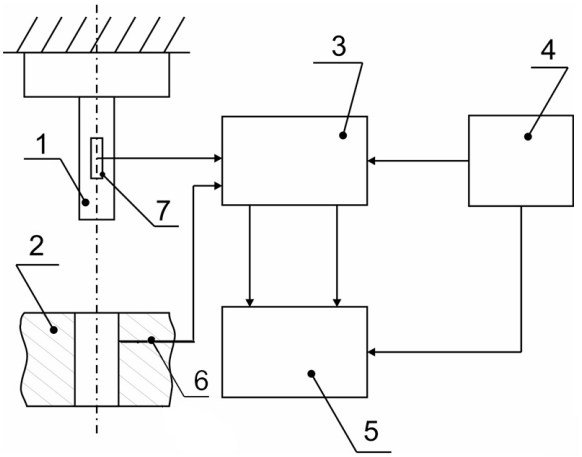
Таблиця 1 – Зміна зусилля витягування та напруження штампування при різних технологічних мастилах (сталь 08 кп, S = 1мм,)

Технологічне мастило	Зусилля витягування $P_{\max}$ (Н)	Напруження штампування Н/мм^2	Зменшення напруження штампування, %
Укринол 16У	25360	164	17
Укринол 23	25420	165	16,2
Укринол 6У	25700	167	15
Укринол5/5	25850	168	15
Полімерна композиція	27610	175	11,2
Заводська (И-20+20% графіта+40% солідолу)	28860	187	–

Високоефективні технологічні мастила української розробки Укринол добре показали себе на операціях штампування (витягування), але їх вартість доволі висока, а головне їх неохідність заводу для виконання програми не потребує великої їх кількості. Заводу виробнику економічно невигідно вести переговори про постачання невеликої кількості вказаних технологічних мастил. Полімерні мастила, які були розроблені у Кіровоградському національному технічному університеті по ефективності дещо поступались Укринолам (див.табл. 1), але могли виготовлятись на місці з відходів виробництва (поліетилену), для чого був спроектований та виготовлений реактор, який дозволяв отримувати потрібну кількість полімерного мастила.

Для проведення експериментальних досліджень, використовували модернізований штамп, аналогічний тому який використовували в заводських умовах, який встановлювали

на пресі К2126 зусиллям 0,4МН. На пуансоні штампа були наклеєно два активних тензодатчика типа ПКБ з базою 10 мм та опорою 2000 Ом та два компенсуючих датчика, підключення яких здійснювалось по мостовій схемі. Підсилення сигналів проводилось за допомогою тензометричного підсилювача 8АНЧ-7М, з послідуючим записом на шлейфовому осцилографі Н-700. Блок–схема підключення тензодатчиків, які регістрували зусилля витягування показано на рис.3. Сигнали, які отримували записували на фотопапір за допомогою осцилографі Н-700, з відхиленням не більше ±10%. Тарировку тензодатчиків для вимірювання стискаючих зусиль на пуансоні (зусилля витягування) проводили за допомогою гидронавантажувача по відомій методиці [4].



1 – пуансон, 2 – матриця, 3 – тензометричний підсилювач 8АНЧ-7М, 4 – блок живлення, 5 – осцилографі Н-700, 6 – термопара, 7 – тензодатчики ПКБ

Рисунок 3 – Блок-схема підключення вимірювальної апаратури

В таблиці 2 приведені результати визначення енергосилових параметрів процесу витягування знайдених теоретичним та експериментальним методом.

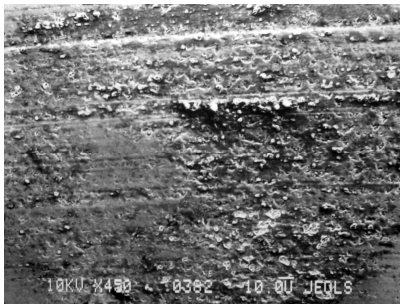
Таблиця 2 - Результати енергосилових параметрів процесу витягування

Параметр процесу	Значення параметра процесу витягування, знайдені			Примітки
	теоретично	експериментально УРС-20/6000	експериментально К2126	
Зусилля витягування P_B, (кН)	27/26*	27,6	29	Значення з * визначались при f = 0,060
Робота витягування A_B ,(Дж)	1094,3/995,2*	1518,5	1780	

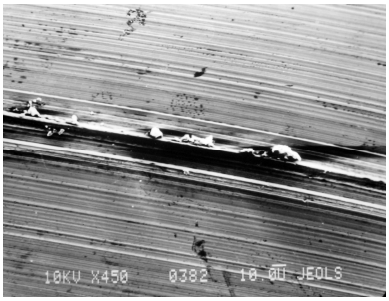
З метою вивчення процесів тертя, які проходили при операції витягування в різному мастильному середовищі використовували оптичний електронний мікроскоп “Neofot” (Німеччина), скануючий електронний мікроскоп “4-Camskan” (Англія), суміщений з рентгеноструктурним аналізатором поверхні “Link-860”. Знімалась топографія поверхні (рис. 4) перетяжного ребра матриці штампа зі сталі У8А на електронному мікроскопі “Neofot” (Німеччина), які працювали при використанні різних технологічних мастил.

На представлених мікрофотографіях видно, що поверхня тертя інструмента, який працює в полімерній композиції, покрита вторинними структурами ІІ типу [5], які відрізняються великою протизношувальною здатністю і як наслідок менш схильна до

зношування на противагу інструменту, який працює при заводському змащуванні, поверхня інструмента, якого покрита вторинними структурами I типу, які мають порівняно невеликі аналогічні якості. На мікрофотографії 4-б видний початок руйнації поверхневої плівки, після чого йде процес зварювання з основним металом і як наслідок риски на поверхні деталіа, що виготовляється.



а) полімерне мастило



б) заводське

Рисунок 4 – Топографія поверхні матриць (після виготовлення 1000 деталей), які працюють в різних технологічних мастилах (× 450, У8А, V = 0,3 м/с, прес К2126 зусиллям 0,4 МН)

Загальні висновки:

1. В результаті експериментальних досліджень енергосилових параметрів витягування встановлено, що особливий вплив на ці параметри здійснює технологічне мастило. Невелика зміна коефіцієнта тертя, приводить до суттєвої зміни основних параметрів процесу (P_B, A_B), змінюючи технологічне мастило, або склад змащувальної композиції, є можливість до декотрої міри керувати процесами, які протікають при цьому, створюючи на фрикційному контакті відповідні вторинні структури що підтверджується мікрофотографіями поверхонь тертя інструмента. Результати експериментальних досліджень добре корегуються з теоретичними дослідженнями енергосилових параметрів процессу витягування з використанням різних технологічних мастил.

Список літератури

1. Теоретичні дослідження енергосилових параметрів процесу витягування низьковиглецевих сталейтз використанням полімерних мастил /В.В.Коваленко,В.В.Пукалов,В.З.Хіоні:Зб.наукових праць КНТУ “Техніка в сільськогосподарському виробництві,галузеве машинобудування,автоматизація.” Вип.22 , Кіровоград, 2009., С.44-48.
2. Трение и смазки при обработке металлов давлением. А.П. Грудев, Ю.В.Зильберг, В.Т.Тилик. Справ. изд.-М.:Металургия,1982, 312 с.
3. Применение полимерсодержащих технологических смазок при формоизменяющих операциях холодной листовой штамповки. //Прогрессивная технология и оборудование для обработки твердых магнитных сплавов и др. труднообрабатываемых материалов: Тез. докл. Всесоюзн. бизнес-семинара-Кировоград.1991, С.13.
4. Коваленко В.В.,Харченко Ю.Ф. Повышение стойкости штампов для формоизменяющих операций листовой штамповки при изготовлении деталей сельскохозяйственных машин//Проблемы конструирования и технологи производства сельскохозяйственных машин: Тез. докл. Респуб. научн. - тех. конф. - Кировоград, 1991 г. С.95-96
5. Коваленко В.В., Коваленко К.В. Применение полимеров для создания составов различного назначения. Збірник наукових праць КІСМ, №2,1998.- 78с.

В.Коваленко, В. Пукалов, В.Хиони

Экспериментальное определение энергосиловых параметров процесса вытягивания деталей с низкоуглеродных сталей с использованием полимерных масел

Проведено экспериментальное исследование энергосиловых параметров процесса вытягивания деталей с низкоуглеродных сталей на кривошипных прессах с использованием полимерных масел, которые изготовлялись на месте. Проведено исследование топографии поверхности инструментов, которые работают в разных масельных средах с использованиям новых средств исследования поверхностей трения, при этом виявлены вторичные структуры, которые создаются на фрикционном контакте.

V. Kovalenko, V.Pukalov, V. Khioni

Experimental determination of energosilovikh parameters of process of drawing out of details from niz'kovuglecevikh staley with the use of polymeric butters.

Experimental research of energosilovikh parameters of process of drawing out of details is Conducted from niz'kovuglecevikh staley on crank-type presses with the use of polymeric butters, which was made in place..Provedene research of topography is surfaces of instruments, which work in different lubricating environments with the use of the newest facilities of research of surfaces of friction, at c'mu found out the second structures which are created on a friction contact.

Одержано 12.04.10

УДК 519.856

В.В. Баранов, д-р техн. наук
Центр исследований устойчивости и нелинейной динамики при институте машиноведения Российской академии наук им. А. Благонравова, г. Москва, Россия
А.П. Кравченко, д-р техн. наук, Е.А. Кравченко, асп.
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина

Методология решения задач повышения эффективности транспортних систем применением методов теории принятия решений

Рассматривается проблема управления эффективностью транспортных систем в эксплуатации на основе моделей и методов принятия решений.

транспортные системы, повышение эффективности, принятие решений

Введение. Транспорт как крупная и непрерывно действующая динамическая система является связующим звеном процесса расширенного воспроизводства и занимает особое место в экономическом развитии государства. Однако за весь эксплуатационный цикл затраты на производство, техническое обслуживание и ремонт превышают стоимость новой машины в несколько раз. Причиной этого являются процессы изнашивания деталей и деградации агрегатов и систем, что приводит к отказам и катастрофам, моменты которых случайны. Найти действенные рычаги повышения эффективности и безопасности работы транспортных средств является важной и актуальной задачей в экономии трудовых и материальных ресурсов [1]. Это порождает необходимость периодического выполнения специальных мероприятий в поиске совершенных систем по предотвращению отказов и катастроф. Их содержание предполагает мониторинг состояния, диагностику ситуаций работоспособности, выполнение воздействий по восстановлению работоспособности и

© В.В. Баранов, А.П. Кравченко, Е.А. Кравченко, 2010

Проведено экспериментальное исследование энергосиловых параметров процесса вытягивания деталей с низкоуглеродных сталей на кривошипных прессах с использованием полимерных масел, которые изготовлялись на месте. Проведено исследование топографии поверхности инструментов, которые работают в разных масельных средах с использованиям новых средств исследования поверхностей трения, при этом виявлены вторичные структуры, которые создаются на фрикционном контакте.

V. Kovalenko, V.Pukalov, V. Khioni

Experimental determination of energosilovikh parameters of process of drawing out of details from niz'kovuglecevikh staley with the use of polymeric butters.

Experimental research of energosilovikh parameters of process of drawing out of details is Conducted from niz'kovuglecevikh staley on crank-type presses with the use of polymeric butters, which was made in place..Provedene research of topography is surfaces of instruments, which work in different lubricating environments with the use of the newest facilities of research of surfaces of friction, at c'mu found out the second structures which are created on a friction contact.

Одержано 12.04.10

УДК 519.856

В.В. Баранов, д-р техн. наук
Центр исследований устойчивости и нелинейной динамики при институте машиноведения Российской академии наук им. А. Благонравова, г. Москва, Россия
А.П. Кравченко, д-р техн. наук, Е.А. Кравченко, асп.
Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск, Украина

Методология решения задач повышения эффективности транспортних систем применением методов теории принятия решений

Рассматривается проблема управления эффективностью транспортных систем в эксплуатации на основе моделей и методов принятия решений.

транспортные системы, повышение эффективности, принятие решений

Введение. Транспорт как крупная и непрерывно действующая динамическая система является связующим звеном процесса расширенного воспроизводства и занимает особое место в экономическом развитии государства. Однако за весь эксплуатационный цикл затраты на производство, техническое обслуживание и ремонт превышают стоимость новой машины в несколько раз. Причиной этого являются процессы изнашивания деталей и деградации агрегатов и систем, что приводит к отказам и катастрофам, моменты которых случайны. Найти действенные рычаги повышения эффективности и безопасности работы транспортных средств является важной и актуальной задачей в экономии трудовых и материальных ресурсов [1]. Это порождает необходимость периодического выполнения специальных мероприятий в поиске совершенных систем по предотвращению отказов и катастроф. Их содержание предполагает мониторинг состояния, диагностику ситуаций работоспособности, выполнение воздействий по восстановлению работоспособности и

© В.В. Баранов, А.П. Кравченко, Е.А. Кравченко, 2010

обеспечению безопасности, и выбору режимов использования транспортных средств [2, 3]. Отсюда возникает проблема принятия решений по выбору управляющих действий, ориентированных на предотвращение катастроф и достижение "наибольшей" эффективности системы. Процесс принятия решений - это выбор варианта решения из нескольких возможных. Он складывается из характерных этапов и носит как итеративный характер. При принятии решений используются определенные методы, которые классифицируются по нескольким признакам. В зависимости от ситуации, в которой принимаются решения, они подразделяются на стандартные и нестандартные.

Постановка задачи. Стандартные решения принимаются в часто повторяющихся производственных ситуациях. Знание и использование стандартных правил свидетельствуют о высокой квалификации инженерно-управленческого персонала. Это, во-первых, сокращает время на принятие решения, разработку и реализацию соответствующих мероприятий; во-вторых, уменьшает вероятность принятия ошибочных решений; в-третьих, у специалиста высвобождается время для принятия решений в новых или сложных производственных и рыночных ситуациях, требующих сбора информации, ее анализа, расчетов, объединяемых понятием "исследование операций". Это так называемые нестандартные решения. Такая проблема обозначается термином "превентивная безопасность" [4, 5, 6].

Особенность проблемы состоит в том, что требования безопасности не могут рассматриваться в качестве цели. Действительно, если в качестве цели рассматривать требование обеспечения безопасности, то способ достижения такой цели очевиден и состоит в отключении системы от процесса перевозок. Но при этом эффективность использования системы будет «нулевой». Отсюда следует, что проблема управления безопасностью должна рассматриваться в контексте интересов, связанных с использованием системы. С формальной стороны это требует введения класса систем, в которых мотивация поведения определяется интересами. Такие системы называются "мотивированными интересами".

Типичным примером подобных систем является транспортное средство, рассматриваемое в процессе эксплуатации. При этом оно обладает той дополнительной особенностью, что является сложной системой в том смысле, что состоит из набора подсистем, каждая из которых имеет свой индивидуальный ресурс работоспособности и надежности. Если каждую такую систему рассматривать изолированно с точки зрения интересов единственного субъекта, то такая подсистема является унитарной. Но в совокупности такие подсистемы объединены в единую систему, которая используется для реализации интересов для некоторого субъекта, которые являются доминирующими для подсистем. В этих условиях транспортное средство является корпоративной системой. Эти условия порождают достаточно сложную проблему динамического принятия решений, требующую адекватной методологии формализации и конструктивных методов. Требуемая методология вначале развивается для унитарных систем [7, 8, 9].

Метод решения задачи. Унитарная система рассматривается в виде целостного объекта, используемого для реализации интересов единственного субъекта. Предполагается, что динамика унитарной системы определяется эволюцией ее внутренних состояний. Методология формализации проблемы основывается на следующих предположениях и аксиомах:

– предположение 1. Объект является деградирующим. Динамика его состояний описывается марковским процессом с непрерывным временем и поглощающим состоянием. В момент попадания в поглощающее состояние траектории процесса обрываются. Моменты обрыва являются моментами отказа либо катастрофы системы;

– предположение 2. Задано множество альтернативных управляющих воздействий Y, ориентированных на управление эволюцией объекта путем непосредственного изменения его состояний;

– предположение 3. На множестве состояний S существуют отношения эквивалентности. Однако задана лишь шкала $X = \{x_1,\ldots, x_n\}$ наименований классов

эквивалентности, которая упорядочена в соответствии с направленностью эволюции состояний.

Из последнего предположения следует, что разбиение множества состояний на классы эквивалентности не задано и требует построения:

1) определение 1. Наименования $x \in X$ классов эквивалентности называются ситуациями;

2) определение 2. Указание принадлежности состояния $s \in S$ классу эквивалентности, наименование которого определяется ситуацией $x \in X$, называется диагностикой ситуации. Правило диагностики определяется гомоморфизмом $\langle S, < \rangle \rightarrow \langle X, R \rangle$, где $(<)$ – отношение порядка на S, R – отношение порядка на X;

– предположение 4. Диагностика ситуаций выполняется в дискретные моменты времени с шагом времени $\Delta \in T$;

– предположение 5. Для каждой ситуации $x \in X$ задано множество управляющих альтернатив $Y_x \subset Y$ для применения в состояниях из соответствующего класса эквивалентности:

Аксиома 1. Управляющие альтернативы $y \in Y$ выбираются в зависимости от ситуаций $x \in X$. Применение управляющих альтернатив $y \in Y$ порождает управляемый марковский процесс дискретным временем;

– предположение 6. Задано множество структурных альтернатив $G = T \times \Theta$, где T - множество допустимых значений шага принятия решений и Θ множество структурных вариантов системы. Альтернативы $g \in G$ ориентированы на управление эволюцией объекта путем изменения параметров переходной функции процесса;

Предположение 7. Переходная функция управляемого процесса зависит от управляющей альтернативы $y \in Y$, как от условия, и структурной альтернативы $g \in G$, так от параметра. Она обозначается $q^g(S|S \times Y)$:

Аксиома 2. Структурные альтернативы выбираются из множества G независимо от состояний и ситуаций в качестве параметра;

Аксиома 3. Интересы субъекта многоаспектны и состоят из трех аспектов: управления, диагностики и структурного выбора. Эти аспекты определенным способом зависимы, но не противоположны;

– предположение 8. На множестве управляющих альтернатив Y задана априорная функция полезности $w^g(Y|S \times X)$, зависящая от ситуаций $x \in X$ и состояний $s \in S$, как от условий, и от структурных альтернатив $g \in G$, так от параметра. Она задает предпочтения на управляющих альтернативах $y \in Y$ в соответствии с условием:

$$w^g(y'|s,x) \succ w^g(y|s,x) \Rightarrow y' \succ y, \text{ где } y', y \in Y_x, x \in X, s \in S_x.$$

Результаты диагностики могут оказаться "выгодными" либо "не выгодными" с точки зрения реализации интересов. Но из априорных соображений оценить "выгодность" либо "невыгодность" диагностики ситуаций не представляется возможным. Тем не менее, поскольку задана функция полезности $w^g(S \times X \times Y)$, то можно ввести априорную оценку "сожалений" по поводу возможных потерь полезности при выборе ситуации $x \in X$ в заданном состоянии $s \in S$ и при заданной альтернативе $y \in Y$. Такая оценка описывается функцией вида:

$$r^g(s,x,y) = | w^g(s,x,y) - \max_{y \in Y_x} \max_{x \in X_s} w^g(s,x,y) |, (s,x,y) \in S \times X \times Y.$$

Набор перечисленных объектов образует базу информации I для принятия решений.

В соответствии с аксиомой 3 формализация проблемы требует введения трех стратегий: структурного выбора, управления ситуациями и диагностики ситуаций. Они определяются следующими конструкциями:

– *стратегия мониторинга и структурного выбора*: последовательность

$$\left\{g_1^n == (g_n \dots g_1), g \in G; n = 1, 2, \dots\right\};$$

– *решающая функция управления:* однозначное отображение π:

$$X \to Y,\ \pi(x) \in Y_x,\ x \in X;$$

– *стратегия управления:* последовательность

$$\{\pi_1^n = (\pi_n, \dots, \pi_1), n = 1, 2, \dots\}.$$

– *решающая функция диагностики:* гомоморфизм

$$\delta: \langle S, R\rangle \to \langle X, R\rangle;$$

– *-стратегия диагностики:* последовательность

$$\{\delta_1^n = (\delta_n, \dots, \delta_1), n = 1, 2, \dots\}.$$

Тройка стратегий $\langle\{\pi_1^n\},\{\delta_1^n\},\{g_1^n\}\rangle$ – политика управляющих решений.

Критерии качества:

– *качество стратегии управления* π_1^n описывается средней полезностью вида:

$$\varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} W^{g_{n-t}}(s_t, \delta_{n-t}(s_t), \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t))), s \in S,$$

где $W^{g_{n-t}}$ - функция полезности, заданная в базе I, а математическое ожидание берется по вероятностной мере на траекториях;

– *качество стратегии мониторинга и структурного выбора* g_1^n описывается ожидаемой средней полезностью вида:

$$\mu_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n) = \int_S \varphi_n(\pi_1^n | g_1^n, \delta_1^n)(s)\beta_n(ds),$$

где $\beta_n(ds)$ - вероятностная мера на множестве S в моменты $n = 1, 2$.

– *качество стратегии диагностики* δ_1^n описывается средним риском вида:

$$\psi_n(\delta_1^n | g_1^n, \pi_1^n)(s) = \frac{1}{n} M_s^{(\delta_1^n | g_1^n, \pi_1^n)} \sum_{t=0}^{n-1} r^{g_{n-t}}(s_t, \delta_{n-t}(s_t), \pi_{n-t}(\delta_{n-t}(s_t))), s \in S,$$

где $r^{g_{n-t}}$ – функция сожалений, заданная в базе I.

Постановка задачи:

Политика принятия решений $\langle \overset{\circ}{\pi}{}_1^n, \overset{\circ}{\delta}{}_1^n, \overset{\circ}{g}{}_1^n \rangle$, удовлетворяющая условиям:

$$\begin{cases} \varphi_n(\overset{\circ}{\pi}{}_1^n | \overset{\circ}{g}{}_1^n, \overset{\circ}{\delta}{}_1^n)(s) \geq \varphi_n(\pi_1^n | \overset{\circ}{g}{}_1^n, \overset{\circ}{\delta}{}_1^n)(s),\ s \in S,\ \forall\, \pi_1^n,\ n = 1, 2, \dots, \\ \mu_n(\overset{\circ}{g}{}_1^n | \overset{\circ}{\pi}{}_1^n, \overset{\circ}{\delta}{}_1^n) \geq \mu_n(g_1^n | \overset{\circ}{\pi}{}_1^n, \overset{\circ}{\delta}{}_1^n)\ \forall g_1^n,\ n = 1, 2, \dots, \\ \psi_n(\overset{\circ}{\delta}{}_1^n | \overset{\circ}{\pi}{}_1^n, \overset{\circ}{g}{}_1^n)(s) \leq \psi_n(\delta_1^n | \overset{\circ}{\pi}{}_1^n, \overset{\circ}{g}{}_1^n)(s),\ s \in S,\ \forall \delta_1^n,\ n = 1, 2, \dots, \end{cases} \quad (1)$$

называется в смысле Нэша равновесной.

Равновесная политика определяет "наилучшее" решение проблемы превентивной безопасности и эффективности в том смысле, что она обеспечивает достижение устойчивых динамических компромиссов по критериям стратегической полезности и стратегического риска на неограниченном горизонте использования системы.

Задача состоит в отыскании равновесной политики управляющих решений. Сформулированная задача определяет лишь общую постановку задачи. Для ее практического решения требуется задание базы принятия решений I в явном виде. Ее задание составляет второй этап решения проблемы. Он состоит в построении в явном виде переходной функции $q^g(S|S\times Y)$ и функции полезности $w^g(S\times X\times Y)$.

Модель переходной функции $q^g(S|S\times Y)$ строится в предположении, что множество состояний S является единичным отрезком $S = [0,1] \subset R^1$ и процесс деградации описывается марковским процессом с монотонными, обрывающимися траекториями. Обрыв траектории происходит в случайный момент времени и отвечает попаданию в поглощающее состояние.

В этих предположениях получена в явном виде переходная функция $q^{(\mu,\lambda)}(t,\Gamma|s)$, $\Gamma = = (a,b] \subset S$ процесса деградации, которая зависит от двух параметров: скорости износа

$\mu > 0$ и интенсивности отказов $\lambda > 0$ [10, 11].

С использованием этих параметров построена функция полезности, определяемая разностью между "доходом" от использования объекта с альтернативой использования $u \in U$, и "расходами" на применение альтернатив безопасности $v \in V$ и структурной альтернативы $\theta \in \Theta$ при условии отсутствия отказа (т.е. $s<1$). Если же имеет место отказ (т.е. $s = 1$), то в состав расходов включается также ущерб средней величиной $\chi>0$.

В рассматриваемых условиях построены методы вычисления равновесной политики управляющих решений в соответствии с постановкой задачи (1), которая сформулирована для унитарных систем.

Однако реальные системы являются сложными и состоят из набора подсистем, каждая из которых имеет свои индивидуальные интересы. При этом для подсистем существуют общие доминирующие интересы, объединяющие набор подсистем в целостную систему. Подобные системы называются корпоративными. В этих условиях возникает уже существенно более сложная проблема корпоративного принятия решений. Ее решение требует построения устойчивых компромиссов в каждый момент принятия решений на неограниченном горизонте времени.

Вывод. Представленный методологией учет условий принятия решений, обеспечивает богатые конструктивные возможности описания и решения практических транспортных задач.

Список литературы

1. Баранов В.В., Гогайзель А.В., Дьяченко Г.В., Кравченко А.П., Малык В.Р. Проблемы комплексного повышения ресурса и надежности автотехники на основе технологического обеспечения // Всесоюзная научно-техническая конференция «Технологическое обеспечение ресурса и надежности машин» // Тезисы докладов, г. Воронеж, 1 – 3 окт. 1980. – М.: КМС КСНТО, 1980. – С. 12 – 16.
2. Кравченко О.П., Гогайзель А.В., Малик В.Р. Методи интенсивного забезпечення працездатності автомобільних причіпів // Навчальний посібник. – Київ: УМК МО, 1990. – 116 с.
3. Баранов В.В., Кравченко А.П., Горбунов Н.И., Кравченко Е.А. Повышение эффективности и безопасности транспортных средств применением методов принятия решений // Матер. междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы горного дела и экологии горного производства», 6 – 7 июня 2008 г., г. Антрацит. – Донецк: Изд - во Норд-Пресс, 2008. – С. 143 – 147.
4. Баранов В.В. Процессы принятия решений, мотивированных интересами. - М.: Физматлит, 2005. – 296 с.
5. Матросов В.М., Баранов В.В. Модель и методы принятия управляющих решений в проблеме превентивной безопасности // Проблемы управления. 2006. №5. – С. 2 – 11.
6. Баранов В.В., Кравченко А.П. Модели и методы принятия решений в проблеме диагностики, эффективности и безопасности автомобильного транспорта // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. Частина 2. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2008. – С. 45 - 48 с.
7. Баранов В.В., Матросов В.М. Модель динамики в задачах управления деградирующими системами // Проблемы управления. 2007. №4. – С. 2 – 7.
8. Баранов В.В., Матросов В.М. Модели полезности и риска в задачах управления деградирующими системами // Проблемы управления. 2007. №5. – С. 5 – 20.
9. Баранов В. В. О проблеме и методах корпоративного выбора. // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2006. №2. – С. 103 – 116.
10. Кравченко А.П. Развитие теории обеспечения эксплуатационной надежности автопоездов // Вестник Красноярского государственного технического университета. Вып. 39. транспорт. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. – С. 606 – 615.
11. Бажинов А.В., Кравченко А.П. Надежность автомобильных поездов / Монография. – Луганск: Изд – во «Ноулидж», 2009. – 412 с.

В. Баранов, А. Кравченко, Е. Кравченко

Методологія рішення задач підвищення ефективності транспортних систем застосуванням методів теорії прийняття рішення

Розглядається проблема управління ефективністю транспортних систем в експлуатації на основі моделей і методів прийняття рішень.

V. Baranov, A. Kravchenko, E. Kravchenko

Methodology of problems solution oneffectiveness increase of transport sestems using the methods of decision making theory

The paper deals with the problem of efficiency and safety of transport systems operation on the basis of models and methods of decision making.

Одержано 05.11.09

УДК.621.791.92

І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Проектування складу композиційного покриття в умовах абразивного зношування

В статті наведено результати теоретичних досліджень, які дають можливість вибирати склад композиційних покриттів для умов абразивного зношування.
композиційне покриття, абразивна частинка, зношування, матриця, наповнювач

Вирішальним фактором довговічності деталей сільськогосподарських машин, які в процесі експлуатації взаємодіють з абразивом, є їхня абразивна стійкість. Процес абразивного зношування може мати місце у випадку, коли напруження, створене абразивною частинкою перевищує границю міцності досліджуваної поверхні. Це відбувається тоді, коли частинка діє на робочу поверхню деталі без ковзання. При ковзанні абразивна частинка переміщуючись по поверхні здійснює сумісну дію нормальних і тангенціальних сил, що значно ускладнює умови виникнення пластичної деформації й руйнування поверхні.

Найбільш інтенсивним є зношування деталей при терті з закріпленими абразивними частинками. Процес зношування у цьому випадку супроводжується як пружними, так і пластичними деформаціями з наступним зрізанням і сколюванням мікрооб'єктів композиційного покриття (КП). Чим вище опір матеріалу на відрив або зрізування, тим більше підвищується опір абразивному руйнуванню.

Вважається [1, 2], що при абразивному зношуванні композиційних матеріалів питомі контактні навантаження сприймаються в основному частинками зміцнюючої фази, а матрична складова служить демпфіруючим матеріалом для передачі навантаження, є зв'язуючим компонентом, що забезпечує цілісність і щільність покриття, а також надійне зчеплення з основою деталі.

Оскільки композиційний матеріал не є гомогенним, то його властивості чутливі не лише до властивостей компонентів, а й до їх геометрії та співвідношень за складом.

Як показано в роботі [1] стійкість композиційного покриття в умовах абразивного зношування залежить від діаметра наповнювача, відстані між частинками та їх об'ємного вмісту.

При теоретичному обґрунтуванні працездатності КП розглянемо гетерогенний матеріал як єдине ціле, але при цьому необхідно враховувати наявність складових, що мають різну пружність, пластичність та інші фізико-механічні і теплофізичні характеристики.

© І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, 2010

V. Baranov, A. Kravchenko, E. Kravchenko

Methodology of problems solution oneffectiveness increase of transport sestems using the methods of decision making theory

The paper deals with the problem of efficiency and safety of transport systems operation on the basis of models and methods of decision making.

Одержано 05.11.09

УДК.621.791.92

І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, І.В. Шепеленко, доц., канд. техн. наук,
М.В. Красота, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Проектування складу композиційного покриття в умовах абразивного зношування

В статті наведено результати теоретичних досліджень, які дають можливість вибирати склад композиційних покриттів для умов абразивного зношування.
композиційне покриття, абразивна частинка, зношування, матриця, наповнювач

Вирішальним фактором довговічності деталей сільськогосподарських машин, які в процесі експлуатації взаємодіють з абразивом, є їхня абразивна стійкість. Процес абразивного зношування може мати місце у випадку, коли напруження, створене абразивною частинкою перевищує границю міцності досліджуваної поверхні. Це відбувається тоді, коли частинка діє на робочу поверхню деталі без ковзання. При ковзанні абразивна частинка переміщуючись по поверхні здійснює сумісну дію нормальних і тангенціальних сил, що значно ускладнює умови виникнення пластичної деформації й руйнування поверхні.

Найбільш інтенсивним є зношування деталей при терті з закріпленими абразивними частинками. Процес зношування у цьому випадку супроводжується як пружними, так і пластичними деформаціями з наступним зрізанням і сколюванням мікрооб'єктів композиційного покриття (КП). Чим вище опір матеріалу на відрив або зрізування, тим більше підвищується опір абразивному руйнуванню.

Вважається [1, 2], що при абразивному зношуванні композиційних матеріалів питомі контактні навантаження сприймаються в основному частинками зміцнюючої фази, а матрична складова служить демпфіруючим матеріалом для передачі навантаження, є зв'язуючим компонентом, що забезпечує цілісність і щільність покриття, а також надійне зчеплення з основою деталі.

Оскільки композиційний матеріал не є гомогенним, то його властивості чутливі не лише до властивостей компонентів, а й до їх геометрії та співвідношень за складом.

Як показано в роботі [1] стійкість композиційного покриття в умовах абразивного зношування залежить від діаметра наповнювача, відстані між частинками та їх об'ємного вмісту.

При теоретичному обґрунтуванні працездатності КП розглянемо гетерогенний матеріал як єдине ціле, але при цьому необхідно враховувати наявність складових, що мають різну пружність, пластичність та інші фізико-механічні і теплофізичні характеристики.

© І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко, М.В. Красота, 2010

Цілком очевидно, що при навантаженні такого композиційного матеріалу на поверхні дотику абразивна частинка-КП виникає певна міжконтактна взаємодія. Ця взаємодія породжує ефект, який або сприяє роботі композицій, або ж фактично обмежує її працездатність. У будь-якому випадку дуже важливо врахувати зазначену взаємодію.

Встановлення залежностей між розмірами та кількістю частинок, а також параметрами контактування з поверхнею тертя іншої деталі дозволить визначити раціональні розміри фактичних площ контакту (ФПК) кожного з компонентів композиції, а також величини діючих питомих навантажень на цих площинках при їх відносному переміщенні.

В подальшому, враховуючи питомі контактні навантаження, температуру та лінійне розширення матеріалів композиції (з урахуванням теплофізичних характеристик) представляється можливим провести розрахунок сумарної сили тертя на робочій поверхні при різних схемах навантаження і визначити інтенсивність зношування композиційного матеріалу.

Очевидно, що знаходження розрахункових залежностей між величинами структурних компонентів і силою тертя дозволить оцінити їхній вплив на значення коефіцієнтів тертя і визначити оптимальні розміри та об'єм твердих включень в матриці.

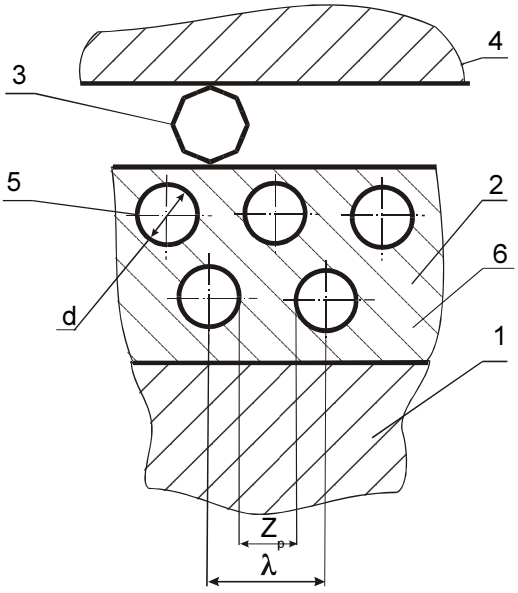
Зважаючи на високу міцність і низьку пластичність включень матеріалу, частина навантаження, яке сприймається твердими включеннями, буде передаватися вглиб композиційного матеріалу через поверхню розділу включень наповнювача і матриці.

Основними змінними, від яких залежить ефективність зміцнення КП є радіус частинок r (d – діаметр),концентрація частинок наповнювача c, вільний шлях λ між частинками наповнювача, відстань між цими частинками Z_p (рис. 1). Ці величини зв'язані між собою співвідношенням [3]:

$$\lambda = \frac{4}{3}\langle r \rangle \frac{1-c}{c}, \tag{1}$$

де c – об'ємна концентрація матеріалу наповнювача;

$$Z_p = \sqrt{\frac{8}{3}\langle r \rangle^2 \cdot \frac{1-c}{c}}. \tag{2}$$



1 – вал (матеріал основи); 2 – композиційне покриття; 3 – абразивна частинка; 4 – контртіло (спряжена деталь); 5 – керамічний наповнювач; 6 – металева матриця покриття

Рисунок 1 – Схема композиційного покриття

Якщо припустити, що диспергované частинки наповнювача створюють тривимірне пуассонівське поле з густиною μ (середня кількість частинок в одиниці об'єму)

$$\mu = \frac{3c}{4\pi\langle r\rangle^3} \tag{3}$$

і диференціальною функцією розподілу

$$f_n(r) = \frac{(\mu V)^n}{n!} e^{-\mu V}, \tag{4}$$

де $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ – об'єм сфери радіусом r;

n – кількість частинок у цьому об'ємі;

Функція f(r) у випадку, коли в сферу радіусом r потрапить хоч би одна точка, матиме вигляд

$$f(r) = 4\pi r^2 \mu e^{-\mu\frac{4}{3}\pi r^3}. \tag{5}$$

В цьому випадку середня відстань між частинками $\langle Z_p\rangle$ може бути визначена

$$\langle Z_p\rangle = \int_0^\infty r\cdot f(r)dr = 4\pi\mu\int_0^\infty r^3 e^{-\mu_1 r^3}dr, \tag{6}$$

де $\mu_1 = \frac{4}{3}\pi\mu$.

Якщо позначити $\mu_1 r^3 = t$, звідки $r = \sqrt[3]{\frac{t}{\mu_1}}$, а $dr = \frac{1}{3\sqrt[3]{\mu_1}} t^{-2/3}dt$, то

$$\langle Z_p\rangle = 4\pi\mu\frac{1}{3\sqrt[3]{\mu_1}}\int_0^\infty \frac{t}{\mu_1}e^{-t}t^{-2/3}dt = \frac{\langle r\rangle}{3c^{1/3}}\Gamma\left(\frac{1}{3}\right), \tag{7}$$

де $\Gamma\left(\frac{1}{3}\right)$ – гама-функція від 1/3, значення якої дорівнює

$$\frac{\Gamma\left(\frac{4}{3}\right)}{1/3} = 3\cdot 0{,}893 = 2{,}679.$$

Отже $$\langle Z_p\rangle = 0{,}893\frac{\langle r\rangle}{c^{1/3}} \approx 0{,}447\frac{\langle d\rangle}{c^{1/3}}. \tag{8}$$

Передача контактних навантажень в матрицю КП через тверді включення носитиме дискретний характер. В зв'язку з цим необхідно розрахувати таку величину навантаження, яку тверді включення здатні передавати на матричний матеріал за рахунок пластичності зв'язку з врахуванням пружного деформування складових КП.

У випадку плакування частинок наповнювача нікелем матриця, окрім конструктивних особливостей, здатна виконувати функцію твердого металевого мастила на поверхні твердих включень, що забезпечує підвищену несучу здатність і зниження інтенсивності зношування. Поліпшення зносних характеристик КП визначається передусім раціональною структурою поверхні композиції: за рахунок оптимального сполучення частинок наповнювача і матриці,

а також необхідної різниці теплофізичних характеристик складових композиційного матеріалу.

Розглянемо силову навантаженість композиційного матеріалу при різних умовах зовнішньо-силового впливу на контакті тертя.

Використовуючи правило суміші, для КП можна записати, що питома сила тертя на робочій поверхні

$$\tau_{тр} = (1-c)\tau_{м} + c\tau_{н}, \qquad (9)$$

де $\tau_м$, $\tau_н$ – питома сила тертя для матричного матеріалу і зміцнюючої фази при тому ж навантаженні.

Вираз для сили тертя матиме вигляд

$$F_{тр} = \left((1-c)\tau_{м} + c\tau_{н}\right)A_{г}, \qquad (10)$$

де $A_г$ – фактична площа контакту, яка складається з суми площ одиничних плям дотику, які розташовані на вершинах нерівностей.

Величина діаметру одиничної плями дотику для реальних умов контакту металевих поверхонь складає 10...20 мкм.

Мікронерівність робочої поверхні КП може бути представлена матеріалами матриці, наповнювача або їх поєднанням. В останньому випадку кількість мікронерівностей буде інакше впливати на процеси в зоні тертя, ніж у випадку, коли дисперсні частинки разом з матрицею об'єднані в гомогенну структуру.

Властивості КП, зміцненого частинками наповнювача, в залежності від їх розміру відображають ті умови контактування твердих поверхонь, при яких спостерігається якісно різний вид деформації мікронерівностей композиційного матеріалу, оскільки параметри контактування визначаються механічними властивостями матеріалів мікронерівностей.

При цьому слід розглянути два характерні випадки: а) коли контактні напруження перевищують границю текучості матеріалу, тобто контактування викликає пластичну деформацію, б) для напружень, що носять пружний характер, коли залишкові деформації відсутні.

При умові пластичного контакту в зоні тертя відносна площа одиничної площинки дотику може бути визначена за формулою [1]:

$$\eta = \frac{q}{\zeta},$$

де q – питоме навантаження;

ζ – мікротвердість матеріалу ($\zeta = H_м$).

Для композиції з величиною твердих включень наповнювача 1 мкм твердість ζ буде визначатися величиною напруження стиску на поверхні одиничної плями дотику, яка може включати частинки наповнювача або матрицю.

При розмірах зміцнюючих частинок більше 30 мкм фактична площа контакту КП з поверхнею тертя являє собою суму одиничних площ дотику мікронерівностей як матеріалу матриці, так і зміцнюючого матеріалу.

Відносні площі дотику матриці і твердого включення

$$\eta_{м} = \frac{q_{м}}{\zeta_{м}};\ \eta_{н} = \frac{q_{н}}{\zeta_{н}}, \qquad (11)$$

де $q_м$, $q_н$ – питомі навантаження, що припадають на матеріал матриці та наповнювача;

$\zeta_м$, $\zeta_н$ – відповідно мікротвердості для матеріалу матриці та наповнювача.

$$q = q_{м} + q_{н}; \qquad \eta_{м} = (1-c)\cdot\eta; \qquad \eta_{н} = c\eta,$$

де ν – відносна площа дотику

$$q = \eta\left((1-c)\zeta_{м} + c\zeta_{н}\right). \qquad (12)$$

Сила тертя для КП з твердими включеннями більше 30 мкм може бути

$$F_{тр} = \frac{(1-c)\tau_м + c\tau_н}{(1-c)\zeta_м + c\zeta_н} qA_c . \qquad (13)$$

Порівняння виразів сили тертя для композицій з певними величинами включень наповнювача дозволяє уявити механізм формування питомої сили тертя на поверхні композиційного матеріалу наступним чином. Перша складова питомої сили тертя формується по напруженням зрізу на поверхні контакту і зусилля, що викликає пластичну деформацію мікронерівностей; а друга складова питомої сили тертя залежить від частки наповнювача в об'ємі КП.

Таким чином, вираз (13) дає можливість, порівнюючи сили тертя для КП з різним співвідношенням компонентів, проектувати такий склад КП, при якому сила тертя його з різними матеріалами буде мінімальною.

Список літератури

1. Белоусов В. Я. Долговечность деталей машин с композиционными материалами.– Львов: Вища школа, 1984.– 180 с.
2. Добровольский А. Г., Кошеленко П. И. Абразивная износостойкость материалов.– К.: Техника, 1989.– 128 с.
3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела.– М.: Наука, 1978.– 792 с.

И. Василенко, И. Шепеленко, М. Красота

Проектирование состава композиционного покрытия в условиях абразивного изнашивания

В статье приведены результаты теоретических исследований, которые дают возможность выбирать состав композиционных покрытий для условий абразивного изнашивания.

I. Vasilenko, I. Shepelenko, M. Krasota

Design of composition coating compound under abrasion conditions

In the article are the results of theoretical researches, which enable to choose composition of compositions covering for conditions abrasive wear-out.

Одержано 02.04.10

УДК 621. 81

Б.М. Гевко, проф., д-р техн. наук, О.Л. Ляшук, канд. техн. наук, Ю.Я. Вовк, канд. техн. наук, А.Б. Гупка
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Дослідження процесу зношення пар тертя свердлильних кондукторів

Приведена конструкція переналагоджувального кондуктора для обробки отворів в деталях машин, яка забезпечує підвищення експлуатаційної надійності і довговічності кондукторних втулок, які саме більше зношуються,а також якість оброблювальних деталей. Виведені аналітичні залежності для визначення величини зношення кондукторних втулок від конструктивних, технологічних параметрів їх взаємодії з свердлом.
переналагоджувальний свердлильний кондуктор, кондукторна втулка, свердло, радіально-упорний, зусилля

Постановка питання. Технічне переозброєння всього народного господарства країни пов'язана з машинобудуванням, яке має першочергове завдання покращення експлуатаційних та технологічних параметрів деталей машин, які б дали змогу покращити якість продукції, зменшити собівартість її виготовлення та ремонту. В машинобудуванні важливе місце посідає задача підвищення експлуатаційної надійності і довговічності технологічного оснащення, в тому числі переналагоджувальних свердлильних пристроїв.

Аналіз останніх результатів досліджень. Розробленню конструкцій кондукторів для свердління отворів в деталях машин присвячено багато праць, тим більше, що кондуктори використовуються на кожному підприємстві середнього машинобудування. В роботах професора Костецького Б.І. [1] представлена методика розрахунку надійності і довговічності деталей тертя загального призначення. В роботі Ансьорова М. А. [2] представлено стаціонарні кондуктори, що розраховані для крупносерійного і масового виробництва, тобто у них відсутня гнучкість, яка важлива в умовах сучасного виробництва. В роботі Горошкина А. К. [3] представлено розрахунок кондукторів на точність, при цьому не враховано зношення однієї із найважливіших частин кондуктора – кондукторної втулки. Крім того мало уваги приділено обертовим кондукторним втулкам.

Мета роботи. Тому метою даної роботи є розробити конструкцію переналагоджуваного кондуктора із обертовими кондукторними втулками та провести порівняльний аналіз нерухомих і обертових кондукторних втулок з точки зору їх стійкості до зношення.

Робота виконана згідно координаційного плану Комітету з питань науки і техніки та Міністерства освіти і науки України з розділу "Машинобудування", "Високоефективні технологічні процеси в машинобудуванні" на 2010-2015 рр.

Реалізація роботи. Переналагоджувальний свердлильний кондуктор який виконано у вигляді верхньої плити 1, по центру якої зверху виконано ступінчастий циліндричний отвір 2 в який запресований радіально - упорний підшипник 4, вісь якого співпадає з віссю свердла 9. У внутрішній отвір внутрішнього кільця підшипника запресована втулка 6 з виконаним буртом, довжиною більшою ширини підшипника, з можливістю кругового провертання з внутрішнім кільцем підшипника і свердлом 9 у внутрішній отвір якої запресована змінна втулка 8, яку змінюють на іншу втулку з іншим внутрішнім отвором. Знизу зовні втулки 6 виконана кільцева канавка 3 в яку встановлено стопорне кільце, яке зверху є у взаємодії з нижнім торцем внутрішнього кільця підшипника 4.

© Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, Ю.Я. Вовк, А.Б. Гупка, 2010

В зоні кондукторної плити 1 встановлено кришку 7 з центральним отвором, в який встановлено свердло 9 для вільного його переміщення і яка жорстко закріплена до кондукторної плити за допомогою гвинтів 12. знизу під кондукторною плитою 1, напроти свердла жорстко встановлена заготовка 11. Для вільного провертання внутрішнього кільця підшипника 4 по його периметру зверху і знизу виконана виточка з мінімальною висотою які забезпечують можливість вільного провертання внутрішнього кільця підшипника зі змінною втулкою 8 і свердлом.

Робота переналагоджувального свердлильного кондуктора для свердління отворів здійснюється наступним чином. Заготовка 11 вставляється в пристрій до кондукторної плити в зборі на опори 13, відомим способом, які зображено схематично. Свердло 9 вводиться в отвір змінної втулки 4 підшипника 3 до оброблюваної деталі. В процесі обертання свердло разом з внутрішнім кільцем підшипника 3 обертається, що значно зменшує силу тертя свердла по кондукторній втулці і підвищує надійність і довговічність як самої втулки так і свердла, крім цього підвищує точність отвору.

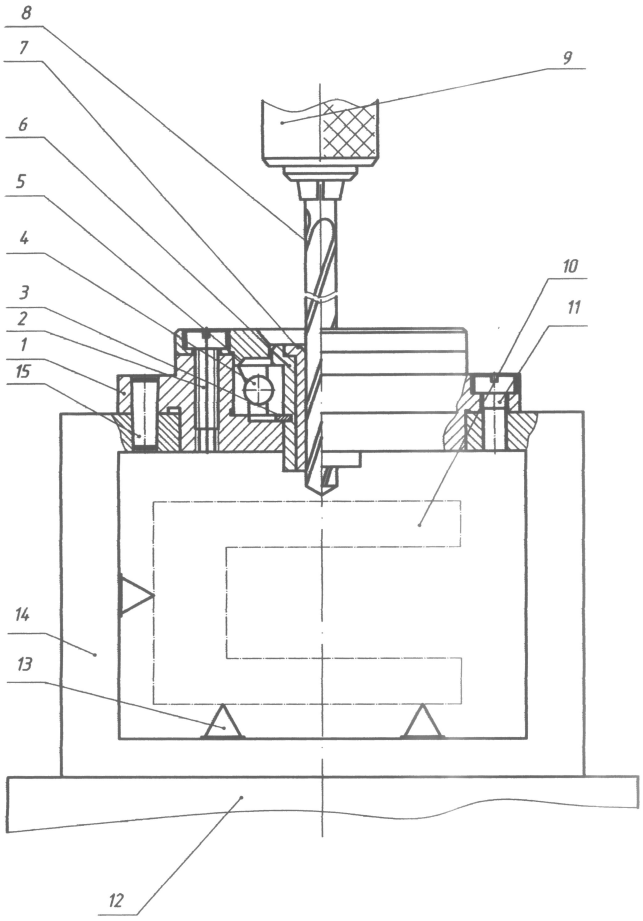


Рисунок 1 – Переналагоджувальний свердлильний кондуктор [5]

Для забезпечення змащення в зону кульок підводиться мастило через маслянку, яка на кресленні не позначена.

Знизу зовні змінної втулки 8 виконана кільцева канавка, в яку вставлено стопорне кільце 5 зовнішнім діаметром рівним або більшим товщини внутрішнього кільця, на яке впирається внутрішнє кільце підшипника.

До переваг переналагоджувального свердлильного кондуктора відноситься простота конструкції, можливість пере наладки на свердління і інших діаметрів в заготовках, зменшення сил тертя свердла з кондукторною втулкою через підшипник, відповідно збільшення точності оброблювальних отворів і відповідно зменшення енерговитрат і зменшення спрацювання свердла і кондукторної втулки.

Під час свердління отворів між свердлом і втулкою відбувається контактна взаємодія. Використання стаціонарних нерухомих кондукторних втулок призводить до того, що зношення поверхні втулок відбувається як наслідок обертового і лінійного руху свердла відносно поверхні втулок. Під час використання обертових втулок на підшипниках, зношення контактної поверхні втулок відбувається в основному за рахунок лінійного переміщення свердла.

Величина зношення втулок для даних умов визначається інтенсивністю зношення k, яка залежить від матеріалів втулки та свердла, їх твердості, шорсткості поверхонь, використання ЗОР. Інтенсивність зношення визначається експериментально. Оскільки тертя між втулкою і свердлом носить нормальний характер, без патологічних особливостей, згідно літературних даних [1], визначається коефіцієнтом зношення:

$$k = 2 \cdot 10^{-3} \frac{\text{мкм}}{\text{м}}.$$

Величина зношення втулки під час оброблення партії деталей:

– для обертових втулок визначається з залежності:

$$h_1 = l_1 \cdot k \cdot w, \tag{1}$$

де l_1 – шлях контакту між обертовою втулкою і свердлом, м;

w – кількість деталей в партії.

– для нерухомих втулок:

$$h_2 = l_2 \cdot k \cdot w, \tag{2}$$

де l_2 – шлях контакту між нерухомою втулкою і свердлом, м.

Шлях контакту між обертовою втулкою і свердлом визначаємо за формулою:

$$l_1 = k_1 H (1 + k_2), \tag{3}$$

де k_1 – коефіцієнт проковзування, k_1 = 1,2...1,4;

H – довжина свердління, м;

k_2 – коефіцієнт, що враховує зменшення нормальної сили на поверхнях контакту під час зворотного ходу свердла, k_2 = 0,4...0,8.

Шлях контакту між обертовою втулкою і свердлом визначаємо за формулою:

$$l_2 = H \cdot \left(\frac{1}{S_1} \sqrt{4\pi^2 r^2 + S_1^2} + \frac{k_2}{S_2} \sqrt{4\pi^2 r^2 + S_2^2} \right), \tag{4}$$

де S_1 – величина подачі свердла під час врізання, м/об;

r – радіус свердла, м;

S_2 – величина подачі свердла під час зворотного ходу, м/об.

Довжину свердління визначаємо за виразом:

$$H = H_1 + H_2 + H_3, \tag{5}$$

де H_1 – висота втулки, м;

H_2 – зазор між втулкою і деталлю, м;

H_3 – глибина отвору, м.

Визначаємо коефіцієнт зменшення зношення обертових втулок порівняно із нерухомими:

$$k_3 = \frac{k_1 (1 + k_2)}{\frac{1}{S_1} \sqrt{4\pi^2 r^2 + S_1^2} + \frac{k_2}{S_2} \sqrt{4\pi^2 r^2 + S_2^2}}. \tag{6}$$

Визначаємо необхідну кількість втулок для виготовлення партії деталей:

– обертових втулок:

$$m_1 = \frac{h_1}{h_{\max}}, \tag{7}$$

де $h_{\max}$ – максимально допустима величина зношення втулки, мкм.

Враховуючи формули (1) і (3), маємо необхідну кількість обертових втулок:

$$m_1 = \frac{k_1 \cdot k \cdot w \cdot H(1+k_2)}{h_{\max}}; \quad (8)$$

– нерухомих втулок

$$m_2 = \frac{h_2}{h_{\max}}. \quad (9)$$

Враховуючи формули (2) і (4), визначаємо необхідну кількість нерухомих втулок:

$$m_2 = \frac{k \cdot w \cdot H \cdot \left(\frac{1}{S_1}\sqrt{4\pi^2 r^2 + S_1^2} + \frac{k_2}{S_2}\sqrt{4\pi^2 r^2 + S_2^2} \right)}{h_{\max}}. \quad (10)$$

Економічний ефект від застосування обертових втулок визначаємо за виразом:

$$C = C_1 - C_2, \quad (11)$$

де C_1 – собівартість використання нерухомої втулки, грн;
C_2 – собівартість використання обертової втулки, грн.
Собівартість використання нерухомої втулки:

$$C_1 = P_1 \cdot m_2, \quad (12)$$

де P_1 – вартість однієї нерухомої втулки, грн.
Собівартість використання обертової втулки:

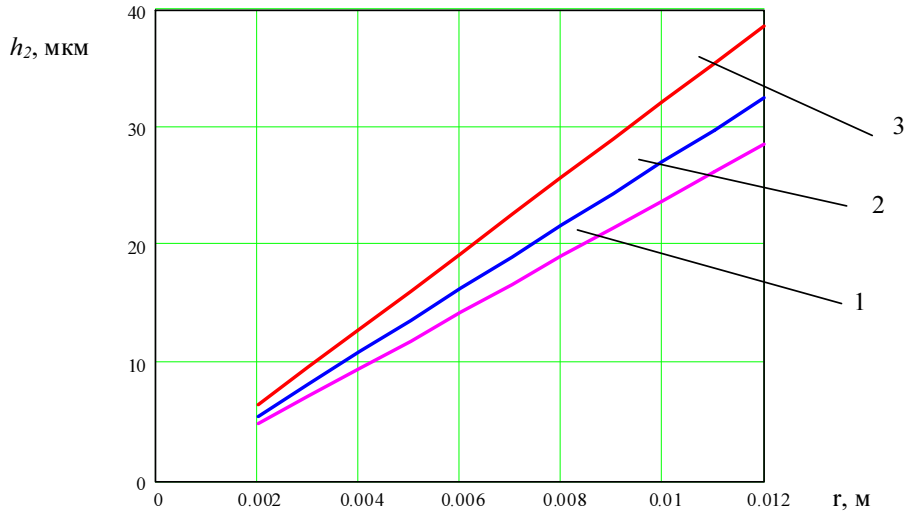
$$C_2 = P_2 \cdot m_1, \quad (13)$$

де P_2 – вартість однієї обертової втулки, грн.

Графік залежності величини зношення нерухомої втулки від радіуса робочого свердла показано на рис. 2. Згідно графіка на рис. 2 робимо висновок, що при збільшення радіуса свердла і відповідно радіуса обробки величина зношення нерухомої втулки зростає, а при зменшенні величини подачі величина зношення втулки збільшується. На рисунку 3 представлено графік залежності величини зношення обертової втулки від кількості деталей в партії.

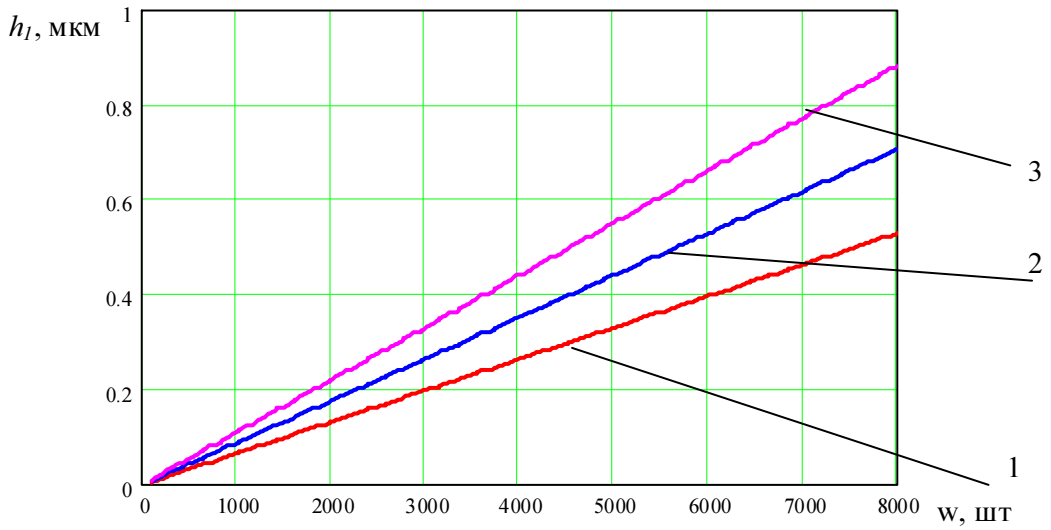
Згідно графіка на рис. 3 робимо висновок, що при збільшенні кількості деталей в партії та висоти втулки величина зношення обертової втулки зростає.

Після проведених розрахунків встановлено, що економічний ефект від застосування обертових втулок під час свердління отворів діаметром 8мм на глибині свердління 15мм при величині партії деталей 10000шт. становить 110грн.



1 – S_1=0,2мм/об, 2 – S_1=0,25мм/об; 3 – S_1=0,3мм/об

Рисунок 2 – Графік залежності величини зношення нерухомої втулки від радіуса свердла



1 – H=20мм, 2 – H=25мм; 3 – H=30мм

Рисунок 3 – Графік залежності величини зношення втулки від кількості деталей в партії

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Представлено конструкцію кондукторної плити із обертовими втулками на базі радіальних підшипників для свердління отворів. Переваги кондукторної плити - простота конструкції, можливість переналагодження на свердління і інших діаметрів в заготовках, зменшення сил тертя свердла з кондукторною втулкою через підшипник, відповідно збільшення точності оброблювальних отворів і зменшення енерговитрат та спрацювання свердла і кондукторної втулки.

2. Досліджено вплив технологічних параметрів процесу свердління і конструктивних параметрів втулки на величину її зношення. Проведено порівняльний аналіз застосування обертових кондукторних втулок і нерухомих кондукторних втулок. Визначено величину зношення, необхідну кількість і собівартість кондукторних втулок двох типів. Встановлено, що при значній величині партії деталей доцільно застосовувати обертові втулки. Представлено відповідно до розрахунків графічні залежності.

Список літератури

1. Костецкий Б. И. Надежность и долговечность машин / Костецкий Б. И. – К. : Техника, 1975. – 408 с.
2. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков / Ансеров М. А. – М : Изд. Машиностроение., 1975. – 658 с.
3. Горошкин А. К. Приспособления для металлорежущих станков / Горошкин А. К. – М.:Машиностроение, 1973. – 303 с.
4. Крагельский И. В. Основы расчета на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин., В. С. Комбалов К. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
5. Пат. №37301 Україна, МПК B23B 49/02. Кондукторна плита свердлильного пристрою / Гупка Б.В., Стойко І.І., Гевко І. Б.; заявник і патентовласник Тернопільський державний технічний університет. – №2001042269 ; заявл. 05.04.01 ; опубл. 15.11.01, Бюл. №10.

Б. Гевко, О. Ляшук, Ю. Волк, А. Гупка

Исследование процесса износа пар трения сверлильных кондукторов

Приведена конструкция переналаживаемого кондуктора для обработки отверстий в деталях машин, которая обеспечивает повышение эксплуатационной надежности и долговечности кондукторных втулок, которые именно больше изнашиваются, а также качество обрабатывающих деталей. Выведены аналитические зависимости для определения величины износа кондукторных втулок от конструктивных, технологических параметров их взаимодействия со сверлом.

B. Gevko, O. Lyashuk, Y. Volk, A. Gupka

Research of process of wear of pair of friction of drillings conductors

The construction of reconfigurable conductor is resulted for treatment of openings in the details of machines, which provides the increase of operating reliability and longevity of conductor hobs which exactly wear out anymore, and also quality of processing details. Analytical dependences are shown out for determination of size of wear of conductor hobs from the structural, technological parameters of their co-operating with a drill.

Одержано 21.04.10

УДК 631.227 : 681.311

Л.Г.Віхрова, проф., канд. техн. наук, Р.П. Ткаченко, доц., канд. техн. наук, А.В.Рибаченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована енергоощадна система управління параметрами температурного режиму пташника

Розглянуто особливості технологічного процесу в пташниках, проаналізовано вплив різних факторів на продуктивність птиці. Основні з них: температура, вологість, повітрообмін, вплив шуму, тривалість світлового дня у пташнику. Зроблено обґрунтування створення енергоощадної системи в промисловому пташнику, раціонально збалансованого у відповідності до цін на ринку використання ресурсів, пов'язаних з виробництвом м'яса птиці та яєць.

технологічний процес, пташник, продуктивність птиці, повітрообмін, енергоощадна система

Україна спроможна виробляти таку кількість сільськогосподарської продукції, що здатна не тільки повністю забезпечити внутрішнє споживання, але й значну частину експортувати в інші країни світу. За наслідками роботи агропромислового комплексу в 2009 році, навіть в умовах найжорстокішої конкуренції та кризи на світовому ринку продовольства, Україна здатна відвоювати його окремі сектори. Пріоритет тут належить, насамперед, птахівництву, а точніше – виробництву яєць та м'яса птиці.

У той же час за кілька останніх років велику кількість яєць та м'яса не всім сільськогосподарським виробникам вдалося зберегти. Причин тому безліч, але головною є те, що після реформування агропромислової галузі більшість товаровиробників використовують застаріле обладнання і технології для вирощування птиці в промислових пташниках.

Найчастіше вирощування птиці в промислових пташниках проводиться з нерегулярним періодичним контролем температури й вологості в пташнику, і при цьому мають місце високі енерговитрати.

Між тим автоматизація технологічного процесу вирощування птиці в промислових пташниках з постійним одночасним контролем температури й вологості може істотно поліпшити якість даного процесу, різко знизити загибель птиці (від переохолодження або перегріву) і підвищити несучість.

© Л.Г.Віхрова, Р.П. Ткаченко, А.В.Рибаченко, 2010

B. Gevko, O. Lyashuk, Y. Volk, A. Gupka

Research of process of wear of pair of friction of drillings conductors

The construction of reconfigurable conductor is resulted for treatment of openings in the details of machines, which provides the increase of operating reliability and longevity of conductor hobs which exactly wear out anymore, and also quality of processing details. Analytical dependences are shown out for determination of size of wear of conductor hobs from the structural, technological parameters of their co-operating with a drill.

Одержано 21.04.10

УДК 631.227 : 681.311

Л.Г.Віхрова, проф., канд. техн. наук, Р.П. Ткаченко, доц., канд. техн. наук, А.В.Рибаченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Автоматизована енергоощадна система управління параметрами температурного режиму пташника

Розглянуто особливості технологічного процесу в пташниках, проаналізовано вплив різних факторів на продуктивність птиці. Основні з них: температура, вологість, повітрообмін, вплив шуму, тривалість світлового дня у пташнику. Зроблено обґрунтування створення енергоощадної системи в промисловому пташнику, раціонально збалансованого у відповідності до цін на ринку використання ресурсів, пов'язаних з виробництвом м'яса птиці та яєць.

технологічний процес, пташник, продуктивність птиці, повітрообмін, енергоощадна система

Україна спроможна виробляти таку кількість сільськогосподарської продукції, що здатна не тільки повністю забезпечити внутрішнє споживання, але й значну частину експортувати в інші країни світу. За наслідками роботи агропромислового комплексу в 2009 році, навіть в умовах найжорстокішої конкуренції та кризи на світовому ринку продовольства, Україна здатна відвоювати його окремі сектори. Пріоритет тут належить, насамперед, птахівництву, а точніше – виробництву яєць та м'яса птиці.

У той же час за кілька останніх років велику кількість яєць та м'яса не всім сільськогосподарським виробникам вдалося зберегти. Причин тому безліч, але головною є те, що після реформування агропромислової галузі більшість товаровиробників використовують застаріле обладнання і технології для вирощування птиці в промислових пташниках.

Найчастіше вирощування птиці в промислових пташниках проводиться з нерегулярним періодичним контролем температури й вологості в пташнику, і при цьому мають місце високі енерговитрати.

Між тим автоматизація технологічного процесу вирощування птиці в промислових пташниках з постійним одночасним контролем температури й вологості може істотно поліпшити якість даного процесу, різко знизити загибель птиці (від переохолодження або перегріву) і підвищити несучість.

© Л.Г.Віхрова, Р.П. Ткаченко, А.В.Рибаченко, 2010

Проблемами технологічних процесів у пташнику, розробками систем управління технологічними процесами та енергозбереженням займались та продовжують дослідження І.І. Мартиненко, В.П.Машевський, В.М. Писаренко, та інші [8,9,10].

Отже, створення енергоощадних систем керування технологічними процесами у промисловому пташнику є досить сучасним і актуальним.

Метою даної роботи є – обгрунтування необхідності впровадження автоматизованої енергоощадної системи управління параметрами температурного режиму в пташнику.

Відомо [1,2,3], що продуктивність птиці протягом періоду її утримання змінюється у першу чергу з віком та під впливом температури. Окрім того, з огляду на кліматичні умови України, температура в приміщенні для птиці потребує регулювання. Це пов'язано з тим, що середні значення температури повітря навколишнього середовища виходять за межі зони їх оптимальних значень, припустимих для організму птиці.

Проведений аналіз порівняння біологічних особливостей різних порід птиці показав, що їх несучість і вага не тільки відрізняються, а й змінюються з віком. Збільшення кількості яєць, які отримують на сучасних птахофабриках, залежить не лише від генетичних показників, але й від сприятливих умов утримання птиці [2].

На продуктивність птиці у пташнику впливає велика кількість факторів, головним серед яких є температурний режим. Залежно від породи, птиця досягає максимальної несучості при певній температурі повітря. Температура в пташнику впливає також на масу яєць та їх якість, споживання птицею кількості корму, води та її самопочуття. При зниженні температури в приміщенні зменшується несучість птиці, збільшується витрата кормів на виробництво яєць. При підвищеній температурі несучість також знижується, птиця споживає більше води, і співвідношення між кормами і водою зростає [3].

Визначення та підтримання оптимальної температури повітря, що гарантує максимальний вихід продукції, дозволить скоротити енергетичні витрати. Особливо це стосується зимового та перехідного періодів року, коли система повинна покривати дефіцит тепла у приміщенні пташника.

При утриманні птиці в пташнику, а також взаємодії в ньому біологічного об'єкта з технічним процесом, на продуктивність птиці впливають такі основні фактори: температура повітря, вологість повітря, концентрація аміаку, світловий режим, швидкість руху повітря, шум і вібрація, викликані роботою технологічного обладнання, освітленість кліток, кількість і склад кормів, стрес-фактори, обумовлені процесом вирощування птиці [1,2].

Кури відрізняються від іншої птиці дуже швидким ростом та розвитком. Птиця починає нестися з настанням статевої зрілості, яка визначається віком птиці до часу знесення першого яйця. У курей несучих порід вона настає у віці 150-170 днів, м'ясо-несучих і м'ясних – 180-190 днів [3]. При ранній скороспілості збереження високої та тривалої продуктивності птиці можливе тільки при створенні для неї відповідних умов годівлі та утримання.

Дуже важливо те, що висока продуктивність досягається лише при дотриманні відповідних умов утримання птиці [4]. Іншими словами, спадкоємна продуктивність курок-несучок знижується при відсутності необхідних факторів навколишнього середовища. Ідеальні умови середовища рідко досяжні. Такі фактори як: хвороби, низькоякісні корми, погані умови утримання, діючи порізнь чи одночасно, знижують продуктивність.

Організм птиці постійно знаходиться під активним впливом навколишнього середовища. Цей вплив може бути сприятливим, коли умови середовища відповідають потребам птиці, але може бути і несприятливим, в результаті чого порушується нормальна течія фізіологічних процесів в організмі птиці. Комплекс зовнішніх умов (зокрема кормових факторів) достатньо різноманітний. Він включає мікроклімат, світловий режим, шумове середовище та ін. Кожний з перелічених факторів характеризується специфічним впливом на птицю. Діють вони на птицю практично одночасно і тому здійснюють комплексний вплив. При цьому фактичні параметри одних зовнішніх умов можуть посилювати або послаблювати вплив інших. Наприклад, якщо постійно підтримувати оптимальні параметри

температури в пташнику, то вплив вологи на продуктивність птиці може бути незначним [6].

Мікроклімат в птахівничих приміщеннях залежить від багатьох умов – місцевого (зонального) клімату, теплозахисних властивостей конструкцій будівлі, рівня повітрообміну, ефективності вентиляції, способів видалення посліду, освітлення, щільності розміщення, типу годування, способів роздачі кормів. Велике значення надається також орієнтації ферм (комплексів), об'ємно-планувальним особливостям і конструкціям будівель, вигляду і якості будівельних матеріалів захисних конструкцій, внутрішньому обладнанню, напряму і спеціалізації господарства. Для кращого збереження поголів'я птиці і отримання від неї максимальної продуктивності в пташниках потрібно підтримувати не мікроклімат взагалі, а оптимальний (найкращий) мікроклімат [6].

На сучасних птахівничих фермах, комплексах, внаслідок впровадження нової промислової технології виробництва продукції, значно ускладнилася взаємодія організму птиці із зовнішнім середовищем [5]. При великій концентрації птиці з ущільненим її розміщенням на фермі вирішальна роль в підвищенні резистентності організму, збільшенні продуктивності відводиться створенню оптимального мікроклімату.

Висока концентрація птиці в пташниках призводить до різкого підвищення та накопичення у повітрі приміщень продуктів обміну речовин організму птиці, а також до збільшення пилу та бактеріальної забрудненості повітря, що негативно впливає на фізіологічний стан організму.

В зв'язку з цим актуального значення набуває впровадження нових систем створення оптимальних параметрів мікроклімату – один із важливих резервів одержання значної кількості додаткової продукції без збільшення кількості птиці, витрати корму на одиницю продукції при порівняно незначних додаткових капітальних вкладеннях.

Втілення в промислове птахівництво ефективних енергозберігаючих систем мікроклімату забезпечить підвищення продуктивності птиці на 10-12% та зниження енерговитрат на 30-50%, що значно підвищить ефективність галузі в цілому [7].

Але процес створення мікроклімату в сучасних птахівничих приміщеннях промислового типу є найбільш енергоємним в порівнянні з іншими технологічними процесами.

Створення оптимального мікроклімату у виробничих приміщеннях тваринницьких і птахівницьких ферм і комплексів, що гарантує максимальний вихід продукції, вимагає значних витрат енергетичних ресурсів. У сучасних умовах зростаючого дефіциту паливоенергетичних ресурсів особливе значення має ощадливе й ефективне їх використання.

Витрата енергоресурсів на створення мікроклімату у птахівницьких приміщеннях залежить від різних факторів: об'ємно-планувальних рішень будинків (павільйонна забудова, зблоковані і багатоповерхові будинки), місткості приміщення і щільності посадки поголів'я, способів утримання птиці (напільне, багатоярусне кліткове), їхнього виду (породи, кросу) і віку, теплозахисних властивостей конструкцій будинків, кліматичних умов.

У зв'язку зі зростаючим дефіцитом енергоресурсів у державі важливим питанням в області мікроклімату є створення та впровадження на птахівницьких комплексах нових енергозберігаючих технологій, які дозволяють ефективно використовувати паливно-енергетичні ресурси та за рахунок цього значно знизити енерговитрати опалювально-вентиляційних систем.

Значущість технологічного процесу забезпечення у птахівницьких приміщеннях оптимального мікроклімату з позиції енергоспоживання ілюструє таблиця 1, у якій представлена орієнтовна структура річної потреби в енергії птахівницьких приміщень по основних технологічних процесах (групах процесів). Незалежно від виду птиці та її віку на частку забезпечення в приміщеннях мікроклімату припадає від 50 до 75% річного енергоспоживання [6].

В залежності від кліматичної зони розташування пташника часткове співвідношення в структурі енергоспоживання буде деякою мірою змінюватися.

Таблиця 1 – Орієнтовна структура енергоспоживання птахівницьких приміщень

Групи технологічних процесів	Частка від загального річного енергоспоживання, %
Освітлення, водопостачання, кормоприготування, роздача кормів, прибирання посліду, збір яйця	15
Вентиляція приміщень	30
Електрообігрівання й опромінення молодняка	10
Підігрів вентиляційного повітря	45

Основна частка річної енергії, спожитої системами мікроклімату, припадає на холодний та перехідний періоди року, коли система покриває дефіцит тепла у приміщенні.

У зв'язку з цим необхідно розглянути складові теплового балансу приміщення в зимовий та перехідні періоди, що дозволяє знайти способи зниження енергоємності систем забезпечення мікроклімату і річної потреби пташника в теплі.

Загальний вигляд рівняння теплового балансу пташника [7]:

$$Q_o + Q_{внутр} = Q_{огор} + Q_{вип} + Q_в, \quad (1)$$

де Q_o - теплота, що необхідна від системи опалення, *кВт*;

$Q_{внутр}$ - теплота, яка виділяється внутрішніми джерелами, *кВт*;

$Q_{огор}$ - тепловтрати через огороджуючі конструкції будинку, *кВт*;

$Q_{вип}$ - тепловтрати на випарування вологи з відкритих і мокрих поверхонь, *кВт*;

$Q_в$ - витрата теплоти на нагрівання припливного повітря, *кВт*.

Тепловтрати через огороджуючі конструкції складають у відсотках від загальних тепловтрат приміщення орієнтовно 9,5-13,2%. Тепловтрати на випаровування вологи з відкритих і мокрих поверхонь будинку незначні і складають 1,6-3,1% від загальних тепловтрат будинку. Тому оптимізація технології утримання птиці з метою зниження тепловтрат на випаровування дозволяє лише незначно знизити витрату теплової енергії у птахівницьких приміщеннях.

Основна ж частка теплоспоживання припадає на нагрівання припливного повітря, що складає 84-87%. Найбільше відносне теплоспоживання на нагрівання припливного повітря в пташниках обумовлене потребою в більшому питомому повітрообміні на одиницю живої маси через те, що у птиці більш інтенсивний обмін речовин. Порівняно з тваринами, вони виділяють в 4-6 разів більше шкідливих речовин на одиницю живої маси (водяних парів, вуглекислого газу).

Перехід птахівництва на промислову технологію з клітковим утриманням птиці позв'язаний з необхідністю більш якісного забезпечення оптимального мікроклімату в приміщеннях для одержання високої продуктивності птиці, що призводить до збільшення витрати палива й електроенергії [7].

Система повинна забезпечити оптимальне управління виробництвом продукції птахівництва і при цьому витрачати мінімальну (економічно обгрунтовану) кількість енергії на підтримку температурного режиму в пташнику та бути сумісною з АСУТП в промисловому пташнику, яка безпосередньо управляє температурним режимом. Система використовує модифіковані алгоритми адаптації та оптимізації, також одночасно враховує технологічні властивості, біологічні особливості та економічні показники об'єкта управління з метою визначення оптимального значення температури в промисловому пташнику[8,9,10].

В умовах України середні температури повітря виходять за межі зони оптимально допустимих для організму птиці, тому для отримання максимальної продуктивності необхідно підтримувати оптимальну температуру в пташнику. На опалення та вентиляцію витрачається 75% енергоресурсів. Неоптимальне підтримання температури повітря в пташнику є причиною зменшення продуктивності птиці, що призводить до витрати енергії 2,5-3,0 МВт. год. на 1000 яєць.[6].

Доведено, що ефективним є комплексне використання різноманітних енергозберігаючих заходів, в першу чергу тих, які забезпечують не тільки економію енергоресурсів, а й економічний ефект по галузі в цілому. Перспективними шляхами збереження енергоресурсів є раціональне та економне їх використання, тобто використання, при якому буде знайдено економічно раціональне рішення.

Виникає необхідність розробки енергоощадної системи управління виробництвом на основі сучасної комп'ютерної техніки, яка буде адаптуватись до динаміки параметрів об'єкта управління в часі, з метою побудови оптимальної стратегії управління та визначення оптимальних параметрів температурного режиму. Система повинна визначати оптимальне управління виробництвом, при цьому витрачати необхідну мінімальну кількість енергії на підтримку температурного режиму та бути сумісною з системою, яка керує безпосередньо технологічними процесами.

Висновки. В роботі доведено необхідність розробки автоматизованої енергоощадної системи управління параметрами температурного режиму в пташнику, зменшенню витрат енергетичних ресурсів і тим самим збільшенню прибутку підприємств.

За результатами аналізу встановлено:

- що в умовах України середні значення температур повітря виходять за межі зони оптимально допустимі для організму птиці, а тому для отримання максимальної продуктивності слід підтримувати оптимальну температуру в пташнику;
- автоматизація технологічних процесів у промисловому пташнику враховує технологію виробництва, витрату енергоресурсів на створення необхідного температурного режиму в пташнику, біологічні особливості та продуктивність птиці.

Список літератури

1. Давтян Ф. А. Управление микроклиматом в птицеводстве // Научные труды ВИЭСХ.- М.: 1981.- 116 с.
2. Данюс С., Катимос А. Микроклимат при выращивании бройлеров// Птицеводство.- 1978.-№ 9. - С. 27-28.
3. Богданов М. Н.. Учебная книга оператора – птицевода. (Производство яиц). Изд. 3-е, перер. и доп. – М.: Колос, 1981. - 335 с..
4. Лебедев П. Т. Микроклимат помещений для животных и методы его исследования.- М.: Россельхозиздат, 1973. - 128 с.
5. Мельник В. И. Поплавский Л. З. Микроклимат при выращивании птицы в клетках.- М.: Россельхозиздат, 1977. - 109 с.
6. Дзюбенко П. К. Вентиляція і мікроклімат птахівничих приміщень.- К.: Урожай, 1972. - 124 с.
7. Бабаханов Ю. М., Степанов Н. А. Оборудование и пути снижения энергопотребления систем микроклимата. – М.: Россельхозиздат, 1986. - 232 с.
8. І.І.Мартиненко, Б.Л.Головінський Автоматика в сільськогосподарському виробництві.-К.:Урожай,1989. – 167 с.
9. В.В.Концур, В.М.Писаренко, Автоматизация сельскохозяйственного призводства. -К.:Урожай,1988. – 163 с.
10. І.М.Кукта, В.П.Машевський Удосконалення експлутації машин і обладнання тваринницьких ферм та комплексів.-К.:Урожай,1989. – 223 с.

Л.Вихрова, Р.Ткаченко, А.Рыбаченко

Автоматизированная энергозберегающая система управления параметрами температурного режима в птичнике

Рассмотрены особенности технологического процесса в птичниках, проанализировано влияние разных факторов на производительность птицы. Основными из них являются: температура, влажность, воздухообмен, влияние шума, длительность светового дня в птичнике. Сделано обоснование создания

энергосберегающей системы в промышленном птичнике, рационально сбалансированного в соответствии с ценами на рынке использования ресурсов, связанных с производством мяса птицы и яиц.

L.Vikhrova, R.Tkachenko, A.Rybachenko

Automatic energy saving control the system by the parameters of temperature condition is in a poultry house

The features of technological process are considered in poultry houses, influence of different factors is analysed on the productivity of bird. Basic from them: a temperature, humidity, ventilation, influence of noise, duration of light day, is in a poultry house. The ground of creation of the energooschadnoy system is done in an industrial poultry house, rationally balanced in accordance with prices at the market of the use of resources, related to the production of meat of bird and eggs.

Одержано 26.04.10

УДК 621.87

В.О.Дзюра, канд. техн. наук, О.С. Шевчук
Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя
В.В.Крук
Бережанський агротехнічний інститут національного університету біоресурсів і природокористування України

Результати експериментальних досліджень визначення зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів

Наведено результати експериментальних досліджень зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів кульковими дорнуючими інструментами при їх виготовленні та відновленні. Встановлено залежності зусилля дорнування від конструктивних і технологічних параметрів.
дорнування, напівкруглі канавки, шліцьові вали, обробка тиском, кульковий дорнуючий інструмент

Постановка проблеми. Створення нових технологій обробки відповідальних деталей в машинобудуванні супроводжується заміною непродуктивних операцій і логічною побудовою технологічних процесів виготовлення деталей. Однією з таких операцій є термічна обробка, яка має ряд негативних наслідків, таких як спотворення профілю деталі, зумовлене нерівномірним її вистиганням, необхідність додаткової фінішної обробки та інше. Особливо термічна обробка є непродуктивною при гартуванні деталей класу “вали”, які характеризуються значною довжиною і незначною площею поперечного січення. Незважаючи на її негативні наслідки альтернативи їй не існувало, оскільки вона забезпечувала необхідні фізико-механічні властивості матеріалу деталі, даючи їй необхідну твердість та в’язкість. Однак останнім часом велика кількість термічних операцій заміняються обробкою тиском, яка характеризується високою продуктивністю, високою якістю поверхні після оброблення і ущільненням структури поверхневого шару під час обробки, що зумовлює підвищення твердості поверхневого шару матеріалу деталі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням зусилля дорнування профільних поверхонь займались Розенберг О.А. [1], Розенберг А.М., Проскуряков Ю.Г.,

© В.О.Дзюра, О.С. Шевчук , В.В.Крук , 2010

энергосберегающей системы в промышленном птичнике, рационально сбалансированного в соответствии с ценами на рынке использования ресурсов, связанных с производством мяса птицы и яиц.

L.Vikhrova, R.Tkachenko, A.Rybachenko

Automatic energy saving control the system by the parameters of temperature condition is in a poultry house

The features of technological process are considered in poultry houses, influence of different factors is analysed on the productivity of bird. Basic from them: a temperature, humidity, ventilation, influence of noise, duration of light day, is in a poultry house. The ground of creation of the energooschadnoy system is done in an industrial poultry house, rationally balanced in accordance with prices at the market of the use of resources, related to the production of meat of bird and eggs.

Одержано 26.04.10

УДК 621.87

В.О.Дзюра, канд. техн. наук, О.С. Шевчук
Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя
В.В.Крук
Бережанський агротехнічний інститут національного університету біоресурсів і природокористування України

Результати експериментальних досліджень визначення зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів

Наведено результати експериментальних досліджень зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів кульковими дорнуючими інструментами при їх виготовленні та відновленні. Встановлено залежності зусилля дорнування від конструктивних і технологічних параметрів.
дорнування, напівкруглі канавки, шліцьові вали, обробка тиском, кульковий дорнуючий інструмент

Постановка проблеми. Створення нових технологій обробки відповідальних деталей в машинобудуванні супроводжується заміною непродуктивних операцій і логічною побудовою технологічних процесів виготовлення деталей. Однією з таких операцій є термічна обробка, яка має ряд негативних наслідків, таких як спотворення профілю деталі, зумовлене нерівномірним її вистиганням, необхідність додаткової фінішної обробки та інше. Особливо термічна обробка є непродуктивною при гартуванні деталей класу “вали”, які характеризуються значною довжиною і незначною площею поперечного січення. Незважаючи на її негативні наслідки альтернативи їй не існувало, оскільки вона забезпечувала необхідні фізико-механічні властивості матеріалу деталі, даючи їй необхідну твердість та в’язкість. Однак останнім часом велика кількість термічних операцій заміняються обробкою тиском, яка характеризується високою продуктивністю, високою якістю поверхні після оброблення і ущільненням структури поверхневого шару під час обробки, що зумовлює підвищення твердості поверхневого шару матеріалу деталі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідженням зусилля дорнування профільних поверхонь займались Розенберг О.А. [1], Розенберг А.М., Проскуряков Ю.Г.,

© В.О.Дзюра, О.С. Шевчук , В.В.Крук , 2010

Посвятенко Е.К., Гриценко Е.И., Папшев Д.Д. [2], Шнейдер Ю.Г., Кузнецов А.М., Мончeнко В.П., Позднякова И.В. та інші [3].

Мета роботи. Метою роботи є встановлення експериментальним шляхом зусилля дорнування валів з напівкруглими шліцьовими канавками на спеціальному технологічному обладнанні.

Робота виконується згідно постанови Кабінету Міністрів України “Високоефективні технологічні процеси в машинобудуванні” на 2010–2015 роки.

Результати досліджень. Експериментальні дослідження проводились в лабораторії ВАТ “ТеКЗ”, згідно методики [4]. Обладнання для проведення експериментальних досліджень: спеціальний пристрій для дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів, прес гідравлічний моделі П6320. Вибір моделі пресу зумовлюється необхідним зусиллям для здійснення процесу дорнування та плавністю ходу, що забезпечує стабільність процесу.

Максимальне зусилля, яке розвивається пресом, складає 25 кН, воно утворюється гідроприводом, який складається з гідронасосу, встановленому в пульті керування машини і гідроциліндра з поршнем, який розміщений у верхній частині машини і безпосередньо передаючи зусилля у робочу зону. Похибка вимірювання зусилля преса не перевищує ±1,5%, максимальний робочий хід траверси рівний 500 мм.

Для проведення експериментальних досліджень було виготовлено дослідні зразки шліцьових валів з напівкруглими канавками (рис. 1). Матеріал валів – Сталь 45; Сталь 40ХН; Сталь 20Х.

Вали були виготовлені протягуванням спеціальною протяжною головкою.



1 – Сталь 45; 2 – Сталь 40ХН; 3 – Сталь 20Х

Рисунок 1 – Дослідні зразки шліцьових валів з напівкруглими канавками

Для проведення експериментальних досліджень нами було спроектовано і виготовлено спеціальний пристрій для дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів (рис.2).

Пристрій виконано у вигляді корпуса 1, в якому виконано вертикальний конусний отвір 2, в якому виконані наскрізні напівкруглі канавки 3, які розміщені рівномірно по колу вертикального конусного отвору в кількості рівній кількості напівкруглих канавок

шліцьового вала 4. Вертикальний конусний отвір 2 є у взаємодії з зовнішньою поверхнею конічного сепаратора 5, в якому виконані сферичні лунки 6 рівномірно по його довжині.

В сферичних лунках 6 рівномірно по їх довжині напроти напівкруглих канавок 3 встановлені твердосплавні калібруючи кульки 7 зі сторони зовнішнього діаметру. Зі сторони внутрішнього діаметру сферичні отвори менших діаметрів твердосплавних кульок, які по зовнішньому діаметру є у взаємодії з наскрізними напівкруглими канавками 3 конічного вертикального отвору 2 корпуса 1. Причому корпус 1 жорстко закріплений до нижньої плити 8, яка встановлена на підставку 9, або станину преса (на кресленні не показано).

Зверху корпуса 1 встановлено кришку 10 з центральним отвором 11, який є співвісний осі вертикального конусного отвору 2, яка фіксує в ньому сепаратор 5 з твердосплавними калібруючими кульками 7.

Зверху кришки 10 встановлена направляюча втулка 12, яка внутрішньою поверхнею є у взаємодії з зовнішньою поверхнею шліцьового вала 4, на якому виконані напівкруглі канавки з припуском на дорнування. Причому шліцьовий вал нижнім кінцем зорієнтовано по вертикальному конусному отвору, а його напівкруглі канавки співвісні з твердосплавними калібруючими кульками 7. Зверху торець вала 4 взаємодіє з торцем пуансона 13. Знизу під конічним вертикальним отвором 2 пристрою встановлено ємність 14 для складування оброблених валів 4.

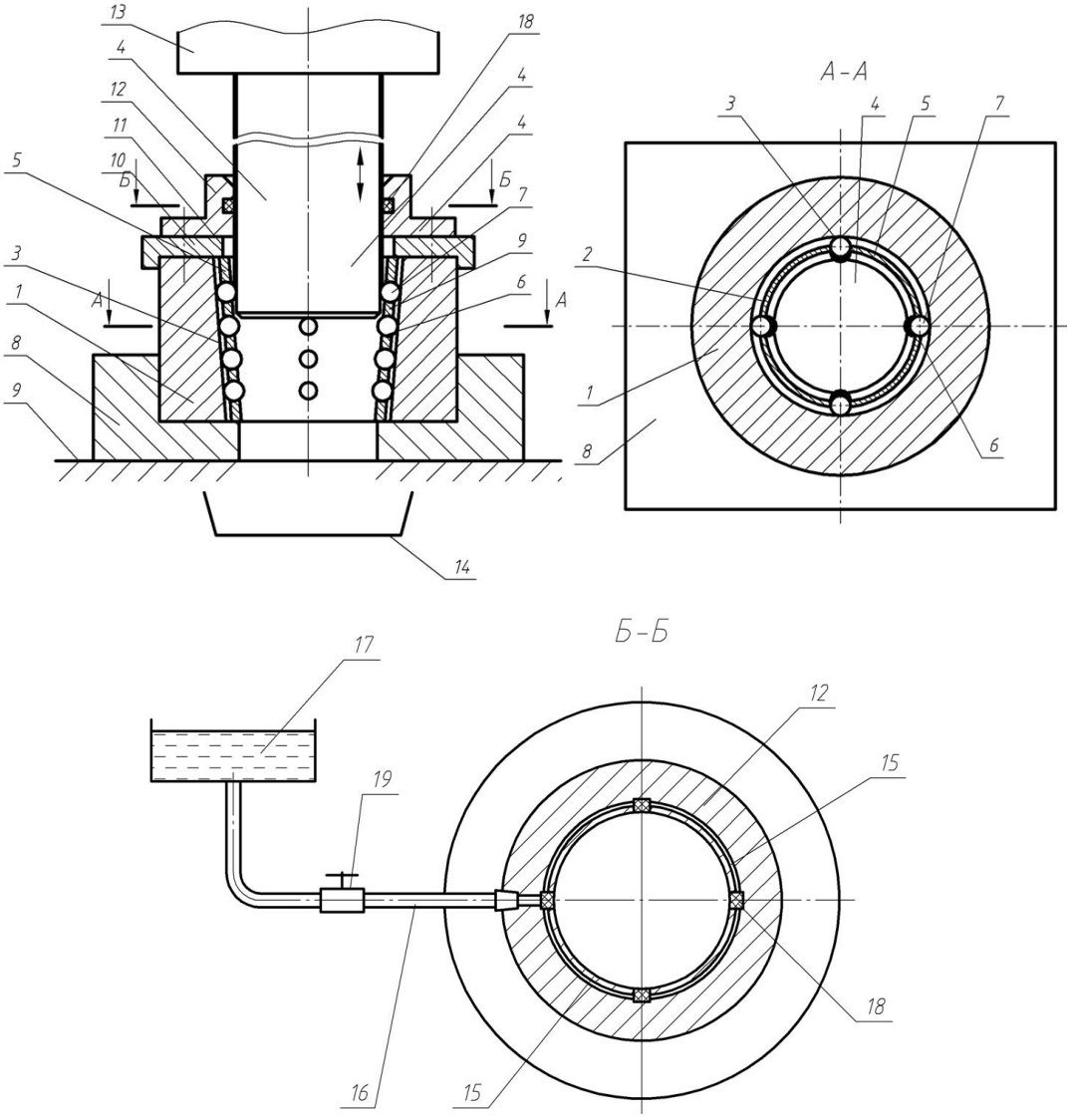


Рисунок 2 – Пристрій для дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів

Крім цього для покращення технологічного процесу калібрування і зменшення зусилля дорнування всередині направленої втулки 12 виконана кільцева канавка 15, яка з однієї сторони підєднана за допомогою маслопроводів 16 до бачка 17 з маслом, а з другої сторони до войлочних ущільнень 18, які насичуючись мастилом змащують ним напівкруглі канавки і твердосплавні калібруючи елементи 7. Для регулювання величини подачі мастила і його перекриття використовують кран 19. Бачок 17 на фіг.7 не показано.

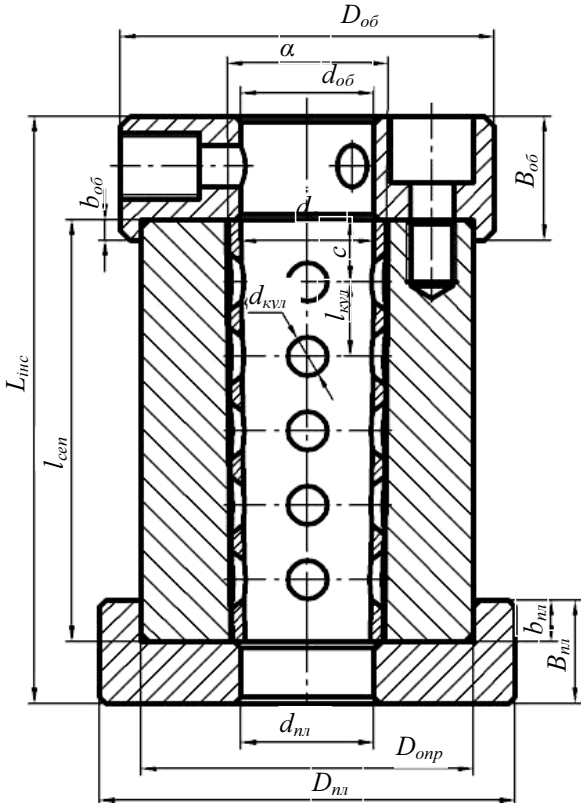


Рисунок 3 – Пристрій для оброблення напівкруглих канавок шліцьових валів



Рисунок 4 – Експериментальні дослідження з визначення зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів на гідравлічному пресі мод. П6320

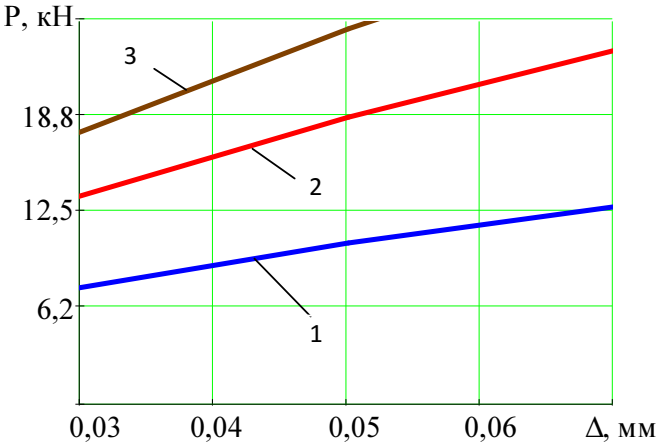
Робота пристрою для калібрування напівкруглих канавок шліцьових валів здійснюється наступним чином. Пуансон 13 піднімається у верхнє крайнє положення (на кресленні не показано). Вмикають систему змащення відкриванням мастильного крана 19 і здійснюють регулювання величини його подачі. Вал 4 встановлюється в направляючу втулку 12 і орієнтується так, щоб напівкруглі канавки були у взаємодії з твердосплавними калібруючи ми кульками 7. Після цього пуансон 13 опускається вниз разом з шліцьовим валом 4 і здійснюється технологічний процес обробки канавок.

Після калібрування готові деталі збирають в тару 14 і відправляють в необхідне місце.

Якщо напівкруглі канавки на валу шліцьовому 4 є не наскрізні то після технологічного процесу пуансон 13 піднімається вверх і шліцьовий вал 4 піднімають вверх відомим способом і складують в тару.

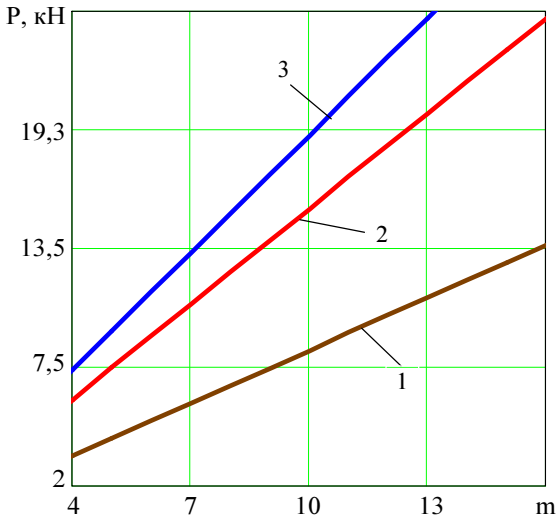
Для підтвердження основних теоретичних викладок, які відносяться до встановлення закономірностей зміни зусилля дорнування заготовок із матеріалів: сталь 45, сталь 40ХН, сталь 20Х від величини припуску на одну кульку, глибини канавки та кількості одночасно профілюючих кульок проведено лабораторні експериментальні дослідження.

Величини припуску на одну кульку Δ, мм змінювали від 0,01 до 0,07 з інтервалом 0,03. Глибини канавки h, мм змінювали від 2 до 8 з інтервалом 3. Кількість одночасно профілюючих кульок m змінювали від 4 до 14 з інтервалом 5.



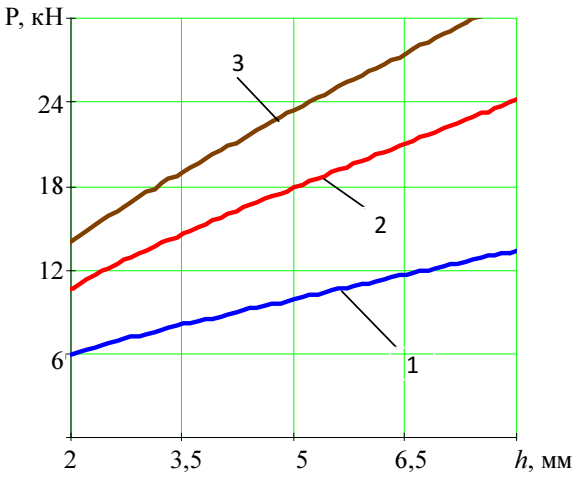
1 – Сталь 45; 2 – Сталь 40ХН; 3 – Сталь 20Х

Рисунок 5 – Залежність зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від припуску (R = 6,35; h = 5 мм; m = 8; μ = 0,2)



1 – Сталь 45; 2 – Сталь 40ХН; 3 – Сталь 20Х

Рисунок 6 – Залежність зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від кількості одночасно працюючих кульок (R = 6,35; h = 5 мм; Δ = 0,03 мм; μ = 0,2)



1 – Сталь 45; 2 – Сталь 40ХН; 3 – Сталь 20Х

Рисунок 7 – Залежність зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів від глибини канавки: (R = 6,35; Δ = 0,03 мм; m = 12; μ = 0,2)

Аналіз графіків показав залежність зусилля дорнування напівкруглих канавок від припуску, кількості одночасно профілюючих кульок і глибини канавки. При цьому встановлено, що матеріал канавки вала має значний вплив на зміну зусилля дорнування.

Список літератури

1. Розенберг А.М. и др. Расчет силы протягивания отверстий твердосплавной деформирующей протяжкой. «Наукова думка», Киев, 1975. – 55 с.
2. Папшев Д.Д. Упрочнение деталей обработкой шариками. «Машиностроение», М., 1968. – 132с.
3. Дзюра В.О. Технологічне забезпечення виготовлення внутрішніх півкруглих шліцевих канавок: дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Дзюра Володимир Олексійович. – Тернопіль., 2007. – 158 с.
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. «Наука», М., 1971. – 283с.

В.Дзюра, В.Крук, О.Шевчук

Результаты экспериментальных исследований усилия дорнования полукруглых канавок шлицевых валов

Приведены результаты экспериментальных исследований усилия дорнования полукруглых канавок шлицевых валов шариковыми дорнуючими инструментами при их изготовлении и восстановлении. Установлены зависимости усилия дорнования от конструктивных и технологических параметров.

V. Dzyura, V. Kruk, O .Shevchuk

Results of experimental researches of effort mandrelling the half-round ditches of the groove billows

The results of experimental researches of effort of burnishing of half-round ditches of groove billows are resulted by ball-shaped mandrell instruments at their making and renewal. Dependences of mandrelling effort are set on structural and technological parameters.

Одержано 27.04.10

УДК 621.3.08:581.12

Ю.М. Куценко, доц., канд. техн. наук
Таврійський державний агротехнологічний університет

Аналіз якості роботи електронної системи контролю дихання рослин

В роботі проведено аналіз якості роботи системи контролю параметрів дихання рослин, визначені коефіцієнти передачі лінійної системи ЧАП. Проведений аналіз якості роботи електронної системи вказує, що оптимальний коефіцієнт передачі лінійної системи ЧАП складає, $5 \cdot 10^5$, а помилка від дії внутрішніх шумів знаходиться в межах 0,018 рад^2.
діелектрична проникність газового середовища, дихання рослин, система частотного автопідстроювання

Постановка проблеми. В електронних системах вимірювання змін діелектричної проникності (ДП) газового середовища рослин системи перетворення частоти будуються на основі систем частотного автопідстроювання частоти (ЧАП). При аналізі динаміки таких систем слід враховувати наступні обставини: чутливість вимірювань до 10^{-6} для величини $\Delta\varepsilon'$ ставить підвищені вимоги як до короткочасної нестабільності частоти генератора до 10^{-7}–10^{-8}, так і до величини коефіцієнта підстроювання $k_{ЧАП}$ системи ЧАП, який має бути достатньо великим (10^5–10^6).

У ряді випадків за допомогою простої лінійної статичної системи ЧАП необхідне значення коефіцієнта $k_{ЧАП}$ реалізовувати не вдається, оскільки не виконується умова стійкості.

Тому виникає необхідність застосування астатичних систем ЧАП. Для збільшення стійкого коефіцієнта ЧАП при запізнюванні необхідно, щоб постійна часу фільтра амплітудно-фазового детектора була значно більше часу запізнювання, проте її збільшення обмежується заданою швидкодією системи [1].

Аналіз останніх досліджень. Для електронної статичної системи ЧАП (рис. 1) необхідна величина $k_{ЧАП}$ визначається із співвідношення

$$k_{ЧАП} \geq \frac{\Delta f}{\Delta f_{МАКС}}\ , \qquad (1)$$

де Δf – початковий розлад вимірювального перетворювача (його максимальна величина дорівнює напівширині смуги пропускання системи резонатора);

$\Delta f_{МАКС}$ – максимально допустиме абсолютне відхилення частоти генератора.

Для повної і всебічної оцінки системи ЧАП необхідно досліджувати такі показники, як ступінь стійкості системи, характер перехідного процесу, тривалість перехідного процесу, перерегулювання, статистичну і динамічну помилки [2]. Оцінити вказані показники системи можна в результаті вирішення диференціального рівняння, що описує перехідні процеси. Безпосереднє вирішення рівнянь пов'язане з великими труднощами [3]:

- рівняння, що точно описують поведінку реальних систем, є нелінійними високого порядку і точного рішення не мають;
- для забезпечення потрібної якості регулювання доводиться вибирати параметри проектованої системи, а не досліджувати вже готову систему.

Вказані обставини примушують користуватися спрощеною моделлю і удаватися до наближених методів, які спричиняють зниження точності, а іноді і глибоке спотворення отримуваних оцінок.

© Ю.М. Куценко, 2010

Формулювання цілей статті. Метою є аналіз структурно-динамічних систем частотного автопідстроювання частоти та вибір параметрів системи АПЧ, при якому мінімізується помилка стеження частоти генератора за зміною частоти ІР.

Основна частина. Для аналізу структурно-динамічних систем ЧАП використовуємо імітаційну модель на основі математичного опису досліджуваної системи, яка дозволяє прогнозувати хід досліджуваних процесів в проектованому об'єкті за заданих умов функціонування, підвищити точність і надійність рішення задачі, документованість отриманих результатів [4]. Для аналізу застосовується пакет моделювання безперервних процесів (ПМБП), який містить набір обчислювальних програм, орієнтованих на аналіз руху систем, що описуються диференціальними рівняннями. За допомогою пакету ПМБП можна моделювати процеси, що описуються структурно-динамічними схемами або системою диференціальних рівнянь. Для вирішення вказаних завднь в пакеті є базовий набір обчислювальних засобів, що дозволяють моделювати процеси в елементарних динамічних ланках, типових нелінійностях, логічних пристроях [5]. Цей метод дозволяє досліджувати лінійні, нелінійні, дискретні і нестаціонарні системи з детермінованими сигналами. Побудову моделі починають з розбиття досліджуваної системи на елементи і виділення зв'язків між ними. При цьому істотне значення мають лише ті властивості елемента, які впливають на його взаємодію з іншими елементами системи.

Як початкову інформацію, необхідну для складання відповідного фрагмента програми, розглянемо структурно-динамічну схему на рис. 1.

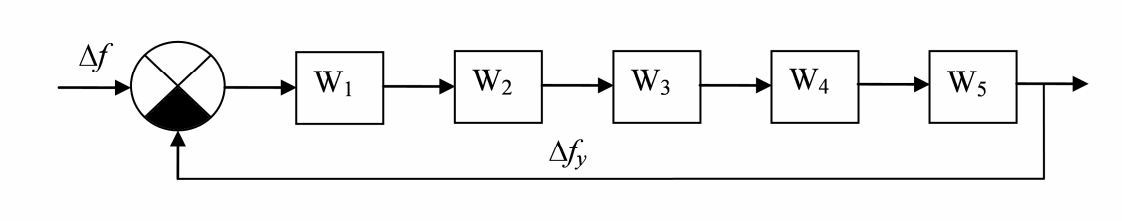


Рисунок 1- Структурно-динамічна схема лінійної системи ЧАП

Аналіз проводитимемо в припущенні, що відхилення частоти, викликані досліджуваним газом, лежать в межах лінійної області характеристик елемента, що управляє, і дискримінатора. На рисунку 1 резонатор представлений суматором, на входи якого надходять сигнали Δf_y і Δf. Сигнал Δf визначає зміни резонансної частоти резонатора при змінах дійсної складової ДП газу, а Δf_y – зміну частоти генератора. Решту ланцюга регулювання системи ЧАП можна представити із з'єднань рядуаперіодичних і безінерційних ланок. Передавальна функція вимірювального резонатора (ІР), що виконує роль дискримінатора як елемента ланцюга регулювання, в операційній формі запишеться у вигляді аперіодичної ланки

$$W_1(P) = \frac{k_{ИР}}{1 + T_{ИР} P}, \qquad (2)$$

де $k_{ИР}$ – крутизна характеристики ІП, величина якої визначається добротністю вживаного резонатора;

$T_{ИР}$ – постійна часу, що визначається співвідношенням;

Q_o – добротність навантаженого резонатора;

ω_p – власна частота резонатора.

Вибірний підсилювач можна розглядати у вигляді аперіодичної ланки для ІП на основі відкритих резонаторів, передавальна функція якого має вигляд

$$W_2(P) = \frac{k_y}{1 + T_y P} \quad , \qquad (3)$$

де k_y – коефіцієнт посилення підсилювача;

T_y – постійна часу підсилювача.

Інерційність підсилювача обумовлена вибраною частотою модуляції і вимогам до вибірковості за другою гармонікою. Частота модуляції Ω_M не повинна перевищувати половини ширини смуги пропускання резонатора, а вибірковість має бути не менше 40 дБ [1].

Враховуючи вищевикладене, постійну часу вибірного підсилювача можна визначити з виразу [2]

$$T_y = n\frac{\alpha_\Delta}{\pi}\frac{1}{\Pi}, \tag{4}$$

де n – число каскадів;

α_Δ – функція, залежна від типу каскадів підсилювача;

$П$ – смуга пропускання підсилювача.

Передавальна функція амплітудно-фазового детектора залежить від параметрів фільтру на виході детектора і має вигляд

$$W_3(P) = \frac{k_{фД}}{1 + T_{фД}P}, \tag{5}$$

де $T_{фД}$ – постійна часу фільтра;

$k_{фД}$ – коефіцієнт передачі, в кращому випадку рівний 1.

Підсилювач постійного струму є безінерційним елементом з передавальною функцією вигляду

$$W_4(P) = k_{УПТ}. \tag{6}$$

Пристрій електронного підстроювання частоти генератора в лінійній системі ЧАП слід розглядати безінерційною ланкою з передавальною функцією

$$W_5(P) = k_{УЭ}. \tag{7}$$

Програмний опис системи за допомогою засобів мови ПМНП є адекватним відображенням структурно-динамічної схеми (рисунок 1).

На рис. 2 показана приведена структурно-динамічна схема.

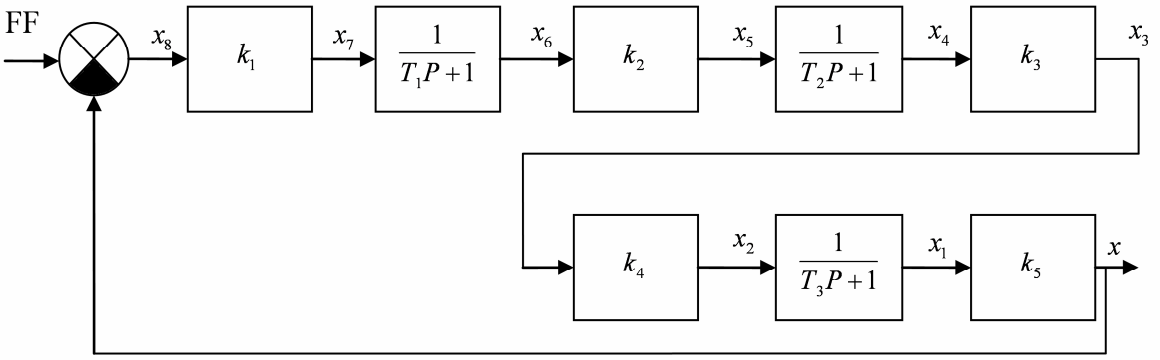


Рисунок 2 - Приведена структурно-динамічна схема лінійної системи

Маючи приведену структурно-динамічну схему, був досліджений перехідний процес системи ЧАП. Параметри системи ЧАП визначали за показниками якості перехідного процесу: коливання $n = 1...2$; величина перерегулювання 10...20%, час встановлення перехідного процесу.

Аналіз перехідних процесів показав, що поставленим вимогам відповідає система з параметрами, перехідний процес, який наведений на рис. 3.

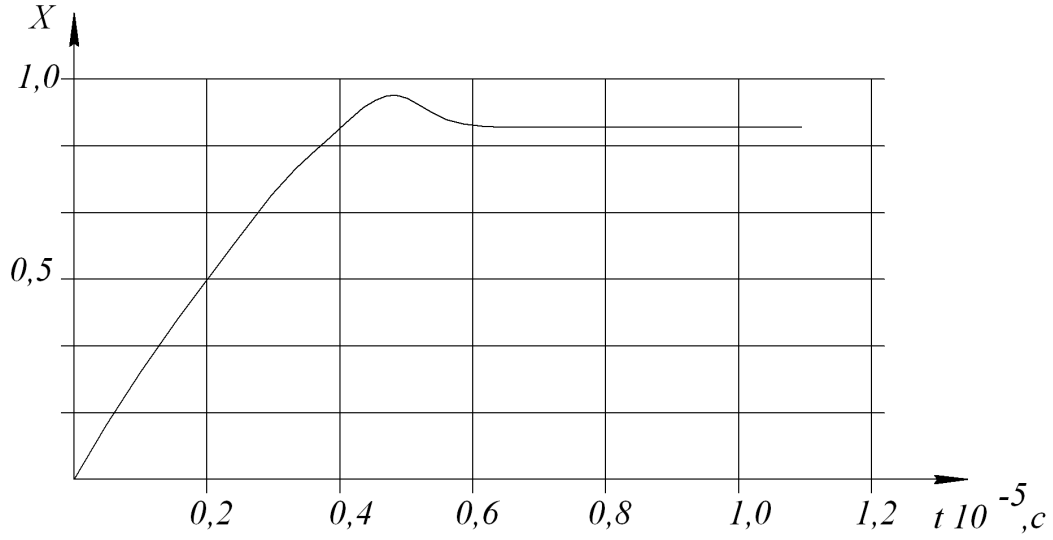


Рисунок 3 - Крива перехідного процесу для параметрів

Система з параметрами: $k_1 = 10^{-7}$В/Гц; $k_2 = 10^2$; $k_3 = 1$; $k_4 = 10^2$; $k_5 = 10^8$В/Гц; $T_1=10^{-7}$с; $T_2=10^{-6}$с; T_3 = 0,1 с, забезпечує час встановлення перехідного процесу $t_y=0{,}8 \cdot 10^{-5}$ с, величину перерегулювання менше 10%, а коефіцієнт передачі системи задовольняє умова (1).

У електронній системі ЧАП в сталому режимі слід враховувати помилку відтворення заданої дії і помилку, створювану внутрішніми обуреннями.

При коефіцієнті передачі системи ЧАП в межах $10^5...10^6$ помилкою відтворення можна знехтувати, а ступінь точності вимірювання ДП газового середовища рослин визначатиметься дією внутрішніх шумів системи [1].

Проте, підвищення точності вимірювання ДП газу електронною системою ЧАП шляхом збільшення передавального коефіцієнта потребує додаткових заходів для забезпечення достатнього запасу стійкості. Це викликає необхідність компромісного рішення при визначенні параметрів ЧАП.

Методи аналізу детермінованих і випадкових процесів дозволяють вирішувати завдання по зниженню впливу внутрішніх шумів системи АПЧ на точність вимірювання ДП газу [1,6,7].

Мірою точності системи може бути середньоквадратичне відхилення частоти кварцевого генератора [8]. Середнє значення помилки може бути визначене за відомою функцією $R(\tau)$ або спектральною щільністю, відповідною випадковій збурюючій дії з нормальним законом розподілу

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{\infty} S(\Omega)d\Omega, \qquad (8)$$

де $S(\Omega)$ – спектральна щільність, відповідна випадковому процесу.

У слідкуючій лінійній системі спектральна щільність помилки залежить від спектральної перешкоди $S_\xi(\Omega)$ і передавальної функції системи по відношенню до збурюючої дії [1,3]

$$S(\Omega) = |W(j\Omega)|^2 S_\zeta(\Omega). \qquad (9)$$

Точність даної системи ЧАП (рисунок 2) обмежена шумом детектора ІП і шумами першого каскаду вибірного посилення. Дисперсія помилки від перешкоди на вході вибірного підсилювача повинна задовольняти вимогу

$$\sigma^2 << \sigma^2_{доп} = 0{,}02\,рад^2 . \qquad (10)$$

Як видно із структурно-динамічної схеми (рисунок 2), передавальна функція замкнутої системи для перешкоди, що діє на вході підсилювача, визначається виразом:

$$W_\xi(P) = \frac{W_2(P)W_3(P)W_4(P)W_5(P)}{1+W_1(P)W_2(P)W_3(P)W_4(P)W_5(P)} = \\ = \frac{(T_{ИР}P+1)k_y k_{фД} k_{УПТ} k_{УЭ}}{(T_{ИР}P+1)(T_y P+1)(T_{фД}P+1)+k_{ИР}k_y k_{фД} k_{УПТ} k_{УЭ}} \qquad (11)$$

Враховуючи, що ширина спектру перешкоди значно більше еквівалентної смуги пропускання системи ЧАП, спектральну щільність перешкоди можна вважати за величину постійну

$$S_\xi(0) = 4kTR_П , \qquad (12)$$

де k – постійна Больцмана;

T – температура в градусах Кельвіна;

$R_П$ – еквівалентний шумовий опір.

Тоді дисперсія помилки системи ЧАП визначатиметься виразом

$$\sigma^2 = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\left|\frac{(T_{ИП}j\Omega+1)k_y k_{фД} k_{УМН} k_{УЭ}}{(T_{ИП}j\Omega+1)(T_y j\Omega+1)(T_{фД}j\Omega+1)+k_0}\right|^2 S_\xi(0)d\Omega , \qquad (13)$$

де $k_0 = k_{ИР}k_y k_{фД} k_{УЭ}$

Використовуючи рівність Парсеваля [7-11]:

$$\overline{Y}^2 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{\infty} Y^2(j\Omega)d\Omega = \frac{1}{2\pi}\int_{-j\infty}^{j\infty} Y(P)Y(-P)dP , \qquad (14)$$

і враховуючи, що

$$Y(P) = \frac{C_m P^m + C_{m-1}P^{m-1} + \ldots + C_0}{d_n P^n + d_{n-1}P^{n-1} + \ldots + d_0} . \qquad (15)$$

Вирішення для дисперсії помилки при $m \le n-1$ запишемо у вигляді

$$C_1 = k_y \cdot k_{фД} \cdot k_{УПТ} \cdot k_{УЭ} \cdot T_{ИР} ; \qquad (16)$$

$$C_0 = k_y \cdot k_{фД} \cdot k_{УПТ} \cdot k_{УЭ} ; \qquad (17)$$

$$d_2 = T_{ИР}T_{фД} + T_y T_{ИР} + T_y T_{ФД} ; \qquad (18)$$

$$d_3 = T_{ИР} \cdot T_y \cdot T_{фД} ; \qquad (19)$$

$$d_1 = T_{ИР} + T_y + T_{фД} ; \qquad (20)$$

$$d_0 = 1 + k_{ИР} \cdot k_y \cdot k_{фД} \cdot k_{УПТ} \cdot k_{УЭ} \approx k_0 . \qquad (21)$$

Враховуючи C_2=0, остаточно запишемо

$$\sigma^2 = \frac{C_1^2 d_0 + C_0^2 d_2}{2d_0(d_1 d_2 - d_0 d_3)} S_\xi(0) . \qquad (22)$$

Для знаходження оптимального значення для, k_o продиференціюємо отриманий вираз (22) за k_0 і прирівняємо похідну нулю

$$\frac{\partial\sigma^2}{\partial k_0} = T_{ИР}^2 d_3 k_0^2 + 2d_2 d_3 k_0 - d_2^2 d_1 = 0 . \qquad (23)$$

Висновок. Проведений аналіз якості роботи електронної системи вказує, що оптимальний коефіцієнт передачі лінійної системи ЧАП складає, $5 \cdot 10^5$, а помилка від дії внутрішніх шумів знаходиться в межах 0,018 рад^2.

Список літератури

1. Норенков И.П. Введение в автоматизированное проектирование устройств и систем / И.П.Норенков - М.: Высш. шк., 1980. - 310 с.
2. Руководство по проектированию систем автоматического управления / Под рук. В.А.Бескерского - М.: Высш. шк., 1980. - 310 с.
3. Статистический анализ и оптимизация следящих систем [наук. ред. А.В. Поцелуева] - М.: Машиностроение, 1977. - 360 с.
4. Стандарты частоты и времени на основе квантовых генераторов и дискриминаторов / А.И.Пихтелев, А.А.Ульянов, Б.П.Фатеев. - М.: Сов. Радио, 1978. - 304 с.
5. Конструирование и расчет полосковых устройств / [Голубев В.И., Ковалев И.С., Кузнецов Е.Г. и др.]; под ред. И.С. Ковалева - М.: Сов. радио, 1974. - 295 с.
6. Иванов М.А. Оптимизация нелинейных инерционных систем при случайных воздействиях / М.А.Иванов, А.М.Султанов, А.Д.Черенков - Харьков: 1984. - 10 с. - Деп. в ВИНИТИ 23.05.1984, №3525-84.
7. Коваленко В.Ф. Введение в электронику свервысоких частот / В.Ф.Коваленко - М.: Сов. радио, 1974. - 295 с.
8. Пихтелев А.И. Стандарты частоты и времени на основе квантовых генераторов и дискриминаторов / А.И.Пихтелев, А.А.Ульянов, Б.П.Фатеев. - М.: Сов. Радио, 1978. - 304 с.
9. V. Prabhu. Noise performance of abrupt – junction varaktor frequency multipliers// Proc. IEEE. - 1966. - V.54, № 2. - p. 285.
10. О минимальном уровне амплітудного шума генераторов на ЛПД / В.М.Вальд-Перлов, Л.С.Сибирцев, А.С.Тигер // Радиотехника и электротехника - 1977. - Т. 22. - № 10. - С. 2186-2189.

Ю. Куценко

Анализ качества работы электронной системы контроля дыхания растений

В статье выполнен анализ качества работы системи контроля параметров дыхання растений, определены коэффициенты передачи линейной системи ЧАП. Данный анализ качества работы электронной системы показывает, что оптимальный коэффициент передачи линейной системы ЧАП составляет $5 \cdot 10^5$, а ошибка от влияния внутренних шумов находится в пределах 0,018 рад^2.

U. Kucenko

The analysis of quality of work of the electronic monitoring system of breath of plants

In the paper the analysis of the quality of the control system parameters of respiration of plants, defined transfer coefficients of the linear system frequency automatic frequency. The given analysis of quality of work of electronic system shows that the optimum factor of transfer of linear system CHAP makes 5•105, and the error from influence of internal noise is in limits 0,018 рад2.

Одержано 27.04.10

УДК 621.891

С.І. Маркович, канд. техн. наук, Ю.В.Рябоволик, асп., С.А. Глушаков, магістр.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження впливу фретінг-зношування на довговічність картера коробки передач з розробкою технології його відновлення

В статті проаналізовано умови експлуатації картерів коробок передач, показана лінійна залежність інтенсивності зношування спряженнь обійм підшипників з картером та валами в міру напрацювання, експериментально встановлена залежність зносу отворів картера від пробігу автомобіля, запропонована технологія відновлення отворів під підшипники та встановлена залежність стійкості до фретінг-зношування відновлених поверхонь в залежності від питомого навантаження
картер, зношування, фретинг-зношування

При експлуатації картери коробок передач автомобілів КамАЗ підлягають впливу різноманітних механічних навантажень, ударам, вібраціям, акустичним шумам та ін. Джерелом цих навантажень можуть бути, як робочі процеси, які відбуваються, так і попадання пилу, продуктів зношування, вплив знакозмінних динамічних навантажень. В процесі експлуатації відбувається постійне перемикання передач коробки з осьовими переміщеннями валів, особливо вторинного (веденого). Це приводить до виникнення осьових коливань підшипників і внаслідок фретінг-зношування до втрати нерухомого характеру посадки їх обойм в картері або на валах. Одночасно відбуваються і радіальні коливання валів під дією дизбалансу зчеплення, карданного валу. Ці коливання також викликають фретінг–зношування в сполученнях підшипників з картером і валами, що приводять до втрати нерухомого характеру цих сполучень.

Після втрати нерухомості сполучення інтенсивно зростають радіальні зазори валів, що істотно порушує умови зачеплення зубів шестерень, перемикання передач. Зростає інтенсивність підвищення кутових зазорів за рахунок зношування елементів шліцьових сполучень. Це у свою чергу інтенсифікує зростання осьових зазорів. У цьому і виявляється взаємний вплив технічного стану елементів коробки передач в процесі експлуатації. Це повинно враховуватися при призначенні нормативів ремонту коробки передач (періодичність, об'єм робіт, показники технічного стану).

Згідно технічних вимог можна встановити, що номінальні розміри отворів під підшипники в картері значно збільшені до 0,04 мм. в порівнянні з розмірами, що забезпечують оптимальний натяг в спряженні. Це очевидно обумовлено для забезпечення можливості складання механізму в умовах замкненого простору і відсутності належного доступу і на нашу думку є конструктивним недоліком. Цей недолік і забезпечує відносне незначне переміщення контактуючих поверхонь, що і сприяє виникненню фретінг-корозії.

Сполучення коробки передач, як і більшість сполучень трансмісії можна віднести до динамічно навантаженим по класифікації професора Ф.Н. Авдонькіна. У таких сполученнях інтенсивність зношування деталей у міру зношування збільшується по лінійній залежності [1]

$$\alpha = \alpha_0 + b\Delta S\,, \qquad (1)$$

© С.І. Маркович, Ю.В.Рябоволик, С.А. Глушаков, 2010

де α_0 – інтенсивність зношування деталі в кінці припрацювання, приведена на початок експлуатації;

b - зміна інтенсивності зношування на одиницю зносу;

ΔS - знос деталі.

Відповідно до рівняння (1), величина зносу деталей S і зазорів між ними зростає по експоненціальній залежності

$$S=S_0e^{bl}, \qquad (2)$$

де S_0 - знос в кінці припрацювання, приведений на початок експлуатації.

З урахуванням залежностей (1) і (2) інтенсивність зношування із зростанням напрацювання *l* зростає також по експоненціальній залежності

$$\alpha = \alpha_0 e^{bl} . \qquad (3)$$

Сполученнями коробки передач, що найбільш зношуються, є сполучення зовнішніх обойм підшипників первинного і вторинного валів з картером коробки. У початковому стані ці сполучення нерухомі.

Проте, внаслідок дії вібрацій від дисбалансу валів і шестерень і дії радіальних навантажень змінного характеру відбувається фретинг – зношування. При певному ступені руйнування поверхні посадочних отворів картера на деякому напрацюванні $l_н$ втрачається нерухомість сполучення і спостерігається вже тертя ковзання з мастилом. Оскільки чавунний картер КП має меншу твердість ніж обойма підшипника, то він зношується в більшій степені. Сполучення це можна віднести до динамічно навантажених, тому знос посадочного отвору в процесі експлуатації змінюється по експоненціальній залежності (3). Проте тут необхідно враховувати, що до напрацювання $l_н$ знос практично був рівний нулю, тому залежність (3) прийме вигляд

$$S = S_0 e^{b(l-l_н)} , \qquad (4)$$

яка визначена при $l > l_н$.

Окрім радіального зносу посадочних отворів унаслідок дії бічних (міжосьових) сил спостерігається їх нерівномірне зношування. Зона найбільшого зносу розташовується убік, протилежну розташуванню проміжного валу. В результаті цього порушується співвісність посадочних отворів, що необхідно враховувати при розробці технології відновлення картера.

Перевірку приведених теоретичних виразів проводили на основі аналізу вимірів індикаторним нутроміром отворів картеру з різним рівнем пробігу. На основі вимірів встановлена залежність зносу отворів від пробігу автомобіля, що відображена на рисунку 1.

Як видно з приведеного графіка зношування є доволі інтенсивним, причому отвори первинного та вторинного вала зношуються інтенсивніше ніж отвори проміжного вала, що на нашу думку і обумовлено зазначеними вище факторами фретінг-зношування

Для відновлення спряження застосовувалась технологія електродугового напилення внутрішніх покриттів з застосуванням обладнання та матеріалів, розроблених згідно [2,3]

Перевірку зразків проводили за методикою [4] на установці МФК-1 для випробування на фретінг-корозію при амплітуді A = 0,05 мм, частоті f = 30 гц та кількості циклів $N = 0{,}5 \cdot 10^3$ цикл при навантаженні P до 50 МПа. Дослідження проводили на циліндричних зразках з нанесеним на торець покриттям. Контрольним зразком слугував циліндр з чавуну СЧ-21.

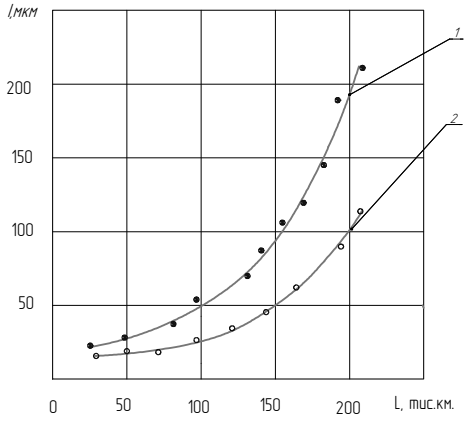
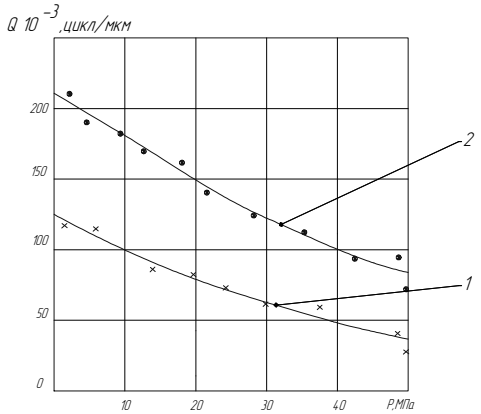


Рисунок 1 – Залежність спрацювання отворів картера коробки передач під підшипники первинного і вторинного валів (1), проміжного вала (2) від пробігу автомобіля КамАЗ

Аналізуючи отримані залежності можна відмітити, що у поверхонь, зміцнених вказаними методами, підвищується зносостійкість в умовах фретінг-корозії, причому більшою мірою позитивний ефект виявляється в області відносних невисоких питомих навантажень (рис.2).

Збільшення зносостійкості поверхонь, можна пояснити наявністю зміцнюючих часток в композиційному покритті, а також наявністю залишкової напруги стиснення в поверхневому шарі.



1 — зразок з чавуну СЧ-21; 2 - зразок зміцнений електродуговим напиленням

Рисунок 2 - Залежність стійкості до фретінг-зношування поверхонь в залежності від питомого навантаження при A = 0,05 мм, f = 30 гц, N = 0,5•10^3 цикл

Знос зразка з напиленням в порівнянні з контрольним зразком зменшився в 2,13 рази, що дозволяє рекомендувати технологію для впровадження в виробництво.

Список літератури

1. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей [Учебное пособие для ВУЗов] /Авдонькин Ф. Н. - М.: Транспорт, 1985, 215 с.
2. Пат. №42414 (Україна) МПК(2009) В23К 35/24.Порошковий дріт для одержання відновних електродугових покриттів, придатних до обробки лезовим інструментом / Похмурський В.І., Студент М.М., Маркович С.І., Мажейка О.Й., Рябоволик Ю.В. (Україна).№200813016; Заяв. 10.11.2008. Опубл. 10.07.09. Бюл. №13
3. Пат. №46176 (Україна) МПК(2009) В05В 7/00. Розпилювальна головка електрометалізатора для нанесення металевих покриттів на внутрішні циліндричні поверхні / Похмурський В.І., Студент М.М., Маркович С.І. , Мажейка О.Й., Рябоволик Ю.В. (Україна).№200906437; Заяв. 19.06.2009. Опубл. 10.12.09. Бюл. №23
4. Голего Н.Л. Фретинг-корозия металов / Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Шевеля В.В. – К.: Техніка, 1974, 272 с.

С. Маркович, Ю.Рябоволик, С.Глушаков

Исследование влияния фретинг-изнашивания на долговечность картера коробки передач с разработкой технологии его востановления

В статье проанализированы условия эксплуатации картеров коробок передач, показана линейная зависимость интенсивности изнашивания сопряжений обойм подшипников с картером и валами в меру наработки, экспериментально установлена зависимость износа отверстий картера от пробега автомобиля, предложена технология востановления отверстий под подшипники и установлена зависимость стойкости к фретинг-изнашиванию восстановленых поверхностей в зависимости от удельной загрузки.

S.Markovich, Ju.Ryabovolik, S.Glushakov

Research of influence of fretting wear on longevity of crankcase of gear-box is with development of technology of his renewal

External of crankcases of gear-boxes environments are analysed in the article, cauldron linear dependence of intensity of wear of interfaces of holders of bearings with a crankcase and billows to the extent of work, dependence of wear of openings of crankcase is experimentally set on the run of car, technology of the proceeding openings is offered under bearings and dependence of firmness is set to the fretting wear of surfaces depending on the specific loading.

Одержано 29.04.10

УДК 6.31

В.І.Рубльов, проф., д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Види характерних небезпечних дефектів і їх вплив на пріоритети робіт по поліпшенню безпеки сільськогосподарської техніки

Складена класифікація видів небезпечних дефектів сільськогосподарської техніки. Визначені їх пріоритети. Найбільш небезпечними є характерні дефекти, які належать до: видив небезпеки, що пов'язані з рухом, видив механічної небезпечності та видив небезпечності створені через відсутність (тимчасово) та/або невірне розташування засобів безпеки. Спрямована робота по ліквідації вищевказаних видив і, в першу чергу, причин механічної небезпечності, дозволяє зменшити небезпечність техніки до двох разів.

безпека, небезпечні дефекти, класифікація, види небезпеки; сільськогосподарська техніка; пріоритети; стандарти

Велика кількість нещасних випадків у сільському господарстві і на дорогах вказує на необхідність крім їх реєстрації визначитися з пріоритетами причин, які їх створюють.

Важливим показником, якій оцінюється при сертифікаційних випробуваннях сільськогосподарської техніки (далі «СГТ») є забезпечення безпеки людини. Вимоги до безпечності машин викладені в Державних стандартах України, які гармонізовані з стандартами EN, і літературі [1 – 5].

На основі аналізу існуючих нормативних документів і спостережень доцільне визначитися з пріоритетами причин, які створюють небезпечні ситуації. Це дозволить цілеспрямовано діяти для їх зменшення.

Для формування класифікації видів небезпечності СГТ та визначення пріоритетів причин виникнення нещасних випадків був виконаний морфологічний аналіз існуючих нормативних документів з побудовою матриці [6]. Складена матриця містить декілька граф.

© В.І.Рубльов, 2010

В статье проанализированы условия эксплуатации картеров коробок передач, показана линейная зависимость интенсивности изнашивания сопряжений обойм подшипников с картером и валами в меру наработки, экспериментально установлена зависимость износа отверстий картера от пробега автомобиля, предложена технология востановления отверстий под подшипники и установлена зависимость стойкости к фретинг-изнашиванию восстановленых поверхностей в зависимости от удельной загрузки.

S.Markovich, Ju.Ryabovolik, S.Glushakov

Research of influence of fretting wear on longevity of crankcase of gear-box is with development of technology of his renewal

External of crankcases of gear-boxes environments are analysed in the article, cauldron linear dependence of intensity of wear of interfaces of holders of bearings with a crankcase and billows to the extent of work, dependence of wear of openings of crankcase is experimentally set on the run of car, technology of the proceeding openings is offered under bearings and dependence of firmness is set to the fretting wear of surfaces depending on the specific loading.

Одержано 29.04.10

УДК 6.31

В.І.Рубльов, проф., д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Види характерних небезпечних дефектів і їх вплив на пріоритети робіт по поліпшенню безпеки сільськогосподарської техніки

Складена класифікація видів небезпечних дефектів сільськогосподарської техніки. Визначені їх пріоритети. Найбільш небезпечними є характерні дефекти, які належать до: видив небезпеки, що пов'язані з рухом, видив механічної небезпечності та видив небезпечності створені через відсутність (тимчасово) та/або невірне розташування засобів безпеки. Спрямована робота по ліквідації вищевказаних видив і, в першу чергу, причин механічної небезпечності, дозволяє зменшити небезпечність техніки до двох разів.

безпека, небезпечні дефекти, класифікація, види небезпеки; сільськогосподарська техніка; пріоритети; стандарти

Велика кількість нещасних випадків у сільському господарстві і на дорогах вказує на необхідність крім їх реєстрації визначитися з пріоритетами причин, які їх створюють.

Важливим показником, якій оцінюється при сертифікаційних випробуваннях сільськогосподарської техніки (далі «СГТ») є забезпечення безпеки людини. Вимоги до безпечності машин викладені в Державних стандартах України, які гармонізовані з стандартами EN, і літературі [1 – 5].

На основі аналізу існуючих нормативних документів і спостережень доцільне визначитися з пріоритетами причин, які створюють небезпечні ситуації. Це дозволить цілеспрямовано діяти для їх зменшення.

Для формування класифікації видів небезпечності СГТ та визначення пріоритетів причин виникнення нещасних випадків був виконаний морфологічний аналіз існуючих нормативних документів з побудовою матриці [6]. Складена матриця містить декілька граф.

© В.І.Рубльов, 2010

В графе 1 наведений номер, в графі 2 - перелік видив небезпеки, в графі 3 вказана кількість показників, що характерні для кожного з них, в графі 4 – пріоритети видив небезпеки.

Результати досліджень на основі аналізу і виконаних спостережень вказують, що характерні небезпечні дефекти з урахуванням положень ДСТУ EN 632-2001 доцільно класифікувати по наступних видах (табл.. 1, рис1):

– види механічної небезпечності;
– види електричної небезпечності;
– види теплової небезпечності;
– види небезпечності, створені шумом;
– види небезпечності, створені вібрацією;
– види небезпечності, створені випромінюванням;
– види небезпечності, створені технологічними матеріалами;
– види небезпечності, створені нехтуванням ергономічних принципів під час проектування;
– види небезпечності, створені поєднанням видів небезпеки;
– види небезпечності, створені відмовою подачі енергії, поломкою деталей машин та іншими функціональними порушеннями;
– види небезпечності, створені через відсутність (тимчасово) та/або невірне розташування засобів безпеки;
– види небезпеки, пов’язані з рухом.

Пріоритети видив небезпечності розподіляються наступним чином:

Перше місце (17 показників причин небезпеки) - види небезпеки, пов’язані з рухом.

Друге місце (9 показників причин небезпеки) - види механічної небезпечності.

Таблиця 1 – Класифікація видів небезпечних дефектів і розподіл їх пріоритетів

№ п/п	Види небезпечних дефектів	Кількість показників причин небезпеки / %	Пріоритети видів небезпеки
1	Види механічної небезпечності	9 / 12,0	2
2	Види електричної небезпечності	4 / 5,3	6
3	Види теплової небезпечності	3 / 4,0	7
4	Види небезпечності, створені шумом	2 / 2,7	8
5	Види небезпечності, створені вібрацією	5 /6,7	5
6	Види небезпечності, створені випромінюванням	4 / 5,3	6
7	Види небезпечності, створені технологічними матеріалами	4 / 5,3	6
8	Види небезпечності, створені нехтуванням ергономічних принципів під час проектування	7 / 9,3	4
9	Види небезпечності, створені поєднанням видів небезпеки	7 / 9,3	4
10	Види небезпечності, створені відмовою подачі енергії, поломкою деталей машин та іншими функціональними порушеннями	5 / 6,7	5
11	Види небезпечності, створені через відсутність (тимчасово) та/або не-вірне розташування засобів безпеки	8 / 10,7	3
12	Види небезпеки, пов’язані з рухом	17 / 22,7	1
	Всього	75 / 100	

Трете місце (8 показників причин небезпеки) - види небезпечності, створені через відсутність (тимчасово) та/або невірне розташування засобів безпеки.

Четверте місце (7 показників причин небезпеки) - види небезпечності, створені нехтуванням ергономічних принципів під час проектування та види небезпечності, створені поєднанням видів небезпеки.

П'яте місце (5 показників причин небезпеки) - види небезпечності, створені вібрацією, та види небезпечності, створені відмовою подачі енергії, поломкою деталей машин та іншими функціональними порушеннями.

Шосте місце (4 показника причин небезпеки) - види електричної небезпечності; види небезпечності, створені випромінюванням, та види небезпечності, створені технологічними матеріалами.

Сьоме місце (3 показника причин небезпеки) - види електричної небезпечності та види теплової небезпечності.

Восьме місце (2 показника причин небезпеки) - види небезпечності, створені шумом.

Небезпека, пов'язана з рухом, створюється наступними причинами (табл.1, рис. 1):

– невідповідне освітлення робочої зони;

– раптовий рух, нестійкість і так інше під час керування;

– невідповідне (неергономічне) оформлення робочого місця водія;

- вплив навколишнього середовища (контакт з рухомими елементами, відпрацьованими газами і т. ін.);

- недостатнья видимість з місця водія;

– незручна посадка (індексна точка сидіння);

– невідповідне (не ергономічне) компонування органів керування;

– здатність до запуску (руху) механізмів;

– рухомість механізмів;

– рух машин, керованих іншим оператором;

– механічна небезпека для неуважних осіб, створювана неконтрольованим рухом;

– механічна небезпека, створювана відривом та/або викидом деталей машини;

– механічна небезпека, створювана перекиданням (відхил від граничної маси — ВГМ);

– механічна небезпека, створювана падінням об'єктів (ВГМ);

– механічна небезпека від невідповідних засобів доступу;

– механічна небезпека, створювана буксируванням, зчеплюванням, з'єднуванням, передачею і т. ін.;

– механічна небезпека, створювана акумуляторами, вогнем, виділеннями пилу та газу і т. ін.

Механічна небезпека, створюється наступними 9 причинами (табл.1, рис. 1):

– недосконалою формою;

– відносним розташуванням;

– масою та стійкістю (потенційною енергією елементів);

– масою та швидкістю (кінетичною енергією елементів);

– недостатньою механічною міцністю;

– акумулюванням потенційної енергії;

– пружними елементами (пружинами);

– рідинами або газами під тиском;

– вакуумом частин машини або технологічного матеріалу.

Види прояви механічної небезпечності наступні:

– защемлення;

– поріз чи відруб;

– заплутування;

– втягування або захват;

– удар;

– укол чи прокол;
– розтирання чи садини;
– викид рідини під високим тиском;
– викид часток (обладнання і технологічного (оброблюваного) матеріалу);
– втрата стійкості (обладнання і частин машини);
– ковзання, спотикання і падіння, створювана машиною через механічну сутність.

Види небезпечності при відсутності (тимчасово) та/або невірном розташуванні засобів безпеки створені 8 причинами (табл.1, рис. 1):
– захисних пристроїв усіх видив;
– обладнання усіх видив, яке застосовується як захисні пристрої;
– пускового і зупинного пристроїв, знаків і сигналів безпеки, інформаційних чи попереджувальних символів усіх видів;
– пристроїв для вимикання електроенергії;
– засобів подачі (знятгя) оброблюваних заготовок;
– основного обладнання і допоміжних засобів для безпечного регу-лювання та /або технічного обслуговування;
– обладнання для відведення газів тощо.

Види небезпечності при нехтуваннях ергономічних принципів під час проектування створені 7 причинами (табл.1, рис. 1):
– небезпека, створювана нехтуваниям ергономічних принципів під час проекту-вання машини (невідповідність обладнаиня можливостям людини), які спричиняють;
– неадекватне сприйняття анатомії руки - плеча чи ноги - ступні людини;
– нехтування особистим захистом;
– невідповідне освітлення ділянки;
– розумове перевантаження чи непродумана дія, стрес і т. ін.;
– похибка оператора.

Види небезпечності при поєднанні видів небезпеки створені 7 причинами (табл.1, рис. 1):
– механічною небезпечністю;
– електричною небезпечністю;
– тепловою небезпечністю;
– небезпечністю, створеною шумом;
– небезпечністю, створеною вібрацією;
– небезпечністю, створеною технологічними матеріалами;
– небезпечністю, створеною нехтуванням ергономічних принципів під час проектування.

Види небезпечності від вібрації створені 5 причинами (табл.1, рис. 1):
– вібрацією під час роботи з ручними машинами;
– вібрацією під час роботи стаціонарних машин;
– вібрацією під час роботи мобільних машин;
– дисбаланс деталей, які обертаються;
– відсутність амортизаційних пристроїв.

Види прояви небезпечності від вібрації наступні:
– неврологічні і судинні розлади;
– порушення кровообігу;
– хвороби суглобів;
– люмбаго;
– ішиас тощо.

Види небезпечності від відмови подачі енергії, поломки деталей машин та інших функціональних порушень створені 5 причинами (табл.1, рис. 1):
– зникнення енергії (у мережі та/або колах керування);

– несподіваний викид деталей машин або рідин;
– відмова, розлад системи керування (несподіваний пуск, рознос);
– похибки монтажу;
– перекидання через несподівану втрату стійкості машини.

Види електричної небезпечності створені 4 причинами (табл.1, рис. 1):
– електричний контакт (прямий або непрямий);
– електростатичні явища;
– теплові випромінення, викид розплавлених часток та хімічний вплив від коротких замикань, перевантаження і т. ін.;
– зовнішний вплив на електрообладнання.

Види небезпечності від випромінення, створені 4 причинами (табл.1, рис. 1):
– електричними дугами, лазерами, джерелами іонізівного випромінення;
– електромагнітними полями високої частоти;
– джерелами іонізованого випромінення;
– електромагнітними полями високої частоти, створюваними машинами.

Види небезпечності від технологічних матеріалів створені 4 причинами (табл.1, рис. 1):
– матеріали і речовини, яки переробляються, використовуються або викидаються машиною;
– контакт зі шкідливими рідинами або вдихання газів, туману, парів та пилу;
– пожежі та вибух;
– біологічна та мікробіологічна (вірусна чи бактеріальна) небезпека.

Види теплової небезпечності створені 3 причинами (табл.1, рис. 1):
– контакт з полум'ям чи вибухом;
– випромінення теплових джерел;
– вплив гарячого або холодного робочого середовища.

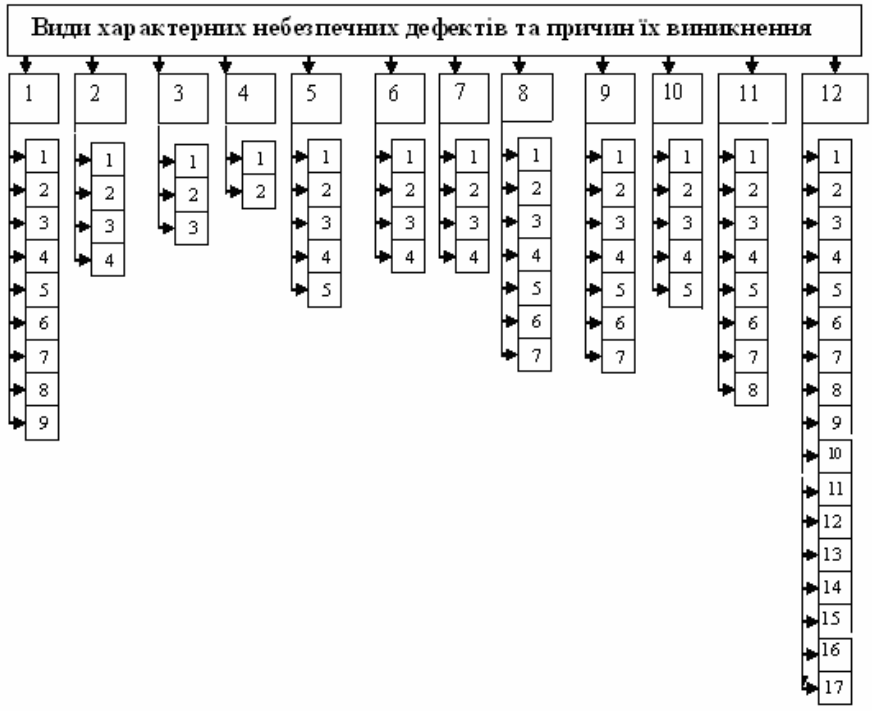
Види прояви теплової небезпечності наступні:
– опіків полум'ям чи вибухом, а також випроміненням теплових джерел;
– завдання шкоди здоровю від впливу гарячого або холодного робочого середовища.

Види небезпечності від шуму створені 2 причинами (табл.1, рис. 1):
– підвищений рівень шуму на робочому місці;
– відсутність засобів ізоляції шуму.

Види прояви небезпечності від шуму наступні:
– втрата слуху (глухота), інши фізіологічні розлади (наприклад, втрата рівноваги, зниження уваги);
– завади мовного зв'язку, акустичних сигналів і т. ін.

Аналіз характерних дефектів, що впливають на небезпечність СГТ, доцільно виконувати з використанням нормативних документів. Опис нормованих причин характерних видив дефектів вказує, що при визначеної кількості причин (9 найменувань: позиція 1 табл.1 і рис. 1) видив механічної безпеки їх кількість збільшується на 7 найменувань за рахунок причин механічної безпеки СГТ при її русі (позиція 12 табл.1 і рис. 1). В цілому кількість причин механічної безпеки складає 16 найменувань. Це вказує на доцільність пріоритетів робіт по запобіганню впливу причин видив механічної безпеки на безпечність СГТ.

По результатах роботи встановлено, що найбільш небезпечними є характерні дефекти, які належать до: видив небезпеки, які пов'язані з рухом, видив механічної небезпечності та видив небезпечності, що створені через відсутність (тимчасово) та/або невірне розташування засобів безпеки (табл. 1, рис.1). Кількість причин видив небезпеки по цих позиціях складає 45% від загальної їх кількості.



1-12 (по горизонталі) - види небезпечних дефектів; 1-17 (по вертикалі) – причини виникнення видів небезпечних дефектів

Рисунок 1 - Класифікація видив характерних небезпечних дефектів та причин їх виникнення.

На основі синтезу причин небезпечності по першої і другої позицій видно, що механічна небезпека найбільш розповсюджена. Кількість причин, які її створюють складає 16 найменувань, або 47% причин безпечності цих позицій. Кількість причин механічної небезпеки, які пов'язані з рухом, (позиція 1) складають 7 найменувань, а по видах механічної небезпечності (позиція 2) – 9. Спрямована робота по ліквідації тільки вищевказаних видив і, в першу чергу, причин механічної небезпечності, дозволяє зменшити небезпечність техніки до двох разів.

Список літератури

1. ДСТУ EN 632 – 2001 Сільськогосподарські машин. Комбайни зернозбиральні та сіно (фуражо) підбирачі. Вимоги безпеки. К.: Держстандарт України, 2001.-16 с.
2. ДСТУ EN 292 – 1 – 2001 Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 1. Основна термінологія, методологія. К.: Держстандарт України, 2001. - 22 с.
3. ДСТУ EN ДСТУ EN 292 – 2 – 2001 Безпечність машин. Основні поняття, загальні принципи проектування. Частина 2. Технічні принципи та технічні умови. К.: Держстандарт України, 2001. - 24 с.
4. ГОСТ ССБТ 12.2.002-81. Техника сельскохозяйственная. Методи оценки безопасности.
5. Лехман С.Д., Рублёв В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Навч. посібник для студентів ВУЗів. К.: Урожай, 1993.- 272 с
6. Рублёв В.И., Судакова Т.В., Саклакова Е.В. Основы научных исследований в области экономики и управления на транспорте. Учебное пособие. Сев.Кав.ГТУ, г. Ставрополь, 2003.-200 с.

В.Рублёв

Виды характерних опасных дефектов и их влияние на приоритеты работ по улучшению безопасности сельскохозяйственной техники

Составлена классификация видов опасных дефектов сельскохозяйственной техники. Определены их приоритеты. Наиболее опасными являются характерные дефекты, которые принадлежат к: видам опасности, что связаны с движением, видам механической опасности и видам опасности, возникающим из-за отсутствия (временно) и/или неверного расположения средств безопасности. Направленная работа по ликвидации

вышеуказанных видов и, в первую очередь, причин механической опасности, позволяет уменьшить опасность техники до двух раз.

V. Rublov

Types of characteristic dangerous defects and their influence on priorities of works on the improvement of safety of agricultural technique

Classification of types of dangerous defects of agricultural technique is made. Their priorities are certain. Characteristic defects which belong to are most dangerous: to the types of danger, that is related to motion, to the types of mechanical danger and types of danger, arising up because of absence (temporally) and/or incorrect location of facilities of safety. Directed work on liquidation of foregoing prospects and, above all things, reasons of mechanical danger, allows to decrease the danger of technique to two times.

Одержано 28.04.10

УДК 6.31.3

В.І.Рубльов, **проф., д-р техн. наук**
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Альтернативний статистичний контроль як вид діагностичних методів оцінки сільськогосподарської техніки

Показане значення статистичних методів і наведена класифікація альтернативного контролю сільськогосподарської техніки. Розроблені правила статистичного контролю по альтернативній ознаці Для зменшення суб'єктивності контролю зовнішніх видових показників розроблені методи візуальної оцінки і еталонів найхарактерніших дефектів шляхом їх опису з використанням фотографічних методів.
Сформульовані направлення реалізації альтернативного статистичного контролю при діагностуванні сільськогосподарської техніки.

статистичний контроль, класифікація, альтернативний контроль, якість, діагностика, сільськогосподарська техніка

Альтернатива (від лат. alter — один з двох) означає — кожна з можливостей, що виключають один одну. Контроль по альтернативній ознаці – це контроль по якісній ознаці, в ході якого кожну перевірену, одиницю продукції відносять до категорії годних або дефектних. При альтернативній перевірці придатності не ставиться задача визначення дійсного значення параметра, а лише встановлюється факт відповідності параметра контрольному нормативу. Цей вид контролю найбільш застосовний для оцінки якості продукції масового виробництва, до якої відноситься і продукція сільськогосподарського машинобудування.

Проблема при оцінці якості сільськогосподарської техніки - у використанні альтернативного контролю для діагностування статистичними методами якості окремих партій виробів, технологічних процесів і виробництва у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказує, що у практиці оцінки якості використовуються різноманітні методи альтернативного контролю, який як визнаний вид

© В.І.Рубльов, 2010

вышеуказанных видов и, в первую очередь, причин механической опасности, позволяет уменьшить опасность техники до двух раз.

V. Rublov

Types of characteristic dangerous defects and their influence on priorities of works on the improvement of safety of agricultural technique

Classification of types of dangerous defects of agricultural technique is made. Their priorities are certain. Characteristic defects which belong to are most dangerous: to the types of danger, that is related to motion, to the types of mechanical danger and types of danger, arising up because of absence (temporally) and/or incorrect location of facilities of safety. Directed work on liquidation of foregoing prospects and, above all things, reasons of mechanical danger, allows to decrease the danger of technique to two times.

Одержано 28.04.10

УДК 6.31.3

В.І.Рубльов, **проф., д-р техн. наук**
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Альтернативний статистичний контроль як вид діагностичних методів оцінки сільськогосподарської техніки

Показане значення статистичних методів і наведена класифікація альтернативного контролю сільськогосподарської техніки. Розроблені правила статистичного контролю по альтернативній ознаці Для зменшення суб'єктивності контролю зовнішніх видових показників розроблені методи візуальної оцінки і еталонів найхарактерніших дефектів шляхом їх опису з використанням фотографічних методів.
Сформульовані направлення реалізації альтернативного статистичного контролю при діагностуванні сільськогосподарської техніки.

статистичний контроль, класифікація, альтернативний контроль, якість, діагностика, сільськогосподарська техніка

Альтернатива (від лат. alter — один з двох) означає — кожна з можливостей, що виключають один одну. Контроль по альтернативній ознаці – це контроль по якісній ознаці, в ході якого кожну перевірену, одиницю продукції відносять до категорії годних або дефектних. При альтернативній перевірці придатності не ставиться задача визначення дійсного значення параметра, а лише встановлюється факт відповідності параметра контрольному нормативу. Цей вид контролю найбільш застосовний для оцінки якості продукції масового виробництва, до якої відноситься і продукція сільськогосподарського машинобудування.

Проблема при оцінці якості сільськогосподарської техніки - у використанні альтернативного контролю для діагностування статистичними методами якості окремих партій виробів, технологічних процесів і виробництва у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій вказує, що у практиці оцінки якості використовуються різноманітні методи альтернативного контролю, який як визнаний вид

© В.І.Рубльов, 2010

контролю розглядається в міждержавному стандарті ГОСТ 18242-72 (СТ СЭВ 548-77, 1673-79). Якість продукції. Статистичний приймальний контроль по альтернативній ознаці. Плани контролю [1]. В основному описані методи альтернативного контролю якості виробу за геометричними показниками [2] і майже відсутній опис альтернативного контролю за зовнішніми показниками. Відсутність єдності сприйняття принципів організації альтернативного контролю сільськогосподарської техніки (далі „СГТ") створює основу для спірних ситуацій у взаємостосунках її виробника і споживача. Особливо це стає проблематичним при виході виробників СГТ на міжнародний ринок.

Мета роботи полягала в розробці правил статистичного контролю СГТ по альтернативній ознаці і класифікації альтернативного контролю з урахуванням його реалізації при оцінці і діагностуванні її якості .

При виконанні роботи був використаний метод морфологічного аналізу [3] для обґрунтування видів альтернативного контролю і методів оцінки показників СГТ.

Результати досліджень і морфологічного аналізу дозволили розробити класифікацію показників якості СГТ, які можна контролювати по альтернативній ознаці. Алгоритм статистичного приймального контролю якості СГТ наведений на рис.1.

Класифікація показників якості СГТ, які можна контролювати по альтернативній ознаці представлена на рис.2-5. Класифікація показників, контрольованих по альтернативній ознаці, в загальному вигляді представлена двома групами методів оцінки показників характерних для СГТ: органолептичні і геометричні [4]. На рис. 3 показана класифікація методів оцінки зовнішних показників, контрольованих по альтернативній ознаці методами візуальної оцінки, дотику, на слух і контактним (на дотик). Вона носить значною мірою суб'єктивний характер. Проте, при наборі статистичних даних за даними альтернативного контролю зовнішних видових показників можна виходити на кількісну оцінку наявності дефектних виробів в партії при їх аналізі [4 - 8]. Для зменшення суб'єктивності контролю зовнішних видових показників важливе значення має розробка методів візуальної оцінки і еталонує найхарактерніших дефектів шляхом їх опису з використанням фотографічних методів. Така робота раніше була виконана і оформлена у вигляді методичних рекомендацій і еталонів характерних дефектів. Вона знайшла широке застосування при вхідному контролі СГТ у споживача [4-8]. В даний час досягнуті результати на основі наявного досвіду вимагають доробки у зв'язку із зміною видів машин, технологій їх виробництва і виготівників.

Альтернативний контроль геометричних показників може бути елементним або комплексним; одно- і багатовимірним; неавтоматичним, механізованим, напівавтоматичним, автоматичним; пасивним або активним. Він здійснюється вимірювальними засобами, спеціально призначеними для цієї мети; може виконуватися окремими вимірювальними засобами або з використанням спеціальних вимірювальних пристосувань, установок, систем. Класифікація видів перевірки геометричних показників при альтернативному контролі представлена на рис.4. Схема класифікації засобів вимірювань геометричних показників, контрольованих при альтернативному контролі дана на рис.5. Засоби вимірювань геометричних показників, контрольованих при альтернативному контролі відповідно до їх класифікації (на рис.5) розподіляються на заходи (1) і вимірювальні пристрої (2). Засоби (1) розподіляються на три підгрупи: калібри (1.1), з постійним значенням контрольованого показника (1.2) і із змінним значенням контрольованого показника (1.3).

Калібри розподіляються відповідно до цифрового позначення (рис.4) на нормальні (1.1.1), граничні (1.1.2), контрольні (1.1.3), настановні (1.1.4) і спеціальні (1.1.5). Засоби з постійним значенням контрольованого показника розподіляються на плоскопаралельні кінцеві засоби (1.2.1), кутові засоби (1.2.2) і набори приладдя (1.2.3). Засоби із змінним значенням контрольованого показника розподіляються на штрихові метри (1.3.1), рулетки (1.3.2), масштабні лінійки (1.3.3) і лімби (1.3.4).

Вимірювальні пристрої (2) розподіляються на універсальні пристрої (2.1), прості вимірювальні пристрої (2.2) і спеціальні (2.3). Універсальні пристрої розподіляються на вимірювальні прилади шкальні з покажчиками меж сортування або придатності (2.1.1), активного контролю (2.1.2), перетворювачі (2.1.3) і датчики (2.1.4). Вимірювальні при-строї прості розподіляються на щупи (2.2.1), лінійки лекальні (2.2.2), косинці лекальні (2.2.3) і штангенінструмент (2.2.4). Спеціальні вимірювальні пристрої представлені вимірювальними приладами (2.3.1), вимірювальними пристосуваннями (2.3.2), вимірю-вальними установками (2.3.3), вимірювальними системами (2.3.4), напівавтоматами (2.3.5) і автоматами (2.3.6).

При альтернативній перевірці геометричних показників найбільш ширше використовуються калібри. Більшість видів і конструкцій калібрів стандартизовано. Плоскопараллельні кінцеві заходи і кутові заходи з приладдям до них застосовується при контролі деталей одиничного і дрібносерійного виробництва по методу двох

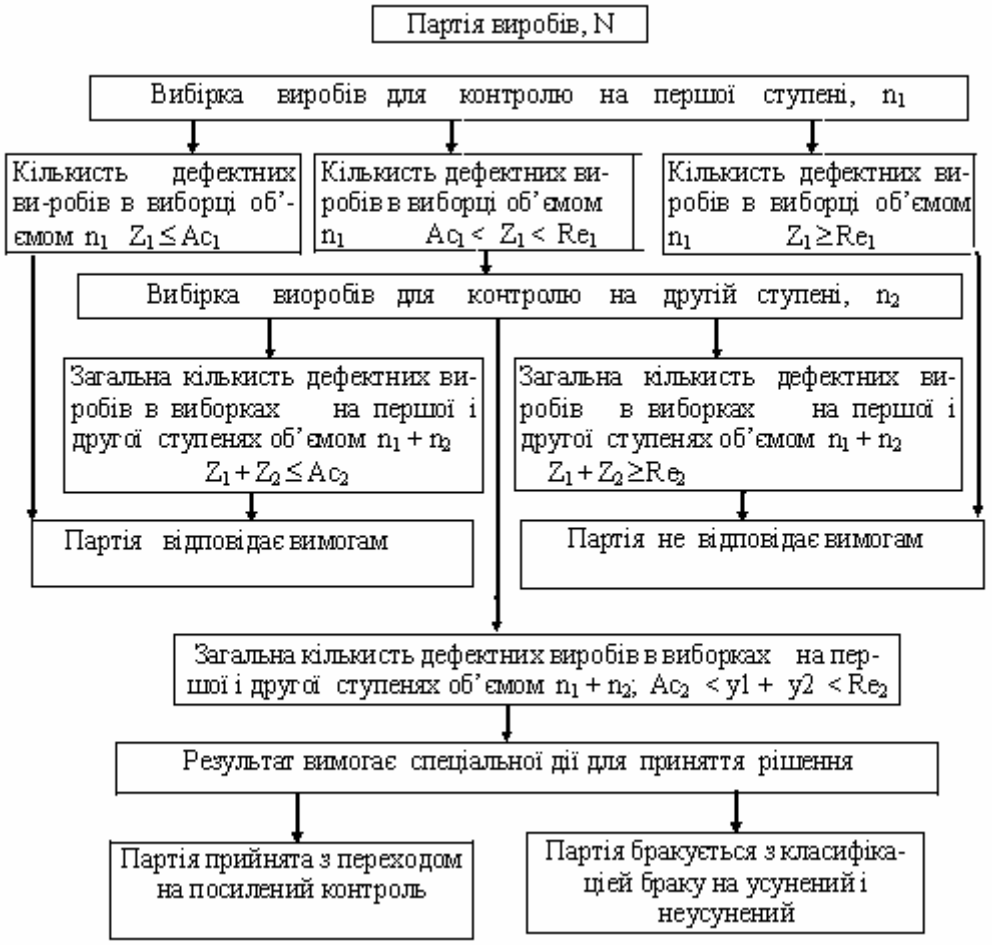


Рисунок 1 - Схема двохступінчастого статистичного контролю партії виробів при поставці з міжальтернативним рішенням при $Ac2 < y1+y2 < R_{e2}$

граничної альтернативної перевірки: для встановлення придатності калібрів-скоб; для настройки на розмір регульованих скоб, засобів вимірювання і т.д.

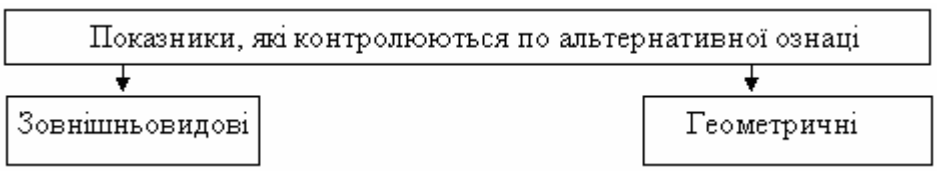


Рисунок 2 - Класифікація показників, контрольованих по альтернативної ознаці

Методи використовування для цілей альтернативного контролю універсальних і спеціальних вимірювальних пристроїв мало відрізняються від методів застосування цих пристроїв для вимірювань і освітлюються в літературі. В більшості випадків при побудові схеми контролю лінійних розмірів виробів калібрами використовується метод двох граничної системи перевірки. Жодна точка реальної поверхні не повинна виходити за межі граничних контурів (Dпр — Dне; dпр —dне). Слід враховувати, що на якість контролю калібрами в значній мірі впливають суб'єктивні особливості контролера. Досвід показує, що погрішність контролю при цьому може досягти 6—20 %, а у ряді випадків — до 30 %.

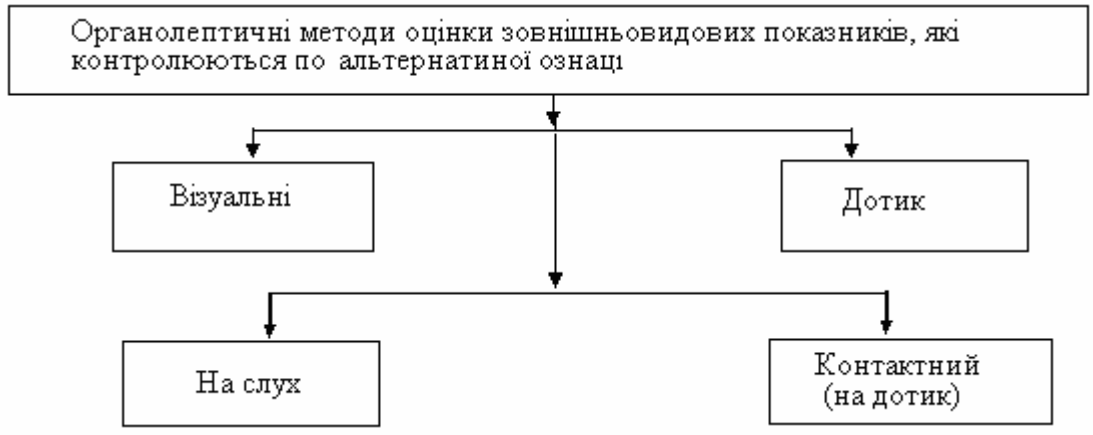


Рисунок 3 - Класифікація методів оцінки зовнішних видових показників, контрольованих по альтернативній ознаці

Враховуючи ці особливості контролю калібрами, в промисловості прагнуть обмежувати застосування калібрів для перевірки параметрів, до точності яких пред'являються високі вимоги. При оцінці з високою точністю застосовують спеціальні пристрої.

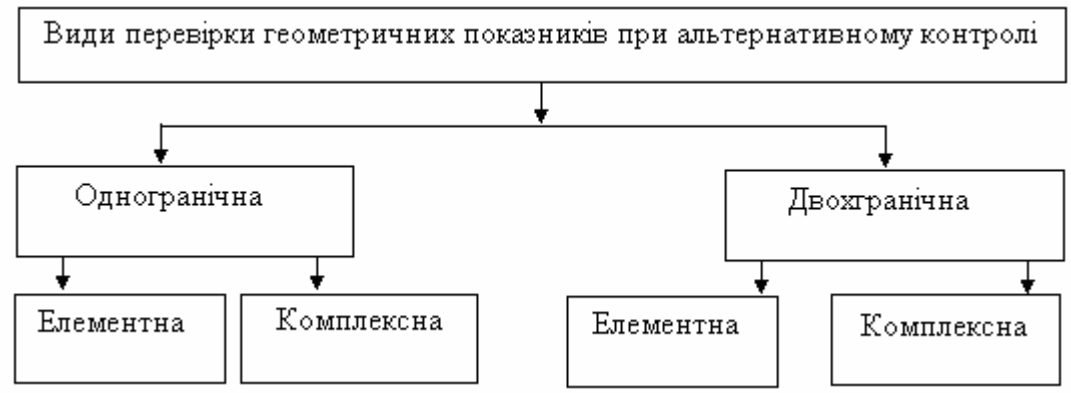


Рисунок 4 - Класифікація видів перевірки геометричних показників при альтернативному контролі

Крім того, при контролі виробів калібрами слід враховувати вплив температурних і силових деформацій калібрів і деталей, особливо якщо матеріали калібру і деталі різні. Наприклад, при контролі деталі з алюмінієвого сплаву діаметром 100 мм, при температурі деталі +40 °С і температурі калібру +20 °С погрішність контролю складе приблизно 0,05 мм. При контролі валів діаметрами від 20 до 50 мм листовими скобами сумарна деформація скоби і контрольованого виробу може досягати 0,009—0,018 мм [2]. Враховуючи вищезгадане, при конструюванні калібрів завжди слідує особлива увага обертати на їх

жорсткість. Прохідні калібри за формою робочих поверхонь необхідно максимально наближати до форми поверхні, що сполучається (прототип деталі, що сполучається).

Вимірювальні поверхні непрохідних калібрів повинні бути якомога коротше і по можливості забезпечувати при контролі контакт по лінії або крапці Особливо важливо дотримувати це правило при контролі елементів складних профілів - різьбових, шліцьових і т. п., для яких виконується комплексна перевірка відповідності елементу, що перевіряється, сумарному полю допуску.

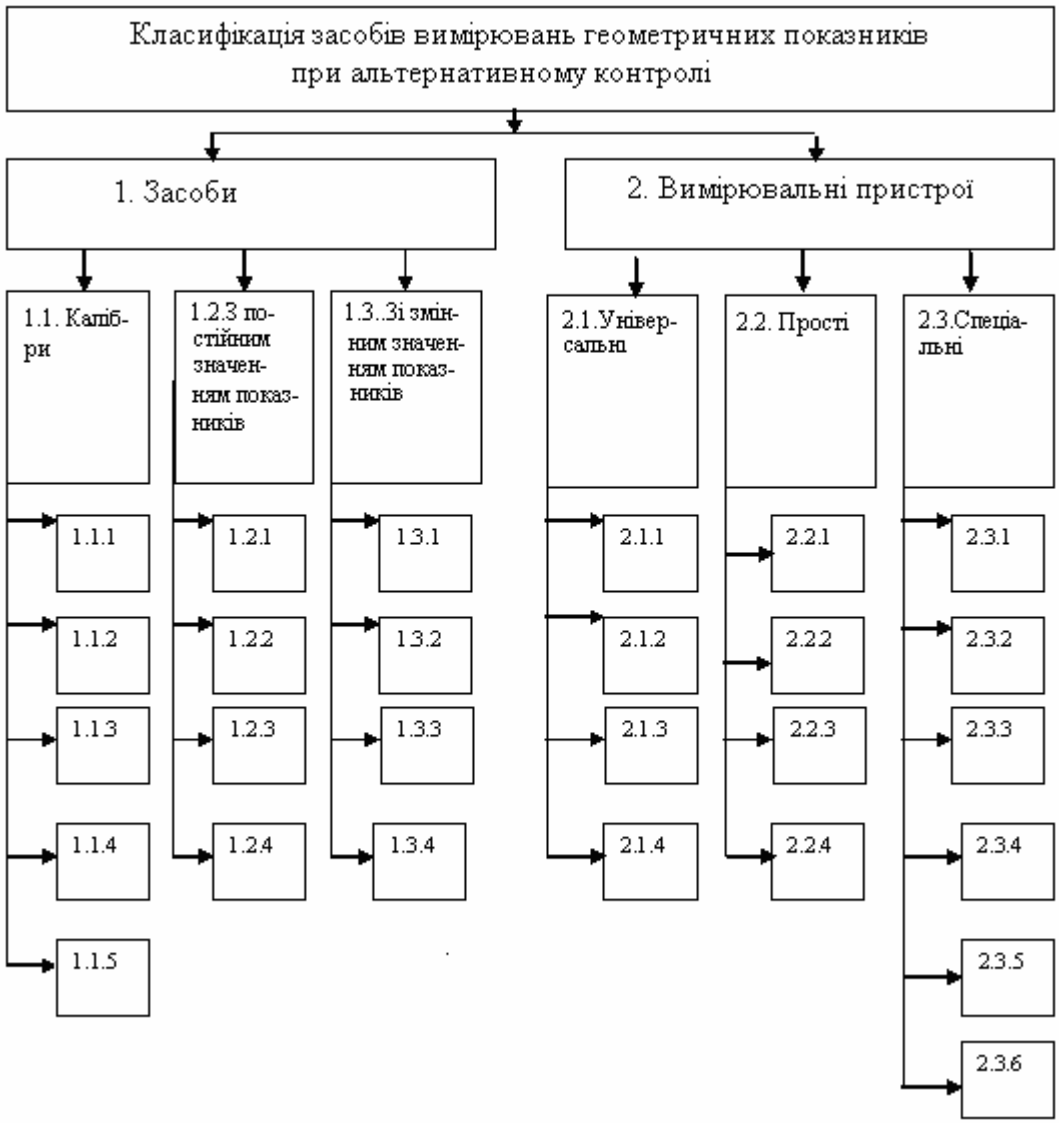


Рисунок 5 - Схема класифікації засобів вимірювань геометричних показників, контрольованих при альтернативному контролі. Позначення приведені в тексті.

Результати роботи дозволяють встановити наступне:

1.Розроблені правила статистичного контролю СГТ по альтернативній ознаці, які доцільно використовувати щодо прогнозування її якості при масовому виробництві, а також для її діагностування. Наведена схема двохступінчастого статистичного контролю партії виробів при поставці з міжальтернативним рішенням при $Ac2 < y1+y2 < R_{e2}$ для випадку проведення контролю додаткової вибірки або ухвалення рішення на основі контролю попередніх партій виробів і оцінки стану їх виробництва.

2.Для зменшення суб'єктивності контролю зовнішніх видових показників розроблені методи візуальної оцінки і еталонів найхарактерніших дефектів шляхом їх опису з

використанням фотографічних методів. Одержані результати вимагають доробки існуючих методів оцінки у зв'язку із зміною видів машин, технологій їх виробництва і виготівників.

3.Приводиться схема класифікації засобів вимірювань геометричних показників, контрольованих при альтернативному контролі. Засоби вимірювань геометричних показників, контрольованих при альтернативному контролі відповідно до їх класифікації розподіляються на засоби і вимірювальні пристрої. У свою чергу засоби діляться на 3 групи, кожна з яких на 13 окремих видів. Вимірювальні пристрої також діляться на 3 групи, кожна з яких на 14 окремих видів.

Список літератури

1. ГОСТ 18242-72 (СТ СЭВ 548-77, 1673-79). Качество продукции. Статистический приемочный контроль по альтернативному признаку. Планы контроля.
2. Балонкина И.И., Кутай А.К., Сорочкин Б.М., Тайц Б.А. Точность и производственный контроль в машиностроении. Под общей ред. А.К.Кутая, Б.М. Сорочкина.-Л.: Машиностроение, 1983.- 368 с., ил.
3. Рублёв В.И., Судакова Т.В., Саклакова Е.В. Основы научных ис-следований в области экономики и управления на транспорте// Учебное пособие. Ставрополь: Изд-во СевКавГТУ, 2003. – 200 с.
4. Рублёв В.И. Особливості контролю якості сільгосптехніки при поставці і шляхи його реалізації.К.:Зб.наук.пр. НАУ “Механізація с.-г. виробництва”.- 1998.-Т.4. - С. 148-153.
5. Рублёв В.И. Результати статистичного контролю, як джерело прогнозування якоті виробів. К.: Зб.наук пр. НАУ “Вісник НАУ”. -2000.- № 24.-С.214-218.
6. Рублёв В.И., Баженов О.Є.Характерні дефекти лакофарбового покриття сільськогосподарської техніки. Техніка АПК.- №7.- 2000.-С.8-9.
7. Рублёв В.И. Нормативно-технічне забезпечення ефективності приймального конт-ролю. Тернопіль:Зб.наук.пр.“Вісник Тернопільського держ. тех. ун-ту”.-2000-№ 1-С. 103-107.
8. Рублёв В.И., Баженов А.Е. Нормативное и методическое обеспечение альтерна-тивного контроля качества зерноуборочных комбайнов. Люблін-К.: Видав. НАУ.-Механізація і енергетика с.-г.- 2003 .-Т. VI.-С.371-378.

В.Рублёв

Альтернативный статистический контроль как вид диагностических методов оценки сельскохозяйственной техники

Показано значение статистических методов и приведена классификация альтернативного контроля сельскохозяйственной техники. Разработаны правила статистического контроля по альтернативному признаку. Для уменьшения субъективности контроля внешних видовых показателей разработаны методы визуальной оценки и эталоны наиболее характерных дефектов путем их описания с использованием фотографических методов. Сформулированы направления реализации альтернативного статистического контроля при диагностике сельскохозяйственной техники.

V. Rublov

Alternative statistical control as type of diagnostic methods of estimation of agricultural technique

The value of statistical methods is shown and classification of alternative control of agricultural technique is resulted. The rules of statistical control are developed on an alternative sign. For diminishment of subjectivity of control of external specific indexes the methods of visual estimation and standards of the most characteristic defects by their description with the use of photographic methods are developed. Directions of realization of alternative statistical control at diagnostics of agricultural technique are formulated.

Одержано 27.04.10

УДК.678.057.74

В.Я. Чабанний, проф., канд. техн. наук, І.М. Соколенко, доц., канд. техн. наук,
М.В. Онолов, магістрант, О.М. Кальченко, студент
Кіровоградський національний технічний університет

Аналіз технології нанесення полімерних матеріалів у вузлах тертя сільськогосподарських машин

В роботі визначені оптимальні технологічні режими нанесення тонкошарових покриттів: температура розплаву – 523 ºК; час витримки плунжера під тиском – 20 с; питомий тиск розплаву 30 МН/м^2; температура нагрівання деталі – 523 ºК; температура нагрівання пресформи – 363 ºК. Виявлений режим термічної обробки, дозволяє одержувати максимальні значення мікротвердості; межі міцності при розтягу та міцність зчеплення тонкошарових покриттів. Найбільш сприятливим середовищем термічної обробки є масло МС-20: температура – 433 ºК; час ізотермічної витримки в маслі – 2,88·10^3 с; швидкість охолодження – 0,7·10^{-2} град/с.
лиття під тиском, розплав полімеру, термічна обробка, надферолітні утворення, структура покриття

Широке розповсюдження методу лиття під тиском на ремонтно-обслуговуючих підприємствах автомобільного транспорту і агропромислового комплексу дозволяють наносити композиційні покриття як на внутрішні, так і на зовнішні поверхні, що значно спрощує технологію виробництва. Крім того, при відновленні деталей типу вал залишкові напруження сил усадки полімеру співпадають з напрямком сил адгезії (на відміну від інших антифрикційних матеріалів) в результаті чого покриття може утримуватися на валу без особливо ретельної підготовки деталі, що покривають.

Проведений аналіз технологічного процесу нанесення покриттів із полікапролактама на деталі машин методом лиття під тиском і результати попередніх досліджень показали, що найбільше значення із параметрів, які впливають на властивості полімерних покриттів є температура розплаву; питомий тиск розплаву; час витримки плунжера під тиском; температура деталі та пресформи; режим термічної обробки.

Визначені оптимальні технологічні режими нанесення тонкошарових капролактамових покриттів методом лиття під тиском: температура розплаву – 523 ºС; питомий тиск розплаву – 30 Мн/м^2; час витримки плунжера під тиском – 20 с; температура деталі – 523 °С; температура пресформи – 363 °К. Найбільш сприятливим середовищем термічної обробки є масло МС-20: температура масла – 433 °К; час ізотермічної витримки – 2,88 ·10^3 с; швидкість охолодження – 0,7 ·10^{-2} град/с.

Твердість покриттів оцінювалася по мікротвердості на приладі ПМТ-3 при навантаженні 0,98 Н; тривалість навантаження – 15 с; тривалість взаємодії навантаження – 30 с.

Межу міцності при розтягу визначали на зразках за ГОСТ 11265-65, які мають форму двобокової лопатки. Руйнівне зусилля вимірювали на розривній машині МР-0,5 із швидкістю прикладання деформації 0,2 · 10^{-3} м/с.

Міцність зчеплення покриттів із капролактаму з металевою підкладкою визначалась способом рівномірного відривання за методом штифтів. Зразки для досліджень виготовляли із сталі 45 у вигляді штифтів діаметром 8 мм і планок-підкладок, зібраних в блоки. Експериментально встановлена швидкість нижнього зажиму розривної машини МР-0,5 – 1,0·10^{-3} м/с, при якій швидкісна залежність міцності зчеплення перестає проявлятися.

Антифрикційні властивості полімерних покриттів вивчалися на переобладнаній машині тертя СМЦ-2 на на зразках вал – частковий влкадиш. Температура в зоні тертя

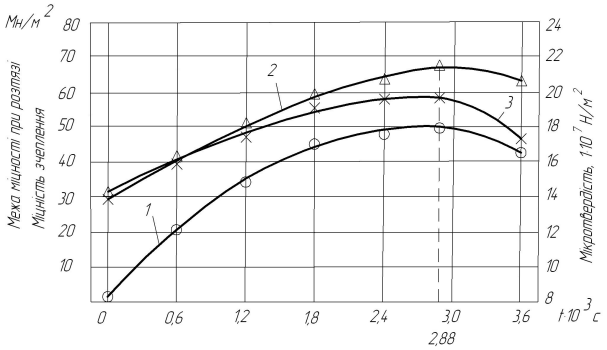
© В.Я. Чабанний, І.М. Соколенко, М.В. Онолов, О.М. Кальченко, 2010

фіксувалася ХК термопарою (Ø $0{,}4 \cdot 10^{-3}$ м). В якості реєструючого приладу використовувався записуючий і показуючий потенціометр ПСМ2-01. З валом приводу нижнього зразка жорстко з'єднаний индуктивний безконтактний датчик, який вимірює момент тертя і видає пропорційний йому електричний сигнал на електронний потенціометр ПСР 1-01.

Щоб точніше відтворювати певні реальні умови роботи антифрикційних матеріалів в якомусь типі спряження порівняльні випробування зносостійкості різних матеріалів проводились за схемою вал – втулка. При цьому вімірювання всіх контролюємих величин здійснювався аналогічно описаному вище, за вийнятком температури в зоні тертя, яка фіксувалася ХК термопарою, що знаходиться у втулці на відстані $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ м від поверхні тертя.

Знос зразків визначали мікрометруванням на універсально вимірювальному мікроскопі УИМ-21 з точністю до $0{,}5 \cdot 10^{-6}$ м. Для виключення впливу вологовмісту при зважуванні зразки попередньо промивалися у спирті і просушувалися в термошафі при температурі 375 ± 2 ºК протягом $3{,}6 \cdot 10^{8}$ с.

Механічні властивості покриттів із полікапролактаму містять в собі лише частину теоретично можливої міцності цього матеріалу і тільки термічна обробка може наблизити її до максимуму. Результати досліджень показали, що швидкість нагрівання деталі при термообробці не має суттєвого впливу на зміну фізико-механічних властивостей. У зв'язку з цим деталі з полікапролактамовими покриттями занурювались безпосередньо в масляну ванну (МС-20) для ізотермічної витримки. У міру збільшення температури масляної ванни спостерігається плавне вирівнювання мікроструктури зразків по перетину і збільшення мікротвердості, межі міцності і адгезійної міцності, максимум яких досягається при температурі 433 °К (рис. 1). Виникнення подібних струкрур пояснюється тим, що під дією тепла пачки капролактамових ланцюгів стають дуже рухливими і добре вкладаються в упорядковані кристалічні форми (рис. 2).

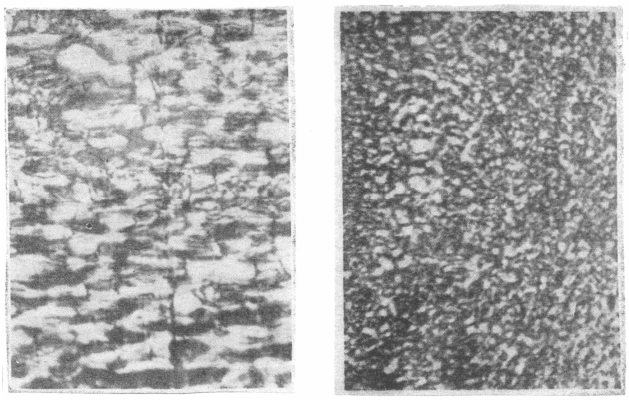


1 – мікротвердість; 2 – межа міцності; 3 – міцність зчеплення
Рисунок 1 – Залежність мікротвердості, межі міцності і адгезійна міцність полікапролактамових покриттів від часу ізотермічної витрмки в масляній ванні (МС-20).

Дослідженнями структури встановлено, що при температурах, які трохи перевищують температуру плавлення, в розплавах полімерів існують впорядковані мікрообласті. Однак подальшому впорядкуванню і утворенню стійких зародків перешкоджає дезорієнтуючий вплив теплового руху матеріалу. При переробці цього матеріалу утворюються крупніші структурні утворення (рис. 2а) у вигляді окремих блоків і стрічок феролітів. Причина утворення таких великих надферолітних утворень полягає в тому, що, не дивлячись на наявність в плавильному циліндрі преса розсікача (експоненціального концентратора), розплав капролактаму рухається по циліндру поступально ламінарним потоком без перемішування окремих шарів при падаючому тепловому градієнті від зовнішніх шарів до центру. Це створює сприятливі умови для росту великих сферолітів і надсферолітних утворень. Нерівномірність структур по перерізу і їх різна деформованість під впливом

зовнішнього тиску призводить до виникнення локальних перенапружень одиничних об'ємів матеріалу, що є причиною зниження міцності і антифрикційних властивостей покриттів.

Зміну надмолекулярної організації полімерів при термічній обробці слід виділяти від загального процесу утворення структури матеріалу при звичайних умовах лиття. При термічній обробці в масляній ванні МС-20 структура капролактамного покриття виявляється однорідною дрібноферолітною (рис. 2 б).



а б

а – без ізотермічної обробки; б – після термічної обробки в маслі МС-20

Рисунок 2 – Надмолекулярна структура капролактаму (х200).

Найбільший вплив на властивості полікапролактамових покриттів має час ізотермічної витримки у масляній ванні. При послідовному збільшенні часу ізотермічної витримки від 0 до $2{,}88 \cdot 10^3$ с спостерігається різке підвищення всіх досліджуваних властивіостей: мікротвердість, межа міцності і міцність зчеплення підвищуються відповідно на 33,7; 43,6 і 52,0 % (рис.1). Підвищення цих властивостей відбувається головним чином за рахунок інтенсивного протікання механохімічних реакцій і процесів перекристалізації, що сприяють підвищенню середньої молекулярної ваги (СМВ) матеріалу покриття. Вид, розташування і величина сферолитів при мікроскопічному аналізі показали, що подальше збільшення часу термообробки призводить до зростання зерен, який і є основною причиною зниження фізико-механічних властивостей полікапролактамових покриттів.

Механічні і антифрикційні властивості високомолекулярних сполук можуть бути суттєво покращені введенням активних наповнювачів і пластифікаторів. Аналізуючи результати досліджень (рис. 3), приходимо до висновку, що покриття з полікапролактаму з окисом жаліза і паракслилолом (КЖК) мають найменший приведений знос, який дорівнює $1{,}58 \cdot 1^{-7}$ м/м·м^2.

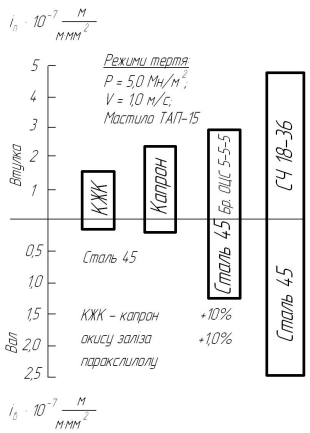


Рисунок 3 – Графік залежності приведеного зносу деталей спряженої пари.

Знос таких покриттів менше зносу бронзи БР. ОЦС 5-5-5, чавуну СЧ 18-36 і капронового покриття, відповідно, в 1,88; 3,04 і 1,5 рази.

Список літератури

1. Лауш П.В., Василенко І.Ф., Лесюк Т.П. та ін. Технічне обслуговування та ремонт сільськогосподарської техніки. Підручник. Книга 1. – Кіровоград: «Полімед-сервіс», 2007. – 464 с.
2. Власенко Н.В., Черновол М.І., Чабанный В.Я. Восстановление изношеных деталей тонкостенными покрытиями. Учебное пособие. К: Изд-во „Высшая школа”, 1989. – 96 с.
3. Чабанний В.Я., Соколенко І.М. Використання пластичних мас при виготовленні і відновленні підшипників ковзання с.г. техніки. Наука – виробництву, 2008. Тези доповідей на XVII науковій конференції студентів та магістрантів та XXXIX науковій коференції аспірантів та викладачів, 2008. С. 107-111.

В. Чабанный, И. Соколенко, М. Онолов, О. Кальченко

Анализ технологии нанесения полимерных материалов в узлах трения сельскохозяйственных машин

В работе определены оптимальные технологические режимы нанесения тонкослойных покрытий: температура расплава – 523 ºК; время выдержки плунжера под давлением – 20 с; удельное давление расплава 30 МН/м^2; температура нагревания детали – 523 ºК; температура нагревания прессформы – 363 ºК. Установленный режим термической обработки позволяет получать максимальные значения микротвердости; границы прочности при розтягжении та прочность сцепления тонкослойных покрытий. Наиболее благоприятной средой термической обработки является масло МС-20: температура – 433 ºК; время изотермической выдержки в масле – $2{,}88\cdot10^3$ с; скорость охлаждения – $0{,}7\cdot10^{-2}$ град/с.

V. Chabanniy, I Sokolenko, M. Onolov, O. Kalchenko

Analysis of technology of causing of polymeric materials in the knots of friction of agricultural machines

In the article it is determined the optimum technological modes of causing of thinlayered coverages: temperature of fusion – 523 ºK; time of self-control of plunzher under constraint – 20 with; specific pressure of fusion 30 MN/m^2; temperature of heating of detail – 523 ºK; temperature of heating of platform – 363 ºK. Found out the mode of heat treatment, allows to get the maximal values of microhardness; scopes of durability at stretching that durability of tripping of thinlayered coverages. The most favorable environment of heat treatment is butter MS-20: by a temperature – 433 ºK; time of isothermal self-control is in butter – $2{,}88\cdot10^3$ s; cooling speed – $0{,}7\cdot10^{-2}$ deg/s.

Одержано 28.04.10

УДК 621. 891

А.В. Дыха, д-р техн. наук, Т.В. Гедзюк, асп.
Хмельницкий национальний университет

Математическое моделирование термодинамических процессов граничного трения

Разработана математическая модель процессов создания и разрушение смазочной пленки при граничном трении в зависимости от температуры на основе схемы создания адсорбированных и химически модифицированных граничных смазочных слоев

граничное смазывание, образование и разрушение, термодинамическое равновесие, преходные температуры, самоорганизация

Введение

В настоящее время все больше научного внимания обращается на объяснение механизмов колоссального влияния смазочных материалов на долговечность трущихся деталей машин. С учетом того, что объемные свойства материалов практически исчерпали свое влияние на повышение износостойкости поверхностей реального контакта, необходимо сосредоточить внимание на новых подходах к проблемам «инженерии поверхности» в области технологий модификации трибоповерхностей. Свою значимость здесь имеют развивающиеся кинетические и термодинамические методы оценки смазочного действия масел [1-3]. Эти методы базируются на анализе механизмов действия, образования и разрушения граничных смазочных слоев при трении.

При трении в режиме граничной смазки способность смазки уменьшать трение и изнашивание определяется образованием на рабочих поверхностях прочных граничных слоев адсорбционного или химического происхождения со сниженным сопротивлением сдвигу по сравнению с основным материалом. Граничный слой или граничная пленка снижает силу трения по сравнению с трением без смазочного материала в 5-10 раз, а изнашивание сопряженных деталей – в десятки раз.

Практически все масла способны адсорбироваться на металлических поверхностях. Поверхностно-активные вещества присутствуют как в минеральных маслах, так и в смазочных материалах растительно-животного происхождения. В связи с этим практически все смазочные материалы образуют на металлических поверхностях граничную квазикристаллическую фазу с прочными связями с поверхностью и между молекулами в самом смазочном слое. Молекулы смазочного материала ориентируются перпендикулярно к твердой поверхности, в тангенциальном направлении молекулярные слои легко выгибаются и скользят друг по другу. На площадках фактического контакта может произойти взаимное внедрение поверхностей без нарушения целостности смазочной пленки.

Сопротивление перемещению при скольжении состоит из сопротивления сдвигу граничного слоя и сопротивления на срез внедренными объемами. Кроме того, при высоких местных нагрузках и температурах на отдельных участках может произойти разрушение смазочного слоя и, как следствие, адгезия и даже сцепление основных материалов. В результате большой подвижности молекул смазки и большой скорости процесса адсорбции поврежденные участки быстро “залечиваются”, предотвращая развитие процесса схватывания. При граничном трении на поверхности всегда существуют зоны, где поверхности находятся на расстоянии, достаточном для наличия смазки с объемными свойствами. Эти области не играют определяющей роли при граничном

© А.В. Дыха, Т.В. Гедзюк, 2010

трении, поскольку при жидкостной смазке служат резервуарами для подпитки изношенной граничной пленки.

Эффективность смазочного действия, кроме адсорбции, зависит от химического взаимодействия основного и смазочного материалов. Жирные кислоты, вступая во взаимодействие с металлом, образуют химические пленки, которые способны выдерживать без разрушения значительные деформации. Для повышения химической активности в масло вводят химически активные присадки, которые в условиях высоких температур разлагаются, образуя на поверхности металла защитные пленки.

Смазочная пленка разделяет поверхности трения фрикционного контакта, уменьшая интенсивность изнашивания деталей. При жестких режимах эксплуатации, характерных для большинства современных узлов трения, контактные нагрузки разрушают полимолекулярный слой смазочного материала.

Постановка задачи

Таким образом, установлено, что работоспособность узла трения при граничной смазке определяется соотношением двух процессов: образования и разрушения граничного слоя. Соотношения между скоростями этих процессов характеризуют тот или другой этап процесса трения при граничной смазке. Критерием начала нового этапа является достижение соответствующей переходной температуры. На рис. 1 представлена обобщенная зависимость коэффициента трения от температуры контакта для сопряжения, которое работает в условиях граничной смазки.

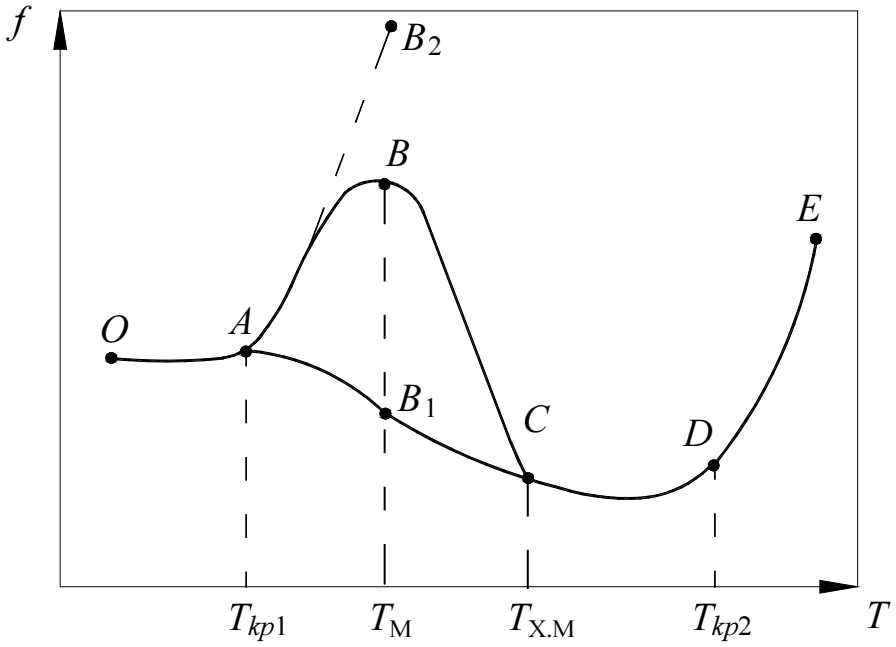


Рисунок 1 − Зависимость коэффициента трения от температуры при граничной смазке

На начальном участке *OA* разделение поверхностей трения обеспечивается адсорбционным слоем. При этом коэффициент трения имеет небольшие значения (до 0,1) и происходит умеренное адгезионное изнашивание. При температуре $T_{\hat{e}p1}$ происходит термическое разрушение граничного смазочного слоя с интенсивным адгезионным изнашиванием в результате десорбционных процессов и дезориентации граничного слоя. Последующий рост температуры приводит к скачкообразному росту коэффициента трения и схватыванию поверхностей (B_2). При наличии в масле химически-активных веществ, в результате фрикционного повышения температуры молекулы этих соединений разлагаются,

а активные компоненты вступают в химические реакции с металлом поверхностей трения, образуя модифицированные слои со сниженным сопротивлением сдвигу (при температуре для точки B). Разделяя поверхности трения, модифицированные слои предотвращают металлический контакт и этим самым предотвращают адгезионное изнашивание и заедание.

При температуре химической модификации $T_{\delta.i}$ достигается равновесие между процессами образования и разрушения модифицированных слоев. При этом в достаточно широком диапазоне температур (участок CD) устанавливается низкий коэффициент трения. При температуре $T_{кр2}$ скорость разрушения модифицированных слоев становится больше скорости их образования, что приводит к металлическому контакту и заеданию поверхностей.

Таким образом, критерием начала нового этапа является достижение соответствующей переходной температуры.

Температурно-кинетический метод позволяет определять значения переходных температур [4, 8].

При относительно невысоких температурах смазочное действие обеспечивается за счет граничных слоев, образованных поверхностно-активными молекулами смазочного материала и присадок к ним. Уравнения для определения преходных температур представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные зависимости для переходных температур

Переходные температуры		
$T_{\hat{e}\partial 1} = \dfrac{E_x + \Delta\mu}{R\ln\left[\dfrac{b_1\sigma}{c^n V^m H}\right]}$	$T_{\partial i} = \dfrac{E_p}{R\ln\left[\dfrac{b_2 c^n}{V^m}\right]}$	$T_{\hat{e}\partial 2} = \dfrac{E_x - E_p}{R\ln\left[b_2 \dfrac{V^m}{c^n}\dfrac{\sigma}{H_t}\right]}.$
E_x − энергия активации образования связей; $\Delta\mu$ − разность химических потенциалов ПАВ в адсорбированном состоянии и объеме среды; R − универсальная газовая постоянная; b_1, n, m − константы трибосистемы; c − концентрация ПАВ в смазочном материале; σ − номинальное контактное давление; V − относительная скорость скольжения; H − твердость более мягкого компонента трибосистемы. E_p − энергия активации процесса химического модифицирования.		

Представленные уравнения переходных температур могут быть использованы при построении математических моделей процесса граничного смазывания трущихся поверхностей.

Построение математической модели граничного трения

Из устоявшихся уже положений [1 - 3] практическая любая трибосистема обладает свойствами для саморегулирования процессов, происходящих в ней, образования самоорганизующихся диссипативных структур. Возможность образования самоорганизующихся структур в природе теоретически обоснована [4, 5] и имеет важное значение для технических приложений. Трибологическая система, как правило, является термодинамически открытой, то есть обменивается энергией и веществом со средой. Процессы образования и разрушения адсорбированных и химически модифицированных

пленок при граничном смазывании, очевидно, также следует рассматривать как самоорганизующиеся процессы в термодинамической системе трения.

Можно указать две области (рис.1), где имеет место процесс самоорганизации, т.е. условное равновесие между образованием пленки и ее разрушением.

Таким образом, имеет этапное движение граничной масляной пленки: образование адсорбированной масляной пленки - равновесие - разрушение адсорбированной пленки с одновременным образованием химической пленки - равновесие - разрушение химической пленки.

Если граничная смазочная пленка переходит от некоторого начального состояния к другому конечному или в промежуточное состояние, то вектор ее состояния $q(x,t)$ можно выразить так:

$$q(x,t) = u(t)V(x), \tag{1}$$

где $V(x)$ описывает некоторый пространственный порядок;

$u(t)$ − функция возмущения, зависящая от времени t.

В уравнении (1) параметр порядка $\dot{u}$ определяется по формуле:

$$\dot{u} = \lambda u, \tag{2}$$

где λ − показатель И. Ляпунова.

При быстром изменении управляющего параметра α, когда неравенство $\lambda < 0$ быстро переходит в неравенство $\lambda > 0$, появляется переходной вектор состояния вида:

$$q(x,t) = e^{\lambda t}V(x). \tag{3}$$

Переходной вектор описывает некоторую обновленную структуру смазочной пленки, но не стремится к новому устойчивому состоянию.

На это влияют такие процессы, как диффузия, тепло- и массоперенос, реологические явления и др. Именно такие процессы и определяют самоорганизацию системы смазки.

В соответствии с принципом самоорганизации для возникновения перехода (3) внутри системы смазки должны существовать некоторые флуктуации в определенном сочетании (ПАВ, ХАВ, диффузия, взаимодиффузия, движение дислокаций, реология свойств и др.). При отсутствии флуктуаций решение $u \equiv 0$ и, соответственно, $q \equiv 0$ навсегда.

Тем не менее, следует предположить, что самоорганизация идет не только через переходы, но и через изменение числа компонент и через изменение управляющих параметров, как это вытекает из [5]. Согласно [10] эволюционное уравнение стохастического перехода от состояния q_1 в состояние q_2 описывается нелинейным уравнением вида:

$$\dot{q}_1 = \alpha q_1 + \beta q_1 q_2 + f(t), \tag{4}$$

где α, β − управляющие параметры, которые задаются или определяются детерминированно;

$f(t)$ − "флуктуационные силы", которые определяются недетерминированно и делают эволюцию временной.

Если принять энтропию S за меру неопределенности состояния системы смазки, то с розбалансировкой температур вплоть до достижения $T_{\hat{e}\partial 1}$ степень упорядоченности смазочной пленки уменьшается и инициируется процесс самоорганизации ее структуры вплоть до диффузии ("S - теорема", [10]).

Там же показано, что изменение энтропии S носит пульсирующий (колебательный) характер, который описывается уравнением:

$$\Delta T(S_1 - S_2) = \frac{\rho}{2}\left[(\delta v)^2\right] > 0, \tag{5}$$

где ΔT − разность температур смазочной пленки и поверхностного слоя материала;

S_1, S_2 − энтропия состояний 1 и 2 соответственно;

δv − пульсация скорости изменения структурного состояния смазочной пленки, [11].

В системе смазки продуцируется энтропия, причем, одновременно с продуцированием энтропии внутри системы происходит теплообмен с внешней средой:

$$dS = d_i S + \frac{dQ}{T}, \tag{6}$$

где $d_i S$ − энтропия, которая продуцируется внутри системы;

$\frac{dQ}{T}$ − поток тепла в системе смазки.

Продуцирование энтропии происходит с определенной скоростью и в условиях неравновесия всегда положительно, т.е.:

$$\frac{d_i S}{dt} > 0. \tag{7}$$

Если обозначить σ производство энтропии в единицу времени в единице объема смазочной пленки, то можно записать:

$$\frac{d_i S}{dt} = \int \sigma dV > 0. \tag{8}$$

Значение $\frac{d_i S}{dt}$ фактически определяет скорость продуцирования энтропии, причем при тепло- и массопереносе эта скорость будет определенным образом изменяться. Энтропия dS продуцируется благодаря теплопроводности.

Вследствие разности температур ΔT возникает поток энергии $\frac{dE}{dt}$, а движущей силой этого потока является теплопроводность системы смазки.

Основываясь на [11, 13], можно рекомендовать определение функции диссипации энтропии по зависимости:

$$\sigma = \frac{dE}{dt}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right) = \frac{dE}{dt}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right). \tag{9}$$

Уравнение (9) представляет собой математическое описание термодинамического и синергетического толкование процесса образования граничных смазочных пленок.

К аналогичному выводу можно прийти и на основе теории информации. Как известно [12, 13], уменьшение энтропии ведет к увеличению информации о системе смазки и наоборот. В нашем случае такое увеличение информации выражается через реологические изменения внутри системы смазки, диффузию смазочной пленки и др. Это и есть объяснением такого феноменологического явления, как формирование граничных смазочных пленок. Численно связь информации о состоянии смазочной пленки с ее энтропией выражается известной формулой Шеннона [13, 15].

Общие выводы

1. На основе существующих положений о трении при граничном смазывании и основных термодинамических положений применительно к открытым трибологическим системам определены основные подходы по созданию структурно-термодинамической модели трения при граничном смазывании.

2. Разработана математическая модель процессов создания и разрушение смазочной пленки при граничном трении в зависимости от температуры на основе схемы создания адсорбированных и химически модифицированных граничных смазочных слоев.

Список литературы

1. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. и др. Поверхностная прочность материалов при трении. ─ К.: "Техніка", 1976. ─ 296 с.
2. Бершадский Л.И. Структурная термодинамика трибосистемы. ─ К.: О-во "Знание" УССР, 1990. ─ 32 с.

3. Костецкий Б.И. Структурно-энергетические основы управления трением и износом в машинах. ─ К.: О-во "Знание" УССР, 1990. ─ 32 с.
4. Глендорф, Пригожин И. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации. ─ М.: Мир, 1973. ─ 280 с.
5. Хакен Г. Синергетика, иерархии неустойчивости в самоорганизующихся системах. ─ М.: Мир, 1985. ─ 419 с.
6. Смазочные материалы: Антифрикционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: справочник/ Р.М. Матвееевский, В.Л.Лашхи, И.А.Буяновский и др. ─ М.: Машиностроение, 1989. ─224 с.
7. Диха О.В. Принципи побудови структурно-динамічної схеми при граничному змащуванні, Тези допов. міжнар. наук.-техн. конф. “Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин (ЗНМ-2001)”. − Хмельницький: ТУП, 2001. − С. 52.
8. Материалы в триботехнике нестационарных процессов / А.В. Чичинадзе, Р.М. Матвеевский, Э.Д. Браун и др. ─ М.: Наука, 1986.
9. Противозадирная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки / Р.М. Матвеевский, И.А. Буяновский, О.В. Лазовская. ─ М.: Наука, 1978.
10. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах / Пер. с англ. − М.: Мир, − 1979. − 597 с.
11. Синергетика: Сб. статей / Пер. с англ. // Под ред. Б.Б. Кадомцева. М.: Мир, − 1984. − 624 с.
12. Бокштейн Б.С. Атомы блуждают по кристаллу. − М.: Наука, 1984. − 207 с.
13. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. − М.: Наука. − 1986. − 191 с.
14. Таганов И.Н. Моделирование процессов массо- и энергопереноса. − Л.: Химия, 1979. − 204 с.
15. Цеснек Л.С. Механика и микрофизика истирания поверхностей. − М.: Машиностроение, 1979. − 263 с.

А. Дыха, Т. Гедзюк

Математичне моделювання термодинамычних процесів граничного тертія

Розроблена математична модель процесів створення і руйнування змащувальної плівки при граничному терті залежно від температури на основі схеми утворення адсорбованих і хімічно модифікованих граничних змащувальних шарів.

A.Duhez, T. Gedzuyk

Mathematic modelling of thermodynamic processes of Boundary friction

The mathematical model of processes of creation and destruction of a lubricant film is developed at boundary friction depending on temperature on the basis of the scheme of creation of the adsorbed and chemically modified boundary lubricant layers.

Одержано 18.05.10

УДК 621.9.048.4

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук, О. Ф. Сіса, викл., М. І. Попова, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Удосконалення розмірної обробки твердосплавних прокатних валків біполярним інструментом

Запропоновано та розроблено новий спосіб розмірної обробки твердосплавних валків біполярним інструментом, що дозволяє виконувати одночасну обробку двох деталей за один хід шпинделя з прогнозованим зніманням з них різних припусків. При цьому цикл обробки зменшується в 2,0 – 2,5 рази.
електрична дуга, твердосплавний валок, полярність обробки, біполярний режим обробки, етапи обробки, співвідношення проміжних та загальних припусків

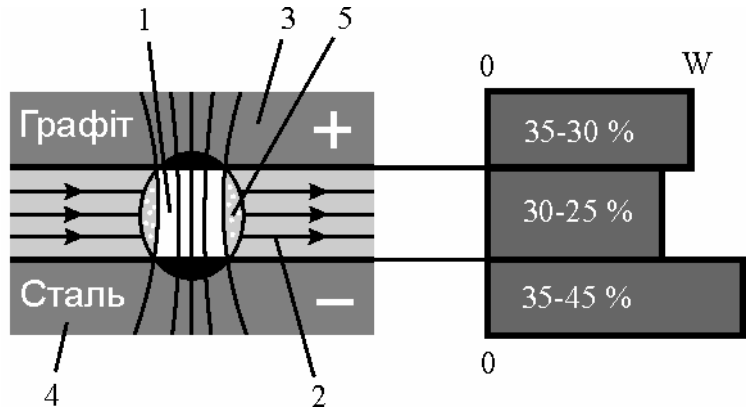
Прокатні валки для чистових клітей дротяних станів являють собою кільцеві деталі, які виготовляють із твердого сплаву ТС-15 [1]. Точність розмірів і потрібна шорсткість поверхні твердосплавного прокатного валка забезпечуються шліфуванням алмазним інструментом. При оптимальному режимі шліфування час обробки одного валка складає до 8 - 10 змін. Проблема попередньої чорнової обробки твердосплавного прокатного валка ще більш загострюється при використанні оригінальної технології його виготовлення із пари відпрацьованих твердосплавних валків, коли виникає потреба знімання великого об'єму матеріалу з боку торцевої поверхні. Застосування відомих електроерозійних методів для обробки твердосплавних валків (електроіскрового, електроімпульного) суттєво обмежена продуктивністю обробки, так як енергія при їх реалізації підводиться в зону обробки з паузами.

Відомий високопродуктивний спосіб розмірної обробки електричною дугою плоских торцевих поверхонь [2], в якому енергія вводиться в зону обробки безперервно, а інструментом є електрична дуга, що горить в торцевому міжелектродному зазорі в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини. Для реалізації обробки торцевої поверхні твердосплавного валка дугу збуджують між графітовим електродом-інструментом та торцевою поверхнею валка, а в якості робочої рідини використовують органічне середовище. Останнє разом з графітовим електродом-інструментом забезпечує його найменший (менше 1 %) відносний лінійний знос. В результаті промислового випробування була зафіксована продуктивність чорнової обробки прокатного валка із твердого сплаву ТС-15 на рівні M = 3100 мм^3/хв., що в 17…20 разів перевищує продуктивність чорнового шліфування алмазними тарілчастими кругами діаметром 250 мм. Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу розмірної обробки електричною дугою для високопродуктивної обробки твердосплавних прокатних валків сучасних дротяних станів.

В роботі [3] показано, що енергія в процесі розмірної обробки електричною дугою сталевої заготовки графітовим електродом-інструментом, витрачається (рис. 1):

- на руйнування матеріалу заготовки (приблизно 35-45 %);
- на існування стовпа дуги та забезпечення потрібного гідродинамічного потоку робочої рідини в міжелектродному проміжку (приблизно 30-25%);
- для руйнування матеріалу електрода-інструмента (приблизно 35-30 %).

© В. М. Боков, О. Ф. Сіса, М. І. Попова, 2010



1 –електрична дуга; 2 – гідродинамічний потік; 3 – електрод-інструмент; 4 – електрод-заготовка; 5 – газова порожнина

Рисунок 1 – Якісна оцінка розподілу енергії в робочій зоні при реалізації процесу РОД

Подальше підвищення продуктивності обробки твердосплавних прокатних валків пов'язано з корисним використанням енергії, що витрачається для руйнування матеріалу електрода-інструмента. В цьому зв'язку в роботі [1] запропоновано спосіб розмірної обробки електричною дугою твердосплавних валків, в якому графітовий електрод-інструмент відсутній, а його функцію виконують два однакових твердосплавних валка, що обробляються одночасно в біполярному режимі. При цьому обробку здійснюють при дзеркальному розташуванні торцевих поверхонь валків і поступовому осьовому відносному їх зустрічному русі, з вилученням робочої рідини із торцевого міжелектродного зазору крізь співвісні отвори в валках, причому режим обробки – біполярний за силою технологічного струму зі зміною частоти у межах від 0,01 до 50 Гц. Даний спосіб дозволяє обробляти рівномірний припуск одночасно на двох деталях.

Однак, у відомому способі, у зв'язку з уніполярністю обробки, унеможливлюється одночасна обробка двох деталей з прогнозованим зніманням з них різних припусків за один хід шпинделя. Тому процес здійснюють за методом поступового наближення: в багатозупинному режимі з проміжним вимірюванням величин залишкових припусків та з корегування режиму обробки. Останнє суттєво подовжує цикл обробки деталей та підвищує їх вартість.

Таким чином, метою роботи є підвищення ефективності одночасної розмірної обробки електричною дугою плоских торцевих поверхонь двох твердосплавних валків з різними припусками на обробку за рахунок скорочення циклу обробки.

Дана задача вирішується за рахунок того, що обробку здійснюють в два етапи зі зміною полярності сили технологічного струму: на першому етапі – на уніполярному режимі обробки (пряма або зворотна полярність), що забезпечує нерівномірне знімання частини припуску до моменту вирівнювання його залишку на обох деталях, а на другому етапі – на біполярному режимі обробки зі зміною частоти у межах від 0,01 до 50 Гц, що забезпечує рівномірне знімання залишкового припуску, причому величини проміжних припусків пов'язані з величинами загальних припусків деталей співвідношеннями

$$П_{п1} = \frac{K_м\left(П_1 - П_2\right)}{K_м - 1}; \qquad П_{п2} = \frac{П_1 - П_2}{K_м - 1}; \qquad П_к = П_1 - \frac{K_м\left(П_1 - П_2\right)}{K_м - 1},$$

де $П_1, П_2$ - загальні припуски обробки, відповідно, першої та другої деталі, які задаються кресленням, причому $П_1 < П_2$;

$П_{п1}, П_{п2}$ - припуски обробки, відповідно, першої та другої деталі на уніполярному режимі, що відповідають першому етапу обробки;

$К_м = П_{п1} / П_{п2}$ - співвідношення, що визначається експериментально і пов'язано з уніполярністю обробки та відповідає вибраної полярності першого етапу, режиму обробки, матеріалу та геометричним параметрам деталей;

$П_к$ - залишковий рівномірний припуск на кожну деталь, що відповідає другому етапу обробки.

Перед початком роботи (рис. 2) деталь 1, що підлягає обробки, закріплюють на верхньому шпинделі верстата (на схемі не показано), а таку ж саму деталь 2, що теж підлягає обробки, закріплюють на столі верстата (на схемі не показано). Кріплення забезпечує дзеркальне розташування торцевих поверхонь 3, 4, що обробляються. При цьому попередньо виконані технологічні отвори 5, 6 в деталях 1, 2 повинні бути співвісні. Величини припусків обробки деталей 1, 2 $П_1$, $П_2$ – різні, причому $П_1 < П_2$.

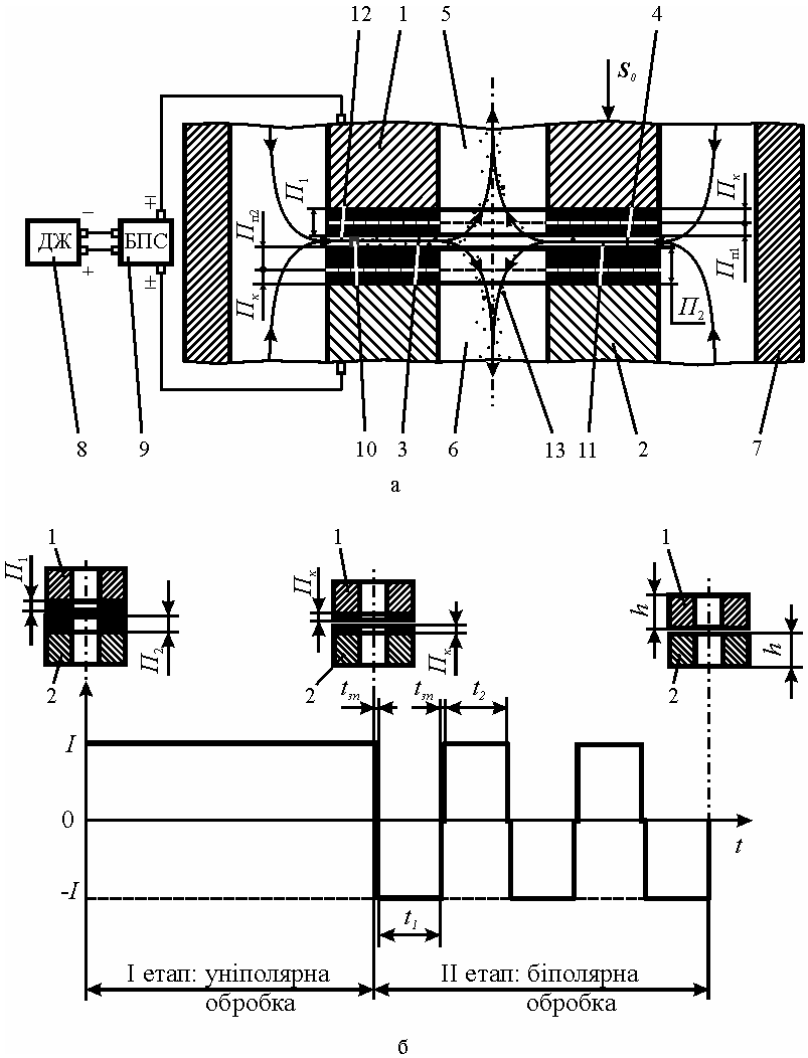


Рисунок 2 – Схема способу РОД, що пропонується (а) та графік зміни полярності (б)

Зону обробки обмежують герметичною камерою 7. Далі вмикають електродвигун насоса подачі робочої рідини (наприклад, рідини на базі органічного середовища) в камеру 7 верстата під технологічним тиском (у межах 0,2–4 МПа), вмикають джерело живлення постійним технологічним струмом 8, встановлюють необхідний уніполярний режим роботи (обробка на прямій або на зворотній полярності; при цьому вихідна частота на біполярному

перетворювачу струму 9 дорівнює нулю Гц) і ведуть перший етап обробки торцевих поверхонь 3, 4 одночасно двох деталей 1, 2 електричною дугою 10 з використанням автоматичної системи слідкування (на фігурах не показана) за торцевим міжелектродним зазором 11. В процесі обробки електрична дуга 10 горить між торцевими поверхнями 3, 4 деталей 1, 2 в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини 12, який відповідає за якість обробки та забезпечує оптимальні умови евакуації продуктів ерозії 13 із зони обробки. Внаслідок того, що торцеві поверхні 3, 4 деталей 1, 2 розташовані дзеркально, а також завдяки тому, що технологічні отвори 6, 7 співвісні, гарантується 100 % охоплення площі обробки торцевих поверхонь 3, 4 обох деталей 1, 2. Після досягнення розрахункової величини залишкового рівномірного припуску $П_к$ (формула наведена нижче), переходимо до реалізації другого етапу обробки – біполярної обробки деталей. Біполярний за силою технологічного струму режим обробки забезпечує рівномірне знімання припуску з обох деталей. Силу струму змінюють з частотою у межах від 0,01 до 50 Гц, причому нижня межа відповідає більший площі обробки торцевої поверхні (< 400 мм^2), а верхня – меншій. Період циклу T біполярного режиму обробки визначається за формулою:

$$T = t_1 + t_2 + 2t_{зп},$$

де t_1 - час горіння дуги при «+» на деталі 1 та «-» на деталі 2;

t_2 - час горіння дуги при «-» на деталі 1 та «+» на деталі 2. $t_1 = t_2$;

$t_{зп}$ - час захисної паузи (час гарантованого вмикання або вимикання транзистора). Для сучасних вітчизняних біполярних силових транзисторів середній час захисної паузи не перевищує 0,000001 с. Тоді, для вибраного діапазону частот зміни струму час двох захисних паузи складає 0,000002…0,01 % від величини періоду циклу T. Таким чином, така мала частка пауз, що спостерігається при реалізації даного способу, практично не зменшує продуктивність обробки, порівняно з продуктивністю при постійному струмі.

Слід відмітити, що можливість реалізації способу, який пропонується, обмежується умовою: $П_{п1} \le П_1$ та $П_{п2} \le П_2$. При невиконанні цієї умови унеможливлюється процес отримання рівномірного припуску під біполярну обробку.

Наведені вище формули отримані як результат розв'язку наступної системи рівнянь, які витікають із суті способу обробки, що пропонується:

$$\begin{cases} П_1 = П_{п1} + П_к \\ П_2 = П_{п2} + П_к \\ П_{п1} / П_{п2} = К_м \end{cases}.$$

Використання способу одночасної розмірної обробки електричною дугою торцевих поверхонь двох твердосплавних валків з різними припусками на обробку, що пропонується, порівняно з відомим, підвищує ефективність обробки та дозволяє зменшити цикл обробки деталей в 2,0 - 2,5 рази.

Список літератури

1. Сіса О. Ф., Боков В. М. Розмірна обробка твердосплавних прокатних валків біполярним інструментом // Прогресивні технології і системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ, 2009. Вип. 38. – С. 209-213.
2. Носуленко В. И., Мещеряков Г. Н. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 19-23.
3. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс ЛТД», 2002. – 300 с.

В. Боков, О. Сиса, М. Попова

Усовершенствование размерной обработки твёрдосплавных прокатных валков биполярным инструментом

Предложен и разработан новый способ размерной обработки твердосплавных валков биполярным инструментом, позволяющий выполнять одновременно обработку двух деталей за один ход шпинделя с прогнозируемым снятием с них разных припусков. При этом цикл обработки деталей уменьшается в 2,0 - 2,5 раза.

V. Bokov, O. Sisa, M. Popova
Improvement of dimensional processing of hardmetal rolls with bipolar tool

A new method of dimensional processing of hardmetal rolls with bipolar tool is suggested and worked out. It allows to execute concurrently the processing of two details for one spindle travel with predictable excess material beveling. At that processing cycle is lessening as 2,0 – 2,5 times.

Одержано 19.04.10

УДК 621.9.06.63

В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, В.М. Бабич, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

Передаточні механізми металорізальних верстатів із функціями управління

У статті описані нові конструктивні рішення передаточних механізмів і перетворювачів рухів металорізальних верстатів. Навелені приклади їх застосування для виконання нехарактерних для них функцій, таких як захист від поломки при перевантаженнях, перетворення рівномірного руху в дискретний, самогальмування, адаптивне управління режимами роботи верстатів, здійснення виконавчих рухів робочих органів, що несуть інструмент або заготовку, та ін. Все це стирає межі між двигунами та робочими органами верстатів, спрощує привод, підвищує його надійність і ефективність, дозволяє змінювати режими їх роботи у функції технологічного навантаження.
передаточний механізм, перетворення, робочий орган, виконавчий рух, робоча подача, дискретне переміщення, технологічне навантаження, адаптивне управління

Передаточні механізми є основною складовою приводів металорізальних верстатів. Головною функцією цих механізмів є передача потужності від двигуна до виконавчих органів верстата. Із розвитком верстатів і двигунів їх вихідні характеристики зближуються, а тому функції передаточних механізмів звужуються. Це дозволяє розширити функції передаточних механізмів із перетворення рухів.

Найбільше поширення у металорізальних верстатах мають механізми перетворення обертального руху в поступальний, і навпаки. Нерідко функцією таких механізмів є здійснення процесу самогальмування або переведення рівномірного руху в дискретний із метою подрібнення зливної стружки. Часто передаточний механізм виконує захисні функції від поломки при перевантаженнях. Ці механізми можуть мати адаптивні властивості і змінювати режими у функції технологічного навантаження.

Деякі перетворювачі виконують функції двигунів, бо перетворюють електричну або гідравлічну енергію у виконавчі рухи робочих органів верстатів. Передаточні механізми можуть виконувати функції дискретного або адаптивного управління режимами роботи металообробного обладнання. В окремих випадках вони можуть здійснювати виконавчі рухи

© В.М. Пестунов, В.М. Бабич, 2010

Усовершенствование размерной обработки твёрдосплавных прокатных валков биполярным инструментом

Предложен и разработан новый способ размерной обработки твердосплавных валков биполярным инструментом, позволяющий выполнять одновременно обработку двух деталей за один ход шпинделя с прогнозируемым снятием с них разных припусков. При этом цикл обработки деталей уменьшается в 2,0 - 2,5 раза.

V. Bokov, O. Sisa, M. Popova
Improvement of dimensional processing of hardmetal rolls with bipolar tool

A new method of dimensional processing of hardmetal rolls with bipolar tool is suggested and worked out. It allows to execute concurrently the processing of two details for one spindle travel with predictable excess material beveling. At that processing cycle is lessening as 2,0 – 2,5 times.

Одержано 19.04.10

УДК 621.9.06.63

В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, В.М. Бабич, доц.
Кіровоградський національний технічний університет

Передаточні механізми металорізальних верстатів із функціями управління

У статті описані нові конструктивні рішення передаточних механізмів і перетворювачів рухів металорізальних верстатів. Навелені приклади їх застосування для виконання нехарактерних для них функцій, таких як захист від поломки при перевантаженнях, перетворення рівномірного руху в дискретний, самогальмування, адаптивне управління режимами роботи верстатів, здійснення виконавчих рухів робочих органів, що несуть інструмент або заготовку, та ін. Все це стирає межі між двигунами та робочими органами верстатів, спрощує привод, підвищує його надійність і ефективність, дозволяє змінювати режими їх роботи у функції технологічного навантаження.
передаточний механізм, перетворення, робочий орган, виконавчий рух, робоча подача, дискретне переміщення, технологічне навантаження, адаптивне управління

Передаточні механізми є основною складовою приводів металорізальних верстатів. Головною функцією цих механізмів є передача потужності від двигуна до виконавчих органів верстата. Із розвитком верстатів і двигунів їх вихідні характеристики зближуються, а тому функції передаточних механізмів звужуються. Це дозволяє розширити функції передаточних механізмів із перетворення рухів.

Найбільше поширення у металорізальних верстатах мають механізми перетворення обертального руху в поступальний, і навпаки. Нерідко функцією таких механізмів є здійснення процесу самогальмування або переведення рівномірного руху в дискретний із метою подрібнення зливної стружки. Часто передаточний механізм виконує захисні функції від поломки при перевантаженнях. Ці механізми можуть мати адаптивні властивості і змінювати режими у функції технологічного навантаження.

Деякі перетворювачі виконують функції двигунів, бо перетворюють електричну або гідравлічну енергію у виконавчі рухи робочих органів верстатів. Передаточні механізми можуть виконувати функції дискретного або адаптивного управління режимами роботи металообробного обладнання. В окремих випадках вони можуть здійснювати виконавчі рухи

© В.М. Пестунов, В.М. Бабич, 2010

робочих органів, що несуть інструмент або заготовку. Все це стирає межі між двигунами та робочими органами верстатів.

Нижче розглянуті оригінальні представники цих механізмів, що підвищують ефективність верстатного обладнання.

На рис. 1 зображений багатофункціональний передаточний механізм, що має адаптивні властивості управління подачею поперечних супортів багатошпиндельного токарного автомата. Цей механізм вирішує проблему жорсткості поперечних супортів шляхом силового замкнення технологічного навантаження на супортах через кільце з розташованими на ньому кулачками.

Від електродвигуна 4 через черв'ячну передачу 3 обертання передається зубчастому кільцю 2, на якому закріплені кулачки 10, 13. Ці кулачки через роликові штовхачі 9 приводять до руху супорти 11, 14, 17, що здійснюють процес обробки заготовок, закріплених у шпинделях 1. Повернення супортів 11, 14, 17 у вихідне положення виконується пружинами відповідно 12, 15, 16.

У процесі обробки датчик навантаження 5 через порівнювальний 7, програмний 8 і керуючий 6 пристрої змінює частоту обертання двигуна 4 і величину подачі у функції сил різання. Це підвищує точність і надійність привода автомата.

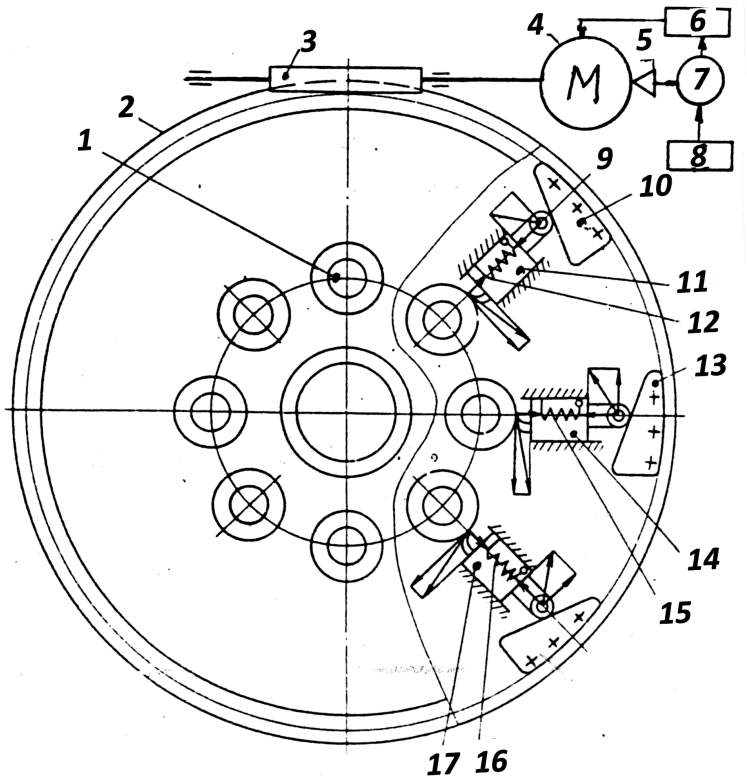


Рисунок 1 – Багатофункціональний передаточний механізм з адаптивними властивостями управління

Конструкція передаточного механізму, що вирішує проблему великих робочих переміщень із відносно малою швидкістю і з адаптивним управлінням швидкістю поступального руху у функції технологічного навантаження, зображена на рис. 2. Це досягається тим, що швидкість переміщення по напрямних 3 виконавчого органа 2 пневмоциліндром 1 обмежується гідроциліндром 5. Шток 4 з'єднаний із виконавчим органом 2 і з поршнем 6, що спирається на плавкий твердий наповнювач 8. У поршні 6 розміщена спіраль нагріву 7.

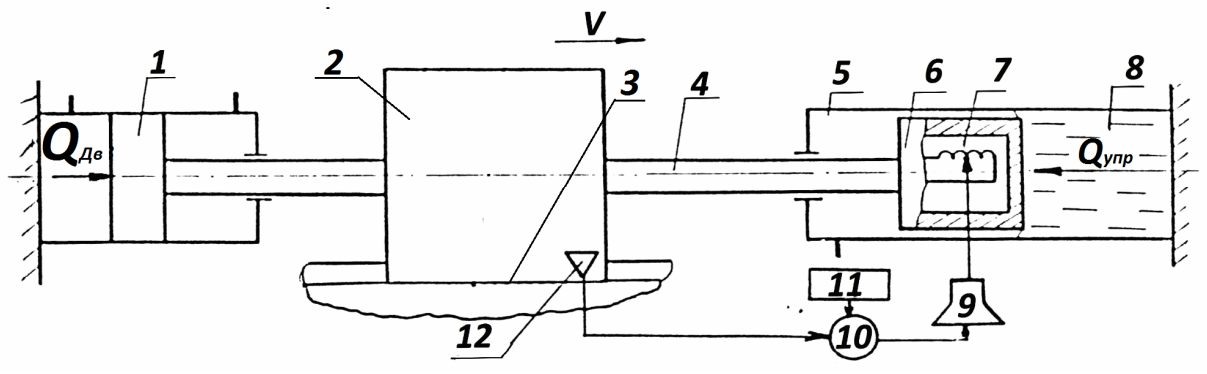


Рисунок 2 – Конструкція механізму з адаптивним управлінням швидкістю поступального руху у функції технологічного навантаження

Під час роботи датчик 12 контролює технологічне навантаження в напрямних і за допомогою порівнювального 10, програмного 11 і керуючого 9 пристроїв змінює величину струму живлення спіралі 7. Це змінює швидкість поступального руху за програмою з врахуванням навантаження.

Зображена на рис. 3 конструкція передаточного механізму привода свердлильного верстата вирішує проблему адаптивного управління подачею у функції навантаження привода головного руху.

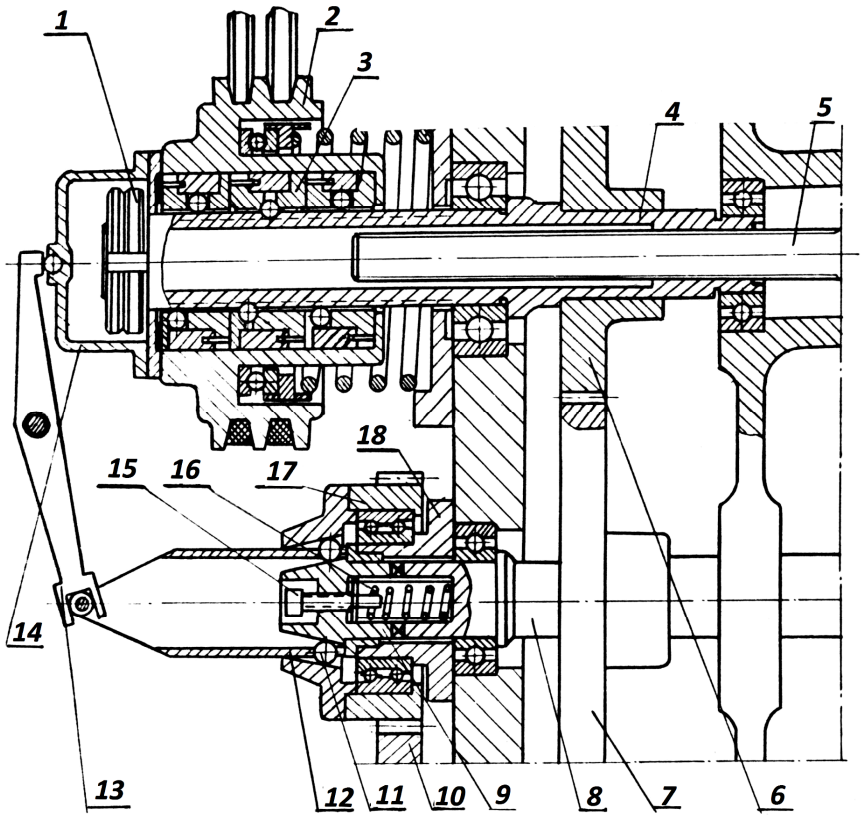


Рисунок 3 – Конструкція передаточного механізму привода свердлильного верстата з адаптивним управлінням

У корпусі на підшипниках установлена втулка 4, з’єднана через шліцьову пару з хвостовиком 5 шпинделя. На зовнішній поверхні втулки нарізаний гвинт, який з гайкою 3 утворює несамогальмівну гвинтову передачу. Гайка 3 розташована в отворі шківа 2, з’єднаного з двигуном. Шків 2 упирається в пружину, що регулюється гайками 1. Втулка 4 через зубчасту передачу 6-7 з’єднана з валом 8, зв'язаним із ведучим конусом 9 варіатора

безступінчастого регулювання швидкості. На конічну поверхню спираються кульки 11, розміщені в сепараторі 12. Сепаратор з'єднаний із важелем 13, що упирається в кульку кришки 14.

Силове замкнення варіатора здійснюється регульованою пружиною 16. Ведений конус варіатора закріплений на шестірні 17, що встановлена на підшипнику на нерухомій втулці 18. Шестірня 17 через шестірню 10 з'єднана з приводом подачі.

Під час роботи крутний момент навантаження створює осьову силу в гвинтовій передачі 3-4. Ця сила, стискуючи пружину, зміщує шків в осьовому напрямку, повертає важіль 13 і переміщує сепаратор 12. Унаслідок цього кульки переміщуються по конічних поверхнях варіатора і змінюють його передаточне відношення. При збільшенні навантаження подача зменшується, і навпаки.

Отже, передаточний механізм забезпечує адаптивне управління подачею у функції навантаження в розімкненому режимі динамічного регулювання.

На рис. 4 зображений передаточний механізм привода плоскокулачкової силової головки, що вирішує проблему подрібнення зливної стружки при обробці кінцевим інструментом. Усі механізми пристрою розташовані в корпусі 2 силової головки.

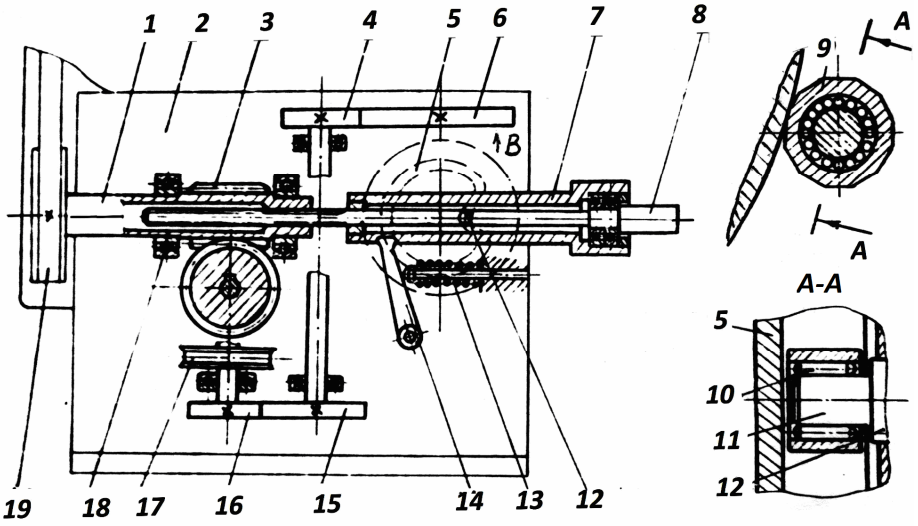


Рисунок 4 – Передаточний механізм привода плоскокулачкової силової головки для подрібнення зливної стружки

Від електродвигуна через пасову передачу 19 обертання одержує втулка 1, що за допомогою шліців з'єднана з хвостовиком шпинделя 8, установленого на підшипниках у пінолі 7. Втулка 1 змонтована на підшипниках 18 у корпусі 2 головки і через черв'ячну передачу 3-17, змінні зубчасті колеса 16, 15 і шестірні 4, 6 з'єднана з кулачком 5. На кулачок спирається ролик 9, робоча поверхня якого виконана гранованою. Ролик на голчастому підшипнику 10 встановлений на осі 11, а вісь 11 закріплена на шпонці 12, що встановлена на пінолі 7.

Під час обробки гранований ролик, перекочуючися по профілю кулачка 5, надає пінолі нерівномірну подачу, що забезпечує подрібнення стружки. Повний цикл зворотно-поступальних рухів пінолі забезпечує профіль кулачка 5.

Повернення пінолі у вихідне положення полегшується підпружиненою важільною системою 13-14.

Передаточний механізм плоскокулачкової силової головки агрегатного верстата, що вирішує проблему подрібнення зливної стружки шляхом нерівномірної подачі пінолі 4 зі шпинделем 3, зображений на рис. 5.

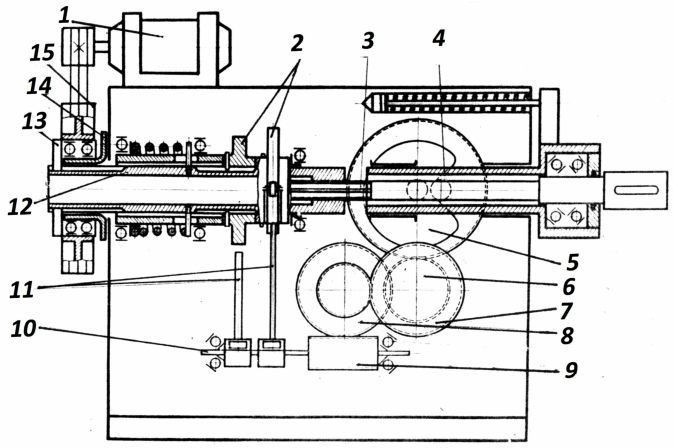


Рисунок 5 – Передаточний механізм силової головки агрегатного верстата

Від електродвигуна 1 через пасову передачу, ведений шків 15 якої встановлений за допомогою підшипників 13 на втулці 14 і зв'язаний несамогальмівною гвинтовою передачею 13-12 із втулкою, яка шліцами з'єднана зі шпинделем 3, обертання одержує шпиндель, установлений на підшипниках у пінолі.

Рух подачі від пари кулачків 2 через важільні роикові штовхачі 11 і обгінні муфти передається валу 10. Від цього вала через черв'ячну передачу 9-8 і зубчасту передачу 7-6 рух передається кулачку 5, що здійснює повний цикл зворотно-поступальних рухів пінолі 4 зі шпинделем 3.

Під час робочої подачі крутний момент навантаження, стискуючи пружину, переміщує втулку 12 в осьовому напрямку, що викликає відносний поворот кулачків 2 і зміну швидкості робочої подачі. Так здійснюється адаптивне управління подачею у функції навантаження і підвищення надійності роботи верстатів.

У багатоопераційних верстатах актуальним є застосування передаточних механізмів для перетворення головного обертального руху привода в круговий рух подачі або установочних переміщень. Такий механізм зображений на рис. 6.

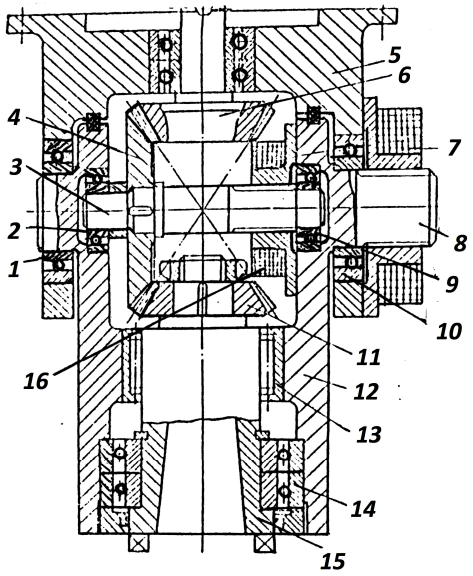


Рисунок 6 – Передаточний механізм для перетворення обертального руху привода в круговий рух подачі або установочних переміщень

У корпусі 5 на підшипниках 1, 10 змонтована вісь 8, на якій утримується піноль 12 з установленим у ній на підшипниках 13 і 14 шпинделем 15. Шпиндель через конічні колеса

11, 4 і 6 зв'язаний із приводом. На осі 8 і валі 3 встановлені гальмівні електромагнітні муфти 7 і 16.

При вмиканні муфти 7 і вимиканні муфти 16 піноль гальмується. При вмиканні муфти 16 і вимиканні муфти 7 піноль разом із валом 3, встановленим на підшипниках 2 і 9, обертається навколо осі вала 3, а шпиндель 15 здійснює установочні переміщення або рух кругової подачі. Муфти 7 і 16 вмикаються в систему живлення почергово, тому, змінюючи шпаруватість струму живлення муфт, можна змінювати швидкість кругової подачі.

Цей механізм розширює технологічні можливості багатоопераційних верстатів.

На рис. 7 зображений тепловий компенсатор пружної деформації шпиндельних вузлів алмазно-розточувальних верстатів.

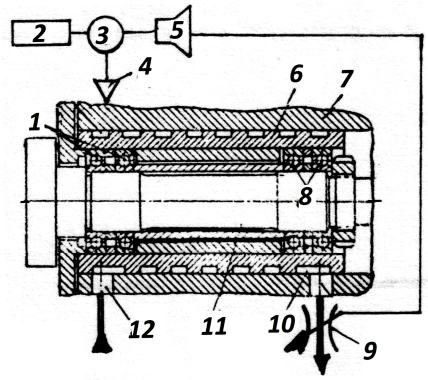


Рисунок 7 – Схема теплового компенсатора пружної деформації шпиндельних вузлів алмазно-розточувальних верстатів

Контрольована датчиком 4 пружна деформація шпиндельного вузла подається у вигляді сигналу в порівняльний пристрій 3. Туди ж подається сигнал програмного пристрою 2. Результуючий сигнал через керуючий пристрій 5 змінює прохідний перетин дроселя 9, що регулює інтенсивність подачі охолоджувальної рідини по каналу 12 і спіралі в пінолі 6, у якій на підшипниках 1 і 8 установлений шпиндель 11. Піноль 6 розташована в корпусі 7 розточувальної головки.

Схема передаточного механізму і перетворювача поступального руху в гвинтовий рух формоутворення гвинторізних верстатів зображена на рис. 8.

Гідравлічна система, що має дросель 6, циліндр 7, золотник 10 і клапан 11, забезпечує повний цикл зворотно-поступального руху штока 5, у якому на підшипниках установлений шпиндель з інструментом 9. Поступальний рух штока 5 за допомогою несамогальмівних гвинтових передач 2-3, 4-17 і зубчастої передачі 1-16 перетворюється в обертальний рух шпинделя, причому це обертання точно узгоджується з поступальним рухом, що забезпечує якісне нарізання різьби.

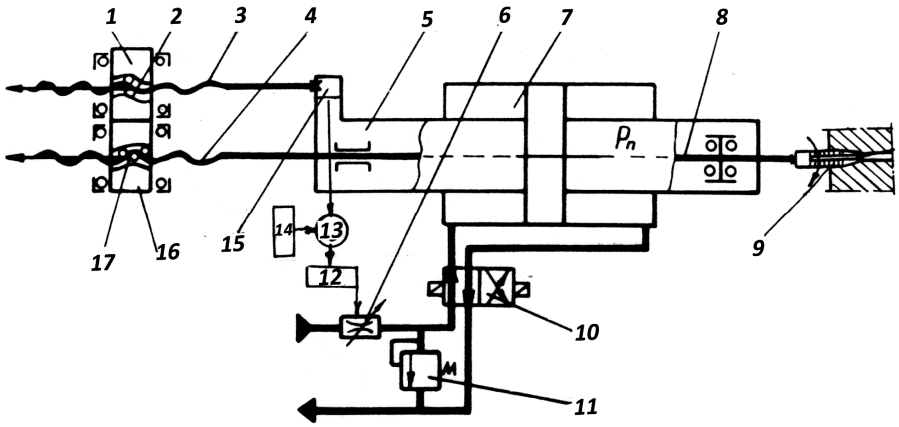


Рисунок 8 – Схема передаточного механізму і перетворювача поступального руху в гвинтовий

Під час нарізання різьби датчик 15 контролює навантаження і за допомогою порівнювального 13, програмного 14 і керуючого 12 пристроїв змінює подачу і тим самим підвищує надійність шляхом недопущення перевантаження.

Наведені схеми й конструкції передаточних механізмів металорізальних верстатів показують, що вони можуть виконувати не тільки функції передачі потужності від двигуна до робочого органа, перетворення обертального руху в поступальний, а й здійснювати різноманітні виконавчі рухи робочих органів верстатів, виконувати захисні функції від поломки при перевантаженнях, функції дискретного або адаптивного управління режимами роботи верстатів, змінювати режими у функції технологічного навантаження та ін. Все це стирає межі між двигунами та робочими органами верстатів, спрощує привод, підвищує його надійність та ефективність.

Список літератури

1. Кочергин А.И. Конструирование станков и станочных комплексов. Курсовое проетирование: Учеб. пособие для вузов. – Мн.: Выш. шк., 1991. – 382 с.
2. Красковский Е.Я., Дружинин Ю.А., Филатова Е.М. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем: Учеб. пособие для приборостроит. спец. вузов / Под ред. Ю.А. Дружинина. – М.: Высш. шк., 1991. – 480 с.
3. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов / Под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1985. – 576 с.
4. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 2. Расчет и конструирование узлов и элементов станков / Под общ. ред. А.С. Проникова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1995. – 320 с.

В. Пестунов, В. Бабич

Передаточные механизмы металлорежущих станков с функциями управления

В статье описаны новые конструктивные решения передаточных механизмов и преобразователей движений металлорежущих станков. Приведены примеры их использования для выполнения нехарактерных для них функций, таких как защита от поломки при перенагрузках, преобразование равномерного движения в дискретное, самоторможение, адаптивное управления режимами работы станков, осуществление исполнитетельных движений рабочих органов, которые несут инструмент или заготовку, и др. Все это стирает грани между двигателями и рабочими органами станков, упрощает привод, повышает его надежность и эффективность, разрешает изменять режимы их работы в функции технологической нагрузки.

W. Pestunov, W. Babich

Transmission mechanisms of metal-cutting machine tools with the functions of management

In article are described the new constructive decisions of transmission mechanisms and transformers of motions of metal-cutting machine tools. Examples of their use are made for implementation of not typical for them functions, such as protecting from breakage at overloading, transformation of even motion to discrete, self-braking, adaptive managements by the modes of operations of machine-tools, realization of executive motions of working organs which carry an instrument or purveyance, and other. All of it wears away to the verge between engines and working organs of machine-tools, simplifies a drive, promotes his reliability and efficiency, lets to change their office hours in the function of the technological loading.

Одержано 20.04.10

УДК 621. 793:658.2

Е.К. Соловых проф., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Выбор альтернативных технологий нанесения износостойких покрытий дискретной структуры

В работе проведен сравнительный анализ износостойкости образцов, полученных с применением альтернативных технологических вариантов, который показал преимущество покрытий дискретной структуры
износостойкость, дискретная структура, поверхностное упрочнение, технология, покрытия

Состояние проблемы.

Выбор технологии поверхностного упрочнения определяется наличием соответствующего оборудования, квалифицированных кадров и традиций предприятия. Однако актуальность выбора технологии возрастает при необходимости модернизации и реконструкции технологического парка. Модернизация и ускоренное развитие технологического парка по нанесению упрочняющих покрытий - ключевая проблема в машиностроении Украины. Рентабельность эксплуатации техники снижается из-за ее физического износа. Появление на рынке новых технологий только ускоряет моральное старение оборудования. Главная задача при реконструкции технологического парка – выбор и переход на новые энергосберегающие технологии с анализом экономических и экологических показателей. При этом необходимо ориентироваться на отечественные разработки, соответствующие мировому уровню развития технологии покрытий [1-3].

Новые возможности в поверхностном упрочнении открывает нанесение покрытий дискретной структуры повешенной термомеханической стойкости [4, 5]. Износостойкость дискретных покрытий в 2…5 раз выше износостойкости традиционных сплошных покрытий идентичного материала и равной толщины. В сравнении с традиционной цементацией и закалкой износостойкость дискретных покрытий в 3…7 раз выше.

Постановка задачи.

В связи с развитием дискретных покрытий необходим подход в выборе альтернативных технологий их нанесения. Поэтому в работе выбраны в качестве альтернативных четыре технологии:

– вакуум-плазменная (КИБ);
– ионное азотирование (ИА);
– лазерная термообработка (ЛТО);
– электроискровое легирование (ЭИЛ).

Эффективность каждой технологии оценивается повышением износостойкости.

Методика исследований.

Определена сравнительная износостойкость в условиях трения скольжения при параметрах: удельная нагрузка P=12 МПа, скорость скольжения V=1,2 м/с, путь скольжения L= 10^3 м. Испытания проводили при фиксированных температурах 20° С и 200° С, а также в условиях «сухого трения» и со смазкой типа МС-22.

В качестве материла основы использовали сталь 38Х2МЮА. Как базовый вариант поверхностного упрочнения принята традиционная цементация и закалка. ТО длительность цементации – 48 часов. Параметром сравнения служил линейный износ, измеряемый с помощью миниметра модели ИКВ/ИК-6. Сравнивали с базовым вариантом износостойкость

© Е.К. Соловых, 2010

традиционных сплошных покрытий и покрытий дискретной структуры при их нанесении четырьмя альтернативными технологиями. Для дискретных покрытий принята сплошность ψ=60%. Геометрические параметры дискретной структуры выбраны из условий минимизации напряженно-деформированного состояния в эксплуатационных условиях [6, 7]. Технологическое обеспечение дискретной структуры вакуум-плазменных покрытий осуществлялось сеточными экранами [8 - 10]. Для ионного азотирования дискретную структуру обеспечили активные экранирующие пасты [11]. Лазерная обработка проведена с помощью серийной установки Квант-18М, электроискровое легирование при помощи серийной установки Элитрон-22 при легировании твердым сплавом типа ВК8. Для ЛТО плотность энергии в пятне 0,6…3,0 Дж/мм^2, диаметр пятна 1,5 мм. Микротвердость поверхностного слоя 5,6…12 ГПа при исходной микротвердости 3 ГПа. Величина несплошности ψ для ЛТО и ЭИЛ идентична коэффициенту повышения производительности обработки, так как отпадает необходимость обрабатывать всю рабочую поверхность за счет нескольких проходов лазерного луча или электрода ЭИЛ. Повышение производительности обработки – существенное технологическое преимущество покрытий дискретной структуры.

Результаты исследований.

Экспериментальное определение износостойкости, приведено на рис.1 – 4. На рис.1 приведена износостойкость при 20° С без смазки, а на рис.2 – при 200° С без смазки. Износостойкость со смазкой МС-22 для 20° С приведена на рис.3, для 200° С – на рис.4.

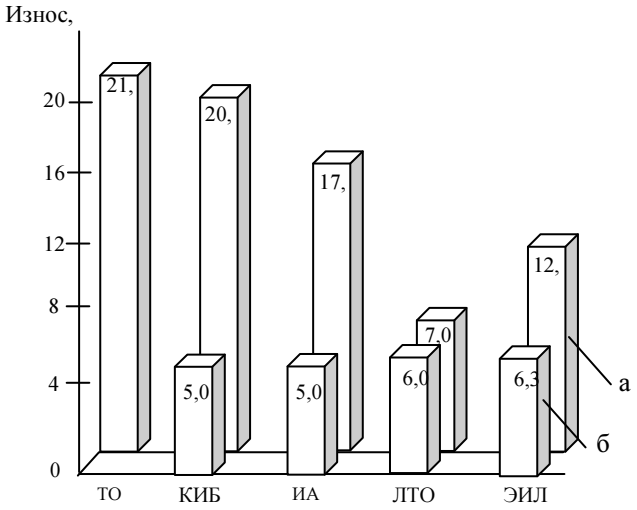


Рисунок 1 – Износостойкость сплошных (а) и дискретных (б) покрытий при 20° С без смазки

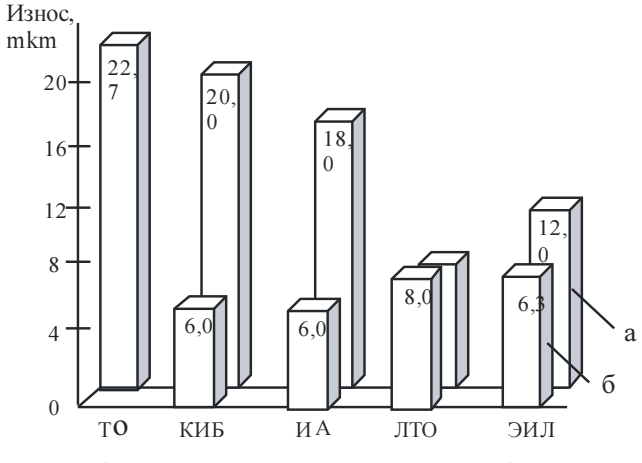


Рисунок 2 – Износостойкость сплошных (а) и дискретных (б) покрытий при 200° С без смазки

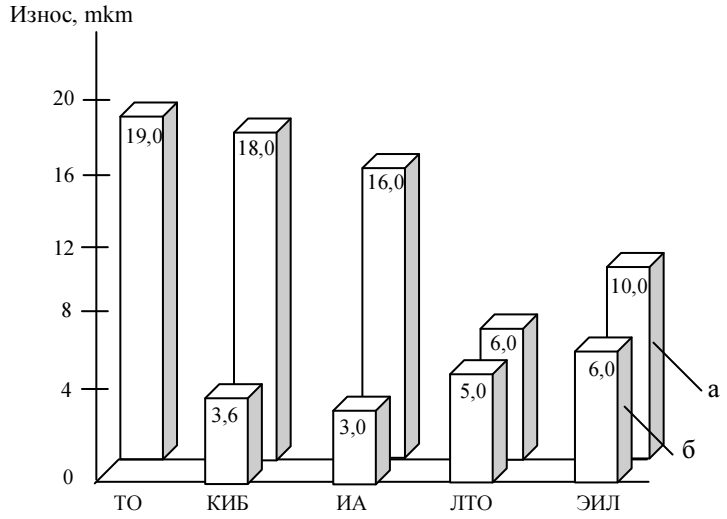


Рисунок 3 – Износостойкость сплошных (а) и дискретных (б) покрытий при 20° С со смазкой

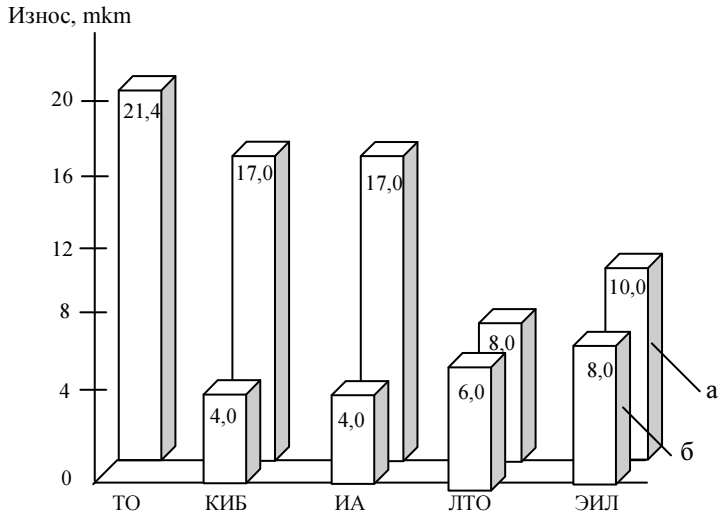


Рисунок 4 – Износостойкость сплошных (а) и дискретных (б) покрытий при 200° С со смазкой

Выводы.

Из сравнения износостойкости альтернативных технологических вариантов следует преимущество покрытий дискретной структуры. По достижимому уровню износостойкости дискретной структуры преимуществом обладает технология ионного азотирования. Решение о выборе альтернативной технологии необходимо принимать с учетом ее наукоемкости наряду с достижимым уровнем износостойкости.

Список литературы

1. Ляшенко Б.А. Рекомендации по реконструкции технологического парка Украины для упрочняющих защитных покрытий / Б.А.Ляшенко, С.А.Клименко, М.И.Черновол, Е.К.Соловых [и др.] // Инжен. поверхн. и реновация изделий: Матер. 7-й междун. научн.-техн. конф., 29-31 мая 2007, Ялта – Киев: АТМ Украины, 2007. – С.127-132.
2. Ляшенко Б.А. Рекомендации по реконструкции технологического парка Украины для нанесения упрочняющих защитных покрытий/ Б.А.Ляшенко, В.А.Илюшин, С.А.Клименко, Е.К.Соловых // Інструментальний світ – 2007. –№ 3 (35). – С.12-15.

3. Соловых Е.К. Модернизация машиностроения Украины по технологиям поверхностного упрочнения /Е.К.Соловых Б.А.Ляшенко А.Д.Соколов // Вісник інженерної академії України – Київ, 2007, вип. 2. – С.112-118.
4. Ляшенко Б.А. Упрочнение поверхности металлов покрытиями дискретной структуры с повышенной адгезионной и когезионной стойкостью/ Б.А.Ляшенко, Ю.А.Кузема, М.С.Дигам, О.В.Цыгулев – Киев, 1984. – Препр. ИПП АН УССР. – 57 с.
5. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры /Б.А.Ляшенко, А.Я.Мовшович, А.И.Долматов // Технологические системы – 2001 - № 4 (10). – С.17-25.
6. Антонюк В.С. Аналітичні та числові методи проектування дискретних покриттів на інструментальних матеріалах /В.С.Антонюк, О.Б.Сорока, Є.К.Солових [та ін.] // Зб. „Математичні проблеми механіки неоднорідних структур – Львів – 2006. –Т.1. – С.121-123.
7. Сорока Е.Б. Напряженно-деформированное состояние инструментальных материалов с вакуум-плазменными покрытиями / Е.Б.Сорока, В.С.Антонюк, Е.К.Соловых [и др.] // Инженерия поверхности и реновация изделий: Матер. 8 междун. науч.-техн. конф., 27-29 мая, 2008, Ялта – Киев: АТМУ – 2008. – С.223-225.
8. Соловых Е.К. Технологическое обеспечение вакуум-плазменных покрытий дискретной структуры /Е.К.Соловых, Б.А.Ляшенко, А.В.Рутковский [и др.] // Технологические системы – 2007, № 2. – С.22-27.
9. Пат. 26555 Україна, С23С 14/32, С23С 14/04. Спосіб нанесення зносостійких несуцільних покриттів на неметалеві матеріали // Ляшенко Б.А., Солових Є.К., Антонюк В.С. [та ін.] Опубл. 25.09.2007, Бюл. № 15.
10. Пат. 26322 Україна, С23С 14/00, С23С 14/24, С23С 14/26. Установка для вакуум-плазмового напилення // Солових Є.К., Ляшенко Б.А., Антонюк В.С. [та ін.] Опубл. 10.09.2007, Бюл. № 14.
11. Солових Е.К. Технологическое обеспечение дискретной структуры поверхности при азотировании / Е.К.Солових, Б.А.Ляшенко, В.Г.Каплун [и др.] // Технологические системы – 2009, № 2.-С.55-59.

Є. Солових

Вибір альтернативних технологій нанесення зносостійких покриттів дискретної структури

У роботі проведено порівняльний аналіз зносостійкості зразків, отриманих із застосуванням альтернативних технологічних варіантів, який показав перевагу покриттів дискретної структури

E.Solovikh

Choice of alternative technologies hardfacing discrete structures

The comparative analysis of the wear resistance of the samples obtained with the use of alternative technological options, which showed the advantage of covering a discrete structure

Одержано 21.05.10

УДК 621.78.012

Ф.М. Капелюшний, доц., канд. техн. наук, М.М. Калита, інж., С.Є. Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Оптимізація процесу охолодження гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання при їх термопластичному деформуванні

В статті розглянуто і проаналізовано фізичні процеси що протікають при різних способах охолодження в періоді термопластичного деформування поверхонь деталей. Запропоновано раціональний спосіб охолодження для впровадження на ремонтних підприємствах при серійному і багатосерійному типах відновлення деталей
термопластичне деформування, процес охолодження, теплообмін, фазові перетворення

Як відомо, кожна термічна операція складається з нагрівання і охолодження. Сьогодні в ремонтному виробництві використовують традиційні (нагрівання в полум'яних печах) та сучасні (індукційні, електроконтактні, плазмові, дугові, лазерні та інші) методи нагрівання.

Охолодження є важливим етапом процесу термообробки сталі, особливо при нагріванні вище температури фазових перетворень. Воно може здійснюватись в печах, на повітрі, в газових середовищах, за допомогою металевих плит, в розплавах металів і сплавів, солей і лугів, а також зануренням у спокійну воду, масло, потоком води та водяним душем.

Вибір охолоджуючого середовища та способів подачі її на загартовувану поверхню обумовлюються як необхідністю отримати задану структуру металу, так і конкретними умовами технологічного процесу термообробки.

Охолодження у воді є найбільш простим методом і у зв'язку з цим він найбільш широкого застосовується в машинобудуванні в цілому і в ремонтному виробництві зокрема.

Розглянемо фізичний процес охолодження нагрітої деталі при зануренні її у воду Перші порції води, потрапляючи на охолоджувану поверхню призводять до появи на ній розділу «тверде тіло - рідина» великої кількості парових бульбашок.

Мінімальна робота утворення бульбашки може бути розрахована з залежності:

$$L_{\min} = -\Delta p \cdot V + \sigma_F, \qquad (1)$$

де Δp – перепад тиску;

V – об’єм бульбашки;

F – площа поверхні бульбашки;

σ_F – робота по утворенню міжфазової поверхні F.

На рисунку 1 відображені складові виникнення бульбашки пару на поверхні нагріву при умові, що рідина змочує цю поверхню нагріву, а також крайовий кут змочування $\theta_{кип}<\pi/2$.

© Ф.М. Капелюшний, М.М. Калита, С.Є. Катеринич, 2010

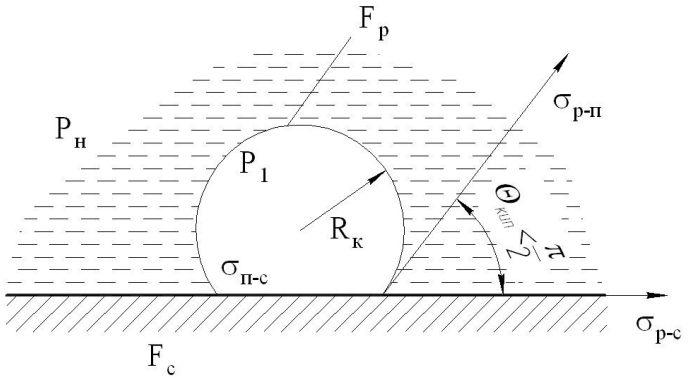


Рисунок 1 – Визначення мінімальної роботи утворення бульбашок критичного розміру

Повна площа поверхні бульбашки F складається із частини F_p, на якій пар торкається рідини та основи бульбашки F_c. Визначимо роботу утворення нових поверхонь розділу фаз при появі такої бульбашки на поверхні теплообміну. До появи бульбашки поверхні F_p не було, а ділянка F_c змочувалась рідиною.

Поверхнева енергія на цій ділянці була $\sigma_{p\text{-}n} \cdot F_c$. Після виникнення бульбашки утворилася поверхня F_p для чого була виконана робота $\sigma_{p\text{-}c} \cdot F_p$, крім цього на поверхні F_c відбулася заміна рідини паром. На цей процес необхідна енергія, яка може бути визначена як (робота адгезії):

$$\sigma_A = \sigma_{n-c} \cdot F_c - \sigma_{p-c} \cdot F_p . \tag{2}$$

В результаті робота утворення нових поверхонь, при появі бульбашки на поверхні твердого тіла дорівнює:

$$\sigma_F = \sigma_{n-c} - F_p + \left(\sigma_{n-c} - \sigma_{p-c}\right) \cdot F_c . \tag{3}$$

Згідно рисунку 1 отримаємо:

$$\sigma_{n-c} - \sigma_{p-c} = \sigma_{p-n} \cdot \cos\theta \ . \tag{4}$$

Тоді

$$L_{\min} = -\Delta p \cdot V + \sigma F \left[1 - \frac{F_c}{F\left(1 - \cos\theta\right)} \right]. \tag{5}$$

Після утворення, бульбашки миттєво випаровуються і вкривають поверхню охолодження тоненькою плівкою пару, яка щільно прилягає до поверхні тіла зануреного в охолоджувальну рідину (перша криза тепловіддачі).

Товщина цієї парової плівки залежить від швидкості руху тіла в охолоджуючій рідині та початкової температури тіла.

Таким чином, на першій стадії передача тепла від виробу до охолоджуючої рідини (води) проходить через плівку пару. Коли температура на поверхні тіла знижується до 450…400 ° С стійкість парової плівки, за теплофізичних умов, порушиться.

Досягнувши критичної товщини, відповідної відривним розмірам парових бульбашок на стадії ядерного кипіння, плівка розривається і швидкість охолодження різко збільшується (друга криза тепловіддачі) (рис. 2).

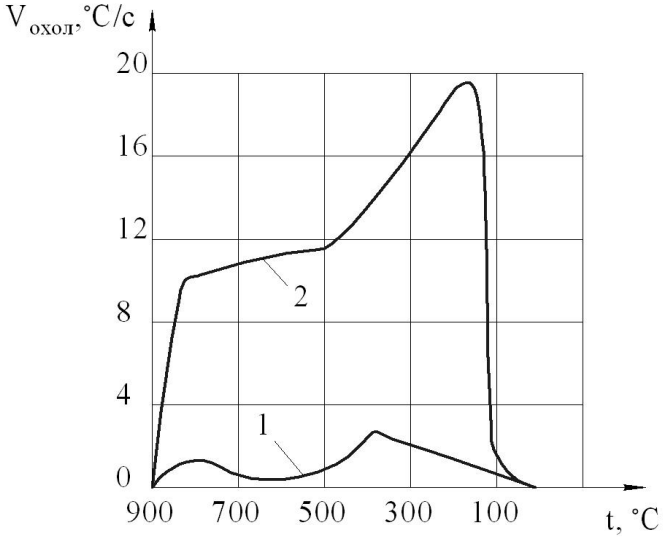


Рисунок 2 – Характеристичні криві для швидкостей охолодження зануренням у воду (крива 1) і струменями водяними під тиском 0,75 МПа (крива 2)

Так як, розрив плівки на різних ділянках поверхні тіла виникає не одночасно, то цей процес може стати причиною напруження між цими ділянками і, як наслідок – виникнення тріщин.

При бульбашковому кипінні швидкість тепловідводу залежить від енергії витраченої на виникнення бульбашок пару з рідини та їх росту до відривних бульбашок. Більш енергоємним є процес виникнення парових бульбашок. В умовах занурення тіла у воду бульбашки відриваються від поверхні тіла тільки тоді, коли досягнуть достатніх розмірів, тому швидкість охолодження залежить, головним чином, від цього процесу, а більш енергоємний процес виникнення нових бульбашок відіграє другорядну роль. При температурі 200…250°С бульбашкове кипіння припиняється, тому, що енергія, яку передає тіло у воду недостатня для виникнення бульбашок. При цьому виникає конвективний теплообмін між рідиною і виробом (третя криза тепловіддачі). При подальшому охолодженні інтенсивність процесу тепловіддачі знижується.

Виходячи з вищевикладеного можемо зробити висновок, що охолодження методом занурення у воду має ряд суттєвих недоліків. Це повільна швидкість охолодження в початковий період (вплив парової плівки); підвищена схильність до утворення тріщин від нерівномірності охолодження поверхні; сповільнене охолодження на стадії конвективного теплообміну.

Цих недоліків позбавлений струменевий спосіб охолодження (водяний душ), який здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв – спрейєрів.

Струменевий спосіб подачі води на загартовану поверхню зберігає три-стадійний характер охолодження, властивий воді, як середовищу, що змінює свій агрегатний стан при зміні температури. Проте при струменевому охолодженні теплообмін поверхні виробу з оточуючим середовищем значно інтенсивніший, так як він відбувається в умовах примусового руху рідини, в той час, як при охолодженні зануренням тільки сам процес охолодження створює деякий рух води відносно поверхні тіла.

На стадії плівкового кипіння швидкість струменевого охолодження значно вища швидкості охолодження при зануренні у воду, так як плівка пару під дією інтенсивних водяних струменів деформується, стає тонкою та руйнується.

На стадії бульбашкового кипіння струмені води запобігають росту бульбашок, збиваючи їх з поверхні тіла, майже зразу після утворення, тому в цьому випадку вирішальну роль відіграє процес зародження бульбашок і інтенсивність охолодження різко зростає.

Незважаючи на різке підвищення швидкості охолодження, при струменевому методі, не була відмічена схильність до утворення тріщин, оскільки тріщини, як відмічалось,

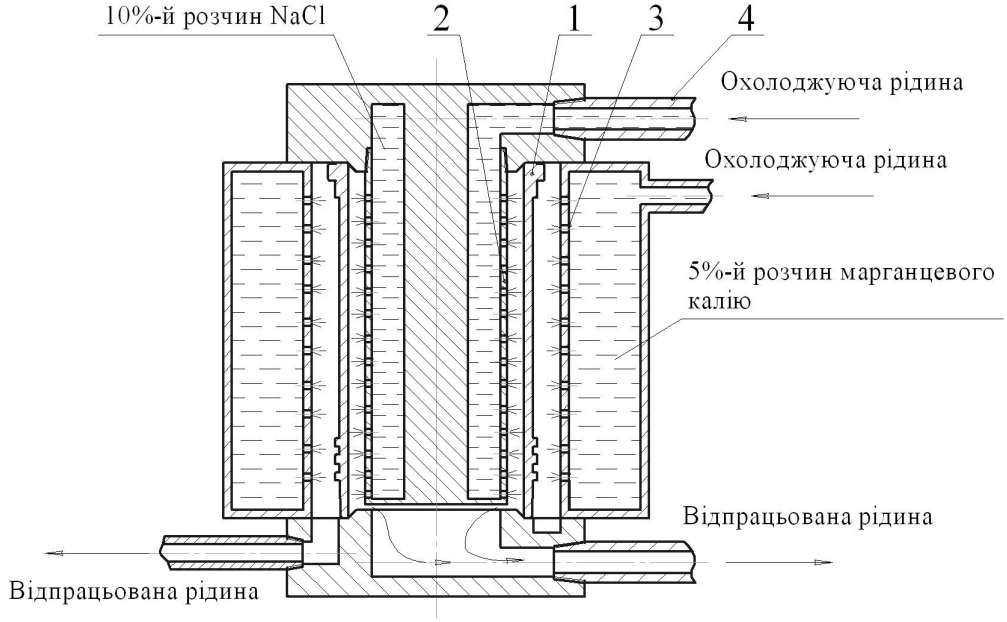
виникають не від різкого, а від нерівномірного охолодження поверхні тіла. При інтенсивному струменевому охолодженні спостерігається більш рівномірне охолодження і, як наслідок, більш рівномірний розподіл напружень в поверхні, що зменшує деформацію тіла.

На стадії конвективного теплообміну струменевий метод охолодження також більш ефективний, оскільки поверхня тіла постійно омивається свіжими порціями води.

Як показує досвід, інтенсивність струменевого охолодження залежить від декількох факторів: витрат води, тиску, швидкості струменю в мить його попадання на поверхню, діаметру і частоти розташування отворів, умов відведення охолоджувальної рідини.

Недоліком струменевого охолодження є те, що загартування кожного нового виробу іншої форми і розмірів, потребує розробки і виготовлення відповідного спрейєра.

Виходячи з вищевикладеного, можливі наступні висновки, що, незважаючи на деяку складність у виготовленні спрейєрів, струменеве охолодження має ряд істотних переваг перед охолодженням зануренням і може бути використане для впровадження на ремонтних підприємствах при серійному і багатосерійному типах відновлення деталей, наприклад при відновленні гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання (рис. 3).



1 – гільза циліндра; 2 – спрейєр внутрішній; 3 – спрейєр зовнішній; 4 – трубопровід Рисунок 3 – Схема розміщення зовнішнього та внутрішнього спрейєрів при охолодженні гільзи циліндра

Список літератури

1. Исаченко В.П., Теплопередача / В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел – 2-е изд.,- М., Энергия, 1969. – 440с.
2. Аулін В.В. Зміцнення при відновленні поршневих пальців і гільз циліндрів ДВЗ електроконтактним нагріванням та комбінованим спрейєрним охолодженням./ В.В.Аулін, Ф.М.Капелюшний, Є.К.Солових, М.М.Калита, [та ін.] //Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький: ХНУ, 2005. – №2 – С.123-131.

Ф.Капелюшный, Н.Калита, С.Катеринич

Оптимизация процесса охлаждения гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания при их термопластическом деформировании

В статье рассмотрены и проанализированы физические процессы, протекающие при различных способах охлаждения в период термопластического деформирования поверхностей деталей. Предложен рациональный способ охлаждения для внедрения на ремонтных предприятиях серийного и массового типа восстановления деталей

F.Kapelushniy, N.Kalita, S.Katerinich

Optimisation of process of cooling of sleeves of cylinders of internal combustion engines at their thermoplastic deformation

To article are considered and analysed physical processes coolings proceeding at various ways in thermoplastic deformation of surfaces of details. The rational way of cooling for introduction on repair shops and mass type restoration details is offered.

Одержано 21.05.10

УДК 621.4.002.2: 629.73.002.72

Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р. техн. наук, А.Ю. Невдаха, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції

Описуються можливості розробленого та виготовленого стенду для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції із заміром биттів на призмах, та на поворотному контрольному пристосуванні. Описуються деталі ротора, роторні комплекти, які з них можна сформувати, розраховується загальна кількість різних варіантів складання зазначених комплектів.
ротор барабанно-дискової конструкції, складання роторів, биття, призми, роторний комплект

Вступ. На сьогоднішній день актуальною задачею двигунобудування є складання роторів газотурбінних двигунів (ГТД). Підвищення вимог до точності складання цих роторів призвело до того, що допуски на радіальні і торцеві биття контрольних поверхонь ротора стали величинами одного порядка з неточностями виготовлення стикувальних поверхонь деталей, їх деформаціям при стикуванні. З іншого боку з'явились ротори в яких стиковка деталей відбувається по двом і більше поверхням. Крім того, тонкі диски, проставки і інші подібні деталі ротора набувають кінцеву жорсткість і форму тільки в повністю зібраному роторі, а у вільному стані вони деформуються і коробляться. В роботах [1-8] описуються технологічні процеси складання роторів барабанно-дискової конструкції компресорів ГТД.

В роботах [1-3], на етапі прогнозування якості складання зазначених роторів лежать припущення про абсолютну жорсткість деталей що стикуються (дисків, проставок, валів тощо), ідеальної циліндричності бокових і ідеальної площинності торцевих поверхонь що стикуються. Тому при стикуванні двох умовних ланок ротора умовно утворюється кінематична пара V-го класу типу циліндричного шарніру, якщо розглядати кут повороту одної ланки пари відносно другої як степінь вільності.

В роботах [5-8] було встановлено і експерементально підтверджено, що кінематична пара V-го класу типу циліндричного шарніру буде утворюватись і в випадку не ідеальної циліндричності бокових і не ідеальної площинності торцевих поверхонь що стикуються, за умови стикування бокових поверхонь з натягом, а торцевих – із силовим замиканням. На підставі цього був розроблений спосіб складання роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром положень деталей ротора на поворотному контрольному пристосуванні (поворотному складальному штапелі). В роботі [9] були

© Г.Б. Філімоніхін, А.Ю. Невдаха, 2010

F.Kapelushniy, N.Kalita, S.Katerinich

Optimisation of process of cooling of sleeves of cylinders of internal combustion engines at their thermoplastic deformation

To article are considered and analysed physical processes coolings proceeding at various ways in thermoplastic deformation of surfaces of details. The rational way of cooling for introduction on repair shops and mass type restoration details is offered.

Одержано 21.05.10

УДК 621.4.002.2: 629.73.002.72

Г.Б. Філімоніхін, проф., д-р. техн. наук, А.Ю. Невдаха, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції

Описуються можливості розробленого та виготовленого стенду для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції із заміром биттів на призмах, та на поворотному контрольному пристосуванні. Описуються деталі ротора, роторні комплекти, які з них можна сформувати, розраховується загальна кількість різних варіантів складання зазначених комплектів.
ротор барабанно-дискової конструкції, складання роторів, биття, призми, роторний комплект

Вступ. На сьогоднішній день актуальною задачею двигунобудування є складання роторів газотурбінних двигунів (ГТД). Підвищення вимог до точності складання цих роторів призвело до того, що допуски на радіальні і торцеві биття контрольних поверхонь ротора стали величинами одного порядка з неточностями виготовлення стикувальних поверхонь деталей, їх деформаціям при стикуванні. З іншого боку з'явились ротори в яких стиковка деталей відбувається по двом і більше поверхням. Крім того, тонкі диски, проставки і інші подібні деталі ротора набувають кінцеву жорсткість і форму тільки в повністю зібраному роторі, а у вільному стані вони деформуються і коробляться. В роботах [1-8] описуються технологічні процеси складання роторів барабанно-дискової конструкції компресорів ГТД.

В роботах [1-3], на етапі прогнозування якості складання зазначених роторів лежать припущення про абсолютну жорсткість деталей що стикуються (дисків, проставок, валів тощо), ідеальної циліндричності бокових і ідеальної площинності торцевих поверхонь що стикуються. Тому при стикуванні двох умовних ланок ротора умовно утворюється кінематична пара V-го класу типу циліндричного шарніру, якщо розглядати кут повороту одної ланки пари відносно другої як степінь вільності.

В роботах [5-8] було встановлено і експерементально підтверджено, що кінематична пара V-го класу типу циліндричного шарніру буде утворюватись і в випадку не ідеальної циліндричності бокових і не ідеальної площинності торцевих поверхонь що стикуються, за умови стикування бокових поверхонь з натягом, а торцевих – із силовим замиканням. На підставі цього був розроблений спосіб складання роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром положень деталей ротора на поворотному контрольному пристосуванні (поворотному складальному штапелі). В роботі [9] були

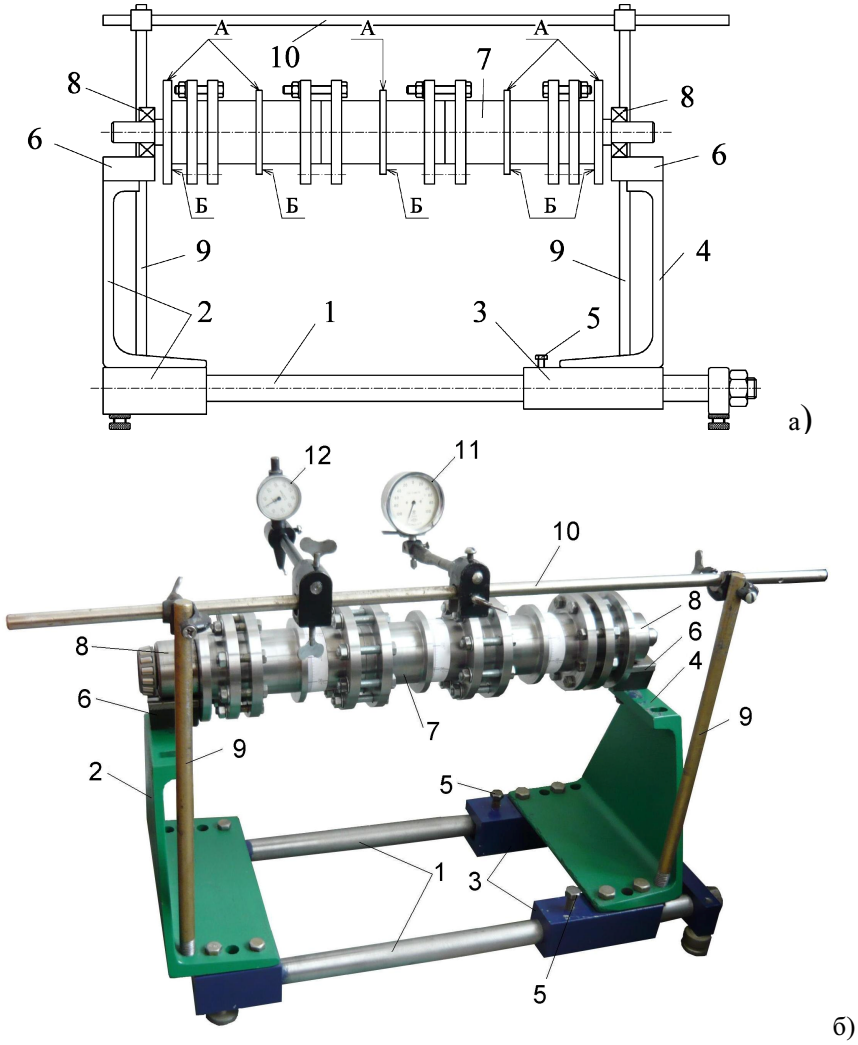
© Г.Б. Філімоніхін, А.Ю. Невдаха, 2010

розроблені алгоритми віртуального складання роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань із заміром биттів на призмах.

У цій роботі описується конструкція розробленого та виготовленого стенду, призначеного для дослідження процесу складання роторів ГТД барабанно-дискової конструкції з заміром биттів як на поворотному контрольному пристосуванні, так і на призмах. Стенд складається з двох відповідних пристосувань і окремих деталей ротора барабанно-дискової конструкції з яких можна комплектувати різні ротори.

1. Конструкція контрольного пристосування для встановлення міжопорного ротора на дві опори. Воно призначено для експериментального визначення досягнутих (фактичних) положень деталей ротора в повністю зібраному міжопорному роторі шляхом заміру радіальних і торцевих биттів контрольних поверхонь деталей.

На рис.1,а приведена схема пристосування. На раму 1 встановлена ліва нерухома платформа 2. Рухома салазка 3 жорстко з'єднана з платформою 4, має можливість переміщатись по рамі 1 і може фіксуватись стопорним гвинтом 5. На платформах 2, 4 розміщені опорні призми 6. Ротор 7 встановлюється підшипниками 8 на призми 6, для чого рухома салазка 3 пересувається по рамі 1 на потрібну відстань. Кулькові радіально-опорні підшипники 8 наближають встановлення ротора 7 до умов експлуатації. На платформах 2, 4 встановлені стійки 9, до яких кріпиться перекладина 10, призначена для кріплення індикаторів переміщень годинникового типу (на схемі не показані). Індикаторна прекладена 10 забезпечує горизонтальне переміщення індикаторів паралельно подовжньої осі ротора.



а) схема; б) фотографія

Рисунок 1 – Контрольне пристосування для встановлення міжопорного ротора на дві опори

На рис.1,б приведено фотографію пристосування, зробленого відповідно до схеми. На фотографії показано індикатори годинникового типу:

– ІЧ - 05 ГОСТ 577-68 (ТУ 2-034-611-84) для заміру радіальних биттів (11).;

– Ч-8559 ГОСТ 5584-50 для заміру торцевих биттів (12).

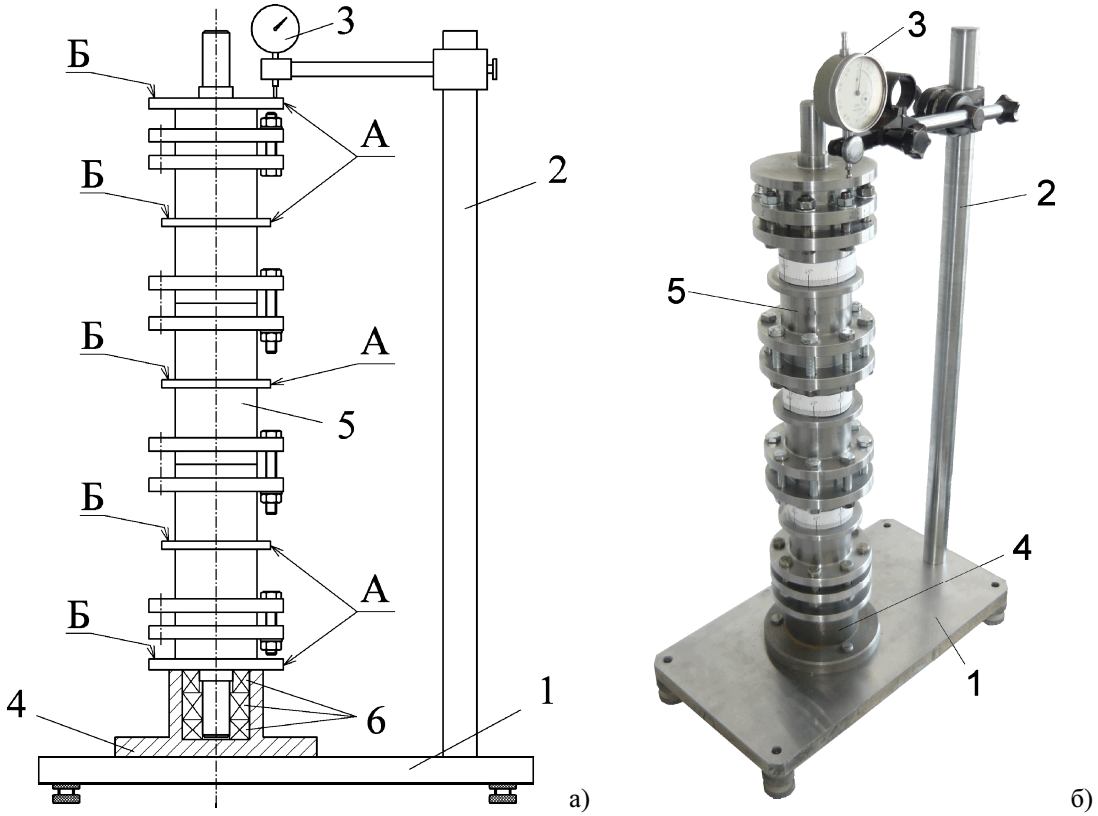
Розроблене пристосування дозволяє визначати положення деталей (ланок) в зібраному роторі, за умови, що міжопорна відстань ротора лежить у межах 250-550 *мм*. Використання цього пристосування і алгоритмів роботи [9] дозволяє:

– визначати характеристики всіх пар ротора розрахунковим шляхом за результатами замірів биттів двічі пробно складеного ротора;

– виконувати оптимальне складання міжопорного ротора без поточного контролю биттів.

2. Конструкція контрольного поворотного пристосування для консольного встановлення роторів. Воно призначено для експериментального визначення досягнутих (фактичних) положень деталей (ланок) частково чи повністю складеного консольного ротора шляхом заміру радіальних і торцевих биттів контрольних поверхонь деталей (ланок).

На рис.2,а приведена схема пристосування. На станину 1, жорстко встановлена індикаторна стійка 2 для вертикального переміщення індикатора годинникового типу 3. Індикаторна стійка 2 дозволяє змінювати положення індикатора, завдяки чому можна проводити замір торцевих і радіальних биттів одним індикатором. Також до станини 1 кріпиться поворотний центрувальний пристрій 4. Ротор 5 встановлюється в поворотний центрувальний пристрій 4. Для забезпечення обертання ротора 5, поворотний центрувальний пристрій виконаного у вигляді корпусу з підшипниками 6 (радіально-упорний роликовий підшипник 7304А, ГОСТ 27365-87, та два радіально-упорні шарикові підшипника 304, та 204 ГОСТ 8338-75).



а) схема; б) фотографія

Рисунок 2 – Контрольне поворотне пристосування для консольного встановлення роторів

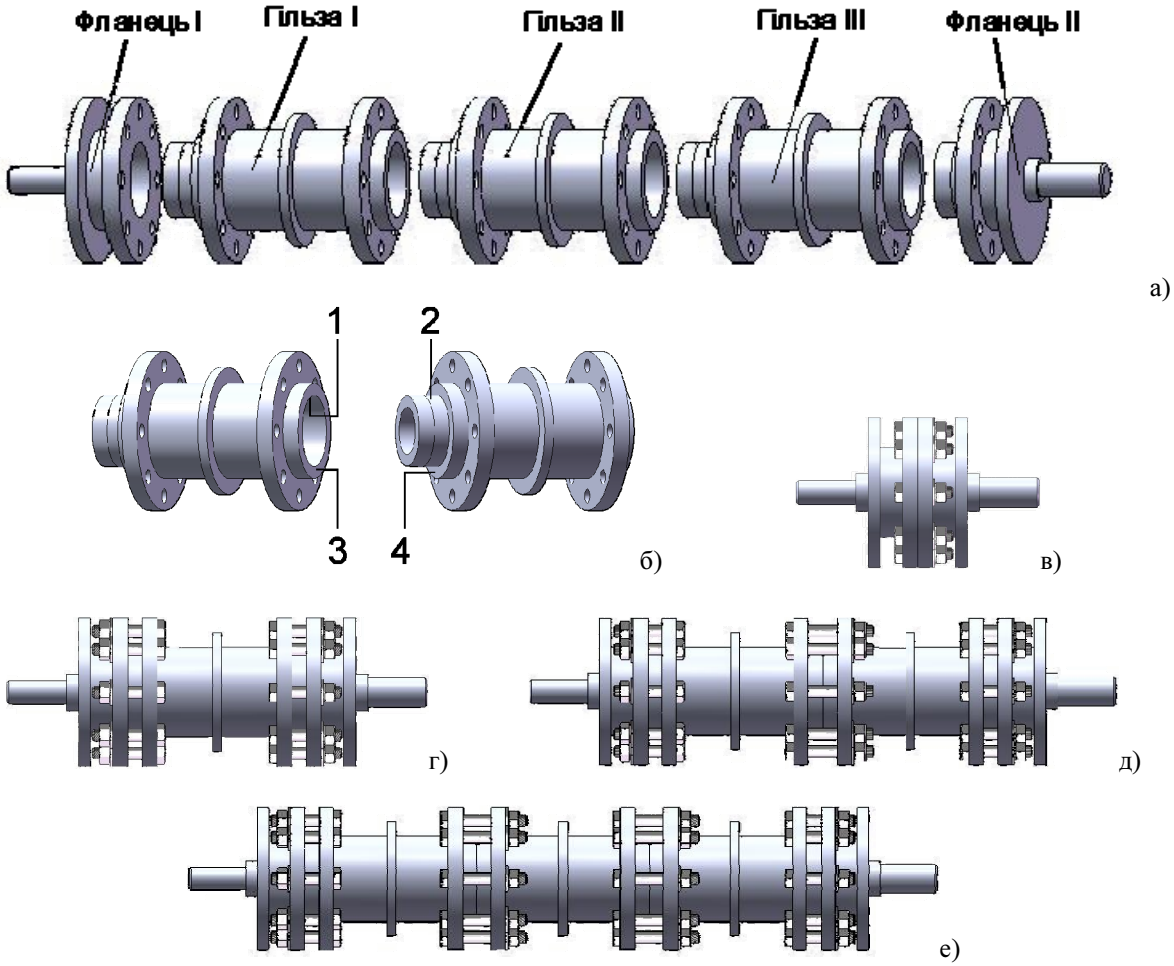
На рис.2,б приведено фотографію пристосування, зробленого відповідно до схеми.

Розроблене пристосування дозволяє визначати положення деталей (ланок) в зібраному роторі, та заміряти биття посадочних поверхонь деталей (ланок) ротора. Використання контрольного поворотного пристосування і алгоритмів робот [5-8] дозволяє:

– визначати характеристики всіх пар ротора розрахунковим шляхом за результатами замірів биттів двічі пробно складеного ротора;

– виконувати оптимальне складання консольного ротора з поточним контролем биттів та без.

3. Конструкція моделі ротора. Деталі ротора (рис.3, а) це – два фланці та три гільзи. Вони дозволяють складати лінійний ротор барабанно-дискової конструкції з 2, 3, 4 та 5 деталями-ланками (рис.3, в, г, д, е):



а) деталі – ланки ротора; б) посадочні поверхні ланок ротора; в) двох ланковий ротор; г)- трьох ланковий ротор; д) чотирьох ланковий ротор; е) п’яти ланковий ротор

Рисунок 3 – Деталі, посадочні поверхні ланок ротора, та види складаємих роторів

– до складу двох-ланкового ротора (рис. 3, в) входять лише два елементи роторного комплекту: фланці I та II;

– до складу трьох-ланкового ротора (рис. 3, г) входять три елементи роторного комплекту: фланці I, II, та одно гільза з трьох;

– ротор з чотирьох ланок (рис. 3, д) складається з чотирьох елементів роторного комплекту: фланці I, II та дві гільзи з трьох;

– ротор з п’яти ланок (рис. 3, е) складається з п’яти елементів роторного комплекту: фланці I, II, гільзи I, II, III.

Слід відмітити, що при з’єднанні ланок між собою, радіальна посадочна поверхня 1 ланки k (рис.3,б) з натягом охоплює радіальну посадочну поверхню 2 ланки k+1 і з силовим

замиканням – затяжкою болтів, ланки стискаються до повного контакту торцевими посадочними поверхнями 3 та 4.

Фланці та гільзи деталей ротора мають по вісім монтажних отворів з кроком по 45°, що задають кількість варіантів складань.

Всі гільзи роторного комплекту однакові, що дозволяє міняти їх місцями. Міняючи гільзи можна складати різні варіанти роторів. Всі можливі варіанти складань роторів занесені до таблиці 1.

Для зручності визначення положень деталей в роторі було введено спеціальний двозначний код ідентифікації ротора

Ротор № *Г Р*,

де *Г* – кількість гільз в зібраному роторі (*Г* = 0, 1, 2, чи 3);

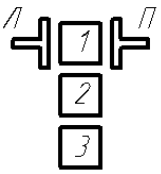
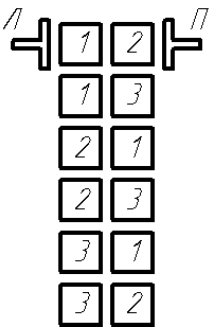
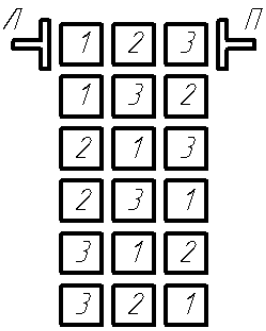
Р − порядковий номер варіанту складання фактичного ротора (для двох-ланкового ротора *Р* = 1);

для трьох-ланкового ротора *Р* = 1, 2 чи 3;

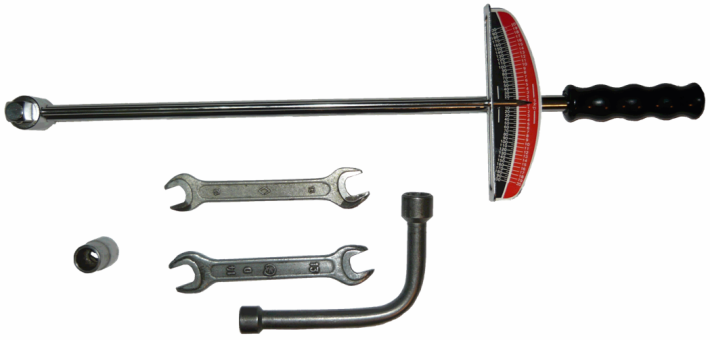
для інших *Р* = 1,…, 6.

Нумерація варіантів відбувається згідно із схемою зображеною в табл. 1 в порядку згори вниз.

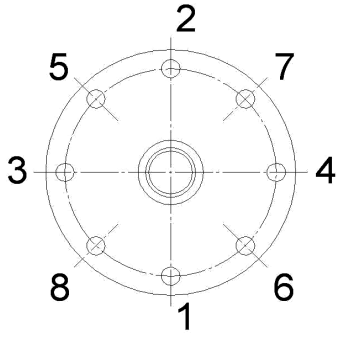
Таблиця 1 – Роторні комплекти та варіанти їх складань

Умови складань	2-х ланковий ротор	3-х ланковий ротор	4-х ланковий ротор	5-ти ланковий ротор
Схематичне зображення фактичних роторів				
Фактичні ротори	1	3	6	6
Кількість варіантів складань	8	8 · 8 = 64	8 · 8 · 8 = 512	8 · 8 · 8 · 8 = 4096

Складається ротор на монтажному столі. Для досягнення максимальної жорсткості з'єднань і точності складання ротора, з'єднувальні болти необхідно затягувати динамометричним ключем (рис.4,а) з зусиллям 20 *Н·м* в послідовності зображеній на рисунку 4,б.



а)



б)

а) ключі; б) схема затяжки болтів

Рисунок 4 – Ключі та схема затяжки болтів елементів роторного комплекту

Висновки. Створено стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції. До складу стенду входять два контрольні пристосування – для встановлення міжопорного ротора на дві опори, та для встановлення консольного ротора. Вони дозволяють визначати досягнуті (фактичні) положення деталей (ланок) в роторі шляхом заміру радіальних і торцевих биттів їх контрольних поверхонь.

Розроблені роторні деталі, комбінацією яких можна формувати різні роторні комплекти, що підлягають складанню, визначені всі можливі варіанти складань зазначених комплектів.

Стенд, разом з відповідними алгоритмами і ПЕОМ, дозволяє досліджувати процес складання консольних і двохопорних роторів барабанно-дискової конструкції, зокрема методом двох пробних складань.

Список літератури

1. Никитин Л.II. Технология сборки двигателей летательных аппаратов: Учебник для вузов. -М.: Машиностроение, 1982. - 269 с.
2. ОСТ 1.41185 - 72. Ротор компрессора с дисками, имеющие торцевые зубья: Типовой технологический процесс сборки ротора компрессора. - М.: НИАТ, 1972. - 12 с.
3. РТМ 1.4.775-80. Сборка и балансировка роторов ГТД: Руководящий технологический материал. – М.: НИАТ, 1981. – 125 с.
4. Непомилуев В.В. Разработка технологических основ обеспечения качества сборки высокоточных узлов газотурбинных двигателей: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.07.05 Рыбинск , 2000 - 36 с.
5. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя Д-18Т методом двух пробных сборок и последовательной оптимизации / Кондратюк Э.В. // Технологические системы. – 2005. –№2. – С. 10-16.
6. Кондратюк Э.В. Сборка ротора КВД газотурбинного двигателя методом двух пробных сборок и полной оптимизации / Кондратюк Э.В., Филимонихин Г.Б. // Технологические системы. – 2005. –№4 (30). – С. 9-14.
7. Кондратюк Э.В. Сборка ротора барабанно-дисковой конструкции методом двух пробных сборок / Кондратюк Э.В., Титов В.А., Филимонихин Г.Б. // Технологические системы. – 2005. –№1. – С. 30-34.
8. Кондратюк Е.В. Підвищення ефективності та якості складання роторів газотурбінних двигунів барабанно-дискової конструкції: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Національний технічний ун-т України "Київський політехнічний ін- т". — К., 2009. — 22с.
9. Невдаха А.Ю., Филимонихин Г.Б. Складання двоопорних роторів барабанно-дискової конструкції методом двох пробних складань з заміром биття на призмах. // техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2009. - № 22. - С. 206-210.

Г. Филимонихин, А. Невдаха

Стенд для исследования процесса сборки роторов барабанно-дисковой конструкции

Описываются возможности разработанного и изготовленного стенда для исследования процесса сборки роторов барабанно-дисковой конструкции с измерением биений на призмах и на поворотном контрольном приспособлении. Описываются детали ротора, роторные комплекты, которые из них можно сформировать, оценивается общее число различных вариантов сборки указанных комплектов.

G. Filimonikhin, A. Nevdakha

Stand for research of process the assembling rotors of drum-disk constructions

Possibilities of the developed and generated stand for research of process the assembling of rotors of drum-disk construction with metrical displacement on the prisms, and on the revolving control devise are described. The details of rotor, the rotor complete sets which possible to form of them are described, accountings the common quantity of different variants of assembling specified completes.

Одержано 24.05.10

УДК 631.362.3

В.О. Швидя, асп., С.П. Степаненко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
Національний науковий центр „ІМЕСГ", смт. Глеваха
Б.І. Котов, проф., д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском

Викладено результати експериментальних досліджень пневмовідцентрового сепаратора для очистки зерна. Визначено експериментальні залежності ефективності і чіткості процесу пневмосепарації від конструкційно-режимних параметрів сепаратора.
пневмосепарація, пневмовідцентровий сепаратор, очисткиа зерна, диск

Зернова суміш, отримана після збирання врожаю, складається з насіння різних культур та бур'янів, містить домішки мінерального і органічного походження. Виділення насіння основної культури в чистому вигляді є з однією із важливих і важких технологічних операцій в процесі прийому, зберігання і переробки зерна. При підготовці посівного матеріалу ступінь очистки зерна значно впливає на врожайність і стабільність якості зерна при зберіганні.

Якість очистки продовольчого зерна значно впливає на подрібнення і лущення, розділення проміжних продуктів цих процесів, визначає ефективність роботи наступних машин технологічної лінії зернопереробного підприємства.

Сучасне обладнання для сепарації зернової суміші по експлуатаційним якостям неповністю відповідає постійно зростаючим вимогам зернопереробної промисловості. Розробка нової технології сепарації зернової суміші і більш сучасної техніки для її здійснення ускладнюється в зв'язку з різноманіттям сепаруючих матеріалів і способів сепарації; складністю взаємодії часток сепаруючих матеріалів з повітряним потоком і робочими органами машини; недостатнім розвитком теоретичних основ сепарації і методів обґрунтування параметрів машин і режимів їх роботи.

Процесом сепарації займалося багато вчених, таких як В.І. Аніскін, П.М. Василенко, В.Ф. Веденьєв, В.В. Гортинський, В.П. Гарячкін, А.Б. Демський, В.Л. Злочевський, Н.И. Косілов, В.А. Кубишев, П.Н. Лапшин, М.Н. Лєтошнев, А.А. Лопан, А.Я. Маліс, Е.А. Непомнящих, Г.Д. Терсків та інші вчені. Проте, в більшості досліджень по пневмосепарації [1, 2, 3] недостатньо уваги приділяється технологічному процесу вводу зернової суміші в повітряний потік. Як показує багаторічна практика [4], через необґрунтований режим вводу зернової маси в повітряний потік погіршується ефективність сепарації на 20% і продуктивність на 25%.

Як показують дослідження [5] застосування відцентрового введення зернової суміші в повітряний потік дозволяє підвищити продуктивність існуючих машин, проте через недостатньо обґрунтовані параметри, якість роботи залишається задовільною. Виходячи із

© В.О. Швидя, С.П. Степаненко, Б.І. Котов, 2010

аналізу проведених досліджень отримана можливість підвищити ефект очистки за рахунок введення зернової суміші з меншою об'ємною концентрацією. Параметри та режими роботи такого виду сепараторів обґрунтовано недостатньо, тому актуальною задачею є дослідження технологічного процесу та обґрунтування параметрів пневмовідцентрового сепаратора для попереднього очищення зернових та насіннєвих сумішей.

Метою роботи є виявлення і оцінка впливу конструкційних параметрів розкидного диска та режимних параметрів пневмовідцентрового сепаратора на якісно-економічні показники розділення зернових сумішей.

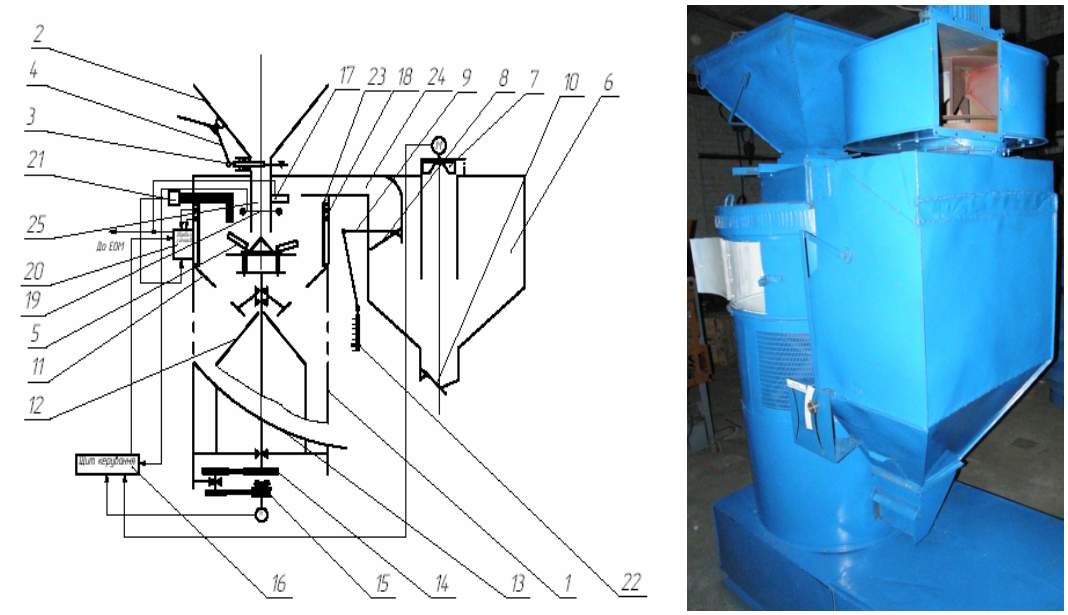
Для перевірки адекватності математичних моделей і проведення експериментальних досліджень по пневмовідцентровій сепарації лабораторією науково-технічних проблем післязбиральної обробки зерна ННЦ"ІМЕСГ" було розроблено експериментальну установку пневмовідцентрового сепаратора.

Конструкція, загальний вигляд і принцип роботи експериментальної установки пневмовідцентрового типу дії показано на рис.1. Загальний вигляд експериментального розкидного диска представлено на рис.2.

Установка включає корпус 1 в середній частині якого виконані отвори для забору повітря, до верхньої частини якого приєднано бункер 2. В нижній частині бункера 2 розміщується заслінка 3 та механізм регулювання заслінки 4. До верхньої частини корпусу 1 приєднується також через повітропровід 24 осадна камера 6, в якій розміщується клапан 8 і механізм регулювання клапана 9. До верхньої частини осадної камери 6 приєднується вентилятор 7. В нижній частині осадної камери 6 для герметизації в процесі роботи розміщується вакуумний клапан 10. До внутрішньої стінки корпусу 1 для транспортування важкої фракції приєднано скатний конус 11, в якому для забору повітря виконано вікна. Нижче і співвісно з ним розміщується розподільчий конус 12.

Між ним і внутрішньою стінкою корпуса 1 по дотичній приєднуються вивідні канали 13, які утворюють гвинтову лінію. Всередині корпусу 1, в верхній його частині розташований розкидний диск 5, який складається з розподільчого конусу 1 розміщеного в центрі, розміщених по колу секторів 3, до яких приєднуються лопатки 2. Сектори розкидного диска 3 приєднуються за допомогою болтів 5 до основи 6, якими можна регулювати кут нахилу сектора до основи 6 в двох площинах одночасно. Між сектором 3 і основою 6, співвісно на регулювальні болти для жорсткості і здійснення невеликих за амплітудою коливань сектора 3 встановлено пружини 4 (рис.2). Розкидний диск 5 (рис.2.) кінематично з'єднаний з механізмом приводу 14.

Механізм приводу 14 приводиться в дію шківом-варіатором 15, що встановлений на електродвигуні, за допомогою ремінної передачі. Над розкидним диском 5, співвісно з ним встановлено зернопровід 25, верхньою частиною який приєднується до бункера 2. До зовнішньої стінки зернопроводу 25 для спостерігання за процесом встановлено лампи підсвічення 19. Для фіксації рівномірності розподілу маси по висоті та кільцю аспіраційного каналу, до внутрішньої стінки корпусу 1 приєднуються пофарбована плівка 23. Між плівкою 23 і внутрішньою стінкою корпусу 1 для виміру значення швидкості руху фракції в каналі встановлено блок п'єзодатчиків 18, сигнал з яких обробляється на АЦП 20, що приєднується до зовнішньої стінки корпусу 1. Також в верхній частині корпусу 1 для виміру швидкості повітряного потоку встановлено трубку Піто 21. Електродвигуни шківа-варітора 15 та вентилятора 7 керуються з щита керування 16, що розміщується поза машиною.

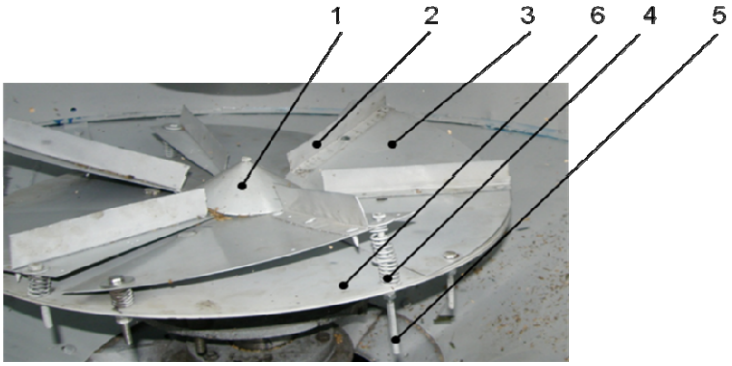


а) б)

а) – схема експериментальної установки; б) – загальний вигляд експериментального зразка

1 – корпус 2 – бункер; 3-заслінка; 4 – механізм регулювання заслінки; 5 – розкидний диск; 6- осадна камера; 7-вентилятор; 8-клапан; 9-механізм регулювання клапана; 10-вакуумний клапан; 11-скатний конус; 12-розподільчий конус; 13-вивідний канал; 14-механізм приводу; 15-шків-варіатор; 16-щит керування; 17-фотоблок; 18-блок п'єзодатчиків; 19-лампи підсвічення; 20-АЦП; 21 – трубка Піто; 22 – шкала; 23 – плівка пофарбована; 24 – повітропровід; 25 - зернопровід

Рисунок 1 – Експериментальна установка пневмовідцентрового сепаратора



1 – розподільчий конус; 2 – лопатка; 3 – сектор; 4 – пружина;5- регулювальний болт; 6 – основа

Рисунок 2 – Загальний вигляд експериментального розкидного диска

Технологічний процес на установці здійснюється наступним чином. Зерновий матеріал з бункера 2 через вікно, утворене стінками бункера 2 та заслінкою 3 по зернопроводу 25 подається на розподільчий конус 1 (рис.2) розкидного диска5 Під дією відцентрової сили зернова суміш сходить з розподільчого конуса 1 і притискається силою Коріоліса до секторів 3 розкидного диска 5, які розміщено під кутом до основи 6. (рис. 2). Під дією відцентрової сили матеріал рухається до краю сектора 3 розкидного диска 5 і сходить з нього з деякою початковою швидкістю і під деяким кутом до горизонту в висхідний повітряний потік. Внаслідок малої швидкості вітання легкі домішки захоплюються повітряним потоком в повітропровід 24 і осідають в осадній камері 6. Важкі частки, маючи більшу швидкість вітання, чим легкі, пролітають аспіраційний канал по параболічній траєкторії і стикаються з пофарбованою плівкою 23, залишаючи на ній слід.

Внаслідок пружного удару важкі частки відскакують від пофарбованої плівки 23 віддаючи частину ударного імпульсу блоку п'єзодатчиків 18 і, скочуючись по скатному конусу 11, потрапляють на розподільчий конус 12, розташований нижче. Сходячи з розподільчого конусу 12, важкі частки падають на гвинтові вивідні канали 13, кут нахилу гвинтової лінії яких більший за кут тертя важких часток і надходять до приймального лотка де і збираються в необхідній кількості.

При проведені досліджень на розробленій експериментальній установці за критерій оптимізації було взято дві функції: ефективність і чіткість сепарації.

Ефективність сепарації експериментального сепаратора оцінювали за ступенем виділення сміттєвих домішок за стандартними методиками [6], використовуючи формулу Малісса:

$$Э = \frac{a-c}{b} \times 100\%; \quad (1)$$

де а - кількість виділених повітряним потоком легких домішок;

b – кількість легких домішок в вихідній зерновій суміші, які можна виділити повітряним потоком;

с – кількість важкої фракції, виділеної повітряним потоком.

Аналіз на вміст важких часток у виділених повітряним потоком легкої фракції проводились згідно ГОСТ 10939-64 на наборі лабораторних сит, при цьому чіткість сепарації визначалась за формулою [6]:

$$Ч = \frac{a-c}{a} \times 100\%. \quad (2)$$

Для визначення впливу режимних параметрів експериментальної установки і конструктивних параметрів розкидного диска робочого на ефективність сепарації та чіткості сепарації проведена методика проведення багатофакторного експерименту.

Багатофакторні експерименти виконувались по D–оптимальному плану Бокса [7], який потребує меншої кількості дослідів і найбільш адекватно описує процеси пневмовідцентрової сепарації.

При складанні таблиці рівнів і інтервалів варіювання використовувались стандартні методики планування експерименту [8]. План Бокса розрахований на використання трьох рівнів для кожного фактора: - верхнього (+1), основного (0) і нижнього (-1), представленого в закодованому вигляді:

x_1 = k, мм, - крок установки по гвинту секторів розкидного диска;

x_2 = n, об/хв, - частота обертання розкидного диска;

x_3 = q, т/год, - подача зернового матеріалу на розкидний диск;

x_4 = V, м/с – швидкість висхідного повітряного потоку.

Значення рівнів і інтервали варіювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення і кодування рівнів факторів процесу немо відцентрової сепарації

Рівень варіювання	Незалежні фактори			
	x_1, мм	x_2, об/хв	x_3, т/год	x_4 = V, м/с
Нижній (-1)	60	100	5	5
Середній (0)	90	130	20	7
Верхній (+1)	120	160	35	9
Інтервал варіювання (ε_i)	30	30	15	2

По відомим формулам [9] було визначено коефіцієнти регресії. Для розрахунку отриманих математичних моделей на однорідність, адекватність та значимість коефіцієнтів рівняння регресії використовувались стандартні методики [9].

Після аналізу на адекватність та значимість коефіцієнтів рівняння регресії отримано наступні рівняння регресії:

– для визначення ефективності пневмовідцентрової сепарації:

$$Y\left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) = 0.76 \cdot x_1 + 12.91 \cdot x_2 - 0.07 \cdot x_1 \cdot x_4 - 0.002 \cdot x_2 \cdot x_3 - 29.03 \tag{3}$$

– для визначення чіткості пневмовідцентрової сепарації:

$$Y\left(x_1, x_2, x_3, x_4\right) = 93.5 + 0.126 \cdot x_3 - 0.836 \cdot x_4 - 0.039 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.574 \cdot x_1 \cdot x_4 \ldots + 0.064 \cdot \left(x_2\right)^2 - 0.609 \cdot x_2 \cdot x_4 - 0.193 \cdot x_3 \cdot x_4 \tag{4}$$

Обробку результатів проведених експериментальних досліджень виконали за допомогою обчислювальної техніки та прикладного програмного забезпечення, математичних та статистичних пакетів обробки даних (MathCad, MatLab, Statistica 6.0) у вигляді графічних залежностей (рис. 3 - 6).

На рис. 3–4 представлено графічні залежності ефективності сепарації ***Y*** від частоти обертання розкидного диска ***ω***, швидкості висхідного повітряного потоку ***V***, кроку установки по гвинту секторів розкидного диска ***k*** та подачі зернового матеріалу ***q***. Графічні залежності побудовані на основі рівняння (3).

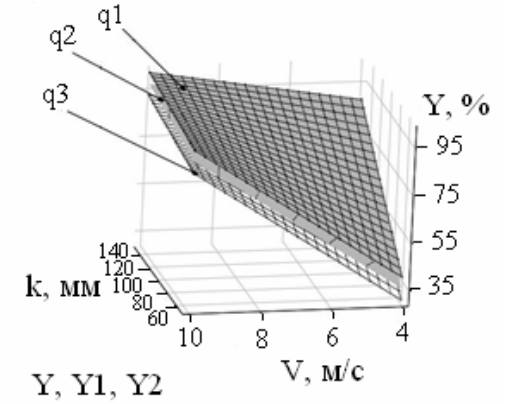


Рисунок 3 – Поверхні відгуку ефективності пневмовідцентрової сепарації Y (%) від кроку гвинта установки секторів на розкидному диску k та швидкості повітряного потоку V при різних значеннях подачі зернової суміші q: q1=5 т/год; q2=20 т/год; q3=35 т/год

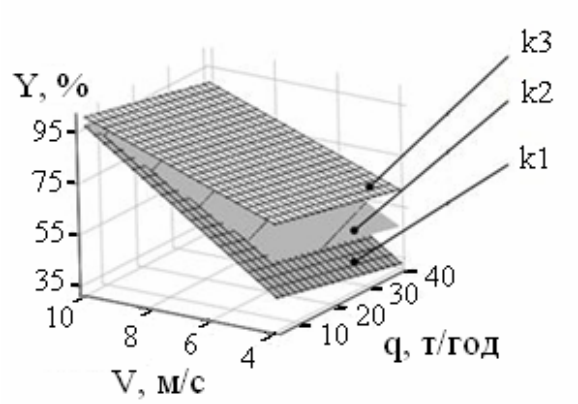


Рисунок 4 – Поверхні відгуку ефективності пневмовідцентрової сепарації Y (%) від подачі зернової суміші q та швидкості повітряного потоку V при різних значеннях кроку гвинта k (мм) установки секторів на розкидному диску: k1=60 мм; k2=90 мм; k3=120 мм.

З аналізу графіків, які представлено на рис. 3 - 4, видно, що при збільшенні кроку установки секторів розкидного диска по гвинту до 120 мм та підвищенні швидкості висхідного повітряного потоку до 9 м/с ефективність сепарації суттєво підвищується і становить близько 96%. Збільшення подачі зернової суміші на розкидний диск погіршує ефективність сепарації, так як питома об'ємна густина зернової суміші, що сходить з розкидного диска збільшується.

Поверхня відгуку, представлена на рис. 4. дає можливість зробити висновок проте, що збільшуючи швидкість висхідного повітряного потоку до 9 м/с та зменшуючи подачу зернової суміші на розкидний диск ефективність сепарації підвищується.

Таким чином, при швидкості висхідного повітряного потоку 9 м/с, кроку установки секторів по гвинту 120 мм, подачі зернового матеріалу на розкидний диск
5 т/год та частоті обертання 100 об/хв. ефективність сепарації найбільша і становить близько 96%.

На рис. 5–6 представлено графічні залежності чіткості пневмовідцентрової сепарації ***Y*** від частоти обертання розкидного диска ***ω***, швидкості висхідного повітряного потоку ***V***, кроку установки по гвинту секторів розкидного диска ***k*** та подачі зернового матеріалу ***Q***. Графічні залежності побудовані на основі рівняння (4).

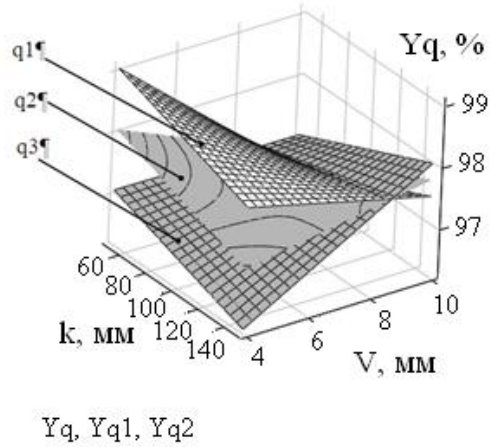


Рисунок 5 – Поверхні відгуку чіткості пневмосепарації Yq (%) від кроку гвинта установки секторів на розкидному диску k та швидкості повітряного потоку V при частоті обертання розкидного диска ω = 100 об/хв та при різних значеннях подачі зернової суміші q: q1 = 5 т/год; q2 = 20 т/год; q3 = 35 т/год

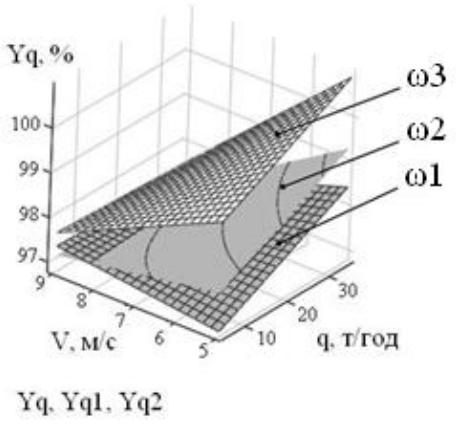


Рисунок 6 – Поверхні відгуку чіткості пневмосепарації Yq (%) від подачі зернової суміші на розкидний диск q та швидкості повітряного потоку V при кроку установки секторів на розкидному диску k = 90 мм та при різних значеннях частоти обертання розкидного диска ω: ω1 = 100 об/хв; ω2 = 130 об/хв; ω3 = 160 об/хв.

Аналіз графічних залежностей, які представлено на рис. 5 – 6, показує, що при збільшенні подачі зернової суміші на розкидний диск чіткість сепарації зменшується. Чіткість сепарації зменшується також при зменшенні швидкості повітряного потоку і кроку установки по гвинту секторів розкидного диска. Це пояснюється тим, що при збільшеній подачі зернового матеріалу та невеликій швидкості повітряного потоку ймовірність захоплення важких часток повітряним потоком незначна. При швидкості повітряного потоку 9 м/с подача зернового матеріалу в межах від 5 до 35 т/год не впливає на чіткість сепарації. Це пояснюється тим, що при такій швидкості повітряного потоку досягнута нижня границя швидкості вітання важкої фракції, тому захоплення відбувається при будь-якій подачі зернового матеріалу. При швидкостях повітряного потоку більших за 9 м/с, збільшення подачі зернового матеріалу в діапазоні від 35 до 10 т/год призводить до збільшення чіткості сепарації, а в діапазоні від 10 до 5 т/год до зменшення чіткості сепарації. Поверхня відгуку, зображена на рис.6 показує, що при швидкості повітряного потоку 8,5 м/с зміна частоти обертання розкидного диска в діапазоні від 100 об/хв до 130 об/хв. не впливає на чіткість пневмовідцентрової сепарації. При збільшенні частоти обертання розкидного диска чіткість сепарації збільшується.

Таким чином, максимальна чіткість сепарації 100 % спостерігається при швидкості висхідного повітряного потоку 5 м/с, кроку установки секторів по гвинту 60 мм, подачі зернового матеріалу на розкидний диск 45 т/год та частоті обертання 160 об/хв.

Висновок: Проведені експериментальні дослідження дали змогу отримати нові емпіричні математичні моделі (рівняння регресії), на основі яких можна оцінити якість роботи експериментального сепаратора і перевірити адекватність теоретичних моделей. Експериментально доведено, що збільшення кроку установки секторів на розкидному диску призводить до підвищення ефективності сепарації. Встановлено, що оптимальні конструкційно-режимні параметри установки, при яких збільшується ефективність (92-97%) і чіткість сепарації (95-96%) знаходиться в межах:

– швидкість повітряного потоку V = 7 – 7,5 м/с;
– кроку установки по гвинту секторів на розкидному диску k = 80 - 100 мм
– подачі зернового матеріалу q = 15 - 25 т/год;
– частоті обертання розкидного диску ω = 120 – 140 об/хв.

Список літератури

1. Малис А.Я., Демидов А.Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. — М.: Машгиз, 1962.
2. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин А.М. Процессы сепарации на зерноперерабатывающих предприятиях. — М.: Колос,1980 .- 303 с.
3. Заика П.М., Мазнев Г.Е. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. — М.: Колос, 1978. – 287 с.
4. Авдеев Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. — М.: Колос, 1975. – 152с.
5. Современные средства предварительной очистки зерна. // Механизация и электрофикация сельского хозяйства, 1986, №8. – С.60 – 63.
6. Гортинский В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М., Колос. 1973. – 295 с.
7. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. – 168 с., ил.
8. Ковшов В.Н. Постановка инженерного эксперимента. — Киев – Донецк: Вища школа, Главное изд-во, 1982, — 120с.

В.Швыдя, С. Степаненко, Б. Котов

Результаты экспериментальных исследований пневмосепарации зерна у пневмоцентробежном сепараторе с усовершенствованным экспериментальным диском

Изложены результаты экспериментальных исследований пневмоцентробежного сепаратора для очистки зерна. Определено экспериментальные зависимости эффективности и чёткости процесса пневмосепарации от конструкционно-режимных параметров сепаратора.

V. Shvidia, S. Stepanenko, B. Kotov

Results of experimental researches of pneumatic separation corn at pneumatic centrifugal separator with the improved experimental disk

The results of experimental researches of pneumatic centrifugal separator for cleaning of corn are expounded. Experimental dependences of efficiency and clearness of process of pneumatic separation are certain on the construction-regime parameters of separator

Одержано 26.03.10

УДК 678

Ф.І. Василенко, проф., канд. техн. наук, І.Ф. Василенко, доц., канд. техн. наук, О.П. Бруцький, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Теоретичні передумови відновлення підшипників ковзання поліамідними композиціями з накладенням ультразвукових коливань

Наведені результати теоретичних досліджень, спрямованих на використання ультразвукових коливань при відновленні підшипників ковзання жниварок збиральних машин тонкошаровими покриттями литтям під тиском склонаповнених поліамідних композицій.
ультразвукові коливання (УЗК), склонаповнені поліамідні композиції (СПК), розплави, підшипники ковзання (ПК), композиційні покриття (КП)

У різних областях переробки полімерів зростає увага до використання ультразвуку. Висока ефективність метода дає можливість використовувати ультразвукові технології як у якості основних, так і у якості допоміжних способів [1]. Так, наприклад [2], використання вібраційної техніки дає можливість передавати перероблюваному матеріалові значні знакозмінні прискорення, внаслідок чого у полімерах протікає цілий ряд специфічних фізичних і хімічних процесів. Вони дозволяють підвищити якість готових виробів та знизити трудомісткість технологічних процесів. У багатьох випадках під дією УЗК підвищується структурна однорідність, знижується рівень залишкових напружень та покращуються технологічні властивості матеріалів.

При введенні в оброблюване ультразвуком середовище джерела коливань у ньому встановлюється ультразвукове поле, характеристики якого залежать від параметрів джерела коливань та властивостей оброблюваного матеріалу. Основним параметром поля є швидкість розповсюдження пружних коливань, величина яких визначається фізичними властивостями речовини.

У рідинах, пружні властивості яких залежать від стисливості, швидкість звуку (с) визначається з рівняння:

$$\tilde{n} = \sqrt{\frac{1}{\beta p}},$$

де β – стисливість при постійній температурі;

р – щільність середовища.

Важливою характеристикою ультразвукового поля є звуковий тиск (р), що має такий вираз:

$$\delta = p_0 + \grave{A}\rho\tilde{n}\omega\cos\omega t,$$

де ρ_0 – тиск навколишньої атмосфери;

A – амплітуда коливань максимального значення;

ω – кутова частота;

© Ф.І. Василенко, І.Ф. Василенко, О.П. Бруцький, 2010

t – координата часу.

Другий член рівняння являє собою власне звуковий тиск, що викликаний розповсюджуванням пружних хвиль.

За встановленими в акустиці правилами питому енергію ультразвуку прийнято оцінювати за допомогою його інтенсивності (I).

$$I = \frac{F}{S},$$

де F – повна енергія ультразвуку;

S – площа випромінювача.

Поширення ультразвуку чиниться з внутрішніми втратами на поглинання. При вимірюванні амплітуди коливань розплаву, збудженої УЗК, на початку (x_1) і у кінці (x_2) в об'ємі, то рівняння коефіцієнту поглинання (α) має вигляд:

$$\alpha = \frac{1}{(x_2 - x_1)} \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right),$$

де A_1 та A_2 – відповідно амплітуда УЗК в об'ємах x_1 та x_2.

Ультразвукова хвиля на межі середовищ з різним хвильовим опором зазнає відбиття або заломлення. Коефіцієнт відбиття (R) визначається:

$$R = \left(\frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1}\right)^2,$$

де ρ_1 та ρ_2 – відповідно щільність розплаву та наповнювача;

c_1 та c_2 – відповідно швидкість звуку у розплаві та наповнювачі.

Вирішальними чинниками довговічності деталей сільськогосподарських машин відновлених тонкошаровими полімерними покриттями є абразивна їхня стійкість та міцність зчеплення покриття зі зношеною поверхнею деталі.

Зчеплення полімеру з наповнювачем та у цілому композиції з металевою основою визначається адгезією полімерної матриці до волокна і до матеріалу ПК; усадкою при затвердженні; відношенням температурного коефіцієнта лінійного розширення волокна, основи і покриття; характером підготовки спрацьованої поверхні, фізико-хімічними властивостями та структурною упорядкуванням матриці; наявністю на поверхні розподілу порожнин та газових включень. Існують різні теорії адгезії між матрицею та наповнювачем в композиційному матеріалі [3].

Через те, що поліаміди відносяться до хімічно-інертних речовин, то для композицій на їх основі характерним є механічне зчеплення [4] при якому адгезійний зв'язок між полімером і субстратом утворюється внаслідок затікання полімеру у мікродефекти на поверхні основи [5]. У загальному вигляді функція, що визначає глибину затікання (l) має вигляд:

$$l = f(d, p, \eta, t),$$

де d – діаметр каналу;

p – тиск при вході в канал;

η – в'язкість розплаву;

t – час зовнішньої дії.

Дуже чутливо полімерні матеріали реагують на діяння зовнішніх факторів [6, 7]. УЗК сприяють внутрішнім перетворенням, які впливають на працездатність матеріалів відновлених деталей.

Однією з особливостей діяння УЗК на процеси, що відбуваються в рідинах, є збільшення висоти підйому рідини та швидкості її руху у тонких капілярних трубках [8], що

суттєво впливає на адгезію матриці до субстрату. Звукокапілярний тиск (P_x) збільшується по мірі зменшення діаметру капіляра і не залежить від його матеріалу [9]:

$$P_x = CP_m^2,$$

де С – постійна, що залежить від діаметру капіляра;

P_m – звуковий тиск у зрізі капіляра.

Звукокапілярний ефект проявляє себе у різних технологічних процесах. Під дією УЗК прискорюється у десятки і сотні раз просочення пористо-капілярних тіл [3], значно інтенсифікується просочування металокерамічних виробів різними рідинами, різних технічних виробів клеями і лаками тощо. Звукокапілярний ефект використовується при паянні складних виробів, тому що він забезпечує проникнення гарячого припою одночасно у всі зазори і цим підвищує якість з'єднання [8].

Більшість процесів ультразвукової обробки починаються з посиленого проникнення рідини у капілярні щілини твердих тіл та їхнього розклинювання. Звукокапілярний ефект, на наш погляд, буде мати велике значення і у процесі ультразвукової обробки СПК. Дія ультразвуку на розплав композиції (УЗК інтенсифікують процес розщеплення макромолекул полімерів, через що знижається їхня в'язкість), будуть сприяти затіканню розплаву поліаміда у мікродефекти скловолокна та основи, на яку вони наносяться внаслідок механічної взаємодії. Адгезійна міцність пропорціональна глибині затікання адгезиву в субстрат, а величина глибини затікання у великій мірі залежить від їхнього акустичного контакту.

Для акустичного контакту твердої частки з розплавом необхідно, щоб її поверхня була змочена цим розплавом. При цьому мірою змочування вважають крайовий кут (Θ). Найкраще змочування в ультразвуковому полі визначається умовою рівноваги каплі.

$$\cos\Theta = \frac{\sigma_т - \sigma_{т.р}}{\sigma_р}, \qquad (1)$$

де $\sigma_т, \sigma_{т.р}, \sigma_р$ – відповідно поверхневі енергії на границях розподілу тверде тіло – газ, тверде тіло – рідина, рідина – газ.

Для розплавів СПК співвідношення (1) спрощується тому що $\sigma_т$ = 0, а саме:

$$\cos\Theta = -\frac{\sigma_{т.р}}{\sigma_р}.$$

Знак мінус означає, що поверхнева енергія розплаву при змочуванні твердої поверхні зменшується. Змочування залежить від величини поверхневого натягнення розплаву та поверхневого натягнення на границі розплав – тверде тіло. Основою для встановлення зв'язку між величиною змочування та величиною адгезії може служити те, що енергію зчеплення рідини з твердим тілом можна прирівняти роботі W, необхідної для видалення плівки з поверхні твердого тіла.

$$W = \sigma_р(1 + \cos\Theta),$$

де $\sigma_р$ – поверхнева енергія рідини.

Проникнення розплаву в капіляр полягає у подоланні опору капілярного тиску, що дорівнює:

$$P = 2\sigma_р \cos\Theta/r,$$

де r – розмір капіляра.

Адгезійний зв'язок у СПК вплине на міцність, а змочування субстратів розплавом позначиться на зміні фізико-механічних та експлуатаційних властивостей покрить. Ультразвукова обробка приводить до значного (приблизно у 2 рази) зменшення кута змочування субстрату адгезивом При цьому після ультразвукової обробки кут змочування зберігає своє значення.

УЗК сприяють навіть змочуванню не змочувальних твердих тіл. Так відомі випадки [10], коли за допомогою ультразвуку в рідинній фазі вдалося металізувати кераміку та скло. Поясненням цьому є не тільки змінення поверхневого натягнення, а і якісним очищенням поверхні від різного роду забруднень і плівок.

Якість змочування відображується на кількості порожнин у структурі склопластику [11] та на границі розділу з основою. Порожнини, що являють собою концентратори напруг, суттєво впливають на механічні властивості композиції [12] та експлуатаційні властивості КП (рис. 1).

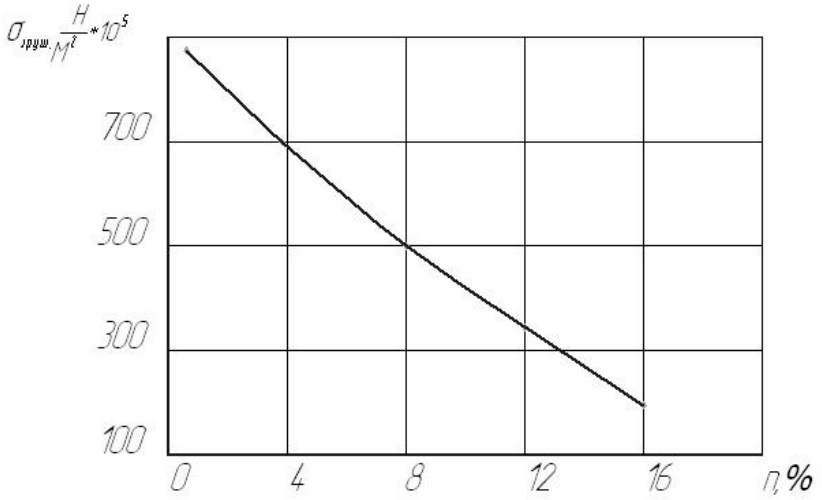


Рисунок 1 – Залежність міцності склопластика ($\sigma_{зруш.}$) від вмісту порожнин у структурі (n) [17]

Загальновідома роль УЗК у процесі диспергування при обробці розплавів. Наявність поверхневого контакту між рідким розплавом і твердою фазою приводить до інтенсифікації процесу кавітації, а отже і диспергування. Найбільша швидкість диспергування досягається при температурі вище 333К, коли кавітаційна дія максимальна [13].

Є такі дані [3], що у композиційних матеріалах тверда поверхня наповнювача покривалася плівкою жиру, який осідав з повітря. Ультразвукові хвилі визивають руйнування забруднень на поверхні твердих тіл, видаляють різного роду утворення поверхневих плівок, або прискорюють поверхневі ефекти [14].

На границі розділу розплаву та наповнювача утворюються кульки газу. Швидкість спливання газових кульок (v) за формулою Стокса дорівнює:

$$v = \frac{2r^2(\rho_1 - \rho_2)}{9\eta g},$$

де r – розмір газової кульки;

g – прискорення сили тяжіння.

Процес дегазації виконується різними методами, але перевага завжди віддається ультразвуковій обробці, тому що вона суттєво підвищує суцільність, щільність та зменшує пористість матеріалу (рис. 2).

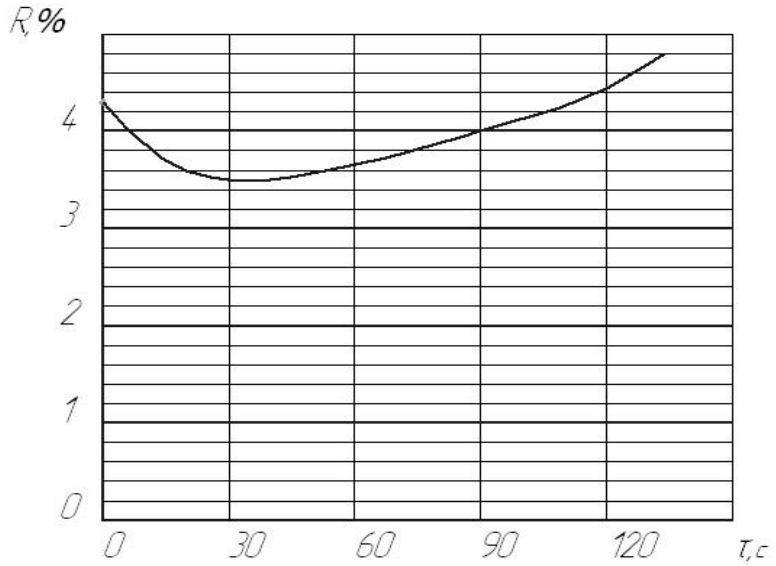


Рисунок 2 – Залежність пористості адгезиву (R) від тривалості ультразвукової обробки (τ) [18]. Амплітуда коливань інструменту 2А=5 мкм

Вплив УЗК на газові кульки та в'язкість розплаву приводить до зміни швидкості їх видалення, частина газу розчиниться. Прикладення тиску перешкоджає газовиділенню, але і у той же час приводить до покращення розчинності газу. Автори [15] встановили межу розчинності S газу в розплаві під дією вібрацій.

$$S = k\frac{\omega}{2\pi}\int\sqrt{p_{ат} + \rho_p h(1 + A\omega^2 \sin\omega t)}\,,$$

де k – коефіцієнт пропорціональності;

$p_{ат}$ – атмосферний тиск;

ρ_p – щільність розплаву;

h – висота рівня розплаву.

Щільність матеріалу після ультразвукової обробки підвищується і дегазація проходить успішно. За дослідженнями [20] акустичні потоки та звуковий тиск створюють умови для видалення газових кульок.

Адгезія також впливає на умови створення тріщин та втомувальну міцність матеріалів. Підвищенню міцності зчеплення сприяє спеціальна підготовка поверхні під нанесення покрить. Це видалення всякого роду забруднень, залишків мастил, воску, жирів, механічна, термомеханічна обробки тощо. І тут важливе місце відводиться УЗК.

Експериментально і теоретично доказано, що кристалізація у наявності зародків зовнішнього механічного поля може привести до інтенсивного утворення кристалізації.

Час, який необхідний для утворення центрів кристалізації, скорочується вдвічі при прикладенні деформації зсуву. Не змінюючи будову, властивостями полімерів можна варіювати у широких межах змінюючи різними прийомами їхню надмолекулярну структуру.

При накладенні ультразвукової хвилі значної потужності на розплави завжди спостерігається інтенсивне перемішування. Причиною його, окрім власне коливального руху в'язкої (рідкої) фази, є виникнення у розплаві акустичних течій. Дія акустичних течій – це постійний потік частинок розплаву, які оказують тиск на тверді та газоподібні включення, що зустрічаються на їхньому шляху.

Доказано [19], що УЗК, активізуючи сили в'язкого тертя на границі розплав – домішка, сприяють перетворенню ряду неактивних домішок у зародки кристалізації. При цьому здрібнювання розплаву з домішками під дією ультразвуку завжди є більшим, ніж здрібнювання без домішок.

Від умов кристалізації полімеру залежить його ступінь кристалічності, кількість та досконаліть кристалічних областей, вид і розміри надмолекулярних структур, які у значній мірі визначають експлуатаційні властивості покрить.

Ультразвукова обробка сприяє перебудові структури на молекулярному та надмолекулярному рівнях. Відповідно до [10], під дією вібрації відбувається зміщення кристалів (Δ) у литві.

$$\Delta = A\omega r_{кр}^2[\rho_р - (\rho_т - \rho_р)\cos\omega t],$$

де $r_{кр}$ – критичний розмір зародку кристалізації.

Накладення ультразвукового поля дозволяє отримувати здрібнену структуру та підвищувати фізико-механічні властивості полімерів [8]. Вплив УЗК виразиться, на наш погляд, у зміні щільності упаковки та орієнтації макромолекул, у зміні розмірів і кількості надмолекулярних утворень, у підвищенні ступеню кристалічності композицій, у епітаксії їх на границі розділу з наповнювачем та поверхнею ПК.

УЗК оказують величезну дію на процеси здрібнення макроструктури, мікрозерна, а також розсіяння домішок і різних включень в усьому об'ємі виробу. При цьому спільна дія УЗК та домішки ефективно впливають на ефективність здрібнення структури та підвищення фізико-механічних властивостей виробу.

Відомо, що на границі тверда частинка – розплав знаходиться нерухомий шар рідини, у якому перенесення речовини здійснюється лише шляхом дифузії. Порушення цього граничного шару в ультразвуковому полі внаслідок зриву розплаву кавітаційними бульбашками та найдрібнішими газовими бульбашками приводить до значного прискорення процесу обволікання розплавом домішки.

Процес дифузії у рідині виражається коефіцієнтом дифузії (D).

$$D = \frac{\delta^2}{2\tau} e^{\frac{U}{kT}},$$

де δ – товщина дифузійного шару;

τ – час;

$\frac{\delta}{\tau}$ – швидкість блукання частинок рідини;

U – енергія активації процесу дифузії;

T – температура розплаву.

Причиною прискорення дифузії при дії ультразвуку – звуковий тиск, який визиває турбулентне переміщення поблизу граничного шару та порушує його. З рівняння дифузії Фіка швидкість дифузії (d_m) визначається:

$$d_m = -D\frac{c_t - c_0}{\delta}\Delta t,$$

де c_t і c_0 – концентрація рідини;

Δt – тривалість дифузії.

Усі ці спостереження показали, що специфічним фактором, який визиває прискорення дифузії є кавітація та звуковий тиск (60%). Решта 40% - це акустичні течії (14%) і нагрів розплаву в ультразвуковому полі (25%).

Великі розходження, що отримані різними дослідниками, при вивченні впливу УЗК на фізико-механічні властивості полімерних матеріалів можна пояснити тим, що ефективність ультразвукової дії є функцією інтенсивності коливань, амплітуди коливань, резонансної частоти, типу і властивостей озвучуваного матеріалу, обладнання для переробки пластмас, способу підведення УЗК, форми та розмірів зразків для дослідження, режимів нанесення тонкошарових покрить тощо.

Аналізуючи акустичні характеристики та специфічні ефекти, що проходять у в'язкотекучих середовищах під дією ультразвуку, а також використовуючи узагальнену схему кристалізації в ультразвуковому полі [10] можна припустити, що на механічні, технологічні та експлуатаційні властивості відновлених деталей СПК окажуть великий вплив чинники, що відображені на (рис. 3).

На основі вищевикладеного припускається, що ультразвукова обробка СПК за аналогією з металами, сплавами, розчинами та розплавами полімерів дозволить значно підвищити експлуатаційні властивості КП при розробці технології відновлення ПК сільськогосподарських машин в ультразвуковому полі.

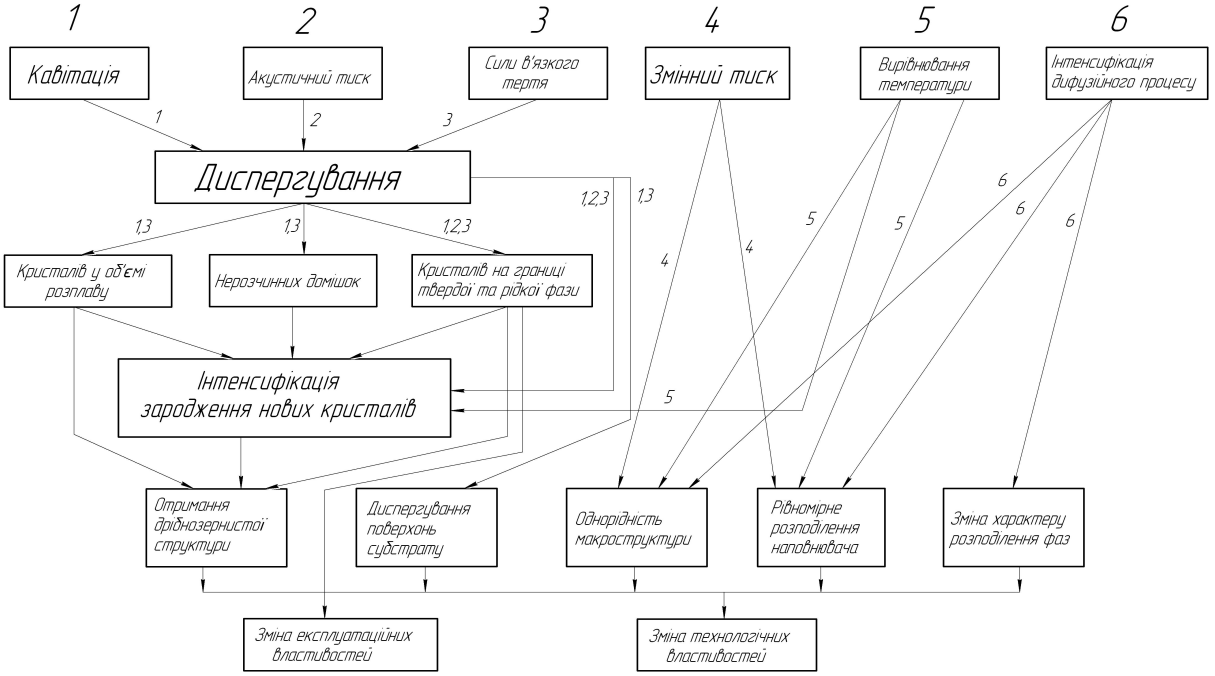


Рисунок 3 – Схема механізму ультразвукового впливу на розплави склонаповнених поліамідних композицій

Список літератури

1. Ананьев В.В., Губанова М.И., Кирш И.А.. и др. Модификация полиэтилена, инициированная ультразвуком // Пластические массы. – 2008. – №2. – С. 7-8.
2. Технология переработки пластмасс / Под ред. Н.И. Басова, В. Броя – М.: Химия, 1985. – 527 с.
3. Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров – М.: Химия, 1974. – 392 с.
4. Москвитин Н.И. Склеивание полимеров. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 304 с.
5. Гуль В.Е. Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. – М.: Высшая школа, 1972. – 320 с.
6. Басов Н.И., Любартович С.А., Любартович В.А. Виброформование полимеров. – Л.: Химия, 1979. = 159 с.
7. Фридман М.Л. Гуль В.Е. Интенсификация процесса экструзии пленок с помощью вибрационного воздействия // Пластические массы. –1975. – №9. – С. 27-30.
8. Ультразвук: маленькая энциклопедия / Главн. ред. И.П. Голямина. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.
9. Агранат Б.А. и др. Ультразвуковая технология. – М.: Металлургия, 1974. – 504 с.
10. Эскин Г.И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. – М.: Металлургия, 1965. – 224 с.
11. Гуменюк В.С., Ягельский А.Н. Некоторые особенности микроструктуры стеклопластиков // Пластические массы. – 1970. – №6. – С. 52-54.
12. Кортен Х.Т. Разрушение армированных пластиков. – М.: Химия, 1967. – 166 с.
13. Розенберг Л.Д. Мощные ультразвуковые поля. – М.: Наука, 1968. – 266 с.
14. Физическая акустика / Под ред. У. Мэзона – М.: Мир, 1973. – 543 с.
15. Чернышев И.А., Серковский В.А. Некоторые вопросы теории вибрирования сплавов // Изв. ВУЗов. – 1960. – №4. – С. 19.

16. Шиляев А.С. Физические явления в расплавах вблизи температуры затвердевания в ультразвуковом поле // Пути совершенствования сельскохозяйственной техники. – Минск: Ураджай,1974. – Вып. 26. – С. 85-91.
17. Раскин Е.Б., Брагинский В.А., Тризно М.С. Опыт интенсификации прессования стекловолокнистых материалов с помощью ультразвука. – Л.: ЛДНТП,1980. –24 с.
18. Трофимов Н.Н., Пугачев С.И. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений. – Л.: ЛДНТП, 1979. – 20 с.
19. Абрамов О.В. Кристаллизация в ультразвуковом поле. М.: Металлургия, 1972. – 255 с.
20. Alfirevic I. Faktor koncentracije naprezannja u anisotropnim materijalima. – Strojarstvo, 1974. – T.16. – S. 5-15.

Ф. Василенко, И. Василенко, А. Бруцкий

Теоретические предпосылки восстановления подшипников скольжения полиамидными композициями с наложением ультразвуковых колебаний

Приведены результаты теоретических исследований, направленных на использование ультразвуковых колебаний при восстановлении подшипников скольжения жаток уборочных машин тонкослойными покрытиями литьем под давлением стеклонаполненных полиамидных композиций

F.Vasilenko, I.Vasilenko, A.Brutsky

Theoretical preconditions of restoration of bearings of sliding by polyamide compositions with imposing ultrasonic fluctuations

Results of the theoretical researches directed on use of ultrasonic fluctuations at restoration of bearings of sliding of harvesters of harvesters тонкослойными by coverings by moulding under pressure стеклонаполненных of polyamide compositions are resulted

Одержано 28.05.10

УДК 631.331.54

Ф.І. Василенко, проф., канд. техн. наук, В.В. Святський, канд. техн. наук, Л.П. Святська, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Проектування нестандартних ультразвукових випромінювачів

Наведено розрахунок нестандартних магнітострикційних перетворювачів значної потужності для проведення експериментальних досліджень ультразвукового впливу на властивості виробів із полімерних матеріалів, які отримані литтям під тиском.
полімер, ультразвук, випромінювач, розрахунок, магнітострикційний перетворювач

Важливим резервом підвищення ефективності використання сільсько-господарської техніки, економії матеріальних і трудових ресурсів є виготовлення деталей і вузлів з матеріалів з необхідними фізико-механічними характеристиками, а також їхнє відновлення. Зазначене особливо важливе відносно посівних машин, так як польові роботи проводяться в короткі терміни з дотриманням жорстких агротехнічних вимог. За даними статистичних

© Ф.І. Василенко, В.В. Святський, Л.П. Святська, 2010

16. Шиляев А.С. Физические явления в расплавах вблизи температуры затвердевания в ультразвуковом поле // Пути совершенствования сельскохозяйственной техники. – Минск: Ураджай,1974. – Вып. 26. – С. 85-91.
17. Раскин Е.Б., Брагинский В.А., Тризно М.С. Опыт интенсификации прессования стекловолокнистых материалов с помощью ультразвука. – Л.: ЛДНТП,1980. –24 с.
18. Трофимов Н.Н., Пугачев С.И. Применение ультразвука в технологии создания адгезионных соединений. – Л.: ЛДНТП, 1979. – 20 с.
19. Абрамов О.В. Кристаллизация в ультразвуковом поле. М.: Металлургия, 1972. – 255 с.
20. Alfirevic I. Faktor koncentracije naprezannja u anisotropnim materijalima. – Strojarstvo, 1974. – T.16. – S. 5-15.

Ф. Василенко, И. Василенко, А. Бруцкий

Теоретические предпосылки восстановления подшипников скольжения полиамидными композициями с наложением ультразвуковых колебаний

Приведены результаты теоретических исследований, направленных на использование ультразвуковых колебаний при восстановлении подшипников скольжения жаток уборочных машин тонкослойными покрытиями литьем под давлением стеклонаполненных полиамидных композиций

F.Vasilenko, I.Vasilenko, A.Brutsky

Theoretical preconditions of restoration of bearings of sliding by polyamide compositions with imposing ultrasonic fluctuations

Results of the theoretical researches directed on use of ultrasonic fluctuations at restoration of bearings of sliding of harvesters of harvesters тонкослойными by coverings by moulding under pressure стеклонаполненных of polyamide compositions are resulted

Одержано 28.05.10

УДК 631.331.54

Ф.І. Василенко, проф., канд. техн. наук, В.В. Святський, канд. техн. наук, Л.П. Святська, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Проектування нестандартних ультразвукових випромінювачів

Наведено розрахунок нестандартних магнітострикційних перетворювачів значної потужності для проведення експериментальних досліджень ультразвукового впливу на властивості виробів із полімерних матеріалів, які отримані литтям під тиском.
полімер, ультразвук, випромінювач, розрахунок, магнітострикційний перетворювач

Важливим резервом підвищення ефективності використання сільсько-господарської техніки, економії матеріальних і трудових ресурсів є виготовлення деталей і вузлів з матеріалів з необхідними фізико-механічними характеристиками, а також їхнє відновлення. Зазначене особливо важливе відносно посівних машин, так як польові роботи проводяться в короткі терміни з дотриманням жорстких агротехнічних вимог. За даними статистичних

© Ф.І. Василенко, В.В. Святський, Л.П. Святська, 2010

досліджень від 65% до 75% деталей сільськогосподарської техніки підлягають відновленню [1]. Ефективність їхньої повторної експлуатації досить висока. Встановлено, що найбільш інтенсивно зношуються робочі поверхні деталей типу тіл обертання (до 52% від загальної кількості деталей різної форми) [2]. Деталі циліндричної групи – вали, а також підшипники ковзання, – є одними з найбільш поширених деталей сільськогосподарських машин, від технічного стану яких залежить працездатність тракторів, комбайнів і іншої техніки.

Одним з методів відновлення зношених поверхонь підшипників ковзання є нанесення тонкошарових полімерних покрить з термопластичних матеріалів з використанням різних наповнювачів. Використання ультразвукового впливу в процесі відновлення дозволяє поліпшувати експлуатаційні характеристики готового виробу [3].

Проте ультразвукова технологія відновлення поверхонь стримується відсутністю необхідного устаткування, а саме, ультразвукових генераторів, ультразвукових випромінювачів різноманітних типів, головним чином магнітострикційних, які спроможні розвинути значну потужність. Магнітострикційні перетворювачі поділяються на стрижневі, плоскі пакетні, кільцеві пакетні, феритові і складаються вони, як правило, з двох головних частин: активного елементу (магнітостриктору) і пасивного (акустичного трансформатору пружних коливань). Матеріалом для їх виготовлення є: нікель або його сплави у вигляді холоднокатаних стрічок, труб або стрижнів; ферити, пресовані зі спеціальних порошків у вигляді виробів заданої форми [4 – 7].

Стрижневі випромінювачі застосовуються для частоти коливань від 2 до 20 кГц при використанні ультразвуку невеликої потужності. Для більш високих частот використання таких випромінювачів небажано з конструктивних міркувань. При виготовленні нестандартних стрижневих випромінювачів основна власна частота пружних подовжніх коливань стрижня, який закріплено посередині, визначається по формулі:

$$f = \frac{n}{2 \cdot l}\sqrt{\frac{E}{\rho}}, \qquad (1)$$

де n – порядок гармоніки;

E – модуль пружності Юнга;

l – довжина стержню;

ρ – густина матеріалу стержня.

В стержневих вібраторах можуть виникати коливання вищих гармонік другого, третього і інших порядків. Найбільший коефіцієнт корисної дії отримують при значенні n = 1 на першій головній гармоніці.

Стержневі вібратори мають один суттєвий недолік – в процесі роботи вони сильно нагріваються вихровим струмом. Для усунення цього недоліку і підвищення потужності магнітострикційних перетворювачів використовуються багатострижневі плоскі пакетні випромінювачі.

Для плоского пакетного багатострижневого випромінювача основна частота коливань розраховується із залежності:

$$f = \frac{1}{2 \cdot l}\sqrt{\frac{E}{\rho \cdot (1 + \frac{b}{2 \cdot l})}}, \qquad (2)$$

де b – ширина накладки;

l – загальна вишина випромінювача ($l = h + 2 \cdot k$, де h – висота стержня; k – товщина стержня).

У свій час найбільш широко застосовували на підприємствах і у дослідних лабораторіях ультразвуковий генератор УЗГ-10, який комплектувався чотирма магнітострикційними випромінювачами ПМС-6 з випромінюючою поверхнею 300×300 мм, інтенсивністю випромінювання від 1,5 до 8 Вт/см^2 , робочою частотою від 19 до 22 кГц і вихідною потужністю 2,5 кВт кожний. Ці випромінювачі розташовували, як правило, у спеціальних ваннах і використовували для підвищення якості і продуктивності процесу очищення поверхонь деталей від забруднення. Для стабільної роботи перетворювачів передбачалось водяне охолодження. Значно рідше застосовували магнітострикційні перетворювачі з концентраторами типу ПМС-15А-18. Ці випромінювачі мали такі технічні характеристики: робоча частота – від 19 до 22 кГц, потужність – 4 кВт, випромінююча поверхня – $\varnothing$ 65 мм, амплітуда зміщення – 25 мкм; і використовувалися, наприклад, для поліпшення технологічного процесу відновлення деталей полімерним покриттям в ультразвуковому полі [3, 8].

Для проведення експериментальних досліджень ультразвукового впливу на властивості виробів із полімерних матеріалів, отриманих литтям під тиском, можливе переробка перетворювача типу ПМС-6. Для збільшення потужності випромінювача розмір робочої поверхні зменшено до 60×65 мм і повністю знята охолоджуюча водяна система. В результаті цих перетворень отримано компактний магнітострикційний випромінювач з резонансною частотою в межах від 20 до 24 кГц. Його можливо застосовувати для генераторів потужністю не більше 1 кВт з використанням для кріплення способу підвісної опори з лінією, зміщеною ближче до випромінюючої поверхні. Заміна водяної охолоджуючої системи на конвекційну привела до зниження інтервалу безперервної роботи перетворювача, але для проведення наукових досліджень цей недолік не є суттєвим.

Пакетні кільцеві випромінювачі виготовляють, як правило, з листового магнітострикційного матеріалу, який вирубано по заданим розмірам. Кільця набираються в пакет необхідної висоти. Направлення пружних коливань на боковій поверхні є радіальним. Випромінювачі працюють на частотах від 2 до 80 кГц. Для визначення основних параметрів перетворювачів використовується умова резонансу:

$$2 \cdot \pi R_C = \lambda_k ,$$

де R_C – середній радіус кільця випромінювача;

λ_k – довжина хвилі у матеріалі кільця.

При використанні ультразвуку потужністю до 500 Вт доцільно використання феритових випромінювачів, які виготовляються з осердь циліндричної і П-образної форми. Схема установки стержневого вібратора показана на рис. 1.

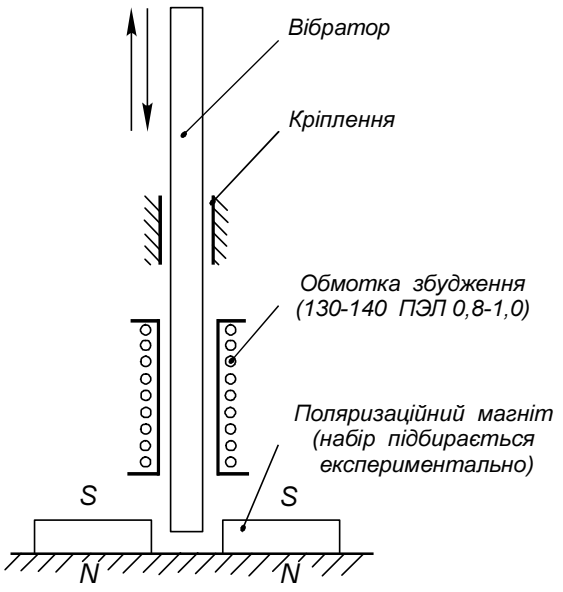


Рисунок 1 – Схема установки стержневого вібратора

Розрахунки нестандартних випромінювачів мають свої особливості. Наприклад, для розрахунку стрижневого феритового випромінювача для заготовки з довжиною стержня 200 мм і діаметром 10 мм перша головна гармоніка ультразвукових коливань розраховується за формулою (1). З цієї формули можна знайти необхідну довжину вібратора для заданої резонансної частоти, використо-вуючи довідкові данні для фериту.

Але необхідно зауважити, що довідкова інформація має велику розбіжність значень. Наприклад, в попередньо проведених нами експери-ментах густина стержнів не перевищувала значення $4{,}86 \cdot 10^3$ кг/м^3, в той час, як довідкова густина дорівнює $5{,}2 \cdot 10^3$ кг/м^3 [4]. При відомих густині і модулі Юнга матеріалу швидкість звуку в фериті визначається залежністю:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Необхідна довжина стержня розраховується по формулі:

$$l = \frac{C}{2 \cdot f}.$$

Так, для частоти коливань $f = 20 \cdot 10^3$ Гц довжина стержня становить приблизно 133 мм.

При виготовленні випромінювача низької частоти з феритів П-образної форми необхідно отримати замкнутий магнітопровід при попарному з'єднанні стержнів відшліфованими торцевими поверхнями. Розрахунок одинарного замкнутого магнітопровода, утвореного двома феритними стержнями П-образної форми (рис. 2), ведеться по формулі:

$$S_1 \cdot C \cdot tgk \cdot l_1 = S_2 \cdot tgk \cdot l_2,$$

де l_1 – половина довжини одного стержня;

S_1 – площа поперечного перерізу стержня;

l_2 – довжина накладки;

S_2 – площа накладки;

C – швидкість звуку в фериті;

k – хвильове число:

$$k = \frac{\omega}{C} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{C},$$

де ω – кругова частота.

Головна резонансна частота повинна бути кратною довжині напівхвилі $\lambda/2$.

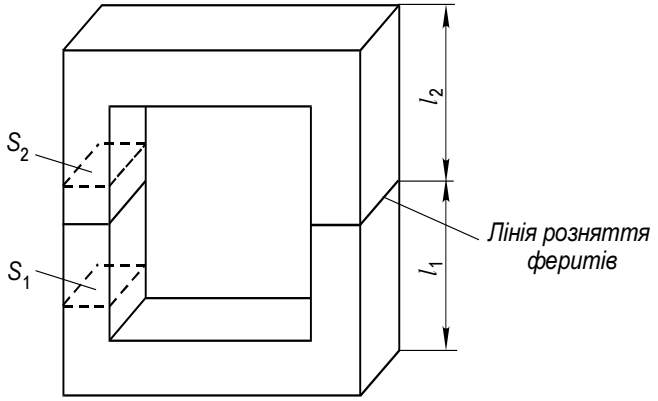


Рисунок 2 – Замкнутий магнітопровід з феритів П-образної форми

Використання феритових випромінювачів в межах дозволеного навантаження дає змогу вилучити водяне охолодження, отримати велике значення магнітострикційної постійної, велику магнітострикційну чутливість, отримати високу точку Кюрі, що дає можливість працювати при високих температурах (від 300 до 450° С).

Згідно приведеної методики були розраховані і виготовлені феритові магнітостриктори стрижневого типу на частоти коливань від 14 до 75 кГц, магнітостриктор з замкнутим магнітопроводом на частоту 44 кГц, а також був перелаштований магнітострикційний перетворювач типу ПМС-6 для озвучення полімерних матеріалів при литі під тиском.

Список літератури

1. М.И. Черновол, С.Е. Поединок, Н.Е. Степанов. Повышение качества восстановления деталей машин. – К.: Техніка, 1989. – 168 с.
2. М.И. Черновол. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. – К.: УМК ВО, 1989. – 256 с.
3. Василенко Ф.І., Лук'яненко Л.П., Священький В.В. Перевірка математичної моделі процесу відновлення деталей сільськогосподарської техніки полімерами в ультразвуковому полі // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2001. – Вип. 8. – С. 308 – 311.
4. Теумин И.И. Ультразвуковые колебательные системы. – М.: Машгиз, 1976. – 320 с.
5. Кикучи Е. Ультразвуковые преобразователи. – М.: Мир, 1972. – 424 с.
6. Ультразвуковая технология./ Под редакцией Б.А. Аграната. – М: Металлургия, 1974. – 504 с.
7. Гершгал Д.А., Фридман В.М. Ультразвуковая технологическая аппаратура. – М: Энергия, 1976. – 320 с.
8. Ф.І. Василенко, В.В. Священький, Л.П. Священька. Керування якістю деталей, отриманих із склонаповнених поліамідів в ультразвуковому полі // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – Вип. 40, част. І. – С. 120 – 125.

Ф.Василенко, В.Священький, Л.Священька

Проектирование нестандартных ультразвуковых излучателей

Приведен расчет нестандартных магнитострикционных преобразователей значительной мощности для проведения экспериментальных исследований ультразвукового влияния на свойстве изделий из полимерных материалов, полученных литьем под давлением.

F. Vasilenko, V. Svjatskiy, L. Svjatska

Design of non-standard ultrasonic radiators

Calculation non-standard magnetostrictor of high power for experimental researches of ultrasonic influence on productions property from the polymeric materials received by diecast is resulted.

Одержано 12.01.10

УДК 63.002:658.562

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, С.І.Маркович, доц., канд. техн. наук, О.Б. Чайковський, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград

Оцінка діагностичного моніторингу дизелів для аграрного виробництва, як елемент системи якості менеджменту

Проведена декомпозиція макропроцесу експлуатації транспортних засобів в аграрному виробництві. Запропоновані показники і метод визначення ефективності процесу технічного діагностування. Приведені дані по практичному використанню пропонованого методу.
технічна діагностика, системи менеджменту якості, процесний підхід

Вступ. Системи менеджменту якості (СМЯ) активно упроваджуються на підприємствах практично всіх галузей української економіки. Через певні причини (небажання керівників займатися «надуманими» проблемами, надзвичайна різноманітність і заплутаність процесів виробництва, відсутність консультаційної підтримки і т.д.) найбільш інертним, в цьому відношенні, є аграрне господарство. У наявності проблема відсутності необхідного забезпечення (методичного, інформаційно-консультаційного) процесу розробки і впровадження СМЯ підприємств агропромислового комплексу і, зокрема, у транспортних підрозділах.

Постановка задачі. Підхід до розробки і впровадження СМЯ складається з декількох етапів, що включають в числі останніх:

– розробку методів виміру результативності і ефективності процесів;

– використання даних цих вимірів для визначення результативності і ефективності процесів [1].

Проведена декомпозиція процесу організації транспортного процесу сільськогосподарських підприємств (центрів технічного обслуговування транспортних засобів) дозволив визначити місце технічного діагностування як складового елементу процесу “технічна експлуатація дизеля” (рис.1).

© О.Й. Мажейка, С.І.Маркович, О.Б. Чайковський, 2010

Приведен расчет нестандартных магнитострикционных преобразователей значительной мощности для проведения экспериментальных исследований ультразвукового влияния на свойстве изделий из полимерных материалов, полученных литьем под давлением.

F. Vasilenko, V. Svjatskiy, L. Svjatska

Design of non-standard ultrasonic radiators

Calculation non-standard magnetostrictor of high power for experimental researches of ultrasonic influence on productions property from the polymeric materials received by diecast is resulted.

Одержано 12.01.10

УДК 63.002:658.562

О.Й. Мажейка, проф., канд. техн. наук, С.І.Маркович, доц., канд. техн. наук, О.Б. Чайковський, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград

Оцінка діагностичного моніторингу дизелів для аграрного виробництва, як елемент системи якості менеджменту

Проведена декомпозиція макропроцесу експлуатації транспортних засобів в аграрному виробництві. Запропоновані показники і метод визначення ефективності процесу технічного діагностування. Приведені дані по практичному використанню пропонованого методу.
технічна діагностика, системи менеджменту якості, процесний підхід

Вступ. Системи менеджменту якості (СМЯ) активно упроваджуються на підприємствах практично всіх галузей української економіки. Через певні причини (небажання керівників займатися «надуманими» проблемами, надзвичайна різноманітність і заплутаність процесів виробництва, відсутність консультаційної підтримки і т.д.) найбільш інертним, в цьому відношенні, є аграрне господарство. У наявності проблема відсутності необхідного забезпечення (методичного, інформаційно-консультаційного) процесу розробки і впровадження СМЯ підприємств агропромислового комплексу і, зокрема, у транспортних підрозділах.

Постановка задачі. Підхід до розробки і впровадження СМЯ складається з декількох етапів, що включають в числі останніх:

– розробку методів виміру результативності і ефективності процесів;

– використання даних цих вимірів для визначення результативності і ефективності процесів [1].

Проведена декомпозиція процесу організації транспортного процесу сільськогосподарських підприємств (центрів технічного обслуговування транспортних засобів) дозволив визначити місце технічного діагностування як складового елементу процесу “технічна експлуатація дизеля” (рис.1).

© О.Й. Мажейка, С.І.Маркович, О.Б. Чайковський, 2010

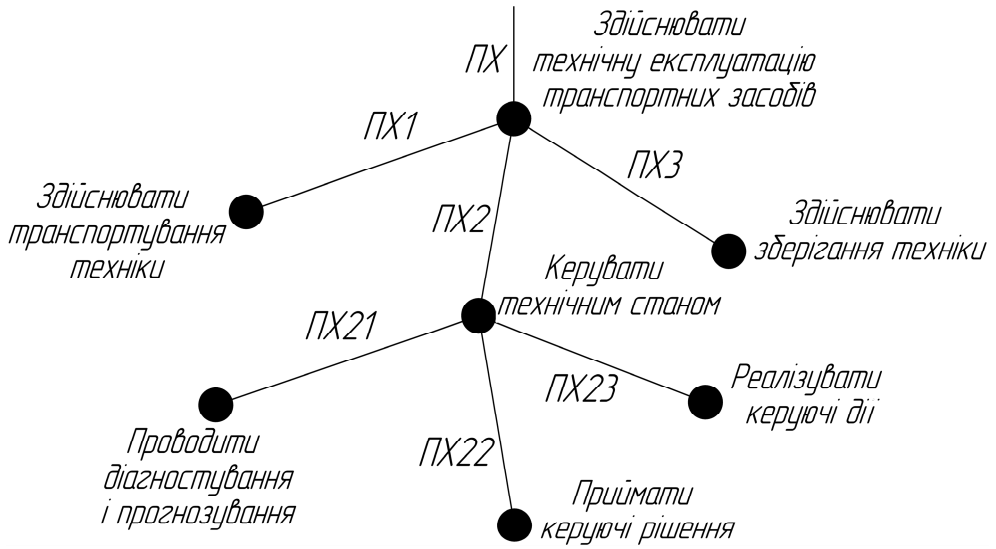


Рисунок 1 – Фрагмент дерева вузлів мережі процесів сільськогосподарського підприємства

Розробка універсального методу визначення результативності і ефективності технічного діагностування с невирішеною інженерною проблемою.

Теоретична частина. Показники результативності і ефективності діагностування. Для вирішення поставленого завдання пропонується прийняти як показник результативності апостеріорну вірогідність правильного діагностування і тривалість діагностування як показник оцінки ефективності.

Всі подальші міркування і пропозиції засновані на широко поширеному постулаті [2] про те, що на момент діагностування в системі може бути тільки один несправний елемент (помилка монтажу, відхилення значення регулювального параметра).

Результатом діагностування машини (технічним діагнозом) може бути один з наступних висновків:

– машина (агрегат, система) справна;

– машина (агрегат, система) несправна (з вказівкою несправного елемент), помилки монтажу або відхилення значення регулювального параметра).

Поставлений діагноз може відповідати дійсному технічному стану об'єкту діагностування (подія «правильне діагностування»), а може не відповідати йому (подія «помилкове діагностування»).

Події «правильне діагностування» (A) і «помилкове діагностування» ($\overline{A}$) протилежні. Отже, визначити апостеріорну вірогідність правильного діагностування $P(A)$ можна по формулі [2]:

$$P(A) = 1 - P(\overline{A}), \tag{1}$$

де $P(\overline{A})$ - апостеріорна вірогідність помилкового діагностування.

Представимо подію A у вигляді суми подій B і C. Подія B полягає у визнанні справного елементу несправним або правильного монтажу помилковим, або правильного значення регулювального параметра неправильним (помилка діагностування першого роду). Подія C полягає у визнанні несправного елементу або помилкового монтажу правильним, або неправильного значення регулювального параметра правильним (помилка діагностування другого роду). Події B і C - спільні, тому вірогідність події A за правилом складання вірогідності [3]:

$$P(\overline{A}) = P(B + C) = P(B) + P(C) - P(BC), \tag{2}$$

де $P(B)$ - вірогідність помилки першого роду; $P(C)$ – вірогідність помилки другого

роду; *P(BC)* - вірогідність спільного настання помилок першого і другого роду.

Як оцінка вірогідності появи події можна прийняти відносну частоту *W* [2]:

$$W = \frac{m}{n}, \tag{3}$$

де *m* - число поява події; *n* - спільне число випробувань. Отже, вірогідність *P(B)* визначається формулою:

$$P(B) = \frac{m_B}{n}, \tag{4}$$

де m_B - абсолютна частота помилок першого роду за *n* дослідів (процедур діагностування).

Вірогідність *P(C)* визначається по формулі:

$$P(C) = \frac{m_C}{n}, \tag{5}$$

де m_C - абсолютна частота помилок другого роду за *n* дослідів. Вірогідність *P(BC)* визначається по формулі:

$$P(BC) = \frac{m_{BC}}{n}, \tag{6}$$

де m_{BC} - абсолютна частота спільного настання помилок першого і другого роду за *n* дослідів.

Тривалість технічного діагностування - інтервал часу, необхідний для проведення діагностування об'єкту [4]. Пропонується визначати тривалість діагностування у вигляді оцінки математичного очікування за допомогою вибіркового середнього.

Методика та результати досліджень. Метод випробуваний при порівняльній оцінці ефективності систем діагностування автомобілів КамАЗ із застосуванням експертної системи (ЕС) і традиційним способом [5].

Дослідні дані (табл. 1) були отримані в період проведення збиральних робіт в 2009 році в аграрних господарствах Новоукраїнського району Кіровоградської області. Для дослідження були вибрані дві групи автомобілів «КамАЗ-55102» (по 15 машин). Машини групи 1 обслуговувалися із застосуванням ЕС, машини групи 2 - без використання ЕС. Приведені дані реєструвалися при обслуговуванні паливної системи, як однієї з найбільш складних підсистем двигуна КамАЗ-740. Визначення тривалості діагностування велося за допомогою хронометражу.

Таблиця 1 – Помилки і тривалість діагностування по групах 1 і 2

№ п/п	Група 1			Група 2		
	Помилки		Тривалість діагностування $t_д$, год.	Помилки		Тривалість діагностування $t_д$, год.
	I роду	II роду		I роду	II роду	
1	-	-	0,28	-	-	1,41
2	-	-	0,18	-	-	0,55
3	-	-	0,33	-	+	1,6
4	-	-	0,37	-	-	0,86
5	-	-	0,35	-	-	0,83
6	-	-	0,53	-	-	1,53
7	-	-	0,4	-	-	2,05

По групі 1 за сім процедур діагностування не було допущено жодної помилки, тобто вірогідність правильного діагностування рівна $P_1(A) = 1$. Таким чином, система діагностування із застосуванням експертної системи отримала максимальну оцінку по

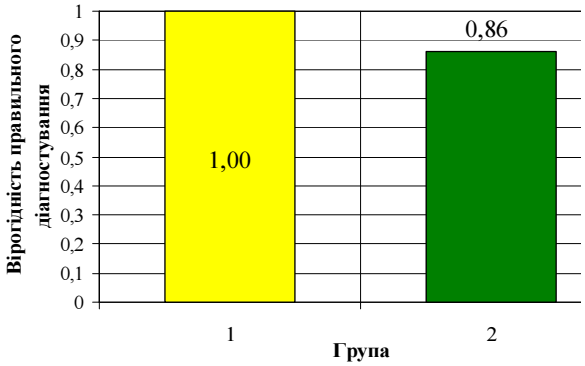
результативності.

Середнє значення тривалості технічного діагностування по групі $\bar{x}_1 = 0{,}35$ год.

По групі 2 за сім процедур діагностування не було допущено помилок першого роду і допущена одна помилка другого роду. Отже, вірогідність, помилки першого роду і спільного настання помилок першого і другого роду дорівнює нулю. Вірогідність помилки другого роду по формулі (5) $P_2(C) = 0{,}14$. Апостеріорна вірогідність правильного діагностування відповідно до (1) $P_2(A) = 0{,}86$.

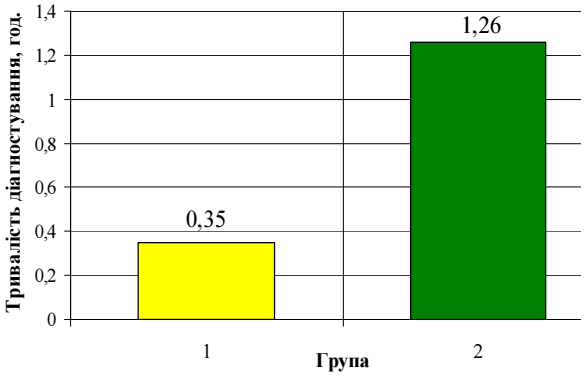
За отриманим значенням вірогідності правильного діагностування можна зробити висновок про задовільну результативність системи діагностування по групі 2. Середнє значення тривалості технічного діагностування по групі $\bar{x}_2 = 1{,}26$ год.

Діаграми вірогідності правильного діагностування і середніх значень тривалості діагностування для груп (систем діагностування) 1 і 2 показані на рис. 2 і 3.



1 – із застосуванням ЕС; 2 – без застосування ЕС

Рисунок 2 – Діаграма вірогідності правильного діагностування



1 – із застосуванням ЕС; 2 – без застосування ЕС

Рисунок 3 – Діаграма тривалості технічного діагностування

Для порівняльної оцінки тривалості діагностування проведена перевірка статистичної гіпотези про рівність середніх нормальних генеральних сукупностей по групах 1 і 2 (заздалегідь була перевірена гіпотеза про відповідність емпіричних розділів нормальному закону).

Дана гіпотеза має вигляд:

$$H_0 : M(X_1) = M(X_2);\ H_1 : M(X_1) < M(X_2),\ \alpha = 0{,}05.$$

Тобто, на рівні значущості $\alpha = 0{,}05$ розглядається нульова гіпотеза про те, що тривалість технічного діагностування рівна для обох груп. Конкуруюча гіпотеза тривалість діагностування по групі 1 менше, ніж по групі 2.

Враховуючи, що вибіркові середні є незміщеними оцінками генеральних середніх, тобто $M(X_1) = M(\bar{x}_1)$ і $M(X_2) = M(\bar{x}_2)$, нульову гіпотезу можна записати так:

$$H_0 : M(\bar{x}_1) = M(\bar{x}_2).$$

Як критерій перевірки нульової гіпотези застосовується наступна величина [2]:

$$Z = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)} = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{D(\bar{x}_1) + D(\bar{x}_2)}}.$$

Розраховане значення критерію $Z_{набл.} = -1{,}68$, а критична точка $z_{кр} = 1{,}64$, тобто $Z_{набл} < -z_{кр}$, тому нульова гіпотеза відкидається. На рівні значущості 0,05 можна стверджувати, що тривалість діагностування по групі 1 менше, ніж по групі 2.

Проведена оцінка показала, що тривалість діагностування по групі 1 більш ніж в 3,5 рази менше, ніж по групі 2.

Висновок. Запропоновані показники результативності: апостеріорна вірогідність

правильного діагностування і ефективності і тривалість діагностування – дозволяють об'єктивно оцінити якість процесу діагностування і можуть використовуватися при оцінці ефективності систем технічного діагностування машин. Приведений метод визначення апостеріорної вірогідності правильного діагностування заснований на базових законах і правилах теорії вірогідності і дозволяє досить просто визначати результативність діагностування. По зменшенню витрат часу на пошук несправностей (тривалість діагностування) можна розрахувати економічну ефективність нових систем діагностування.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 9004-2001. Системи управління якістю. Настанови щодо поліпшення діяльності. Чинний від 27 червня 2001р. Наказ Держстандарту України № 317. К.: Вид. стандартів, 2001. – 61 с.
2. Венцель Е.С. Теория вероятности и её инженерные приложения / Венцель Е.С., Овчаров Л.А. - М.: Наука 1988. – 480 с.
3. Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин по результатам диагностирования [Михлин В. М., Накуров Д.Н., Ронимин К.С., Ленкуев О.С.] - М.: Информагротех, 1995. – 156 с.
4. ДСТУ 2389-94. Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1994. – 24 с.
5. Черновол М.І. Методика застосування системи діагностичного моніторингу технічного стану дизелів при різних стратегіях ТОіР засобів транспорту. / Черновол М.І., Аулін В.В., Жулай О.Ю., Чабанний В.Я. // Вісник Інженерної академії України – К.: ІАУ, 2008. – Вип. №2.– С. 50-55.

А.Мажейка, С.Маркович, А.Чайковский

Оценка диагностического мониторинга дизелей для аграрного производства, как элемент системы качества менеджмента

Проведена декомпозиция макропроцесса эксплуатации транспортных средств в аграрном производстве. Предложены показатели и метод определения результативности и эффективности процесса технического диагностирования. Приведены данные по практическому использованию предлагаемого метода.

A.Mazheyka, S.Markovich, A.Chaykovskiy

Estimation of the diagnostic monitoring of diesels for an agrarian production, as an element of the system of management quality

Decomposition of macro process of exploitation of transport vehicles is conducted in agriculture. Indexes and method of determination of effectiveness and efficiency of process of the technical diagnosing are offered. Information is resulted on the practical use of the offered method.

Одержано 09.05.10

УДК 681.3

Д.В. Трушаков, доц., канд. техн. наук, Л.А. Ніколаєва, Н.Б. Коренецька, Д.Ю. Мошна, студ. гр. КЛ-06
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження надійності інформаційної системи

В статті описані дослідження надійності інформаційної системи на теоретичному та практичному рівні. Доведена можливість надійності інформаційних систем, визначені кількість обслуговуючих огранів, ймовірніть відмови системи, функцію готовності системи, тривалість перехідних процесів. Це слугує для збільшення надійності системи. Визначено напрацювання між появою помилок. Отримано вираз, який описує інтенсивність появи помилок у часі. Це служить основою оцінення витрат часу на проведення відлагодження, які дозволяють усунути 97% помилок. Розраховано і встановлено оптимальний час на обслуговування програмної системи. Доведена доцільність оптимальних затрат часу, і залежність частоти відмов від часу обслуговування.
функція готовності, ймовірність відмови системи, первинні помилки, інтенсивність виявлення помилок, коефіцієнт пропорційності, час відлагодження, прояви помилок, затрати часу, обслуговування системи, наробіток на відмову, оптимальні затрати, коефіцієнт готовності, відновлення працездатності, контроль і перевірка системи

В теперішній час при розробці та обслуговуванні інформаційних систем особливо актуально постає питання дослідження надійності інформаційної системи (ІС), у тому числі розрахувати оптимальні витрати на обслуговування інформаційні системи та визначити час на від лагодження програмного забезпечення інформаційні системи.

Дана проблема частково висвітлена в джерела [4], [5], [6]. Так, наприклад, в [6] приводяться поняття функціональної повноти інформаційні системи, своєчасності, функціональної надійності та адаптивної надійності. Але на практиці розрахувати та дослідити надійність інформаційні системи, користуючись цими поняттями, дуже складно.

Метою дослідження в даній статті є практичне застосування методики дослідження надійності інформаційні системи, розрахунок оптимальних витрат на обслуговування системи та визначення часу на від лагодження програмних засобів.

Інформаційну систему можна охарактеризувати такими параметрами**:** Ротк іймовірність того, що заявка в довільний момент часу t буде прийнята на обслуговування; λ інтенсивність потоку заявок на обслуговування; μ інтенсивність обслуговування заявки.

Показниками надійності інформаційної відновлюваної системи є: Кг (t) - іймовірність того, що заявка буде прийнята на обслуговування в довільний момент часу t (функція готовності); Кг - коефіцієнт готовності; Т- середній час між відмовами в обслуговуванні (напрацювання на відмову).

$$K_{\Gamma} = 1 - P_n = 1 - \frac{\rho^n}{n! \sum_{i=1}^{n} \frac{\rho^i}{i!}}, \qquad (1)$$

де $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$.

З цієї формули видно, що визначення числа обслуговуючих бригад зводиться до вирішення трансцендентного рівняння при різних значеннях K_{Γ} і ρ [2].

© Д.В. Трушаков, Л.А. Ніколаєва, Н.Б. Коренецька, Д.Ю. Мошна, 2010

В стані n всі канали обслуговування зайняті і черговій заявці буде відмовлено в обслуговуванні. Тоді $P_n(t)$ ймовірність відмови системи, а $1-P_n(t)$ функція готовності. Коефіцієнт готовності визначається формулою (1).

Таблиця 1 – Кількість обслуговуючих органів n

n	P=0.2	P=0.1	P=0.05	P=0.003
$\rho = 2.5$	4	5	6	9
$\rho = 1.5$	3	4	5	7
$\rho = 1$	3	3	4	6
$\rho = 0.5$	2	3	3	5

Представимо рівняння для коефіцієнта простою в наступному вигляді:

$$P_n = \frac{\rho^n}{n!\sum_{i=1}^{n}\frac{\rho^i}{i!}}. \qquad (2)$$

З фізичних міркувань зрозуміло, що результати визначення числа обслуговуючих органів n повинні бути цілими числами, отриманими шляхом округлення речового результату до найближчого цілого у бік збільшення .

Отримані рішення матимуть сенс лише в тому випадку, якщо тривалість перехідних процесів мала. Інакше результати можуть бути істотно завищені.

Досліджуємо тривалість перехідних процесів на підставі аналізу функції готовності Кг (t).

Функцію готовності цілеспрямовано обчислити, скориставшись виразом $K_\Gamma(t) = 1 - P_n(t)$. В цьому випадку досить обчислити ймовірність того, що система знаходиться в змозі n в довільний момент часу t.

Для вирішення складемо систему диференціальних рівнянь для $n=2$ (див. рис.2):

$$\begin{aligned}
\frac{dp_0}{dt} &= \lambda \cdot p_0 - \mu \cdot p_1;\\
\frac{dp_1}{dt} &= -\lambda \cdot p_0 + (\lambda + \mu) p_1 - 2\mu \cdot p_2;\\
\frac{dp_2}{dt} &= -\lambda \cdot p_1 + 2\mu \cdot p_2.
\end{aligned} \qquad (3)$$

З початковими умовами $p_0(0) = 1;\ p_1(0) = 0;\ p_2(0) = 0$ і постійними коефіцієнтами λ і μ.

В теперішньому часі описані декілька математичних моделей, основою яких являються різні гипотези про характер прояву вторинних помилок в програмах. Ці гипотези можна розділити на три групи.

Приведені передбачення дозволяють побудувати єкспоненціальну математичну модель розподілу помилок в програмах та встановити зв’язок між інтенсивністю виявлення помилок при відлагодженні dn/dt, інтенсивністю прояву помилок при нормальному функціонуванні комплекса програм l та числом первинних помилок n . При постійних зусиллях на тестування та відлагодження інтенсивність виявлення викривлень обчилювального процесу, програм або даних внаслідок ще не виявлених помилок пропорційна кількості первинних помилок, які залишились, в комплексі програм. Тоді:

$$\frac{dn}{dt} = K'l = Kn_0 = K(N_0 - n). \tag{4}$$

Напрацювання між проявами помилок, які розглядаються як виявлені викривлення програм, даних або обчислювального процесу, рівна величині, оберненій інтенсивності виявлення помилок:

$$T = \frac{1}{dn/dt} = \frac{1}{KN_0} e^{Kt}. \tag{5}$$

Для розрахунку коефіцієнта пропорційності [2]:

$$K = \frac{m}{N_0 \sum_{i=1}^{m} t_i - \sum_{i=1}^{m} (i-1)t_i}. \tag{6}$$

В процесі відлагодження та випробувань програм для підвищенного напрацювання між проявами помилок від величини T_1 до значення T_2 необхідно виявити та усунути Δn помилок. Цю величину можна визначити, відобразивши кількість виявленних помилок. Тоді:

$$\Delta n = N_0 T_0 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right). \tag{7}$$

Аналогічними нескладними перетвореннями можна отримати витрати часу на проведення відлагодження Δt, які дозволяють усунути Δn помилок [3] та відповідно підвищити напрацювання між черговими виявленнями помилок від значення T_1 до T_2:

$$\Delta t = \frac{N_0 T_0}{K} \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right). \tag{8}$$

Викривлення обчислювального процесу, програм або даних у момент X_i виявляються тільки в результаті спеціальних планових перевірок у моменти X_{i+1} через якийсь час після їхнього виникнення. Припустимо також, що отказовые ситуації неможливі під час контролю, кожна і-та перевірка якості функціонування програмних засобів достовірна й характеризується витратами всіх ресурсів ЕОМ b_1, за час t_1. Перебування програм у стані невиявленої відмови від моменту його виникнення до моменту виявлення, приводить до втрат ефективності b_2 за одиницю часу перебування в цьому стані. Після виявлення отказовой ситуації виробляється достовірне відновлення, з яким зв'язані загальні витрати b_3 і витрати часу t_3 внаслідок простою при рішенні основних завдань.

Завдання спрощується, якщо припустити, що прояв викривлень є випадковим і може бути аппроксимировано пуассоновским потоком, а також, що перевірки виробляються строго періодично з періодом t' і час між отказовыми ситуаціями значно більше періоду між перевірками T > t'. Ці припущення відповідають найбільш типовим умовам застосування оперативного контролю й відновлення в програмних засобах. При прийнятих припущеннях досить просте вираження для середніх втрат виходить при поданні, експонентного розподілу потоку відмов у вигляді ряду з обліком трьох перших членів. У цьому випадку середні втрати ефективності на одиницю часу приблизно рівні:

$$C = \frac{T \cdot b_1 / t' + t' \cdot b_2 / 2 + \left(1 - \frac{t'}{2T}\right) \cdot b_3}{T + \left(1 - \frac{t'}{2T}\right) \cdot t_3}. \tag{9}$$

Відновлення обчислювального процесу або даних у програмних засобах виробляється шляхом повторення (рестарту) програми, при завершенні якої воно було виявлено. Припустимо, що повторенню при цьому підлягає частина програми, укладена між послідовними крапками контролю, тобто тривалістю λ. Якщо представити витрати на відновлення через тривалість відновлення t3 , і t' і втрати ефективності за одиницю часу відновлення розглядати як частку часу від періоду контролю c3 = b3/t3 використовувану для відновлення, те середні втрати на інтервалі часу між викривленнями:

$$C = \frac{T \cdot b_1 / t' + t' \cdot b_2 / 2 + \left(1 - \frac{t'}{2T}\right) \cdot c_3 \cdot t'}{T + \left(1 - \frac{t'}{2T}\right) \cdot t'}. \qquad (10)$$

Тому що період контролю звичайно значно менше інтервалу між викривленнями, то вираження (2) можна спростити, виключивши в круглих дужках від'ємник t'/2T. Диференціюючи по t' вираження, отримане в результаті цього спрощення, і дорівнюючи похідну до нуля можна визначити оптимальний період контролю з урахуванням достовірного виявлення викривлень і повторення програм між крапками контролю:

$$t' = \sqrt{\frac{2 \cdot b_1 \cdot T}{b_2 + 2 \cdot c_3}}. \qquad (11)$$

Звідси треба, що питомі витрати на відновлення впливають на оптимальний період контролю сильніше, ніж питомі втрати від невиявлення помилки (b2). Однак втрати ефективності від функціонування програми при наявність невиявлених викривлень у реальних системах (коефіцієнт b2) звичайно більше вагомі, чим витрати на повторення програм (коефіцієнт b3). Найбільше просто проводити аналіз витрат на захист програм, якщо припустити, що всі втрати й витрати зв'язані тільки зі зміною корисного часу функціонування програм і зменшенням продуктивності ЕОМ, використовуваної для рішення функціональних завдань, тобто коефіцієнта готовності - Кг. У цьому випадку b1 можна інтерпретувати як час проведення однократного контролю, тоді:

– перший доданок у чисельнику вираження (1) відповідає сумарним витратам часу на [1] виконання контролю в інтервалі між послідовними виявленнями викривлень T;

– другий доданок у чисельнику цього вираження при b2 = 1 дорівнює середнім втратам часу при функціонуванні системи в стані невиправлених наслідків викривлень між черговими операціями контролю, тобто часу t'ли b2 > 1, те це можна розглядати як еквівалентне збільшення інтервалу часу, у плинів якого проявляються наслідки викривлення обчислювального процесу програм або даних);

– третій доданок у чисельнику (1) відповідає витратам часу на відновлення обчислювального процесу.

У знаменнику вираження (1) представлений повний середній час між послідовними виявленнями викривлень із урахуванням витрат на відновлення - наробіток на відмову. У реальних системах наробіток на отказовую ситуацію виміряється годинниками, а сумарні витрати на контрольно-відбудовні операції й період контролю виміряються хвилинами й становлять менш відсотка від T. Тому можна зневажити величиною t'/2T у дужках. Якщо будь-які виявляти искажения, що, і витрати часу на контроль і відновлення розглядати як порушення працездатності, то коефіцієнт готовності програмних засобів у реальному часі:

$$K_r = \frac{T \cdot \left(1 - t_1 / t'\right) - t' / 2}{T + \left(1 - t' / 2 \cdot T\right) \cdot t_3} = 1 - K_r. \qquad (12)$$

Передбачається, що в програмних засобах реалізований дискретний і достовірний контроль працездатності й відмови виникають тільки в робочому режимі. Програми контролюються періодично й витрати часу на кожен акт контролю t1 багато менше періоду контролю t' або середнього запізнювання у виявленні відмови

t2 = t'/2 ≥ t1 і можуть не враховуватися. Досить раціональними є припущення про експонентний розподіл наробітку між отказовыми ситуаціями Т и часу відновлення працездатності при середнім значенні t3. Якщо припустити, що t' << Т и tд << Т, то експоненти можна приблизно представити розкладанням у ряд. Тоді:

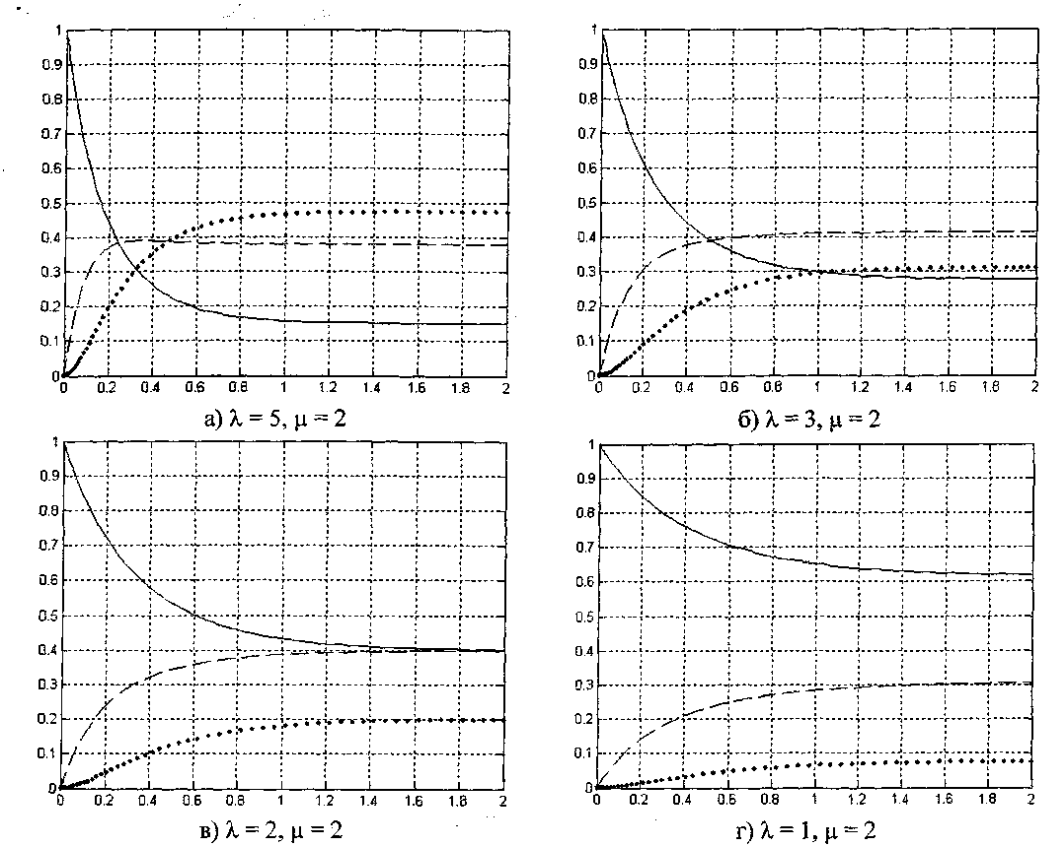
$$K_r = \frac{T - t'/2}{T + \left(1 - t'/2 \cdot T\right) \cdot t_3}. \qquad (13)$$

Практично витрати на оперативне відновлення в деяких межах слабко впливають на тимчасову надмірність внаслідок рідкого виконання цієї операції й економія часу відновлення майже не приводить до зниження витрат на помехозащиту програм. Оцінку оптимального періоду контролю й повних витрат на захист варто робити для кожного застосовуваного методу контролю й методу відновлення, ефективного проти викривлень певного типу [2]. При збільшенні t' = t3 коефіцієнт простою (КП) спочатку зменшується внаслідок зниження витрат на виконання контрольних операцій, а потім зростає через збільшення запізнювання виявлення отказовых ситуацій і зростання тривалості відновлення. Є період контролю; при якому простий мінімальний і найбільший час використається на рішення функціональних завдань. Цей оптимальний період контролю може бути розрахований за формулою (3).

Для виконання лабораторної роботи необхідно вирішити систему рівнянь:

$$\begin{cases} T_{âîññò} = \left(1 - t'/2 \cdot T\right) \cdot b_3 \\ T_{â³äìîâ} = \dfrac{t' \cdot b_2}{2} \\ T_{êîíòð} = \dfrac{T \cdot b_1}{t'} \\ t' = \sqrt{\dfrac{2 \cdot b_1 \cdot T}{b_2 + b_3/t_3}} \end{cases} \qquad (14)$$

Звідки визначається оптимальний період перевірки програмної системи. Потім по формулі (1) або (2) визначаються середній час відновлення працездатності програмної системи й середині втрати ефективності на одиницю часу. За формулами (4) і (5) визначається коефіцієнт готовності програмних засобів. Використовуючи формулу (4) досліджуються залежності КГ=f(T) КГ=f(t'). Параметри Т и t' змінюються в межах ±50% від номінальних значень.



Вісь абсцис – тривалість перехідних процесов в інформаційній системі, од. часу; вісь ординат – вірогідність відмови системи, долі; -------- ймовірність роботи системи; ——— ймовірність помилки в системі; . . . . . ймовірність відмови системи

Рисунок 1 – Графік ймовірності відмови системи

При дослідженні ІС було отримано значення оптимальних витрат на обслуговування програмної системи з урахуванням надійності системи - оптимальний період перевірки програмної системи і коефіцієнта надійності. Характери залежності коефіцієнтів надійності від часу наробітку на відмову й оптимальний період перевірки програмної системи, в залежності від заданих умов, носить зворотньо експоненційний характер або лінійний. Визначено час відлагодження та інтенсивність прояву помилок, 97% їх усунення.

Список літератури

1. Генкин М. Д., Рыжов Н. М. Повышение надежности систем автоматики. – М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
2. Устиненко В. Л. Надежность систем. – М.: Машиностроение, 1972. – 92 с.
3. Справочник по системам автоматики та их наладка. – М.: ОНТИ ЭНИМС, 1968. – 27 с.
4. Основи надійності цифрових систем / В.С Харченко, В.Я Жихарев та ін. – Підручник. – Харків: Нац. Аероксм. ун-т «Харк. авіац. ін.-т», 2004. – 573 с.
5. Азарсков В.Н., Стрельников В.П. Надежность систем управления и автоматики. : Учеб. Пособие. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.
6. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем: Навч. Посібник. – К.: КНЕУ, 2001. – 214 с.

Д. Трушаков, Л. Николаева, Н. Коренецкая, Д. Мошна

Исследование надежности информационной системы

В статье описаны исследования надежности информационной системы на теоретическом и практическом уровне. Доказана возможность надежности информационных систем, определенные количество обслуживающих огранов, вероятность отказов системы, функцию готовности системы, длительность

переходных процессов. Это служит для увеличения надежности системы. Определена наработка между появлением ошибок. Получено выражение, которое описывает интенсивность появления ошибок во времени. Это служит основой оценивания затрат времени на проведения отладки, которые позволяют устранить 97% ошибок. Рассчитано и установлено оптимальное время на обслуживание программной системы. Доказана целесообразность оптимальных затрат времени, и зависимость частоты отказов от времени обслуживания.

D. Trushakov, L. Nikolaeva, N. Korenetskaya, D. Moshna
The researches of reliability of information systems

In the article researching the reliability of the informative system at a theoretical and practical level are described. Possibility of reliability of the informative systems is led to, certain amount of attendant ograns, possibility refusals of the system, function of readiness of the system, duration of transitional processes. It serves for the increase of reliability of the system. Defined the work between appearance of errors. Expression which describes intensity of appearance of errors in time is got. It serves as a basis of evaluation of charges of time on conducting of the system, which allow to remove 97% errors. It is expected and optimum time is set on maintenance of the program system. Expedience of optimum expenditures of time is led to, and dependence of frequency of refusals on time of service.

Одержано 09.05.10

УДК 621.869

А.В. Лизунков, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университе,
В.А. Шевченко, доц., канд. техн. наук, А.А. Резников, инженер
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Особенности нагружения металлоконструкции автогрейдера при выполнении различных рабочих операций.

Представлены результаты экспериментального исследования нагружения металлоконструкции автогрейдера в процессе выполнения рабочих операций. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с целью определения критических режимов нагружения металлоконструкции основной рамы автогрейдера. Получена эмпирическая зависимость главных напряжений в основной раме автогрейдера от скорости движения в транспортном режиме.
автогрейдер, экспериментальное исследование, рабочие операции, главные напряжения, измерительное оборудование

Опыт эксплуатации автогрейдеров различных модификаций показывает, что характерными отказами их металлоконструкций является появление усталостных трещин в одних и тех же зонах, а именно:

– в зонах изгиба хребтовой балки;

– в передней части ланжеронов подмоторной рамы;

– в зоне крепления к хребтовой балке поворотного узла гидроцилиндров подъема – опускания основного отвала.

© А.В. Лизунков, В.А. Шевченко, А.А. Резников, 2010

переходных процессов. Это служит для увеличения надежности системы. Определена наработка между появлением ошибок. Получено выражение, которое описывает интенсивность появления ошибок во времени. Это служит основой оценивания затрат времени на проведения отладки, которые позволяют устранить 97% ошибок. Рассчитано и установлено оптимальное время на обслуживание программной системы. Доказана целесообразность оптимальных затрат времени, и зависимость частоты отказов от времени обслуживания.

D. Trushakov, L. Nikolaeva, N. Korenetskaya, D. Moshna
The researches of reliability of information systems

In the article researching the reliability of the informative system at a theoretical and practical level are described. Possibility of reliability of the informative systems is led to, certain amount of attendant ograns, possibility refusals of the system, function of readiness of the system, duration of transitional processes. It serves for the increase of reliability of the system. Defined the work between appearance of errors. Expression which describes intensity of appearance of errors in time is got. It serves as a basis of evaluation of charges of time on conducting of the system, which allow to remove 97% errors. It is expected and optimum time is set on maintenance of the program system. Expedience of optimum expenditures of time is led to, and dependence of frequency of refusals on time of service.

Одержано 09.05.10

УДК 621.869

А.В. Лизунков, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университе,
В.А. Шевченко, доц., канд. техн. наук, А.А. Резников, инженер
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Особенности нагружения металлоконструкции автогрейдера при выполнении различных рабочих операций.

Представлены результаты экспериментального исследования нагружения металлоконструкции автогрейдера в процессе выполнения рабочих операций. Проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных с целью определения критических режимов нагружения металлоконструкции основной рамы автогрейдера. Получена эмпирическая зависимость главных напряжений в основной раме автогрейдера от скорости движения в транспортном режиме.
автогрейдер, экспериментальное исследование, рабочие операции, главные напряжения, измерительное оборудование

Опыт эксплуатации автогрейдеров различных модификаций показывает, что характерными отказами их металлоконструкций является появление усталостных трещин в одних и тех же зонах, а именно:

– в зонах изгиба хребтовой балки;

– в передней части ланжеронов подмоторной рамы;

– в зоне крепления к хребтовой балке поворотного узла гидроцилиндров подъема – опускания основного отвала.

© А.В. Лизунков, В.А. Шевченко, А.А. Резников, 2010

Рост трещин начинается от сварных швов, которые выступают в роли концентраторов напряжений. Сами трещины, в соответствии с общеизвестными теоретическими положениями, появляются вследствие воздействия на металлоконструкцию переменных нагрузок.

Для оценки характера действующих в металлоконструкции автогрейдера внутренних усилий были проведены поисковые эксперименты в условиях испытательного полигона ХНАДУ. В качестве объекта исследования был выбран автогрейдер ДЗК-251 Крюковского вагоностроительного завода.

Проблема расчета металлоконструкции основной рамы автогрейдера рассмотрена в работах Холодова А.М., Севрова К.П., Кримермана М.Н. [1], [2], [3], однако предлагаемые расчетные схемы не учитывают динамических нагрузок, действующих на основную раму автогрейдера в процессе работы. Методы, позволяющие учесть динамические нагрузки действующие на основную раму рассматриваются в публикациях [4], [5].

Цель исследования - представить и проанализировать результаты экспериментального исследования. Сравнить между собой нагружение металлоконструкции автогрейдера при выполнении различных рабочих операций.

В процессе разработки методики проведения экспериментов было принято решение рассмотреть типичные операции, выполняемые автогрейдером во время стандартного рабочего цикла. При этом наибольшее внимание было уделено рабочим операциям, характеризующимся воздействием ярко выраженных динамических нагрузок. В частности в процессе полевых испытаний были реализованы:

– интенсивное зарезание основного отвала в грунт при угле захвата 90°;

– интенсивное зарезание в грунт правого угла основного отвала при угле захвата 45°;

– интенсивное зарезание в грунт левого угла основного отвала при угле захвата 45°;

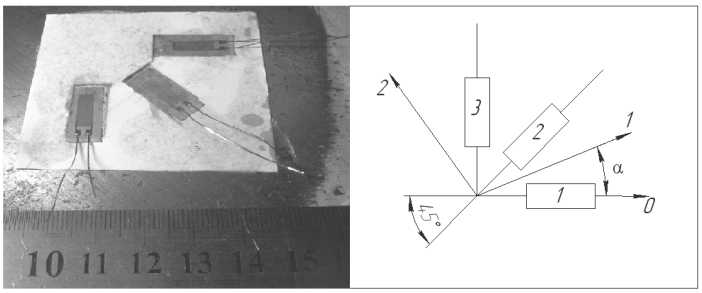
– интенсивное заглубление в грунт бульдозерного отвала;

– упор бульдозерным отвалом в непреодолимое препятствие. В качестве препятствия использовалась грунтовая стена.

– переезд в транспортном режиме через неровности опорной поверхности.

Эксперименты проводились на суглинке II – III категории. В процессе экспериментов на трех уровнях варьировались начальные скорости движения автогрейдера, соответственно: 1,5м/с, 2,4м/с и 3,3м/с. Для транспортного режима использовались искусственно изготовленные неровности полуцилиндрической формы с высотой 170мм и шириной по основанию 310мм. Расстояние между неровностями составляло 1,5м, что соответствует базе балансирной тележки автогрейдера.

В процессе проведения экспериментов производились замеры деформаций в металлоконструкции с помощью тензодатчиков. Тензодатчики были наклеены в зонах ожидаемого появления усталостных трещин. Для получения информации о действующих главных напряжениях датчики клеились в форме прямоугольной розетки (рис.1)



а) б)

Рисунок 1 – Наклейка тензодатчиков на хребтовую балку автогрейдера

В процессе постановки опытов аналоговые сигналы с измеряемых мостовых схем тензорезисторов предварительно усиливались с помощью тензоусилителя, затем сигнал поступал для оцифровки на аналогово-цифровой преобразователь(АЦП) и уже в цифровом виде записывался в память компьютера (Рис.2). Погрешность измерительного комплекса не превышала 1,32%.

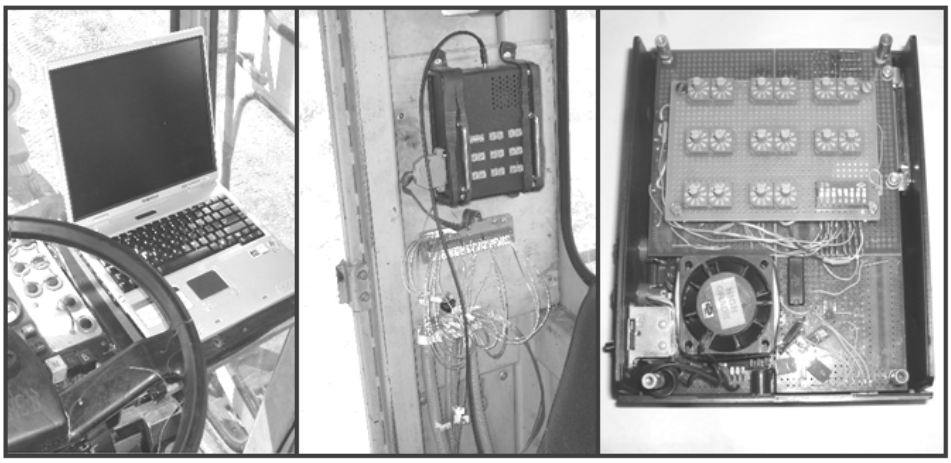


Рисунок 2 – Измерительная система

Тарировка измерительной системы проводилась стандартным способом с помощью балки равного сопротивления. Полученные результаты подтвердили линейность характеристики измерительной системы.

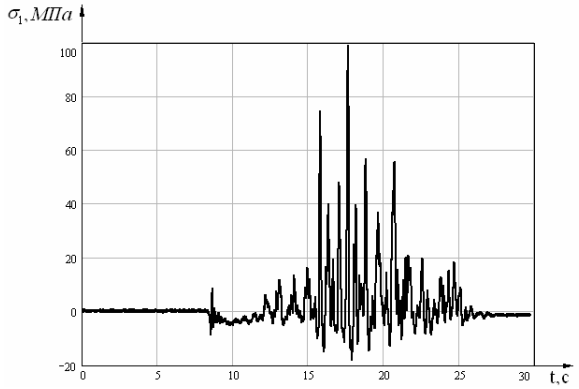
Главные напряжения в зоне наклейки розетки рассчитывались, как косвенные измерения, по зависимости [6]

$$\sigma_{1,2} = \frac{E}{1-\mu} \cdot \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \pm \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + [2\varepsilon_2 - (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)]^2}\,, \qquad (1)$$

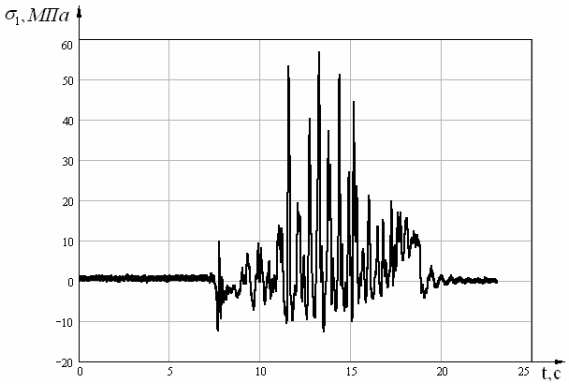
где E и μ - модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала металлоконструкции;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - измеряемые в результате экспериментального исследования деформации.

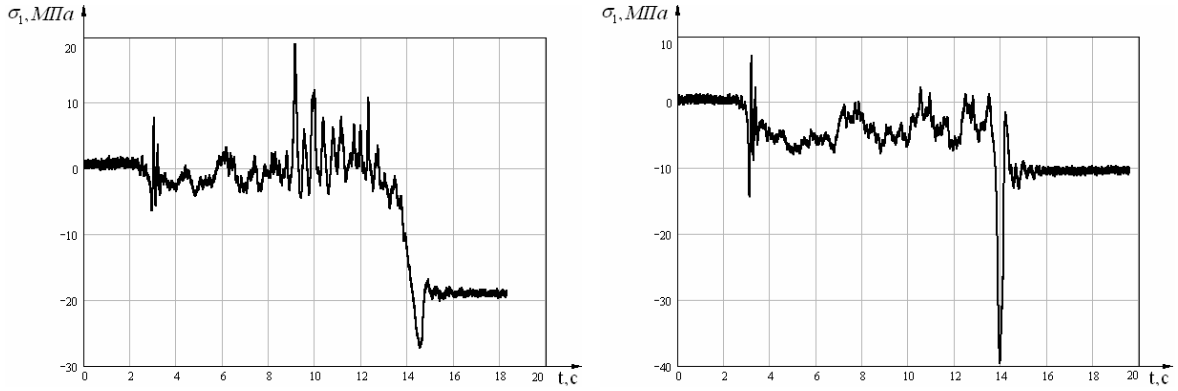
Типичные графики изменения во времени главных напряжений в зоне наклейки тензорозеток приведены на рисунках 3:



а



б



в г

Рисунок 3 – Напряжения, возникающие в металлоконструкции автогрейдера при выполнении различных рабочих операций

а – напряжения, возникающие в металлоконструкции при переезде через неровности, расположенные в шахматном порядке;

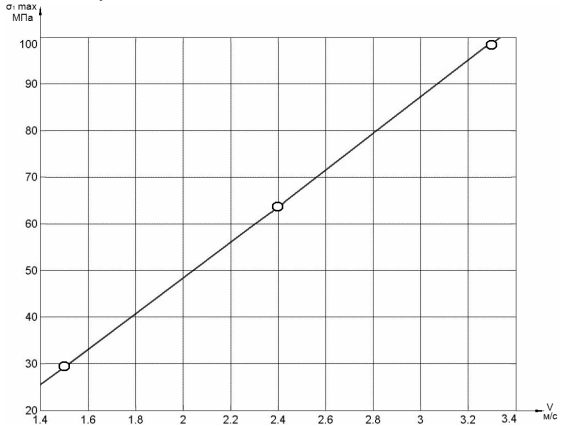
б – напряжения, возникающие в металлоконструкции при наезде правым бортом на полуцилиндрическое препятствие;

в – напряжения, возникающие в металлоконструкции автогрейдера при интенсивном заглубление правого края основного отвала в грунт;

г – напряжения, возникающие в металлоконструкции автогрейдера при ударе бульдозерным отвалом в грунтовую стенку.

На основании приведенных графиков можно утверждать, что при выполнении рабочих операций в металлоконструкции автогрейдера действуют переменные напряжения стохастического характера. Явно фиксируются процессы колебательного типа, что может быть объяснено упругими свойствами как самой металлоконструкции, так и опорных пневматиков. Случайная составляющая колебаний возникает из – за неоднородности разрабатываемого грунта, неровности опорной поверхности.

Сравнение между собой экспериментальных данных показывает, что наибольшие нагружения основная рама автогрейдера испытывает в транспортных режимах движения машины. Причем, это существенно сказывается при увеличении скорости движения машины. Так, при переезде неровностей, расположенных в шахматном порядке, увеличение скорости машины от 1.5м/с до 3.3м/с приводит практически к трехкратному росту амплитуды действующих главных напряжений (от 21.95÷29.3МПа до 88.2÷99.2МПа). Следует помнить, что поскольку отсчет динамической составляющей напряжения велся от положения статического равновесия, то реальные напряжения в металлоконструкции будет большим за счет напряжений, вызваных собственным весом самой металлоконструкции.



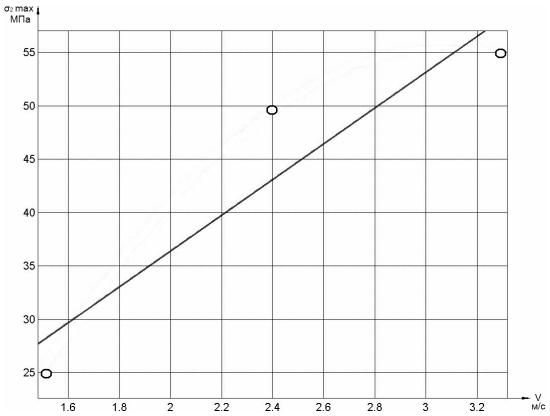


Рисунок 4 – Зависимость главных напряжений в основной раме автогрейдера от скорости движения в транспортном режиме

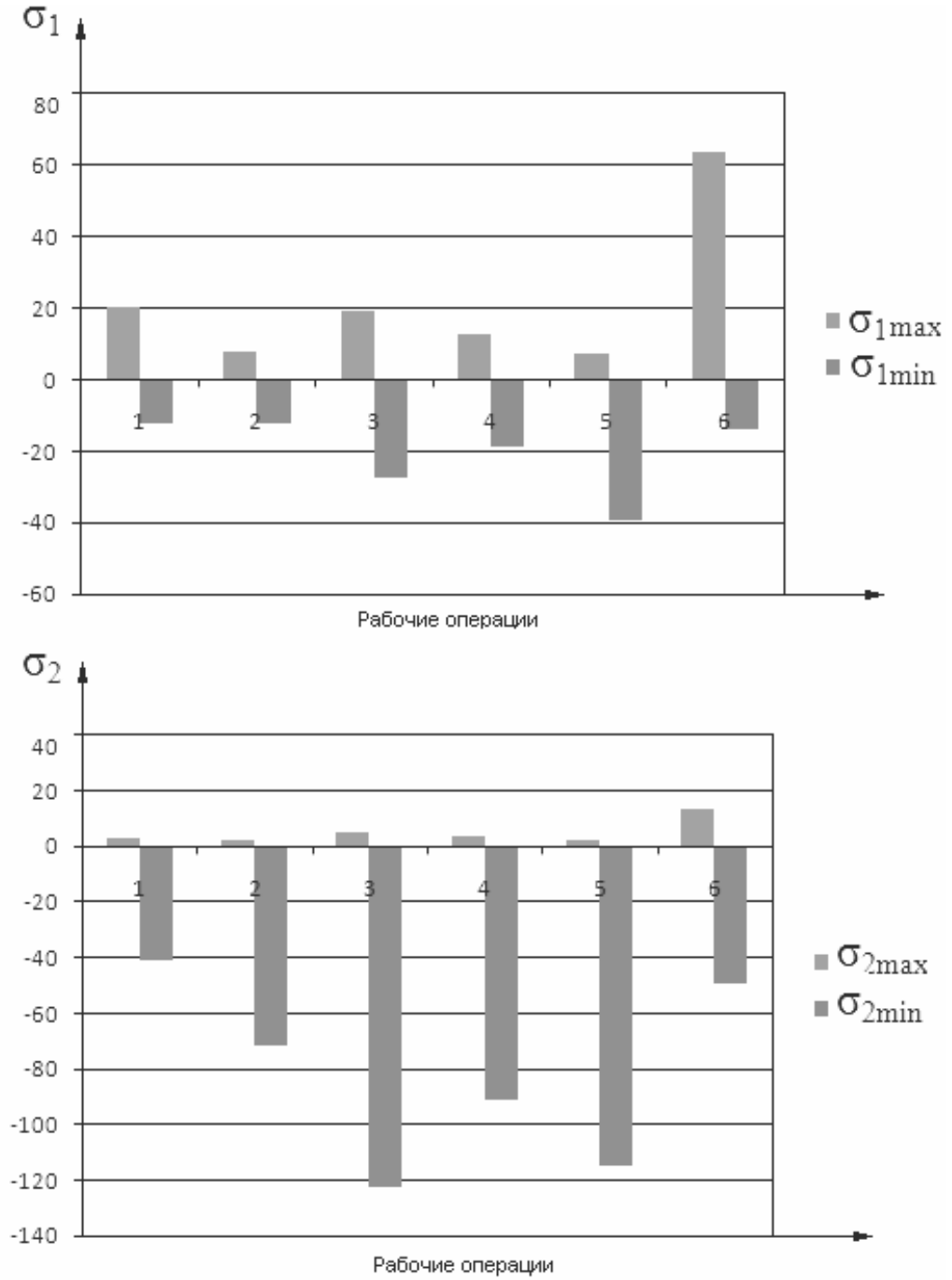
Высокие нагрузки зафиксированы и при упоре на скорости бульдозерного отвала в грунтовую стенку. Здесь уровень динамической составляющей главных напряжений доходил до 77.6÷115.1МПа.

Значения динамической составляющей главных напряжений, действующих в наиболее нагруженных зонах основной рамы автогрейдера, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения главных напряжений

Выполняемая операция	Начальная скорость машины, м/с	Действующие главные напряжения, МПа			
		σ1max	σ1min	σ2max	σ2min
Интенсивное зарезание отвалом при угле захвата 90°	1,5	11,107	-15,96	5,76	-101,1
	2,4	12,75	-18,89	3,56	91,2
Интенсивное зарезание правым углом отвала при угле захвата 45°	1,5	9,6	-5,4	1,47	-51,1
	2,4	19,018	-27,3	5,276	-122,5
Интенсивное заглубление бульдозерного отвала	1,5	9,291	-8,538	2,155	-24,61
	2,4	20,26	-12,41	3,01	-40,88
Удар бульдозерным отвалом в грунтовую стенку	1,5	11,03	-12,6	4,9	-44,3
	2,4	10,5	-28,37	3,94	-77,6
Переезд через препятствие в транспортном режиме	1,5	55,43	-13,7	13,66	-56,5
	2,4	99,2	-17,9	18,7	-55,04

На основании данных приведенных в таблице 1 был проведен сравнительный анализ полученных экспериментальных данных, результаты которого представлены на рис. 5.



1 – интенсивное заглубление бульдозерного отвала; 2 – интенсивное зарезание левым углом отвала при угле захвата 45°; 3 – интенсивное зарезание правым углом отвала при угле захвата 45°; 4 – интенсивное зарезание отвалом при угле захвата 90°; 5 – удар бульдозерным отвалом в грунтовую стенку; 6 – переезд через неровности в транспортном режиме.

Рисунок 5 – Сравнительный анализ полученых экспериментальных данных

На основании приведенных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

– при выполнении рабочих операций металлоконструкция испытывает переменное нагружение случайного характера, это способствует появлению и последующему росту усталостных трещин;

– двукратное увеличение начальной скорости движения машины в транспортном режиме приводит как минимум к трехкратному росту амплитуд действующих напряжений;

– наиболее опасными рабочими операциями являются: интенсивное зарезание правым углом отвала при угле захвата 45°; удар бульдозерным отвалом в грунтовую стенку; переезд через неровности, расположенные в шахматном порядке;

– при разработке математической модели нагружения металлоконструкции автогрейдера необходимо учитывать упругость системы, поскольку временные зависимости носят колебательный характер.

Список литературы

1. Проектирование машин для земляных для земляных работ / Под. ред А.М. Холодова.-Харьков:- Выща школа, 1986. – 272 с. 2. Автогрейдеры. Конструкция, теория, расчет / Под. ред К.П.Севрова. - Москва:- Машиностроение, 1970. – 192с.
2. Расчет автогрейдера(методика) / Под. ред М.Н. Кримермана.- Москва:- Вниистройдормаш, 1963. – 95с.
3. Б.Ф. Зайцев, А.В. Асаенок, А.А. Резников. Расчетный анализ напряженно – деформированого состояния рамы автогрейдера / Труды 14-й международной научно – технической конференции «Физические и компьютерные технологии».-2008.-С. 457 - 459
4. А.В. Асаенок, Б.Ф. Зайцев. Анализ эффективности алгоритмов многосеточного МКЭ в задачах теории упругости для конструкций с криволинейными тонкостенными элементами / Восточно – Европейский журнал передовых технологий.-2006.-№2/3(20).-С.21-25.
5. Сухарев И.П. Экспериментальные методы исследования деформаций и прочности.-М.: Машиностроение, 1987.-216с.

О. Лізунков, В. Шевченко, О. Рєзніков

Особливості навантаження металоконструкції автогрейдера в різних робочих операціях

Представлені результати експериментального дослідження навантаження металоконструкції автогрейдера в процесі виконання робочих операцій. Проведено порівняльний аналіз отриманих експериментальних даних з метою визначення критичних режимів навантаження металоконструкції основної рами автогрейдера. Отримано емпіричну залежність головних напружень в основній рамі автогрейдера від швидкості руху у транспортному режимі.

A. Lizunkov V. Shevchenko, A. Reznikov

Twist of loading of metal structures of motor-grader in different workings operations

The results of experimental research of loading of metal structures of motor-grader in the process of achievement of workings operations are presented. The comparative analysis of received experimental data with the purpose of determination of the critical modes of loading of metal structures of main frame of motor-grader are realized. Imperial dependence of main strain in the main frame of motor-grader from the rate of movement in a transport mode are received.

Одержано 11.05.10

УДК 621.792.4

А. А. Тамаргазин, проф., д-р техн. наук
Национальный авиационный университет, г. Киев
Л.А.Лопата, доц., канд. техн. наук
Институт воздушного транспорта Национального авиационного университета, г. Киев
Ю.В. Брусило, нач. транспортного центра
Национальный авиационный университет, г. Киев
С.А. Довжук, инж.
Кировоградский национальный технический университет

Влияние факторов процесса электродугового напыления на структурообразование и свойства покрытий

В статье рассмотрены первичные (технологические факторы), касающиеся технологии и условий напыления и вторичные, которые являются производными от технологических факторов, влияющих на структурообразование и свойства покрытий. Обобщая результаты исследований по влиянию факторов процесса электродугового напыления на структурообразование и свойства покрытий, были установлены параметры процесса электродугового напыления, выбраны метод подготовки поверхности перед напылением и. способ обработки напыленных покрытий.
электродуговое напыление, свойства, структурообразоваание, технологические факторы, прочность сцепление

Актуальность. В мировой практике упрочнения и восстановления деталей значительное распространение получил способ электродугового напыления (ЭДН), как один из самых технологичных, производительных и качественных методов. Электродуговое напыление имеет широкую область применения:

– для восстановления стальных, чугунных и из цветных металлов деталей цилиндрической и плоской формы, работающих в условиях трения скольжения, смазки и неподвижных посадок;

– для устранения дефектов стального и чугунного литья;

– для повышения жаростойкости стали алитированием (покрытие алюминием, его диффузия в поверхностные слои стального изделия);

– для нанесения антифрикционных покрытий при изготовлении подшипников скольжения;

– для долговременной антикоррозионной защиты алюминием и цинком металлоконструкций с гарантией 20-25 лет в условиях атмосферы;

– для защитно-декоративных целей с покрытием медью, бронзой, латунью, алюминием.

Широкому применению электродугового напыления способствуют его ряд существенных преимуществ перед другими способами:

– высокая производительность нанесения покрытия до 20 кг/час стали, до 10 кг/час алюминия;

– получение покрытия толщиной от 0,1 до 10 и более миллиметров;

– износостойкость в 1,5-1,8 раза выше закаленной стали 45, которая обусловлена хорошей масловпитываемостью и удержанием масла в микропорах покрытия;

© А. А. Тамаргазин, Л.А.Лопата, Ю.В. Брусило, С.А. Довжук, 2010

– способность покрытий нормально работать без доступа смазки до момента схватывания;

– обеспечивание износостойкости деталей на уровне новых;

– отсутствует деформация деталей, которая неизбежна при наплавке, так как при электродуговом напылении незначительные тепловложения (температура нагрева детали 100-150° С);

– простота и технологичность процесса;

– возможность нанесения покрытия на поверхности деталей из различного материала (сталь, чугун, алюминий, бронза, дерево, полимер и др.);

– габариты деталей не лимитируют применение электродугового напыления;

– получение комбинированных металлопокрытий с заданными свойствами из различных материалов проволоки;

– низкая удельная себестоимость нанесения покрытия (в 1,4-1,8 раза ниже наплавки).

Положительные качества ЭДН (технологичность, простота, высокая производительность и износостойкость, отсутствие термоповодок, низкая стоимость и универсальность, стабильность усталостной прочности восстанавливаемых деталей) не могли быть не замечены учёными и производственниками.

Однако метод электродугового напыления как любой метод металлопокрытий имеет и недостатки. Основным недостатком всегда считалась низкая адгезионно-когезионная прочность покрытия. Вторым фактором, ограничивающим применение ЭДН, являлась невысокая по сравнению с наплавкой, твердость покрытия.

Несмотря на большое количество разработок в области ЭДН исследования развиваются активно и в настоящее время, причем они приобрели направленность на рациональное активирование процесса или последующее модифицирование.

Факторы, оказывающие влияние на структурообразование и свойства покрытий. ЭДН характеризуется большим числом факторов, оказывающих влияние на структурообразование и свойства покрытий. Целесообразно выделить первичные (технологические факторы), касающиеся технологии и условий напыления и вторичные, которые являются производными от технологических факторов.

К первичным факторам целесообразно отнести:

– факторы, касающиеся режимов напыления: величина сварочного тока, вид, давление и расход распыляющего газа, диаметр и форма сопла;

– факторы, касающиеся условий напыления: схема дутьевой системы; дистанция напыления, скорость перемещения металлизатора;

– факторы, касающиеся напыляемого материала: диаметр проволоки, химический состав и строение проволоки, скорость подачи проволоки;

– факторы, касающиеся условий подготовки напыляемой поверхности: материал, способ подготовки, шероховатость поверхности, температура подогрева.

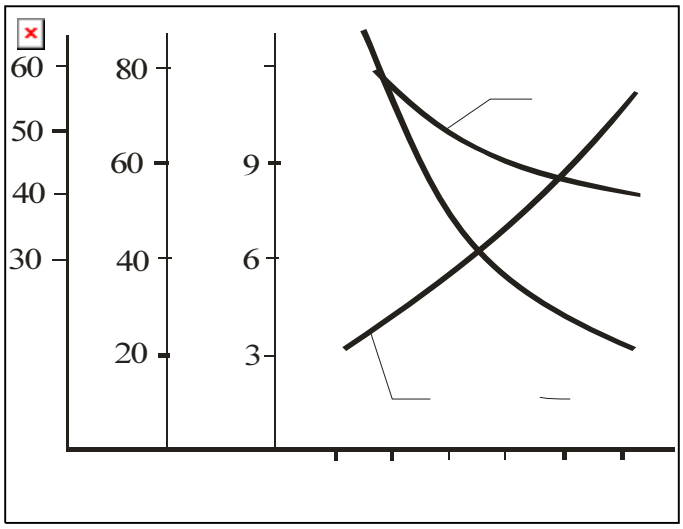
– факторы, касающиеся обработки напыленных покрытий.

Вышеуказанные первичные факторы определяют вторичные факторы, которые оказывают влияние на кинетику и структурообразование покрытий. К ним можно отнести: диаметр, скорость и температура частиц, степень их окисления; степень активации, шероховатость и температура подложки. Необходимо отметить, что влияние большинства факторов на процесс ЭДН изучено различными исследователями.

Исследования влияния режимов электродугового напыления на качество и свойства покрытий. Качество покрытий и свойства в значительной степени зависят от давления распыляющего газа и дистанции напыления. Большинство исследователей сходится во мнении, что повышение давления способствует увеличению адгезии покрытия и снижения пористости.

Исследования влияния режимов электродугового напыления на свойства покрытий показывают (рис. 1), что адгезия покрытия с увеличением скорости истечения воздуха, и, следовательно, скорости истечения струи, повышается, а пористость снижается [1]. При истечении воздуха с дозвуковой скоростью размер расплавленных частиц в среднем составляет 200 мкм. С увеличением скорости истечения воздуха размер расплавленных частиц на 90 % находится в диапазоне 30–80 мкм. Однако такое уменьшение размера расплавленных частиц напыляемого материала ведет к более интенсивному выгоранию из них легирующих элементов, в первую очередь углерода, что обусловливает повышенную твердость покрытий при дозвуковых скоростях истечения воздуха. Содержание остальных легирующих элементов проволоки при увеличении скорости истечения воздуха из металлизатора и тока дугового разряда изменяется в меньшей степени [2].

Одним из важных технологических фактор при ЭДН является дистанция напыления. С одной стороны повышение дистанции способствует повышению скорости частиц, с другой приводит к повышенному окислению частицы и снижению ее температуры. Оптимальный диапазон дистанции напыления согласно исследованиям [3] находится в диапазоне 80...150 мм (таблица 1).



1- пористость (П,%); 2- прочность сцепления ($\sigma_{сц}$,МПа); 3- твердость ($HRC_э$)

Рисунок 1 – Влияние скорости истечения воздуха из сопла (V, м/с) на свойства покрытий при ЭДН

Таблица 1 – Свойства покрытий в зависимости от дистанции напыления

Свойства покрытия	Расстояние от сопла до детали, мм						
	30	50	75	100	120	200	300
Прочность сцепления, МПа	15	18	19	21	22	22	19
Содержание оксидов в покрытии, %	10	12	13	15	16	25	30

Путём совершенствования конструкции оборудования для электродугового напыления и повышения защитно-энергетического уровня факела распыла была решена задача повышения физико-механических свойств покрытий за счёт снижения окисления диспергированного металла в факеле распыла и повышения скорости полёта частиц. Для нанесения покрытий

используются аппараты с различной дутьевой системой и геометрией сопла. В работе [4] отмечается преимущество аппаратов с закрытой схемой и дифференциальным соплом по сравнению с открытой схемой центрального сопла. Поэтому исследования в данной диссертационной работе проводились на металлизаторе ЭМ-14 с диафрагменным соплом.

Напыляемых материалы и их связь со свойствами покрытий. При ЭДН применение любой марки проволоки, выпускаемой промышленностью, технологически возможно. При напылении малоуглеродистых нелегированных проволочных материалов покрытие имеет низкий уровень механических свойств. Твердость металла и оксидов различна и составляет – 210...280 HV и 400...560 HV соответственно. Покрытие характеризуется высокой внутренней хрупкостью из-за наличия большого количества оксидов (до 20%), высоким коэффициентом трения f=0,4...0,6 и невысокой износостойкостью [5]. Прочность сцепления с подложкой не превышает 22...24 МПа. Пористость покрытия находится в диапазоне 13...18 %. Структура покрытий представляет собой слоистую систему, состоящую из вытянутых зерен (ламелей), фазовый состав которых соответствует твердому раствору хрома в α-железе, с мелкодисперсными включениями сложнолегированных боридных соединений хрома и железа .

Как отмечено в литературе, относительно высокие свойства покрытий при электродуговом напылении (ЭДН) достигаются применением композиционных порошковых проволок. Анализ проблем прочностных и износостойких свойств покрытий также позволил сделать вывод, что для ЭДН необходимо использовать порошковые проволоки. Наибольшее применение находят композиционные порошковые проволоки (оболочка из сталей Св 08, Св 08 Г2С, 30ХГСА, Сталь 70, У8,У10, 20Х13,40Х13, 65Г, наполнитель – ферросплавы, карбиды, карбобориды). К их числу можно отнести порошковую проволоку ПП-ТП-1, разработанную сотрудниками лаборатории ВНИИТВУД «Ремдеталь» (г. Москва, Россия) совместно с Мариупольским металлургическим институтом под руководством д.т.н. В.А.Роянова и д.т.н. В.Я.Зусина или ФМИ-2 разработанную учеными Физико-механического института им. Г.В.Карпенко НАН Украины (г. Львов, Украина) под руководством Похмурского В.И. [6, 7]. Защита от окисления и высокие свойства покрытий достигаются за счет взаимодействия компонентов порошковой шихты между собой, при этом происходят процессы восстановления оксидов и легирования стальной основы. Содержание феррохрома 16-19% и алюминия 14-17% в порошковой проволоке обеспечивали существенное повышение адгезионно-когезионной прочности. Твёрдость 50-58 HRC. Покрытия, полученные напылением порошковых проволок имеют большую твердость и износостойкость.

Практика применения порошковых композиционных проволок при газотермическом напылении показывает, что эксплуатационные свойства покрытий из порошковых проволок выше, чем из гомогенных. Преимущества порошковых проволок обуславливаются не только гетерогенной структурой покрытия после напыления, но и активным взаимодействием компонентов порошковой шихты друг с другом при напылении и с подложкой, что способствует повышению температуры частиц, раскислению оксидов на поверхности подложки, и как следствие повышение адгезии покрытия к подложке.

Однако наши исследования показали, что с повышением содержания углерода в распыляемой композиционной проволоке механические свойства покрытия повышаются, а прочность сцепления незначительно снижается. При напылении стали У8, твердость покрытия составляет 360...380 HV, прочность сцепления составляет 18...20 МПа.

Легированные и высоколегированные проволочные материалы позволяют получать наилучшие свойства ЭДН-покрытий из всех гомогенных проволочных материалов. Значительное повышение свойств обусловлено упрочняющим действием легирующих элементов в стали.

Хром способствует, при быстром охлаждении, повышению прокаливаемости стали, поэтому структура покрытий из хромистых сталей состоит в основном из мартенсита и

продуктов его отпуска. При значительном содержании хрома в исходной проволоке в покрытии образуются карбиды $Cr_{23}C_6$, а также небольшое количество аустенита. Хром в значительной степени повышает коррозионную стойкость покрытий, а также адгезию покрытия к смазке. На прочность сцепления покрытий хром в чистом виде влияние не оказывает. При электродуговом напылении хром практически не выгорает [8].

Никель находит широкое применение в сплавах для защитных покрытий. Он неограниченно растворим в железе, и является сильным аустенизирующим элементом [9]. Собственных высокотвердых фаз в сплавах железа никель не образует. Его влияние заключается в существенном повышении стойкости покрытий к ударным нагрузкам. С увеличением содержания никеля повышается вязкость сплава практически без ущерба для износостойкости. Никель - дорогой легирующий элемент, поэтому его количество в износостойких сплавах на основе железа ограничивают. Исключение составляют сплавы для коррозионно-стойких покрытий. В самофлюсующихся порошках никель применяют в качестве основы сплава. В этом случае достигаются высокие коррозионная и износостойкость, а также технологичность нанесения покрытия благодаря образованию в системе M-Cr-B гетерогенной структуры эвтектического типа с низкой температурой плавления (менее 1000°C).

Однако высоколегированные проволочные материалы по стоимости приближаются к порошковым проволочным материалам, тем не менее, уступая им по эффективности (таблица 2).

Согласно исследованиям, диаметр применяемой проволоки при ЭДН оказывает влияние на условия формирования металловоздушной струи. В работе [4] отмечается повышение турбулентности струи при повышении диаметра проволоки более 1,8 мм, а также повышение перепада давления в районе скрещивания проволок. При снижении диаметра проволоки менее 1,2 мм наблюдается ухудшение стабильности процесса из-за непостоянства положения точки скрещивания проволок. Оптимальным считается диапазон диаметров 1,2...1,8 мм.

Влияние способа подготовки поверхности при ЭДН на прочность сцепления и эффективный коэффициент концентрации напряжений. Предварительная обработка напыляемой поверхности необходима для обеспечения надежного контакта распыляемого материала и основного металла путем активации поверхностного слоя основы и удаления загрязнений. Предварительная обработка поверхности основного металла выполняется разнообразными технологическими методами. На первой стадии подготовки поверхности проводится обезжиривание для удаления различных загрязнений. Далее следует механическая обработка поверхности. Среди всех методов наиболее производительными являются обработка дробью, обдувка песком, нарезание рваной резьбы, нанесение различной формы насечек.

Обработка дробью перед напылением обеспечивает высокую адгезию (таблица 3), повышая предел выносливости основного металла. Поэтому при исследованиях образцы подвергались дробеструйной обработке стальной крошкой.

Таблица 2 –Технические и экономические характеристики распространенных марок стальных проволочных материалов

Марка проволоки	Химический состав	Назначение	Твердость после напыления, HV
Св08	C-0,08...0,1%	сварка низкоуглеродистых сталей	250...300
Св 08Г2С	C-0,08...0,1%, Mn-1,5...2,0%, Si-0,8...1,2%	сварка низкоуглеродистых сталей	250...300
Нп 40	C-0,37...0,42%	износостойкая наплавка деталей машин	300...350
Нп 60	C-0,57...0,62%	износостойкая наплавка деталей машин	350...400
65Г	C-0,63...0,68%, Mn-0,8...1,2%,	износостойкая наплавка деталей машин	350...400
У8	C-0,76...0,82%	износостойкая наплавка деталей машин	360...400
20Х13	C-0,18...0,22%, Cr-11...13%	износостойкая наплавка деталей машин	360...420
ПП-ТП1(порошковая)	C-0,67%, Cr-3,58%, Ni-2,33%, Si-0,27%, Mn-0,42%, Al-2,08%	электродуговое напыление и наплавка деталей трибосопряжений	400...450
НП-4 (порошковая)	Система легирования Fe-C-B-Cr	электродуговое напыление и наплавка деталей трибосопряжений	400...450

Результаты экспериментальных исследований. На первом этапе исследований оценивалось распределение по фракциям частиц, полученных при распылении порошковой проволоки (таблица 4, рис. 2).

Поскольку наиболее крупные фракции имеют минимальную долю в общей картине распределения, следовало ожидать, что напыленные слои будут достаточно плотными.

Таблица 3 – Влияние способа подготовки поверхности при ЭДН на прочность сцепления и эффективный коэффициент концентрации напряжений

Способ подготовки	Прочность сцепления с основой, МПа	Эффективный коэффициент концентрации напряжений [6]
Обработка дробью	22	0,78
Обдувка песком	20	0,91
Нарезание резьбы	23	1,3
Нанесение насечек	22	1,29
Электроискровая	23	1,08

Таблица 4 – Массовая доля частиц различной фракции

№	Фракция, мм	Масса, г	Массовая доля, %
1	более 0,63	0,081	0,1
2	0,63…0,40	1,204	1,52
3	0,40…0,315	1,012	1,28
4	0,315…0,20	11,930	15,14
5	0,20…0,16	11,000	14
6	0,16…0,10	22,021	28
7	0,10…0,063	21,450	27,25
8	Менее 0,063	10,012	12,7

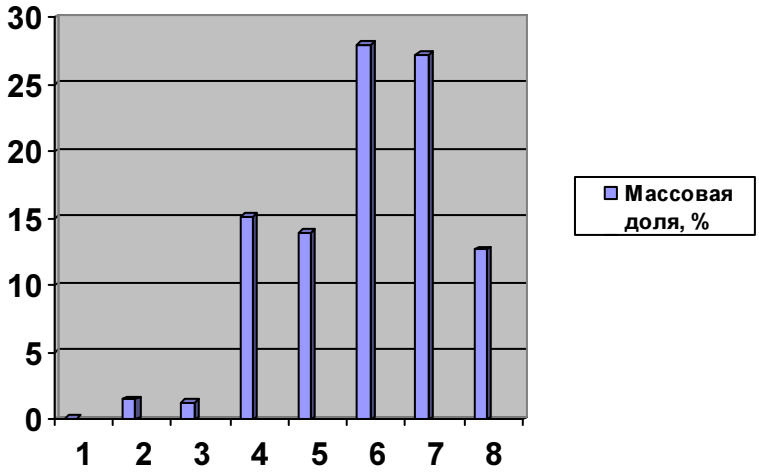


Рисунок 2 – Гистограмма распределения массовой доли частиц различной фракции

Структура напыленного покрытия представляла собой гетерофазную систему, состоящую из двух и более фаз, разделенных между собой границей раздела и отличающихся между собой по химическому составу и свойствам. Расплавленные частицы, транспортируемые высокоскоростной струей продуктов горения, в процессе столкновения с поверхностью подложки расплющиваются и перемешиваются. В результате формируется специфическая, волнистая микроструктура с остаточной пористостью. Напыленное покрытие имело ламелярую структуру закристаллизовавшихся частиц металла, оксидов и порошкового наполнителя, причем оксиды располагаются, как правило, по границам ламелей (рис. 3).

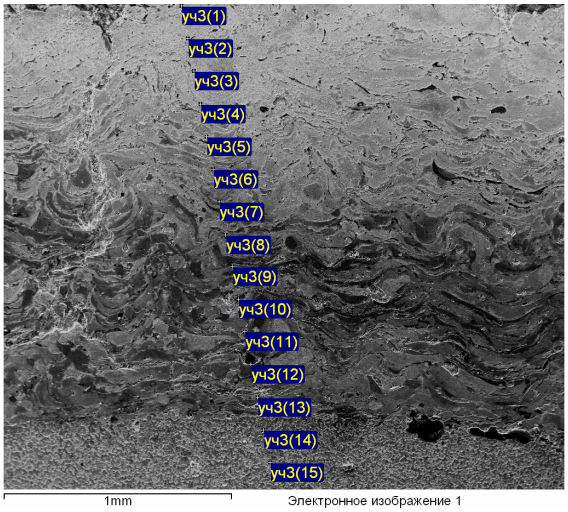


Рисунок 3 – Структура покрытия полученного электродуговым распылением порошковой проволоки марки ФМИ-2

Как и следовало из результатов исследования фракционного состава частиц распыленной порошковой проволоки, покрытия имели достаточно высокую плотность, (пористость не превышала 12-14%). Исследование, выполненные на электронном микроскопе JSM-840 и на световом микроскопе «MeF-3» фирмы "Reichert" (Австрия) показали, что порошковые частицы, входящие в распыляемую проволоку в виде наполнителя, полностью или частично сохраняются. На рисунке 4 показан фрагмент покрытия, полученного распылением порошковой проволоки ФМИ-2.

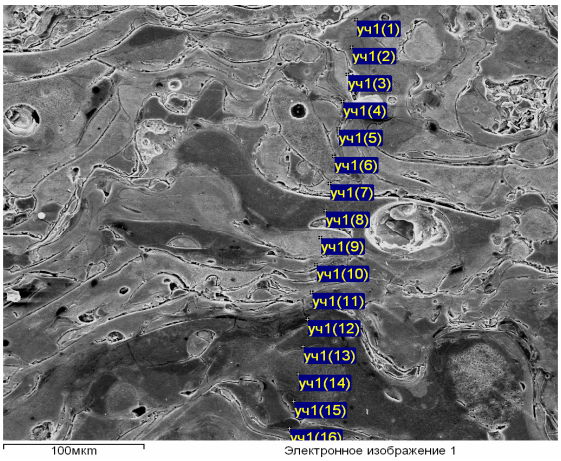


Рисунок 4 – Фрагмент покрытия, полученного распылением порошковой проволоки ФМИ-2

Обработка напыленных покрытий. Прогнозирование появления возможных структурных особенностей и физико-механических свойств модифицированных электроконтактной обработкой газотермических покрытий на основании данных, полученных при электроконтактной обработке свободно насыпанных порошков или сформованных клеевым методом слоев невозможно, что связано со следующими особенностями напыленных покрытий:

– сверхбыстрая кристаллизация напыленных капель расплава приводит к высокой концентрации дефектов кристаллической решетки (дислокаций, вакансий) в частицах покрытия;

– частицы покрытия имеют строение, отражающее условие гетерогенной кристаллизации с развитием фронта растущих кристаллов в направлении, противоположном отводу тепла, т.е. перпендикулярно к поверхности формирования слоя;

– напыленное покрытие имеет поры и разветвленную сеть границ;

– при напылении покрытий происходит интенсивное взаимодействие входящих в их состав элементов с окружающей средой и рабочими газами, в частности, кислородом, что приводит к существенному изменению фазового состава и свойств покрытий.

Несмотря на указанные особенности можно было ожидать, что произойдут следующие изменения структуры. В результате электроконтактной обработки напыленных покрытий из порошковых проволок в поверхностных слоях возможно образование модифицированных градиентных структур, содержащих высокопрочную матричную (–фазу (твердый раствор углерода в (–Fe), а также включения карбидов и аустенита.

При этом присутствие в одифицированном слое повышенных количеств аустенита может способствовать повышению вязкости разрушения и абразивной стойкости покрытия [9, 10], а наличие в слое высокопрочных фаз (мартенсит и карбиды) должно обеспечить повышенную прочность, а также износостойкость газотермических покрытий в условиях граничного трения и трения без смазки. Кроме этого термосиловое воздействие в области повышенных температур может уменьшать пористость покрытия и увеличивать его адгезионную стойкость.

Металлографические исследования показали (рис. 5), что как и ожидалось, в результате термосилового воздействия происходит так называемое «залечивание» пор, отмеченное в работе [1,1], плотность покрытий достаточно заметно повысилась (пористость составила 3–5 %). Количественный стереологический анализ пористости проводили по программе «Genias 26» на аттестованном автоматическом анализаторе изображения «Mini-Magiscan» фирмы "Joyce Loebl", Англия.

Дюрометрические исследования показали, что в процессе электроконтактной обработки происходит увеличение твердости поверхностного слоя, снижение микротвердости подповерхностных слоев и увеличение микротвердости в более глубоких слоях. Выдвинуто предположение, что происходит перезакалка поверхностного слоя газотермического покрытия. Закалка приводит к увеличению микротвердости, и высокий отпуск подповерхностных слоев, способствующий их разупрочнению. В более глубоких слоях в процессе электроконтактной обработки происходит распад остаточного аустенита, сопровождающийся повышением микротвердости (рис. 7). Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере "Micromet-II" с нагрузкой100 г.

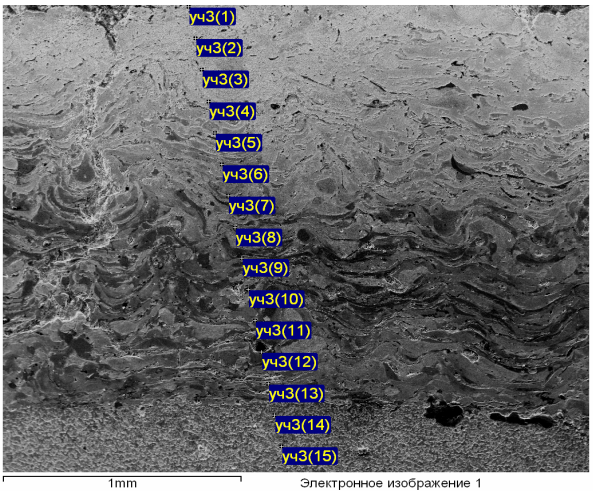


Рисунок 5 – Структура покрытия полученного электродуговым распылением порошковой ФМИ-2 после электроконтактной обработки

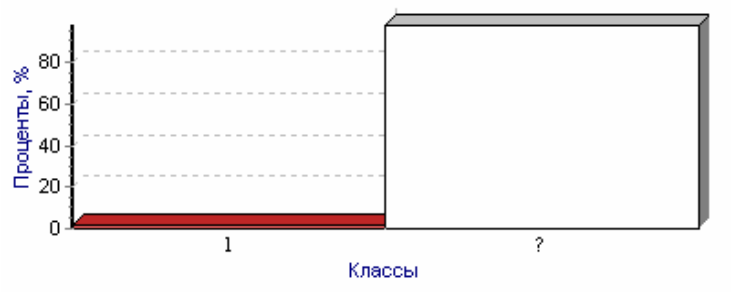


Рисунок 6 – Результаты количественного стереологического анализа пористости покрытия полученного электродуговым распылением порошковой ФМИ-2 после электроконтактной обработки



а)



б)

а – напыленное покрытие из порошковой проволоки ФМИ-2; б – напыленное покрытие из порошковой проволоки ФМИ-2 после электроконтактной обработки

Рисунок 7 – Распределение микротвердости по глубине напыленных покрытий от края поверхности покрытия к основе с захватом переходной зоны

Выводы. Обобщая результаты собственных исследований по влиянию факторов процесса электродугового напыления на структурообразование и свойства покрытий, а также, учитывая литературные данные, устанавливали при исследованиях следующие параметры процесса ЭДН:

– сила тока – 160...180 А;

– давление сжатого воздуха – 0,5...0,6 МПа;
– дистанция напыления – 100...130 мм;
– диаметр применяемой проволоки – 1,6...2 мм;
– диаметр отверстия сопла – 7 мм;
– метод подготовки поверхности перед напылением – дробеструйная обработка;
– способ обработки напыленных покрытий – электроконтактный.

Список литературы

1. В.В. Сергеев, Ю.Л. Спиридонов, И.И. Фарахшин. Восстановление коленчатых валов отечественных и зарубежных дизельных двигателей электродуговой металлизацией// Сварочное производство. 2004. № 2, С.44-26
2. Роянов В.А. Плавление электродов при электродуговой металлизации//Сварочное производство, 1990. №2, С.35-37
3. Поляк М. С. Технология упрочнения. В 2т. Т. 1. - М.: "Л. В. М. - СКРИПТ", "Машиностроение", 1995. - 832 с.
4. Нанесение слоев с высокой прочностью сцепления методами электродуговой металлизации. Е.Н.Матвейшин// Автоматическая сварка. №8, 2000.- С.20-22
5. Коробов Ю.С., Полякова А.М., Яковлева И.Л., Прядко А.С. Структура и свойства стальных покрытий, нанесенных методом активированной дуговой металлизацией // Сварочное производство, 1997, №1. С. 4-6.
6. Похмурский В. И., Студент М. М., Довгунык В. М. и др. Порошковые проволоки систем FeCrB+Al и FeCrB+Al+C для электродуговой металлизации // Автоматическая сварка. - 2002. - № 3. - С. 32-35.
7. Опыт применения порошковый проволоки ФМИ-2 для электрометаллизационного нанесения восстановительных покрытий. В. И. Похмурский, И. И. Сидорак, М. М. Студент. Автоматическая сварка. -2002., №2. С.3-4.
8. Белоцерковский М.А., Барановский В.Э. Активированное напыление покрытий комплексом «ТЕРКО» // Газотермическое напыление в промышленности-93. – С.-Петербург, 1993. – С. 74-77.
9. Восстановлению деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов. Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
10. Основы сварки плавлением. Ерохин А.А. М.: Машиностроение, 1973.-448 с.
11. Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электроконтактное упрочнение. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256 с.
12. Витязь П.А.Ю Азизов Р.О., Белоцерковский М.А. Упрочнение газотермических покрытий. – Мн.: Бестпринт, 2004. – 192 с. УДК 621.792.4

А. Тамаргазин, Л. Лопата, Ю. Брусило, С. Довжук

Вплив факторів електродугового напилення на структуроутворення і властивості покриттів

В статті розглянуті первинні (технологічні фактори), які стосуються технології і умов напилення і вторинні, які є похідними від технологічних чинників, що впливають на структурооутворення і властивості покриттів. Узагальнюючи результати досліджень по впливу чинників процесу електродугового напилення на структурооутворення і властивості покриттів, були установлені параметри процесу електродугового напилення, вибрані метод підготовки поверхні перед напиленням і. спосіб обробки напилених покриттів.

A.Tamargazin. L.Lopata, Y. Brusilo, S. Dovzh

Influence of factors of electric arc spraing on gelation and properties of coverages

The primary (technological factors) are considered in the article, touching technology and terms of spraing and second, which are derivative from technological factors, influencing on gelation and properties of coverages. Summarizing the results of researches on influence of factors of process of electric arc spraing on gelation and properties of coverages, the parameters of process of electric arc spraing were set, chosen method of preparation of surface before of spraing and. method of treatment of spraing coverages.

Одержано 11.05.10

УДК 621.539.4

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, О.В. Шевченко, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Методи підвищення працездатності різального інструменту

В статті обґрунтований найбільш перспективний шлях підвищення стійкості різального інструмента – застосування зміцнюючих покриттів. Показано, що напрямками підвищення стійкості різального інструменту є традиційні методи: використання раціональних режимів різання, вибір оптимальної конструкції різальної частини інструмента, застосування високоякісних МОТС і використання нових інструментальних матеріалів та застосування способів зміцнюючої обробки, в тому числі використання зносостійких покриттів.
різальний інструмент, зміцнююча обробка, стійкість, інструментальні матеріали, зносостійкі покриття

Вступ. Різальна кераміка застосовується при більш високих швидкостях різання ніж тверді сплави. Маючи більшу твердість і зносостійкість, які дозволяють працювати з більш високими швидкостями різання, кераміка здатна витримувати високі температури. Різальна кераміка дуже добре працює при малих подачах. При середніх і високих подачах вона не має переваги, тому що дуже чутлива до теплових ударів.

При створенні нових інструментальних матеріалів з метою поліпшення їх різальних властивостей, як правило, спостерігається погіршення інших параметрів. Так підвищення зносостійкості безвольфрамових твердих сплавів пов'язано із зменшенням їхньої міцності, збільшенням крихкості. Ідеальний інструментальний матеріал для високопродуктивної обробки важкооброблюваних матеріалів повинний мати такі властивості, як твердість і зносостійкість алмаза, хімічну стабільність мінералокераміки і питому в'язкість швидкорізальної сталі. Поряд з цим необхідна висока стійкість, теплопровідність і низька чутливість до перепаду температур. Доки такий матеріал ще не створений, найбільш перспективним шляхом підвищення стійкості різального інструмента є застосування зміцнюючих покриттів.

Постановка задачі. Шляхами підвищення стійкості різального інструменту є традиційні методи: використання раціональних режимів різання, вибір оптимальної конструкції різальної частини інструмента, застосування високоякісних МОТС і використання нових інструментальних матеріалів та застосування способів зміцнюючої обробки, в тому числі використання зносостійких покриттів (рис.1).

Аналіз методів покращення різальних властивостей інструменту привів до висновку про необхідність впровадження такого комплексу робіт:

- поліпшення системи забезпечення різальним інструментом за рахунок розробки і впровадження технічно обґрунтованих норм;
- підвищення рівня експлуатації різального інструмента на робочих місцях за рахунок оптимальних режимів обробки, а також застосування конструкційних матеріалів з поліпшеною оброблюваністю;
- поліпшення роботи з переточування і відновлення різального інструмента.

© М.О.Ковришкін, О.В.Шевченко, 2010

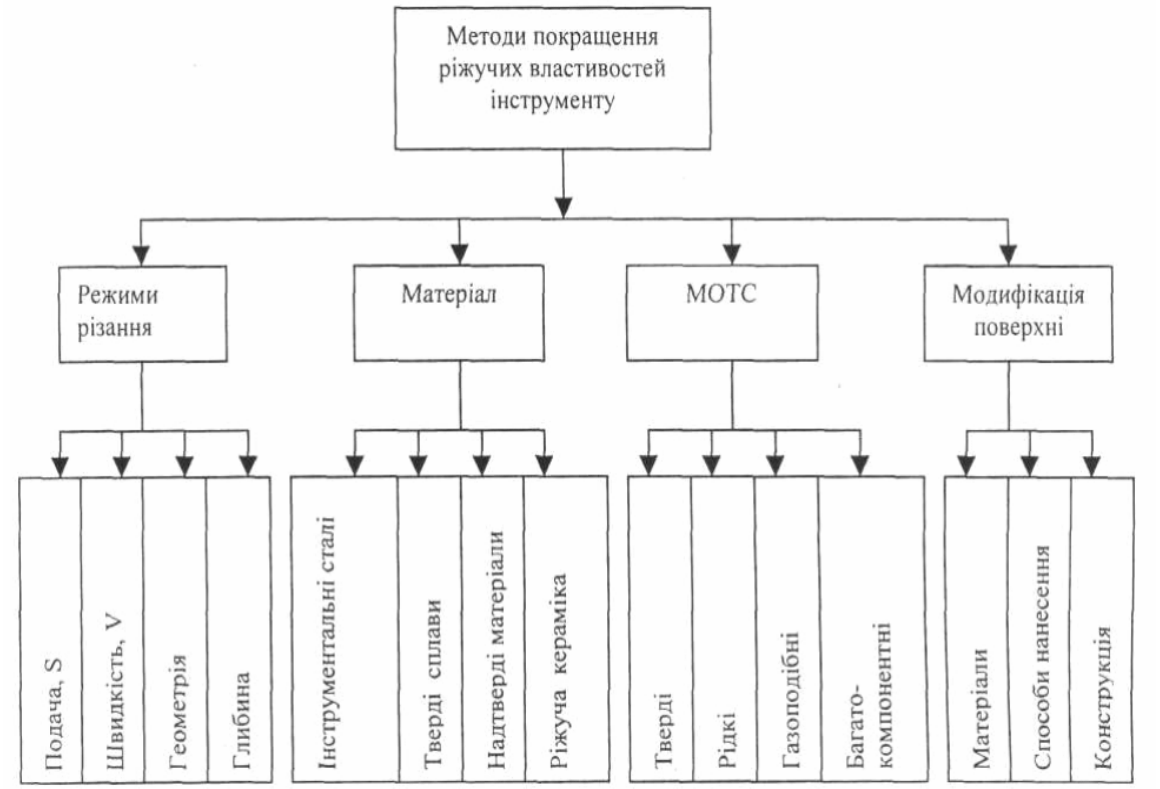


Рисунок 1 – Методи покращення різальних властивостей інструменту

Однак дотримання всіх зазначених заходів для поліпшення використання різального інструмента не забезпечить істотного зниження його витрат, оскільки цей шлях за існуючої технології може скоротити витрати різального інструмента всього лише на 25–30%.

Тому більш перспективними шляхами підвищення стійкості різального інструменту є розробки нових інструментальних матеріалів [1,2], його конструкції, формування на робочих поверхнях зносостійкого покриття [1-3].

Матеріали для зміцнюючих покриттів. У промисловості більше застосування знаходять матеріали з покриттям, які є типовим композиційним матеріалом, що мають високу зносостійкість в поєднанні з досить задовільною міцністю при вигині, ударною в'язкістю, витривалістю, тріщиностійкістю.

Використання покриттів дає можливість найбільш раціонально, економічно, рентабельно використовувати фізико-механічні властивості інструментальних матеріалів, замінити дорогі сталі та сплави і, в більш випадків, підвищити працездатність і надійність різального інструменту.

Загальні експлуатаційні вимоги стосовно до покриттів: покриття повинно бути стійким проти корозії та окислювання; зберігати свої властивості при високих температурах; не мати дефектів (пор, включень); мати високу межу витривалості.

У зв'язку з технологічним призначенням покриття повинні мати: твердість, що в 1,5-2 рази перевищує твердість матеріалу основи; низьку схильність до адгезії з оброблюваним матеріалом; мінімальну здатність до дифузійного розчинення у оброблюваному матеріалі та мінімальну відмінність кристалічних структур покриття і матеріалу основи.

Властивості покриття і матеріалу основи повинні бути досить близькими та погодженими. У зв'язку з цим бажано мати: максимальну подібність кристалохімічних параметрів; мінімальну відмінність фізико-механічних теплофізичних властивостей; мінімальну ймовірність виникнення твердої фази дифузійних реакцій при температурі тертя.

Найбільш придатними, як матеріали покриттів, на інструментальних матеріалах є карбіди, нітриди, карбонітриди титана та оксид алюмінію [4,5]. Властивості покриття суттєво залежать від вибору методу і параметрів нанесення покриття. Найбільш істотну роль грає температура на межі роз'єднання конденсату та матеріалу основи. Від температури формування покриття залежать структура покриття, міцність її адгезії з твердим сплавом, причому останнє визначається також можливістю дифузійної взаємодії пари «покриття – інструментальний матеріал». При цьому матеріал покриття і інструменту не повинні створювати крихких інтерметалідів при термомеханічному навантаженні яке виникає при різанні. Взаємна дифузія підвищує міцність зчеплення покриття і твердого сплаву і, у свою чергу, залежить від кристалохімічної спорідненості покриття, що осаджується, і твердого сплаву. У формуванні міцного адгезійного зв'язку домінуючу роль мають дифузійні процеси. Висока адгезійна міцність покриттів, визначається як молекулярними силами, так і проходженням дифузійних процесів з утворенням зон взаємної дифузії, незважаючи на чіткі поверхні розподілу основа – покриття.

Проведені дослідження по зміцненню різального інструменту нітридами, карбідами, боридами та окислами перехідних металів показали, що вони мають високу твердість, жаростійкість, зносостійкість, хімічною стійкість. Покриття на основі окису алюмінію мають дифузійний бар'єр і високі зносостійкі властивості. При впровадженні в кристалічні ґратки металів сторонніх атомів (C, N, B, O та ін.) відбувається збільшення міжатомних відстаней, що призводить до зниження пластичності і значного зростання твердості, модуля пружності, температурної і хімічної стійкості [4,5].

Для інструментальних матеріалів широко використовуються покриття на основі титану серед яких найбільше поширення одержали покриття з ТІК, що утворюється в результаті реакції галоїдних з'єднань Ti с N_2 чи NH_3, а також – TiC.

Шведська фірма «Sandvik Coromant AG» вперше почала випуск твердосплавних пластин з покриттям з TiC, а пізніше з TiC-$A1_2O_3$, також широко використовує різні композиції TiC, TiN, ZrC, ZrN, HfC, HfN і $A1_2O_3$ для покриття різального інструменту. Фірма «Metallwerke Plansee AG» для покриттів, використовує матеріали TiN, TiC, Ti(N,C) у різних сполученнях. Покриття з матеріалу TiC-TiN, TiN і HfN, розроблені фірмою «Teledyne Firth Sterling» нанесені на твердосплавні пластини, перешкоджають утворенню крихкої η-фази (Co_3W_3C) на поверхні твердого сплаву. Відомі покриття з TiN, TiC, Mo_2N, Cr_2O_3 і т.д., які широко використовуються для нанесення як на тверді сплави, так і на інструмент зі швидкорізальних сталей. Ефективність застосування покриттів залежить від оброблюваного матеріалу, Так, при різанні інструментальної сталі найбільший зміцнюючий ефект забезпечують покриття з TN та (Nb, Zr)N, при різанні нікелевих сплавів – покриття з MoN, (Ti,Cr) N, при різанні титанових сплавів – покриття з MoN.

Істотне підвищення стійкості в порівнянні з покриттями з TiC і TiN забезпечують покриття з твердого розчину TiC і TiN, TiCN за рахунок більш дрібнозернистої і рівновісної структури.

Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N дозволяє збільшити зносостійкість, мікротвердість, опір пластичному деформуванню зміцненої поверхні, збільшити теплостійкість інструменту з швидкорізальної сталі, і зменшити зношування при різанні інструментом з твердого сплаву.

Найбільш поширеними композиціями для зміцнюючих покриттів є карбіди та нітриди титану, цирконію, гафнію, а також оксиди алюмінію та хрому.

Багатошарові покриття робочої поверхні різального інструменту. Зносостійкі покриття на різальному інструменті складаються, як правило, із сполук, що у загальному виді дуже тверді і крихкі, тобто мають дуже низьку крихку міцність [6,7]. Одним зі шляхів зниження крихкості таких покриттів є зниження їхньої товщини. Високі питомі міцностні властивості тонких покриттів пов'язані з тим, що крихкі властивості, які притаманні твердим матеріалам та проявляються при малих товщинах. Але покриття малої товщини має малу

довговічність в умовах абразивного зношування. Тому принцип багатошаровості дозволяє досягати необхідних товщин покриттів без збільшення їхньої крихкості.

Багатошарові покриття в цілому багатофункціональні. Вони поєднують високу твердість, зносостійкість, опір окислюванню і адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом, мають низький коефіцієнт тертя, підвищують стійкість до абразивного зношування і до окислювання при підвищених температурах. Кожний із шарів у багатошаровому покритті може виконувати різні функції. Проміжні шари можуть монотонно змінювати коефіцієнт термічного розширення і модулі пружності від основи до поверхневого шару.

Поєднання різних способів поверхневого зміцнення різального інструменту дозволило наносити дво- і багатошарові покриття. Практика показала ефективність різального інструменту з багатошаровими покриттями, розробка яких є однієї з тенденцій розвитку поверхневого зміцнення.

Поширені на твердих сплавах двошарові покриття TiC-$A1_2O_3$, $A1_2O_3$-TiC, $A1_2O_3$-TiN, TiN-TiC, TiC-TiN. Двошарове покриття з зовнішнім шаром TiN істотно підвищує стійкість різального інструменту в порівнянні з одношаровим TiN-покриттям. Зовнішнім шаром у двошарових покриттях служить ZrO_2. Використання композиційного покриття (Ti-Zr)-(Ti-Zr)N дозволяє збільшити тріщиностійкість і виключити виникнення мікротріщин, які є основною причиною низької тріщиностійкісті нітридотитанового покриття при експлуатації різального інструменту [8].

Найбільшу стійкістю за інших рівних умов різання твердосплавним інструментом мають покриття TiC-TiCN-TiN і TiC-$A1_2O_3$[9,10]. Слід відзначити, що двошаровими покриттями в основному зміцнюють тверді сплави, а для інструментальних та швидкорізальних сталей їх застосування обмежено. Ефект застосування покриттів як тепловий захист дає проміжний шар $A1_2O_3$ через його низьку теплопровідність. Підшари Ni і Co перешкоджають дифузійним процесам між покриттям і основою, забезпечуючи цим термостабільність поверхні адгезійного контакту і можливості одержання необхідної товщини зовнішнього шару. Тришарова структура покриття в різних сполученнях тих же металів забезпечує більш широкий діапазон властивостей різального інструменту. Як правило, тришаровими покриттями зміцнюють тверді сплави. Для зовнішнього (третього) шару застосовують TiC, тоді як перший і другий шари формують з TiC-TiCN, TiC-TIN, Ti-$A1_2O_3$, $A1_2O_3$-TiCO, TiN-TiCN і інших сполук. Зовнішній шар з $A1_2O_3$ застосовують із проміжними шарами TiN-Ti, TiC-TiN, TiC-TiBN, а також з різними сполуками оксидів, карбідів, нітридів, карбонітридів і оксикарбонітридів Ti, Zr, Hf. Як зовнішній шар у тришарових покриттях застосовують нітриди, карбонітриди та оксикарбонітриди титану у різному сполученні проміжних шарів, а також застосовують кубічний нітрид бору BN.

В чотирьохшарових покриттях на твердих сплавах застосовують ті ж матеріали шарів, що і в одно-трьохшарових. У багатошарових покриттях застосовують шари з TiC, TiCN, $A1_2O_3$, чергування шарів аморфного $A1_2O_3$ з TiC або TiCN [11]. Як зовнішній шар застосовують BN. У складі багатошарових покриттів застосовують проміжні шари з різною відносною твердістю, в яких чергуються шари твердої і м'якої фази.

Висновок. На підставі аналізу матеріалів покриттів для зміцнення різального інструмента можна зробити висновок, що в даний час у розробці матеріалів для покриттів спостерігаються два підходи. Перший полягає в створенні багатошарових покриттів. Кожен шар у багатошаровому покритті виконує власну функцію і забезпечує поступовий перехід фізико-механічних властивостей покриття від поверхні до основи. Другий підхід полягає в створенні багатокомпонентних шарів перемінного складу по товщині покриття. Обидва методи значно підвищують вартість технології одержання зносостійкого покриття і знижують надійність покриття, тому, що брак в одному із шарів приводить до зниження якості всього покриття. Численні матеріали і способи нанесення покриттів мають свої переваги і недоліки. Тому, закономірно прагнення до розробки не «універсальних» покриттів і

способів їхнього нанесення, а покриттів, призначених для конкретних матеріалів основи і визначених умов експлуатації.

Список літератури

1. Шляхи підвищення ефективності механічної обробки високоміцних і композиційних матеріалів / В.Я.Лєбєдєв // Вісн.Житомир.інж.-технол.ін-ту.Техн.науки. –2003. –№2. –С.96. –104.
2. Остафьев В.А. Современные методы интенсификации процесса резания материалов / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк. – К.:"Знання", 1988. – 28 с.
3. Клименко С.А. Точение износостойких защитных покрытий / С.А Клименко, Ю.А.Муковоз, Л.Г. Полонский, П.П. Мельничук. – К.: Техника, 1997. – 146 с.
4. Аникеев А.М. Современные твердые сплавы с износостойким покрытием / А.М.Аникеев, И.Ю.Коняшин, Е.Ю.Леонов, В.С.Торопченов // Пути повышения эффективности использования режущих инструментов. Всес. науч.-техн. совещ. Москва, 15-17 окт., 1991: Тез. докл. – М., 1991. –С. 63–64.
5. Коняшин И.Ю. Нанесение износостойких покрытий на безвольфрамовые твердые сплавы // Свойства и применение спеченных твердых сплавов / И.Ю. Коняшин, А.И. Аникеев. Всес. н.-и. и проект., ин-т тугоплав. мат. и тверд, сплавов (ВНИИТС). – М., 1991. – С. 98–102.
6. Верещака А.С. Работоспособность инструмента с износостойким покрытием / А.С. Верещака. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
7. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака, Н.П. Третьяков. – М:, Машиностроение, 1986. – 192 с.
8. Белов А.Ф. Износостойкие покрытия для технологического и режущего инструмента. / А.Ф. Белов, Э.М. Волин, И.С. Полькин. – Сб. «Перспективные методы получения покрытий и модифицированных поверхностей», Киев, ИЭС им. Патона, 1984. С. 9–10.
9. Исследование и применение покрытий из карбида ниобия на режущем инструменте / А.К. Минкевич, Г.Д. Кузнецов, В.С. Серебринникова и др. – В. Кн.: Диффузионное насыщение и покрытия на металлах. – К.: Наукова думка, 1977. – С. 128–130.
10. Особенности формирования покрытий системы Ti [N,C] на твердосплавных пластинах / Ю.И. Карпов, М.Б. Чижмаков // Вестник машиностроения. – 1992. – №3. – С.62–64.
11. Гордиенко А. Анализ влияния фазового состава покрытий из нитрида титана на эксплуатационные характеристики режущих инструментов / А. Гордиенко. // Zesz. nauk. Ppazn. Mach. – 1991. – №36. –P. 101–109. – Рус.

Н. Ковришкин, А. Шевченко

Методы повышения работоспособности режущего інструмента

В статье обосновано наиболее перспективное направление повышения стойкости режущего инструмента – применение упрочняющих покрытий. Показано, что путями повышения стойкости режущего инструмента являются традиционные методы: использование рациональных режимов резания, выбор оптимальной конструкции режущей части инструмента, применения высококачественных СОЖ, использование новых инструментальных материалов и применение способов укрепляющей обработки, в том числе использование износостойких покрытий.

M. Kovryshkin, A. Shevchenko

Methods of increase of serviceability of the cutting tool

In article the most perspective direction of increase of resistance of the cutting tool – application of strengthening coverings is proved. It is shown, that ways of increase of resistance of the cutting tool are traditional methods: use of rational modes of cutting, a choice of an optimum design of a cutting part of the tool, application high-quality greasing cooling liquids, use of new tool materials and application of ways of strengthening processing, including use of wear proof coverings.

Одержано 23.05.10

УДК 631.331

С.І. Шмат, проф., канд. техн. наук, П.Г. Лузан, доц., канд., техн. наук, С.В. Колісник, асп.
Кіровоградський національний технічний університет

Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур

В статті розглянуті перспективні ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур. Традиційні технології обробітку ґрунту та сівби дуже енергоємні, що приводить до погіршення родючості ґрунту, зменшення його біологічної активності і значного ущільнення. Сучасні технології потребують нових підходів, заснованих на безплужному обробітку ґрунту, використанні нових ефективних ґрунтообробних та посівних машин. Запропоновані засоби та технології забезпечують при менших витратах палива на 15-20% вищу урожайність.
енергетичні витрати, землеробство, оранка, мульчування, сівба, щілювання, ґрунтова волога, технології "No-till"

Актуальність проблеми. На сучасному етапі вдосконалення систем землеробства, особливо при існуючому диспаритеті цін на сільськогосподарську продукцію, паливно-мастильні матеріали, пестициди та сільськогосподарську техніку, зростає необхідність пошуку найбільш раціональних шляхів відтворення родючості грунту як основи сталого виробництва продукції рослинництва.

Найбільш енергозатратним та трудомістким в землеробстві є механічний обробіток грунту. За даними вчених на нього припадає в середньому 40 % енергетичних та 25% трудових затрат загального обсягу польових робіт [1, 2]. Тому, зведення до мінімуму витрат енергетичних та інших ресурсів при вирощуванні сільськогосподарських культур є актуальною задачею.

Постановка проблеми. Вибір способу обробітку ґрунту визначається конкретними природно-кліматичними і виробничими умовами, які враховують його тип і стан, попередників, агробіологічні особливості вирощування даної культури і т.п. Бажання знизити енергетичні витрати при вирощуванні сільськогосподарських культур привело до застосування мінімального та нульового обробітку ґрунту. Науково необґрунтоване впровадження нових систем землеробства сприяє забур'яненості полів, розвитку великої кількості шкідників та хвороб, зниженню родючості грунту, тому ми вважаємо, що на переважній частині наших полів застосовувати сучасні технології є не завжди виправдано.

Можна йти іншим шляхом економії енергоресурсів – мінімізувати підготовку ґрунту до сівби, диференціювати по глибині та способах його обробітку, відмовитись від щорічної оранки, замінивши її менш енергоємними технологічними операціями – безполицевим розпушуванням, культивацією, дискуванням, комбінованими обробітками, щілюванням, а в деяких випадках з застосуванням прямої сівби [3, 4].

Аналіз останніх публікацій і досліджень з даної проблеми. За останні роки багатьма авторами [1-6] проведені дослідження як теоретичні, так і випробувані на практиці в сільськогосподарських підприємствах, які показують, що є ряд альтернативних технологій, які зменшують енергозатрати без погіршення родючості ґрунту.

Метою даної роботи є підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь, зменшення енерговитрат при вирощуванні сільськогосподарських культур, покращення екологічного стану середовища.

© С.І. Шмат, П.Г. Лузан, С.В. Колісник, 2010

Виклад основного матеріалу. Розглянемо основні напрями вдосконалення технологій вирощування для досягнення поставленої мети.

1. Використання енергії геоелектромагнітного поля Землі (ГЕМП).

Земля, її ґрунти знаходяться під впливом сонця, повітря, води і мало вивченого до цього ГЕМП Землі [6]. Розкриття механізму взаємодії рослин з енергією ГЕМП дозволить підвищити родючість ґрунту та продуктивність сільськогосподарських угідь.

Відомо, що талі та зливові води не тільки на 75-80% сходять без затримки у низини, яри, ставки, річки, але й змивають ґрунт. Агрономи рекомендують взагалі вилучати з польової сівозміни середньо - і сильно змиті ґрунти, використовуючи їх під кормові угіддя.

Одним з прийомів накопичення вологи є щілювання підорного горизонту ґрунту на глибину 35-40 см. Щілювання запобігає витоку талих і дощових вод, особливо на схилах, підвищує вологоємність кореневого шару ґрунту, його аерацію, зменшує змивання гумусу, покращує його енергетичний стан.

Додатковий позитивний ефект при підвищенні енергетичного стану ґрунту може бути досягнутий розміщенням щілин в підорному прошарку в напрямі магнітного поля Землі (північ - південь). При нарізуванні щілин в напрямі ліній геомагнітного поля в них наводяться еквіпотенціальні силові лінії $E = -grad\varphi$ геомагнітного поля, напруга яких підтримує енергетичні рівні біооб'єкту ґрунт-рослина в оптимальному режимі [6]. З метою накопичення та збереження вологи в ґрунті, особливо в засушливий період, використовують плоскорізний обробіток з одночасним щілюванням при відстані між щілинами 3-5 м і їх глибиною до 40 см. Ця система щілин – дрен, спеціально прокладених у підорному шарі ґрунту (рис. 1), відіграє роль своєрідних ємностей, де накопичується ґрунтова волога та надійно зберігається від витоку у низини та яри при надмірному випаданні опадів восени чи таянні снігу весною, а також запобігає явищам вимокання та вимерзання посівів. Завдяки наявності щілин волога легко переходить у нижчі шари ґрунту і не накопичується в місцях пониження рельєфу поля, утворюючи так звані «блюдця». Розміщення посівів сільськогосподарських культур проводять переважно у напрямку схід-захід.

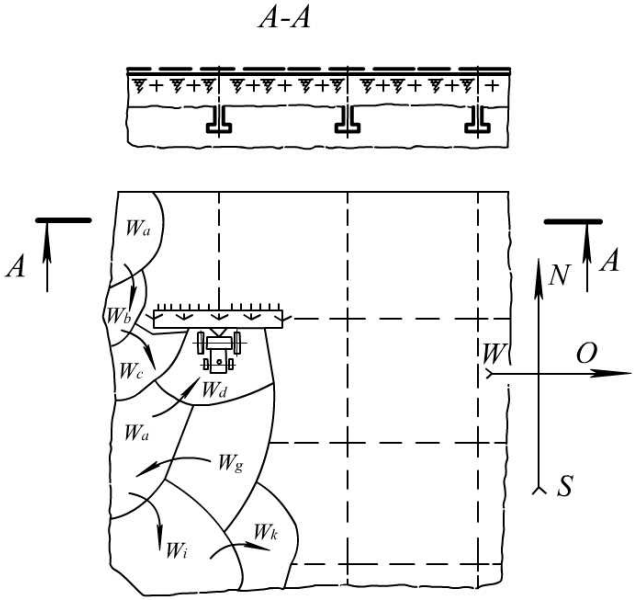


Рисунок 1 – Система щілин-дрен, прокладених у підорному шарі ґрунту

Постійно виникаючі агроЕРС мають місце на плівкових поверхнях твердого тіла (тверді частки ґрунту, мінералів, коренів і т.п.), зануреного у ґрунтовий розчин. Під дією електричного струму, який циркулює постійно у ґрунті, активізуються електрохімічні реакції розкладу мінералів у органічні речовини, а органічних у мінеральні за відомим законом Фарадея згідно рівнянню:

$$M = q \cdot I_n \cdot t = q \cdot J_a \cdot S_a \cdot t ,$$

де M – маса перетвореної речовини;

q - електрохімічний еквівалент речовини;

I_n – електричний струм, який циркулює у ґрунті;

t - час реакції електрохімічного процесу;

J_a - щільність електричного струму на поверхні анодної зони;

S_a - площа поверхні анодної зони.

Під дією агроЕРС підвищується концентрація рухомих іонів азоту, фосфору, калію: $C_1 \approx \sum NPK$; підвищується енергетичний стан біооб'єкту ґрунт-рослина, зростає його продуктивність на 20...25%.

Нова технологія вирощування включає два етапи:

- розміщення полів та попередники;
- підготовку і проведення обробітку ґрунту.

Гони поля розміщують переважно у напрямку, що співпадає з напрямком північ-південь (при обробітку ґрунту) та схід-захід (при сівбі). Головна вимога – накопичення, забезпечення і раціональне використання ґрунтової вологи, яка є особливим енергоносієм у природі. Це надзвичайно велика кількість електричної енергії, що постійно поновлюється за рахунок енергії ГЕМП, яка в свою чергу постійно поновлюється сонячною або космічною енергією.

Таким чином, зберігаючи і накопичуючи у ґрунті вологу, можна покращити енергетичний стан ґрунтів та посівів. Прокладаючи щілини – дрени у підорному шарі ґрунту у напрямку північ-південь, можна значно краще накопичувати вільну вологу і раціонально використовувати її енергію (ГЕМП) при вирощуванні сільськогосподарських культур. При цьому повніше та ефективніше використовуються поживні речовини з грунту та органічні і мінеральні добрива.

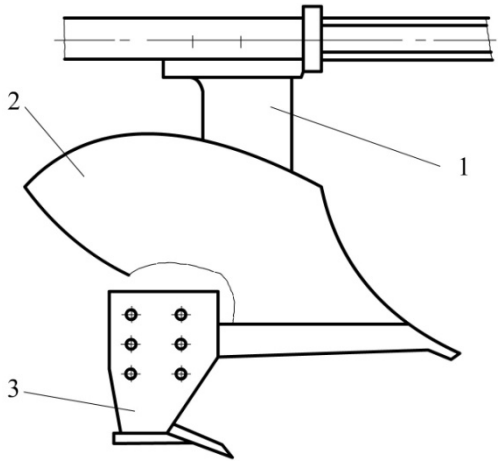
В трьох районах Кіровоградської та Херсонської областей декілька років проводяться експерименти по цілеспрямованому використанню енергії ГЕМП, які показали, що ці заходи дозволяють підвищити врожайність сільськогосподарських культур на 12-15%.

2. Підвищення ефективності оранки.

Полицева оранка не здається, вона займає переважну більшість наших полів, способи полицевої оранки весь час вдосконалюються. Для підвищення продуктивності і якості обробітку, зниження трудо- і енерговитрат використовують оборотні і фронтальні плуги, які забезпечують гладку оранку (без гребенів і роз'ємних борозен), двохярусні для глибокої оранки. Крім того, суміщують оранку з ґрунтозаглиблюванням для усунення плужної підошви.

Сучасні пристрої для ґрунтозаглиблення мають ряд недоліків – різко підвищують енергозатрати обробітку та металомісткість знаряддя, зменшують продуктивність оранки і т.п.

Нами запропонований новий робочий орган, який усуває вказані недоліки. Це щілиноріз, який встановлюється на корпусі плуга [7]. Згідно з запропонованим способом основний обробіток ґрунту проводять на глибину 22…25 см, а розпушення підорного шару - на глибину до 40 см від поверхні поля, при чому основний обробіток проводиться корпусами плугів, а додаткове розпушування підорного шару за допомогою щілиноріза (рис. 2), який прикріплюється безпосередньо до польової дошки корпуса плуга.



1–стояк; 2–корпус; 3–щілиноріз

Рисунок 2 – Вдосконалений корпус плуга з щілинорізом

3. Зменшення енергоємності процесу оранки.

Нами розглянуто також робота польової дошки корпуса. Оскільки тиск скиби на полицю весь час намагається зрушити корпус вліво по ходу плуга, то для надання йому стійкості в систему робочих органів вводять польову дошку. Спираючись на стінку борозни, польова дошка забезпечує стійкий рух плуга в горизонтальній площині. При цьому питомий тиск польової дошки на стінку борозни досягає P=0,5...0,7 кгс/см^2 або для корпусів звичайних плугів - 200...250 кгс. Опір польової дошки зумовлений її тертям по стінці борозни і досягає (за Г.Є. Листопадом (0,27...0,47)R_x, де R_x - опір плуга у поздовжньому напрямку), тобто тяговий опір польових дошок складає більше третини корисного опору плуга R_x. Відомі спроби заміни польових дошок котками з гумовим покриттям (плуг Сабо) або нахиленим колесом. Але в умовах підвищеної вологості грунту через залипання і забивання ці котки та колеса стають непрацездатними.

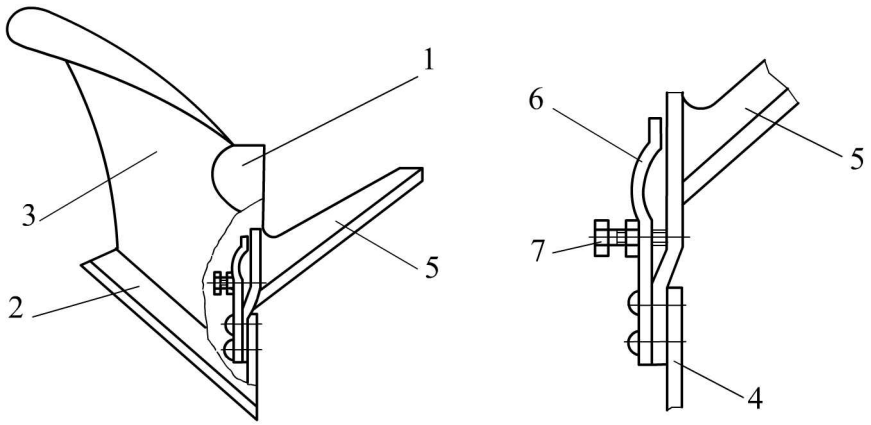
Ми розглянули цю проблему з іншого боку: чи не можна шкідливий опір польової дошки при роботі плуга замінити на корисні зусилля? Поставлена мета досягається тим, що на корпусі плуга з боку польового обрізу до стояка додатково кріпиться одностороння плоскорізна лапа на глибині розміщення лемеша з шириною захвату, яка дорівнює захвату корпуса (рис. 3). При русі корпуса в ґрунті лапа виконує підрізання скиби для наступного корпуса, зменшуючи енерговитрати на роботу його лемеша та сприяючи більш довготривалій його роботі без перезаточування [8].

Однак відомо, що ґрунт - неоднорідна маса і при роботі плуга сприймає різні по значенню сили опору ґрунту, а це призводить до порушення усталеності ходу корпуса, виникненню додаткових сил опору з боку леміша, полиці, плоскорізної лапи. Для усунення цих недоліків плоскорізна лапа корпуса плуга обладнана пружинним механізмом вібруючого типу (рис. 3), завдяки якому лапа, сприймаючи неоднорідне навантаження ґрунту, постійно знаходиться у вібруючому стані.

Параметрами процесу служать збурююча сила, швидкість руху робочого органу, контактні сили тиску, напруження, що виникають в зоні дії лапи з ґрунтом. Ці сили впливають на динаміку руху лапи, спричиняючи при цьому зменшення опору ґрунту. В процесі розвантаження і повторного навантаження відбувається реакція напруг, що веде до додаткової деформації за певний цикл. При вібраційній дії робочого органа на ґрунт частіше відбувається скол скиби, ніж при звичайному різанні. Все це зменшує загальну енергоємність процесу обробітку ґрунту, в тому числі за рахунок попереднього підрізання скиби плоскорізною лапою, зменшення дії поперечних некорисних сил на корпус плуга. При цьому покращується ступінь кришення ґрунту (наступна скиба не ущільнюється польовою

дошкою), зменшується ущільнення підорних шарів ґрунту завдяки більший опорній поверхні корпуса, зменшується виглиблення корпуса на важких ґрунтах і головне - відпадає необхідність польової дошки, яка замінюється запропонованою лапою.

Проведені дослідження показали працездатність нової конструкції. Динамометруванням процесу відзначено, що опір корпуса плуга при роботі в загінці зменшується на 35-40 кгс або для п'ятикорпусного плуга загальний опір знижується на 180...200 кгс.



1 - стояк, 2 – леміш; 3- полиця; 4- кронштейн; 5 - лапа; 6 - пружна лапка; 7 - регульований гвинт

Рисунок 3 – Корпус плуга з односторонньою плоскорізальною лапою

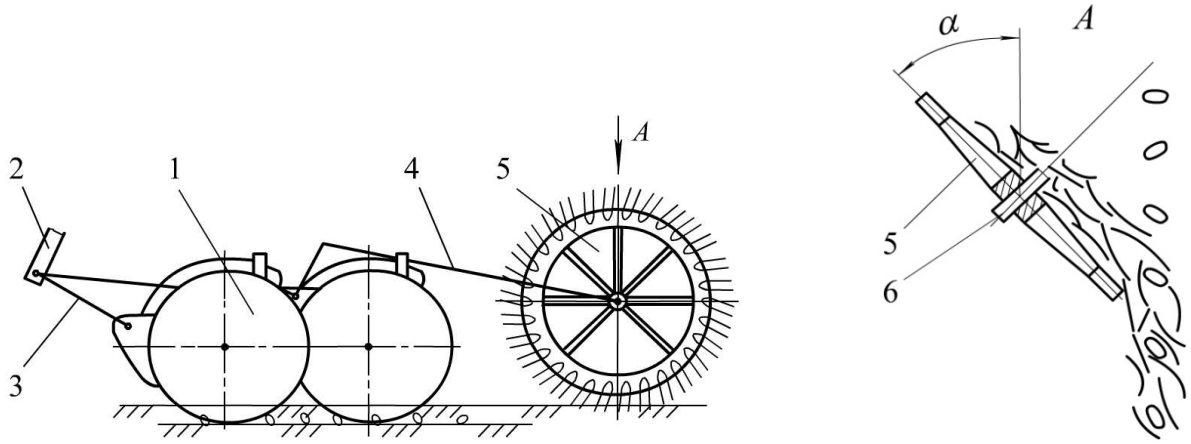
4. Система мульчування посівів.

Для більш активного відновлення родючості ґрунту пропонується доповнити технологію мульчуванням [9], залишаючи на поверхні ґрунту стерню та пожнивні рештки. Захисна роль рослинних решток величезна. По-перше, відбувається запобігання руйнуванню ґрунтів від дощів, по-друге, рослинні рештки на полі зменшують дію температури - взимку зменшується вимерзання посівів, влітку - різко зменшується дія сонячного проміння на сільськогосподарські культури, тобто створюється тепличний ефект. По-третє більш активніше проходять процеси відновлення органічних речовин в ґрунті, посилюються необхідні умови відтворення родючості грунту.

Пристрій для мульчування посівних рядків включає розміщене поряд з рядком колесо, яке має на зовнішньому колі зубці (рис.4). Колесо встановлено під деяким кутом до напрямку руху сівалки. Перекочуючись по поверхні ґрунту колесо своїми зубцями переносить на рядок з насінням пожнивні рештки, прикриваючи рядок мульчею. А це як було відмічено раніше, створює для насіння температурний ефект.

Запропоноване мульчування посівних рядків дає високу ґрунтозахисну, агрономічну і економічну ефективність і має ряд переваг перед існуючими технологіями:

- накопичення на поверхні ґрунту мульчі знижує температуру ґрунту в жаркі літні періоди та підвищує її взимку, що позитивно відбивається на рості і розвитку рослини;
- зменшується непродуктивне випаровування ґрунтової вологи. Досліди показують, що на немульчованому полі щоденно зменшується кількість вологи на 2-3 %;
- взимку відбувається накопичення більш потужного снігового покриву, створюються умови, які попереджують випирання вузлів кущення культурних рослин, підвищується їх зимостійкість;
- значно покращується аерація ґрунту, підвищується біологічна активність верхніх шарів ґрунту , покращується загальна амортизаційна здатність ґрунту при дії коліс МТА, що забезпечує інтенсивний стартовий ріст і розвиток рослин.



1 – сошник; 2 –рама; 3 – поводок; 4 – поводок; 5- копесо-загортач; 6 – вісь колеса

Рисунок 4 – Посівна секція із запропонованими колесами-загортачами

Висновки і перспективи подальших досліджень. Таким чином, підводячи підсумки, можна сказати, що традиційні технології обробітку ґрунту та сівби засновані на високій енергоємності, приводять до щорічного погіршення родючості ґрунту, зменшення його біологічної активності, значного ущільнення. Сучасні технології потребують нових підходів. Деякі з таких технологій та засобів їх реалізації розроблені в Кіровоградському національному технічному університеті і засновані на безплужному обробітку ґрунту, використанні нових ефективних культиваторів та сівалок, геоелектромагнітних сил у ґрунтовому шарі, зменшенні дії МТА на ґрунт, підвищенні урожайності сільськогосподарських культур. На нові технології та засоби одержано більше 30 патентів та авторських свідоцтв, вони достатньо вивчені та вже реалізовані на практиці.

Запропоновані засоби та технології забезпечують більш високу продуктивність та урожайність (на 15-20%), менші витрати палива (в 2 і більше разів), використовують доступні для господарств машини та більш дешеві, пройшли виробничі випробування в умовах сільськогосподарських підприємств України.

Список літератури

1. Сайко В. Актуальні проблеми землеробства: простих шляхів мінімалізації обробітку ґрунту не буває / В. Сайко В. // Техніка АПК.- 2008.- №1.- С. 68-13.
2. Романський О. Порівняльна оцінка способів обробітку ґрунту / О. Романський, К. Костенко, В. Громадська // Техніка АПК.- 2005.- № 10.- С. 14.
3. Кушнарев А.С. Методологические предпосылки выбора способов обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.Л. Погорелый // Техніка АПК.- 2008.- № 1.– С. 17-19.
4. Ващенко В. Ресурсозберігаючі технології у рослинництві / В. Ващенко, О. Бондарєва // Техніка АПК.- 1999.- №4.– С. 27-28.
5. Кравчук В. Результати експертизи техніко-технологічних рішень системи основного обробітку ґрунту в технологіях основних сільськогосподарських культур / В. Кравчук, В. Погорілий, Л. Шустік // Техніка АПК.- 1999.- № 4.– С. 27-28.
6. Шмат С.И. Преобразование энергии ГЭМП земли и её рациональное использование в сельском хозяйстве / Н.А. Свирень, С.И. Шмат, В.В. Федорчак // [Монография].- Кировоград: Код- 2009.- 191 с.
7. Пат. 4919 Україна, МКП A01B 15/10. Корпус плуга / Шмат С.І., Матвєєв К.Д., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Воротнюк В.В.; заявник і патентовласник Кіров. нац. техн. університет.- № 20040503918; заявл. 25.05.04; опубл. 15.02.05. Бюл. №2.
8. Пат. 31744A Україна, МКП A01B 15/00. Спосіб обробітку ґрунту та пристрій для його реалізації / Шмат С.І., Іванько І.П., Слободян С.М.; заявник і патентовласник Кіров. нац. техн. університет.- опубл. 6.09.99. Бюл. № 12.
9. Пат. 32562 Україна, МКП A01B 15/10. Робочий орган для мульчування / Шмат С.І., Дейкун В.А., Бойко А.І.; заявник і патентовласник Кіров. нац. техн. університет.- опубл. 26.05.08. Бюл. № 10.

С. Шмат, П. Лузан, С. Колесник
Ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных культур

В статье рассмотрены перспективные ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Традиционные технологии обработки почвы и посева очень энергоёмкие, что приводит к ухудшению плодородия почвы, уменьшения его биологической активности и значительного уплотнения. Современные технологии требуют новых подходов, основанных на бесплужной обработке почвы, использовании новых эффективных почвообрабатывающих и посевных машин. Предложенные средства и технологии обеспечивают при меньших затратах топлива на 15-20% выше урожайность.

S. Shmat, P. Luzan, S. Kolesnik
Resource-saving technologies of culture growing

Perspective resource-saving technologies of culture growing are considered in the article. As the traditional technologies of tillage and crop treatment are very power-consuming it leads to deterioration of soil fertility, reduction of its biological activity and to significant soil packing. Modern technologies need new approaches which are based on plough-free tillage, usage of new effective tillage and seeding machines. Introduced tools and technologies ensure 15-20% higher crop capacity at less fuel costs.

Одержано 25.05.10

УДК 631.363.2

К.Д. Матвєєв, доц., канд. техн. наук, Р.В. Кісільов, здобувач, В.О. Матвєєва, інж., О.М. Лєснік, В.М. Сергієнко, магістранти
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження і розробка удосконаленої конструкції вертикального транспортерного дозатора кормів грабельного типу

В статі проведений аналіз літературних досліджень і наукових публікацій по дозуванню кормів та запропонована нова конструкція вертикального транспортерного бункерного відокремлюючого дозатора, який обладнаний круглоланковим ланцюгом і гребінками з пальцями. Теоретично обґрунтовано конструктивні параметри, функціонально-технологічна схема на базі бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, режими роботи робочих органів, крок встановлення гребінок, довжина пальців гребінки та приведені особливості розвантаження кормів дозатором на поперечний горизонтальний транспортер-дозатор (друга ступінь дозування).
дозатор кормів, бітер, транспортер, гребінка, пальці, кормосуміш, бункер, полюс, крок, ланцюг

Зниження темпів виробництва продуктів тваринництва, яке спостерігається останнім часом в Україні, обумовлено, поряд з іншими чинниками, незадовільним станом розвитку кормової бази. Недостатня забезпеченість тваринництва кормами, низька їх якість та порушення вимог технології підготовки їх до згодовування призводить до того, що генетичний потенціал тварин реалізується лише на 40…60%. Корми значною мірою є визначальними серед складових економічних показників, оскільки в структурі собівартості тваринницької продукції на їх частку припадає до 70% витрат [1, 4, 5].

Досвід застосування інтенсивних повносистемних технологій виробництва продукції скотарства показує, що поряд з надійним і збалансованим забезпеченням господарств якісними кормами вдосконалюються традиційні системи годування, які направлені на

© К.Д. Матвєєв, Р.В. Кісільов, В.О. Матвєєва, О.М. Лєснік, В.М. Сергієнко, 2010

С. Шмат, П. Лузан, С. Колесник
Ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных культур

В статье рассмотрены перспективные ресурсосберегающие технологии выращивания сельскохозяйственных культур. Традиционные технологии обработки почвы и посева очень энергоёмкие, что приводит к ухудшению плодородия почвы, уменьшения его биологической активности и значительного уплотнения. Современные технологии требуют новых подходов, основанных на бесплужной обработке почвы, использовании новых эффективных почвообрабатывающих и посевных машин. Предложенные средства и технологии обеспечивают при меньших затратах топлива на 15-20% выше урожайность.

S. Shmat, P. Luzan, S. Kolesnik
Resource-saving technologies of culture growing

Perspective resource-saving technologies of culture growing are considered in the article. As the traditional technologies of tillage and crop treatment are very power-consuming it leads to deterioration of soil fertility, reduction of its biological activity and to significant soil packing. Modern technologies need new approaches which are based on plough-free tillage, usage of new effective tillage and seeding machines. Introduced tools and technologies ensure 15-20% higher crop capacity at less fuel costs.

Одержано 25.05.10

УДК 631.363.2

К.Д. Матвєєв, доц., канд. техн. наук, Р.В. Кісільов, здобувач, В.О. Матвєєва, інж., О.М. Лєснік, В.М. Сергієнко, магістранти
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження і розробка удосконаленої конструкції вертикального транспортерного дозатора кормів грабельного типу

В статі проведений аналіз літературних досліджень і наукових публікацій по дозуванню кормів та запропонована нова конструкція вертикального транспортерного бункерного відокремлюючого дозатора, який обладнаний круглоланковим ланцюгом і гребінками з пальцями. Теоретично обґрунтовано конструктивні параметри, функціонально-технологічна схема на базі бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, режими роботи робочих органів, крок встановлення гребінок, довжина пальців гребінки та приведені особливості розвантаження кормів дозатором на поперечний горизонтальний транспортер-дозатор (друга ступінь дозування).
дозатор кормів, бітер, транспортер, гребінка, пальці, кормосуміш, бункер, полюс, крок, ланцюг

Зниження темпів виробництва продуктів тваринництва, яке спостерігається останнім часом в Україні, обумовлено, поряд з іншими чинниками, незадовільним станом розвитку кормової бази. Недостатня забезпеченість тваринництва кормами, низька їх якість та порушення вимог технології підготовки їх до згодовування призводить до того, що генетичний потенціал тварин реалізується лише на 40…60%. Корми значною мірою є визначальними серед складових економічних показників, оскільки в структурі собівартості тваринницької продукції на їх частку припадає до 70% витрат [1, 4, 5].

Досвід застосування інтенсивних повносистемних технологій виробництва продукції скотарства показує, що поряд з надійним і збалансованим забезпеченням господарств якісними кормами вдосконалюються традиційні системи годування, які направлені на

© К.Д. Матвєєв, Р.В. Кісільов, В.О. Матвєєва, О.М. Лєснік, В.М. Сергієнко, 2010

розробку економічно ефективних механізованих технологій переробки кормів і приготування повнораціонних та збалансованих кормосумішей з різних кормів і поживних компонентів, що задовольняє нові сучасні підвищені технологічні вимоги та особливості фізіології годування тварин, помітно сприяє підвищенню продуктивності їх та дозволяє довести потенційні можливості цих факторів до 65% у продуктивності тварин [2, 6, 7]. Крім того добре підготовлені корми і кормосуміші сприяють підвищенню продуктивності тварин, поліпшують їх стан і вгодованість, зменшують витрати кормів та покращують якість продукції [8, 9].

Однією з найбільш відповідальних і складних операцій приготування кормів до згодовування і збалансованих кормових сумішей є дозування кормів і компонентів суворо встановленої кількості за рецептом добових раціонів технологічних груп тварин. Порушення співвідношення компонентів в суміші призводить до зниження або підвищення поживності її і в кінцевому рахунку до перевитрат кормів та недобору продукції. Ці функції виконують накопичувальні бункери, кормопереробні машини, транспортери, регулювальні засоби та спеціальні відокремлюючі дозуючі і вирівнюючі пристрої [3, 9, 10, 11].

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В практиці кормоприготування і роздавання кормів застосовують масове або об'ємне дозування, кожне з яких може бути порційним або безперервним [3, 4, 5, 6, 10]. В системі використання механізованих кормоцехів, кормороздавачів і кормопереробних машин за кордоном і в Україні найбільш широко застосовують для дозування малосипучих грубих, соковитих і стебельних кормів ланцюгово-планкові бункерні живильники з транспортерними і бітерними дозуючими засобами різного конструктивного виконання. Вони відрізняються між собою контрукцією робочих органів подаючих конвеєрів, транспортерів-відокремлювачів і бітерів, їх кількістю і розташуванням, кутом нахилу транспортерних живильників до горизонту, принципом роботи і приймальною частиною [3, 10, 12]. Вивчення й узагальнюючий аналіз застосування механізованих кормоцехів, кормороздавачів і кормопереробних машин в фермерських господарствах різних типорозмірів свідчить, що дозування грубих, соковитих і стебельних кормів не задовольняє зоотехнічним і технологічним вимогам, технічне обладнання має складну конструкцію, велику металомісткість і енергомісткість, а процеси не автоматизовані, що призводить до значних витрат, зниження ефективності та якості приготування кормів і кормосумішей (табл. 1). До цього часу не виявлені раціональні параметри робочих органів і режимів їх роботи.

У зв'язку з цим розробка нових, модернізація і удосконалення традиційних технологій і класичних конструкцій дозаторів кормів для приготування високоефективних кормових сумішей до згодовування і роздавання кормів має актуальне питання.

Мета досліджень – підвищення якості і ефективності приготування кормів і виготовлення кормових сумішей для ВРХ шляхом розробки і удосконалення вертикального ланцюгового транспортерного дозатора з застосуванням гребінок грабельного типу з пальцями та визначення конструктивних і технологічних параметрів робочих органів бункерного дозатора.

Аналіз літературних джерел і наукових досліджень. Як свідчать літературні джерела, практика виробництва дозаторів і наукові дослідження великий фундаментальний вклад у створення і розвиток засобів комплексної механізації приготування кормових сумішей, дозування і змішування кормів зробили відомі зарубіжні і вітчизняні вчені Кукта Г.М., Кулаковський І.В., Кірпічніков Ф.С., Резнік Є.І., Мельніков С.В., Сечкін В.С., Омел'яненко А.А., Рижов С.В., Борісовець К.Ф., Дев'яткін А.І., Зельнер В.Р., Завражнов А.І., Ніколаєв Д.І., Земсков В.І., Єгорченков М.І., Шамов М.Г., Лобановський Г.А., Вагін Є.А., Сироватка В.І. та багато інших. В результаті наукових досліджень сформульовані основні положення теорії дозування і змішування кормів, встановлені загальні залежності між факторами, що впливають на процеси, і основними конструктивно-режимними параметрами дозаторів та

змішувачів, розроблені основи технології дозування і приготування кормових сумішок та удосконалення технологічного обладнання.

Таблиця 1 – Техніко-економічні показники кормоцехів для приготування вологих кормових сумішей для ферм ВРХ

Показники	КЦК-5-1 ТП801-460	КЦК-5-2 ТП801--461	КЦК-5-3	Корк-15 ТП801--6-4.83	Корк-15-1 ТП801-6-4	ЦПК-12	"Еріно" Моск. обл.	ТП801--323	Серес интер-нешнл США	Фортшритт ФРН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Потужність ферми, гол	400… 800	1200… 2000	200… 400	800… 2000	800… 2000	80… 1200	600… 1200	400… 800	600… 20000	200… 400
Продуктив-ність, т/год	10… 15	20… 30	15..20	10…15	15…18	8-10	10… 15	6…7	300 т/доб	1…6
Встановлена потужність, кВт	97	108,7	94,5	131,3	112,3	125	60,2	89	-	400
Тип дозатора грубих і соковитих кормів	стадійний бітерний КПГ-0,4х1,5	бітерний КПГ-10,4х1,5	2-х стадійний БДК-Ф-70-20	стадійний бітерний ЛИС-3.01 (ПС-Ф-6)	стадійний бітерний ЛИС-3.01 (ПС-Ф-6)	стадійний бітерний КТУ-10А	Одно-стадійний бітерний КТУ-10А	стадій-ний бітерний КТУ-	стадійний бітерний з ваговим	стадійний безперерв-ний ЕМДЛ
Нерівномір-ність подачі, %	30-40	30-40	±10-15	30-40	30-40	35-47	35-47	35-47	±8	25-30
Затрати праці, $\frac{люд.-год.}{т}$	0,28	0,18 … 0,28	0,23… 0,36	0,2 … 0,3	0,15 … 0,2	0,16… 0,7	0,15	0,7 … 0,8	1,2-1,5	1,3-1,5
Обслуго-вуючий персонал, чол.	1-2	2-3	2	3	2	2	1	1-2	6	8
Маса, кг	13670	29800	22900	21800	20300	-	-	25000	-	-

Технологічний процес дозування малосипучих кормів відбувається із застосуванням одно- і двоступеневої системи подачі. Моноліт кормової сировини в бункері подається головним ланцюгово-планковим конвеєром до відокремлюючого дозуючого пристрою, який складається з ротаційних бітерів з горизонтальним чи вертикальним розташуванням та з похилих або вертикальних зчісуючих транспортерів. Найбільш повно представлений аналіз робочого процесу бункерних дозаторів з транспортерно-бітерними дозуючо-вивантажувальними технічними засобами в наукових роботах В.Г. Коби, Г.А. Лобановського і Г.М. Кукти. Доведено, що бітерні дозатори гребінчатого типу з радіальними пальцями при мінімальній, середній і максимальній подачі нерівномірно дозують матеріал, на привід їх витрачається багато енергії на стискання корму моноліта. Так у бітерних дозаторів ПЗМ-1,5,

АВМ, КТУ-20.000, ПДК-Ф-3 з одностадійним дозуванням силоса і подрібненої соломи нерівномірність подачі маси складає 30…50%, а потужність встановлених двигунів – 8…10 кВт (табл. 2).

Проведений аналітичний аналіз процеса дозування ротаційними бітерами показує, що транспортерно-бітерний дозуючий робочий орган штифтового типу має істотні недоліки, які обумовлені недосконалістю конструкції його, негативними діями відцентрових сил і кругових зусиль пальців гребінок, нерівномірністю подачі транспортером, щільністю та поверхні завантаженого бурта в бункері, відставанням або проковзуванням корма відносно конвеєра, зменшенням поперечної площі моноліта при вивантаженні корма з бункера тощо.

Таблиця 2 – Технічна характеристика об'ємних живильників і бункерів-дозаторів грубих, соковитих і стебельних подрібнених кормів

Показники роботи і параметри	КТУ-10А КТУ-20.000	ПЗМ-1,5	Бункер-живильник АВМ	ДСК-30	КПГ-10.46.15 (ПДК-10)	КП-10	БДК-Ф-70-20	С-120 Супер F (Італія)	Н.10 ФРН
Продуктивність, т/год	4-30	2,6-14	3-5	5-20	3,6-10	0,5-5	5-20	3-10	3-10
Місткість бункера, $м^3$	8-10	до 22	15	-	30	5	20	30	30
Тип дозатора	Одностадійний бітерний	Одностадійний зчісуючими бітерами	Одностадійний зчісуючими бітерами	2-х стадійний бітерний зчісуючий з дозатором КТУ-10А	Одностадійний зчісуючий бітерний	Відбійний зчісуючий транспортер одностадійний	2-х стадійний бітерний і барабанний зчісуючий	Одностадійний горизонтальні відбійні бітери	Одностадійний відбійні бітери
Нерівномірність подачі кормів, %	35-47	35-59	30-40	±10-15	30-40	30-40	±10-15	25-30	25-30
Потужність приводу, кВт	7,5	7,7	11,26	3	8,5	5,2	10	-	-
Маса, кг	2585	4610	4610	400 (без КТУ-10А) 2585	5246	1550	3900	-	-

Аналіз результатів досліджень. Недоліки бітерних дозаторів можуть бути усунені, якщо обертальний рух пальчатих гребінок в моноліті корму замінити поступальним рухом вертикального ланцюгового відокремлюючого транспортера. При застосуванні такого дозатора підвищується якість дозування, зменшується енергомісткість процесу, а небажані

негативні сили інерції і кругового зусилля пальців бітерного дозатора повністю виключаються.

Для цього запропонована функціонально-технологічна схема дозатора з вертикальним транспортером грабельного типу на базі бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, який обладнаний ведучим і веденим валами, гребінками з пальцями, кругло ланковими ланцюгами, верхнім вирівнюючим бітером та поздовжнім горизонтальним транспортером (перша ступінь дозування) і поперечним транспортером зі зчісуючим бітерним дозатором з флажком (друга ступінь дозування).

Пропускна здатність транспортерної системи дозування обумовлюється параметрами вертикального транспортерного дозатора і поздовжнього подаючого конвеєра. Нормальна робота дозуючого механізма забезпечується при умові

$$\lambda_{кв} = \frac{\upsilon_{кв}}{\upsilon_{п}} \rangle 1, \qquad (1)$$

де $\upsilon_{кв}$ - швидкість руху робочого елемента кормовідокремлювача, м/с.

При русі ланцюгів з гребінками транспортерного дозатора, кінці пальців переміщуються за складною траєкторією (рис. 1). Витрати дозуючого пристрію визначаються за формулою:

$$Q_{кв} = \frac{BH\rho_{к}\Delta X_0 \upsilon_{кв}}{\pi R + L_0}, \qquad (2)$$

де ΔX_0 – величина проникнення кінця пальців гребінки в моноліт при переміщенні їх за один оберт транспортера, м; R – радіус зірочки транспортера; L_0 – міжцентрова відстань валів транспортера, м.

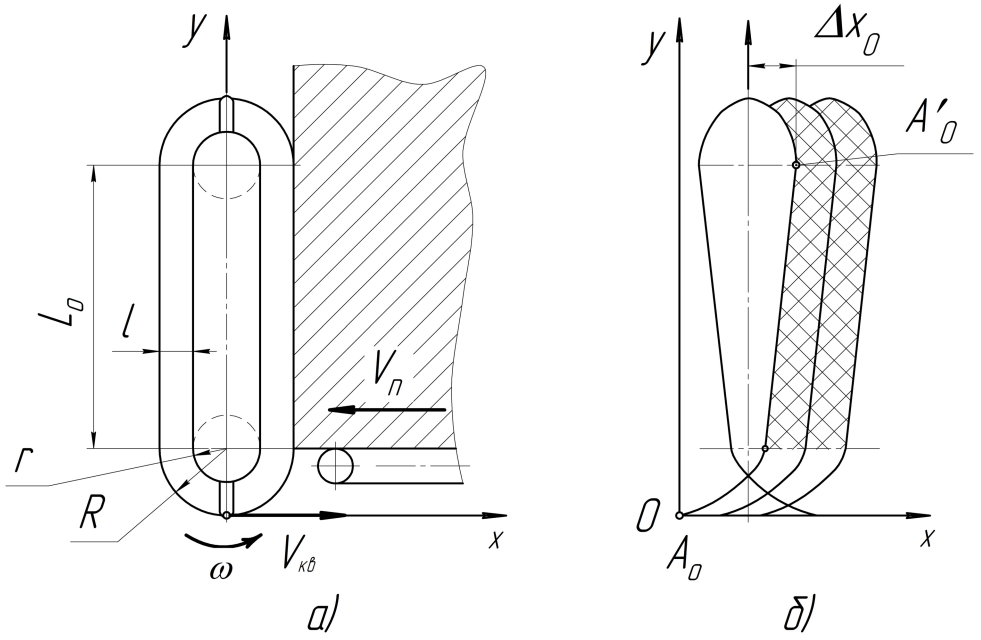


Рисунок 1– Кінематична схема роботи транспортерного дозатора і взаємодія його з кормовим монолітом (а); траєкторія руху пальців граблини (б)

За час руху кінця пальців граблини з нижнього положення A_0 в верхнє $A_0^{'}$ пальці входять в моноліт корма на глибину ΔX_0, яка визначається з виразу:

$$\Delta X_0 = K_0 \upsilon_п \left(\frac{\pi}{\omega} + \frac{L_0}{\upsilon_{кв}}\right) = \frac{K_0}{\lambda_{кв}}\left(\pi R + L_0\right), \qquad (3)$$

де K_0 – коефіцієнт, який враховує відставання моноліта корму від подаючого транспортера.

Для нормальної роботи дозатора необхідно, щоб витрати кормовідокремлювача були більшими або рівними витратам подаючого транспортера

$$BH\rho\upsilon_n K_0 \le Bl_n\upsilon_{кв}\rho_к\varphi_к, \quad (4)$$

де l_n - довжина пальців граблини;

м; $\varphi_к$ – коефіцієнт, який враховує ступінь заповнення простору між граблинами дозатора;

ρ і $\rho_к$ – щільність корма відповідно в моноліті і на кормовідокремлювачі;

υ_n і $\upsilon_{кв}$ – відповідно швидкість подачі моноліта і кругова швидкість руху пальців гребінки.

Таким чином витрати бункерного дозатора транспортерного типа визначається за формулою:

$$Q_{кв} = \frac{BH\upsilon_{кв}\rho_к K_0}{\lambda_{кв}}. \quad (5)$$

Крок граблин вертикального дозатора приймається за формулою:

$$t_{гр} \ge (2...4)l_n, \quad (6)$$

де l_n - довжина пальців граблини.

Для забезпечення рівномірного розвантаження корма по ширині поперечного транспортера при двоступеневому дозуванні проведений аналіз технологічного процесу розвантаження корма з гребінчастої планки вертикального транспортерного дозатора (рис. 2).

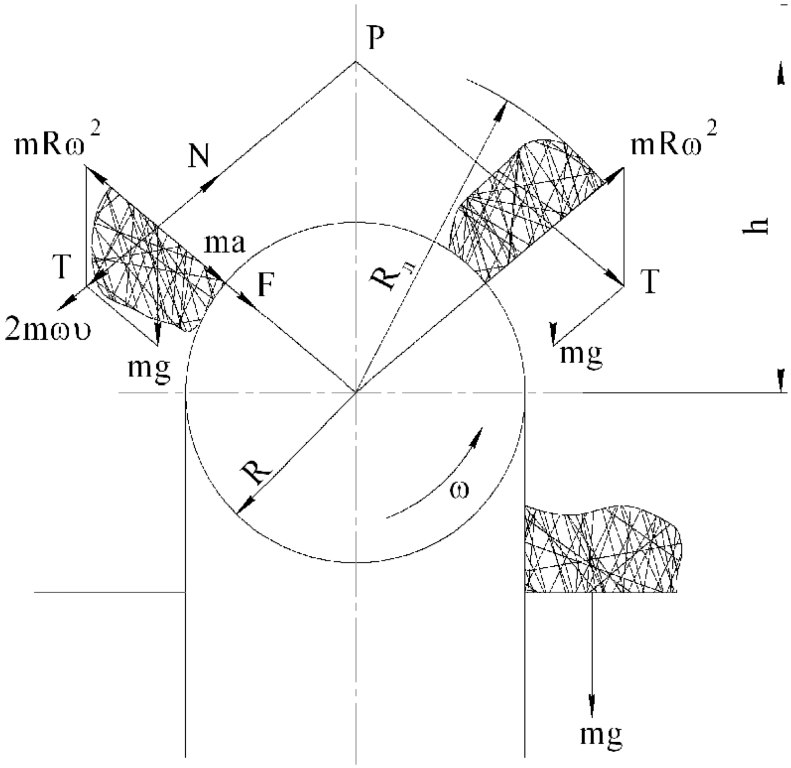


Рисунок 2 – Процес розвантаження корма з гребінчастої планки вертикального транспортерного дозатора

В залежності від величини полюсної відстані h виникають три режима розвантаження корма: відцентровий, відцентрово-самотічний і самотічний. Відцентрове розвантаження характеризується невеликою величиною полюсної відстані $h \le R$. Відцентрово-самотічне розвантаження корма відбувається в межах $R < h < R_л$, а самотічне – при $h \ge R_л$.

Поведінку частки корма m при розвантаженні можна записати рівнянням

$$T\cos\varphi = fT\sin\varphi + 2fm\omega x' + mx'',$$

де T – рівнодіюча сила від відцентрової сили $mR\omega^2$ і сили ваги mg.

Абсолютна швидкість відриву часток від гребінки визначається геометричною сумою відносної і переносної швидкостей

$$\upsilon = \upsilon_к + u, \tag{7}$$

де $\upsilon_к$ – кругова швидкість руху; u – відносна швидкість руху.

Величина відносної швидкості руху частки

$$u = -\frac{R\omega}{2f}\cdot e^{-2f\omega t} + \frac{g\left(\sin\phi + f\cos\phi\right)}{2f\omega}\cdot e^{-2f\omega t} + \frac{R\omega}{2f} - \frac{g\left(\sin\phi + f\cos\phi\right)}{2f\omega}, \tag{8}$$

де φ – кут між напрямком гребінки і силою T.

Полюсна відстань від горизонтальної вісі до точки P визначається з рівняння

$$n_0 = \frac{g}{\omega^2} = \frac{895}{n^2}, \tag{9}$$

де n – частота обертання ведучого вала транспортера, об/хв.

Висновки:

Проведені теоретичні дослідження процесу дозування стеблових і соковитих кормів підтвердили перевагу розробленої конструкції вдосконаленого вертикального ланцюгово-планчатого транспортерного дозатора гребінчастого типу і дозволили розробити кінетику руху та обґрунтувати процес відокремлення моноліту корма робочими органами транспортера та встановити пропускну здатність, траєкторію руху пальців граблин, режими роботи, конструкцію пальців і крок граблин.

Пропускна здатність вертикального транспортерного дозатора забезпечує більш рівномірну подачу корма у порівнянні з бітерними дозаторами і задовольняє необхідну узгоджену відповідність дозування об’єму подачі корма поздовжнім конвеєром.

Список літератури

1. В. Кравчук, М. Луценко, М. Мечта. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів.-К.:Фенікс, 2008.-104 с.
2. Зельнер В.Р., Коноплев Е.Г. Приготовление и использование полнорационных кормов в промышленном животноводстве. ВНИИТЭИСХ.-М.: 1972.-87 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов. – М.: Агропромиздат, 1987.- 303 с.
4. Кукта Г.М. Технология переработки и приготовления кормов. -М.: Колос, 1986.
5. Алябьев Е.В, Вагин Е.А., Красников В.В. Приготовление, хранение и раздача кормов на животноводческих фермах.- М.: Колос, 1977.
6. Сечкин В.С., Белов В.П., Тарасов Л.Г. Технология приготовления кормов на молочных фермах и комплексах. - Ленинград: Лениздат, 1977.
7. Эффективность производства продукции животноводства на промышленной основе. - М.: ВАСХНИЛ, 1978.
8. Мосийко В.И., Зусмановский А.Г., Звиняуковский В.П. Интенсификация молочного скотоводства. – М.: Агропромиздат, 1989.
9. Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов.-М.: Агропромиздат, 1990.
10. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ребенко В.І. Машини та обладнання для тваринництва. - К.: Кондор, 2009.
11. Стригунов М.В. Оптимизация параметров и режимов процесса приготовления кормовых смесей./Тракторы и сельхозмашины, 1985, №10.
12. Сидоренко В.В. Матвєєв К.Д., Лузан П.Г. та ін.. Підвищення ефективності та якості роботи дозаторів грубих і соковитих кормів//Зб. Наукових праць КНТУ „Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація”. Вип. 21.-Кіровоград: КНТУ, 2008.

К. Матвеев, Р. Кисилев, В. Матвеева, О. Лесник, А. Сергиенко

Исследование и разработка усовершенствованной конструкции вертикального транспортерного дозатора кормов грабельного типа

В статье проведен анализ литературных исследований и научных публикаций по дозированию кормов и предложена новая конструкция вертикального транспортерного бункерного отделяющего дозатора, который оборудован круглозвенной цепью и гребенками с пальцами. Теоретически обоснованы конструктивные параметры, функционально-технологическая схема на основе бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, режимы рабочих органов, шаг установки гребенок, длина пальцев гребенки и приведены особенности разгрузки кормов дозатором на поперечный горизонтальный транспортер-дозатор (вторая ступень дозирования)

K.Matveev, R.Kisilyov, V.Matveeva, O.Lesnik, A.Sergienko

Research-and-development the improved construction of vertical conveyer metering device of forages of rake type

In the article the analysis of literary researches and scientific publications is conducted on the dosage of forages and the new construction of vertical conveyer bunker separating metering device which is equipped chain and combs with fingers is offered. Structural parameters, functionally-technological chart on the basis of bunker-metering device of BDK-F-70-20, modes of workings organs, step of setting of combs, are grounded in theory, length of fingers of comb and the features of unloading of forages a metering device are resulted on a transversal horizontal conveyer-metering device (second stage of dosage)

Одержано 26.05.10

УДК 621.775.8

В.В. Святський, канд. техн. наук, Л.П. Святська, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Металографічні дослідження волокнових свинцевих елементів

Наведено результати металографічних випробувань волокнових свинцевих елементів для фільтрації агресивних середовищ. Висвітлена методика приготування металографічних шліфів із волокнових свинцевих зразків.

свинець, фільтр, волокно, металографія, методика, електроліт, агресивне середовище

Для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і поліпшення декоративного виду виробів в технологічних циклах більшості машинобудівних, металообробних, приладобудівних, ремонтних і інших підприємств широко застосовують гальванічні покриття. В процесі електролітичного нанесення гальванічних покриттів водними розчинами або розчинами розплавлених солей неминуче утворюються забруднені суспензіями водні розчини, які не можна скидати без очищення у водоймища і каналізацію або запускати їх в технологічний обіг. Подібні агресивні водні розчини застосовуються не тільки в гальванічних виробництвах, але і в кольоровій металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній, харчовій галузях промисловості і у виробництві добрив. Зокрема, за даними Державного комітету по статистиці України щодоби в навколишнє середовище з промислових підприємств надходить біля 22 тис. $м^3$ забруднених стоків. Жорсткі екологічні вимоги, з одного боку, і складність фільтрації забруднених стоків, з іншого, призвела до того, що на підприємствах стали встановлювати басейни-відстійники і ємності-накопичувачі, які у цілому не вирішують проблему забруднення навколишнього середовища: загальна кількість забруднених стоків, які щорічно накопичуються на очисних спорудах України, складає 77

© В.В. Святський, Л.П. Святська, 2010

В статье проведен анализ литературных исследований и научных публикаций по дозированию кормов и предложена новая конструкция вертикального транспортерного бункерного отделяющего дозатора, который оборудован круглозвенной цепью и гребенками с пальцами. Теоретически обоснованы конструктивные параметры, функционально-технологическая схема на основе бункера-дозатора БДК-Ф-70-20, режимы рабочих органов, шаг установки гребенок, длина пальцев гребенки и приведены особенности разгрузки кормов дозатором на поперечный горизонтальный транспортер-дозатор (вторая ступень дозирования)

K.Matveev, R.Kisilyov, V.Matveeva, O.Lesnik, A.Sergienko

Research-and-development the improved construction of vertical conveyer metering device of forages of rake type

In the article the analysis of literary researches and scientific publications is conducted on the dosage of forages and the new construction of vertical conveyer bunker separating metering device which is equipped chain and combs with fingers is offered. Structural parameters, functionally-technological chart on the basis of bunker-metering device of BDK-F-70-20, modes of workings organs, step of setting of combs, are grounded in theory, length of fingers of comb and the features of unloading of forages a metering device are resulted on a transversal horizontal conveyer-metering device (second stage of dosage)

Одержано 26.05.10

УДК 621.775.8

В.В. Святський, канд. техн. наук, Л.П. Святська, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Металографічні дослідження волокнових свинцевих елементів

Наведено результати металографічних випробувань волокнових свинцевих елементів для фільтрації агресивних середовищ. Висвітлена методика приготування металографічних шліфів із волокнових свинцевих зразків.

свинець, фільтр, волокно, металографія, методика, електроліт, агресивне середовище

Для підвищення корозійної стійкості, зносостійкості і поліпшення декоративного виду виробів в технологічних циклах більшості машинобудівних, металообробних, приладобудівних, ремонтних і інших підприємств широко застосовують гальванічні покриття. В процесі електролітичного нанесення гальванічних покриттів водними розчинами або розчинами розплавлених солей неминуче утворюються забруднені суспензіями водні розчини, які не можна скидати без очищення у водоймища і каналізацію або запускати їх в технологічний обіг. Подібні агресивні водні розчини застосовуються не тільки в гальванічних виробництвах, але і в кольоровій металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній, харчовій галузях промисловості і у виробництві добрив. Зокрема, за даними Державного комітету по статистиці України щодоби в навколишнє середовище з промислових підприємств надходить біля 22 тис. $м^3$ забруднених стоків. Жорсткі екологічні вимоги, з одного боку, і складність фільтрації забруднених стоків, з іншого, призвела до того, що на підприємствах стали встановлювати басейни-відстійники і ємності-накопичувачі, які у цілому не вирішують проблему забруднення навколишнього середовища: загальна кількість забруднених стоків, які щорічно накопичуються на очисних спорудах України, складає 77

© В.В. Святський, Л.П. Святська, 2010

тис. тон при вологості 98% (15 тис. тон у перерахунку на суху речовину).

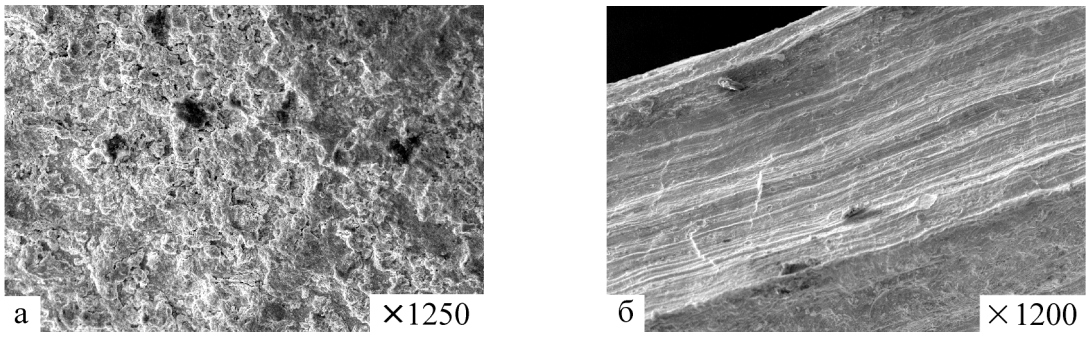
У всіх випадках методів обробки відпрацьованих агресивних водних розчинів обов'язковою є фільтрація. Наприклад, при виділенні цінних компонентів (кольорових металів) методом вилужнювання термообробленого гальванічного шламу з використанням сірчаної кислоти в технологічній лінії застосовуються вісім фільтрів різної пористості. Відмічено, що основні труднощі при фільтрації пульпи пов'язані з низькою стійкістю фільтруючих елементів [1].

В даний час для очищення відпрацьованих агресивних розчинів найбільш переважними є металоволокнові фільтри. Зігнута система капілярів, хаотичне переплетення волокон і їхнє механічне зчеплення, рівномірний опір крізному потоку і можливість отримання пористості до 95% і, отже, досягнення великої робочої площі визначають їхню однозначну перевагу по відношенню до інших фільтруючих матеріалів. Проте складність отримання металевих волокон за допомогою традиційних технологій, наприклад, волочінням, екструзією розплаву, обмежують застосування пористих волокнових матеріалів в промисловості.

З метою усунення цих недоліків в Кіровоградському національному технічному університеті був розроблений принципово новий, дешевий і ефективний технологічний процес отримання металевих волокон методом пресування литих гранул. Суть способу полягає в тому, що гранули змішують з ізолюючим порошком, наприклад, графітом, і суміш піддають екструзії. Порошок, запобігаючи схоплюванню гранул при пресуванні, дозволяє деформуватися кожній гранулі окремо, внаслідок чого гранули витягуються у вигляді достатньо ізольованих ниток.

Проте однієї з основних проблем при одержанні свинцевих волокон за допомогою пресування литих гранул є схоплення деформованих ниток у випресовці. З цієї позиції актуальною є задача дослідження реологічних особливостей на контакті деформованих гранул при їхньому пресуванні і одержання роз'єднаних волокон при виході їх з вогнища деформації.

Процес отримання металевих волокон за допомогою направленої деформації (пресування) гранул характеризується інтенсивними зсувними деформаціями і утворенням на контактній поверхні вторинної структури [2, 3], що за своїми фізико-механічними властивостями різко відрізняється від металу волокна (рис. 1).



а – лита гранула; б – волокно, отримане при μ = 81
Рисунок 1 – Фрактографії поверхонь

Різні пружні характеристики металу волокон і вторинної структури, неоднаковість характеристик їх пластичності і деформаційного зміцнення, адгезійна взаємодія між ними – все це визиває складну реологічну картину, що безперервно змінюється, перетворення вихідної рівновісної частинки (рис. 2, а) в нерівновісну (рис. 2, б).

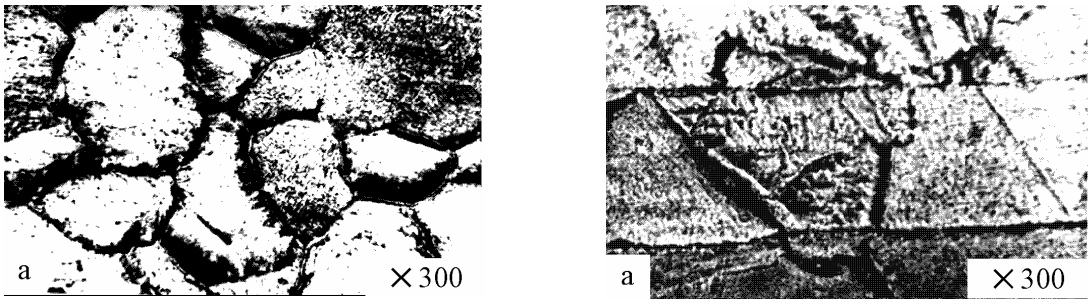


Рисунок 2 – Мікроструктури вихідної гранули (а) і долевого перерізу волокнової свинцевої випресовки (б), отриманої при $\mu = 81$

Для проведення металографічних досліджень складних реологічних процесів, які проходять на контакті адгезійно сумісних тіл при інтенсивних зсувних деформаціях, авторами була розроблена методика приготування металографічних шліфів з волокнових свинцевих зразків.

Відомо, що продовж робочого процесу від взяття зразка до огляду протравленого шліфа, якщо не виконувати необхідних умов, можуть відбутися зміни, які утруднюють розпізнавання фактичної структури або роблять розпізнавання неможливим. Вибір робочих операцій визначається перед усім природою металу, який досліджується. В теперішній час розроблені способи обробки металографічних шліфів, які враховують властивості різних металевих матеріалів.

З урахуванням складності приготування металографічних шліфів із свинцю [4, 5] були проведені пошукові досліди для виявлення оптимальних режимів виготовлення мікрошліфів з волокнових випресовок по схемі, наведеній на рис. 3.

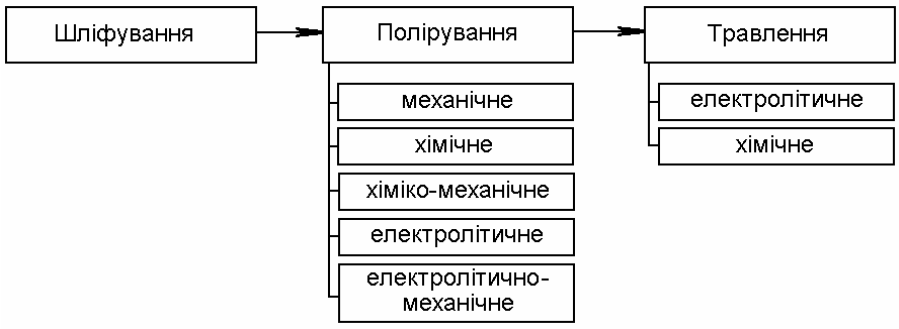


Рисунок 3 – Загальна схема приготування металографічних шліфів металів і сплавів

Зразки для дослідження вирізали обережно гострою ножівкою зі змащенням. Після заливки зразків швидкотвердіючою пластмасою “Протокрил-М” ТУ 64-2-267-78 і витримки зразків проводили їх подальшу механічну обробку.

Шліфування проводили на добре пропарафіненому шліфувальному папері. Парафінування паперу виконували підігрітим розчином складом: 100 г парафіну, 200 мл гасу або уайт-спіріту. Використовували шліфувальний папір із зернистістю за схемою: М63 – М50 – М40 – М28 – М20 по ГОСТ 10054-82, змінюючи при шліфуванні на кожному папері напрямок обробки поверхні на 90° для полегшення визначення кінця шліфування і запобігання “заваленню” металографічного шліфа.

Механічне полірування при підготовці металографічних свинцевих волокнистих шліфів не дало бажаних результатів. Це пов’язано в значній мірі з бейльбі-шаром, який утворюється під час механічної обробки. В теперішній час його природа з’ясована [6]. Утворення такого шару залежить від сили тиску при обробці і в значній мірі притаманне м’яким матеріалам. Під час механічної обробки утворюється дрібнозернистий шар

(надструктура). Встановлено, що чим м'якше матеріал, тим на більшій глибині змінюється структура матеріалу. Так по даним [6] для міді після п'яти хвилинної обробки товщина цього шару складає 4 мкм, для алюмінію 10 мкм, для кадмію зміна структури простежується на глибину до 0,5 мм. З цієї причини протравити навіть ідеально механічно відполірованих свинцевий мікрошліф практично не можливо.

Приповерхневий деформований шар не вдалося повністю видалити хімічним полірованням. Розчин Мак-Ефі для хімічного полірування [4] вміщує пероксид водню, гідроксид амонію, оцтову, молібденову і азотну кислоти. Під час полірування кислоти активізують поверхню мікрошліфа, а пероксид водню легко віддає кисень, утворюючи на поверхні металу окисну плівку, товщина якої збільшується із збільшенням часу хімічного полірування. Як зазначають дослідники [6] процес утворення окисної плівки підпорядковується степеневому закону, тому процес хімічного полірування свинцевих зразків є майже некерованим. Окисна плівка не дала змоги протравити свинцевий шліф.

Комбіновані методи полірування (хімічно-механічне і електролітично-меха-нічне) із-за утворення надструктури і окисної плівки також виявились непридатними для приготування свинцевих металографічних шліфів.

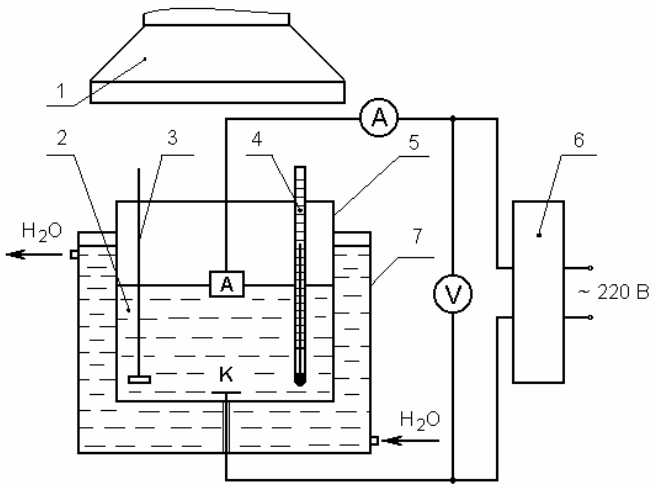
Найкращих результатів було досягнуто при електролітичному поліруванні. Шляхом анодного розчинення металу в електроліті було отримано відполіровану поверхню свинцевого волокнистого зразка без рисок і наклепаного шару.

Електрополірування проводили на пристрої, схема якого наведена на рис. 4.

Виходячи з фізико-хімічних властивостей свинцю [7], було вибрано оптимальний склад електроліту з ряду розчинів, наведених в [4 – 6]. Так як свинець є стійким до водних і спиртових розчинів кислот, в таких електролітах відполірована поверхня виявляється пасивною і її важко травити. Навпаки, так як свинець розчиняється в розчині лугу, за оптимальний електроліт було визнано розчин складом: 10 г гідроксиду натрію, 90 мл води.

Параметри електрополірування:

– щільність току, А/м^2	від 100 до 300;
– напруга, В	від 3 до 5;
– температура, ˚С	від 20 до 25;
– час полірування, с	від 5 до 30;
– відстань між електродами, мм	від 30 до 50;
– катод	нержавіюча сталь.



1 – витяжка; 2 – електроліт; 3 – мішалка; 4 – термометр;
5 – посуд з електролітом; 6 – випрямляч; 7 – посуд з охолоджувальною рідиною

Рисунок 4 – Схема пристрою для електрополірування

Для видалення грубих рисок і дрібних частинок з поверхні металу перед електролітичним поліруванням виконували тонке шліфування – проміжну операцію між

шліфуванням і поліруванням. Тонке шліфування проводили вручну на тонкому шовковому оксамиті або м'якому сукні. За поліруючий матеріал використовували найтонший порошок оксидів алюмінію, взмулений в мильному розчині.

Відомо, що під час електролітичного полірування можливо плавно перейти до травлення зразків, знизивши щільність току в ванні приблизно до однієї десятої величини, при якій проводилося полірування [6]. Але, так як під час полірування в нашому випадку щільність току вже є надто малою величиною (від 100 до 300 А/м^2), знизити її в десять разів і, головне, підтримувати постійною під час травлення дуже важко. Тому електролітичне травлення виявилось із-за технічних складностей непридатним для виявлення мікроструктури свинцевих волокнових шліфів.

Так як свинець є хімічно стійким до водних і спиртових розчинів кислот, подальше травлення волокнових свинцевих шліфів проводили в слабо дисоціюючому розчині Вілелла [6] складом:

– азотна кислота, мл . . . . . від 9 до 25;
– оцтова кислота, мл . . . . . від 9 до 25;
– технічний гліцерін, мл . . . . . 100.

Час травлення складав від 30 с до 5 хвилин, температура травлення – від 40 до 80 ˚С.

Після травлення проводили нейтралізацію травлячого розчину 10% розчином КОН або NaOH для того, щоб перервати виявлення структури, зразки ретельно промивали і сушили під струменем гарячого повітря.

Загалом, наведена методика може успішно використовуватись при виготовленні металографічних шліфів із монолітних свинцевих зразків.

Список літератури

1. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1987. – 210 с.
2. Шепельский Н.В., Свяцкий В.В. Механизм разрушения по границам раздела деформируемых частиц при прессовании // Перспективні технології і обладнання обробки тиском в машинобудуванні і металургії: Зб. наук. праць ДДМА. – Краматорськ: ДДМА, 2000. – С. 38 – 40.
3. Свяцький В.В., Свяцька Л.П. Дослідження характеру руйнування поверхні контакту дискретних частинок при зсувних деформаціях // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КДТУ. – Кіровоград: КДТУ, 2007. – Вип. 18. – С. 131 – 135.
4. Баранова Л.В., Демина Э.Л. Металлографическое травление металлов и сплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1986. – 256 с.
5. Смитлз К.Дж. Металлы: Справочник. – М.: Металлургия, 1980. – 206 с.
6. Беккерт М., Клемм Х. Способы металлографического травления: Справочник. – М.: Машино-строение, 1988. – 400 с.
7. Козин Л.Ф., Морачевский А.Г. Физикохимия и металлургия высокочистого свинца. – М.: Металлургия, 1991. – 223 с.

В.Свяцкий, Л.Свяцкая

Металлографические исследования волокнових свинцовых элементов

Рассмотрены результаты металлографических исследований волокновых свинцовых элементов для фильтрации агрессивных сред. Приведена методика приготовления металлографических шлифов из свинцовых волокновых образцов.

V. Svjatskiy, L. Svjatska

The metallurgical study of lead fiber elements

The results of metallurgical study of lead fiber elements for hostile environment filtration are considered. The preparation methodology of metallographic sections from lead fiber samples is presented.

Одержано 21.12.09

УДК 621.9.042

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, А.І. Гречка, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет,
Хамуйєла Ж.А. Герра, PhD, проф.
Університет Агостіно Нето (м.Луанда, Ангола)

Формоутворення евольвентного профілю зубчастих коліс кінцевими фрезами шляхом суміщення обертального та прямолінійного поступального рухів

В даній статті розглядається теоретичне обґрунтування способу обробки евольвентного профілю зубчастих коліс кінцевими фрезами. Спосіб здійснюється за рахунок суміщення обертального руху, який надається заготовці зубчастого колеса, та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези, який здійснюється нею по загальній нормалі до евольвентного профілю оброблюваного зубця.
евольвентний профіль, кінцева фреза, загальна нормаль, траєкторія руху

Прогрес у сучасному машинобудуванні суттєво залежить від рівня розвитку техніки в галузі передач зачепленням. Зубчасті передачі являють собою невід'ємну частину більшості сучасних машин і найчастіше визначають їхню якість та надійність. Тому, дослідження формоутворення зубчастих передач є традиційно актуальною задачею.

Аналіз конструкцій зубчастих передач показує [1], що близько 65% всіх зубчастих передач, які використовуються складають циліндричні зубчасті передачі. Серед циліндричних зубчастих передач найбільш розповсюджені передачі з евольвентним профілем зубців. Розглянемо докладніше способи отримання евольвентної поверхні зубців як геометричної поверхні. Тут і надалі, відповідно до роботи [2], що під геометричною поверхнею розумітимемо слід, що залишається однією виробляючої геометричною лінією (утворюючою лінією), при її русі по іншій виробляючій геометричній лінії – направляючій. Під слідом розумітимемо утворену поверхню як безліч послідовних геометричних положень утворюючої лінії, яка рухається.

Відомо [2], що геометричну виробляючу лінію можна утворити чотирма способами з наступним кількістю рухів формоутворення: способом копіювання (без рухів формоутворення); способом обкату (при одному русі формоутворення); способом сліду (також при одному русі формоутворення); способом дотику (при двох і більш рухах формоутворення). Обробка циліндричних евольвентних зубчастих коліс традиційно здійснюється із застосуванням перших двох способів.

Розглянемо спосіб копіювання та обкату докладніше.

В умовах способу копіювання профіль ріжучого інструмента відповідає оброблюваній западині зубчастого колеса з певним числом зубців. Це призводить до того, що в умовах багатономенклатурного виробництва необхідно утримувати велику кількість ріжучих інструментів. Суттєвий недолік ріжучих інструментів, що працюють за способом копіювання, полягає у порівняно швидкій втраті точного профілю внаслідок переточувань.

В умовах способу обкату найпоширенішим є застосування такого складного ріжучого інструмента як черв'ячна фреза. Перевагою черв'ячних фрез є те, що одним інструментом можна обробляти будь-які зубчасті колеса одного модуля. Проте у цього інструмента теоретично точний профіль вихідної інструментальної поверхні, а саме евольвентний черв'як, замінюється на архімедовий або конволютний [1,3]. Тобто, на етапі проектування у

© М.О. Ковришкін, А.І. Гречка, Хамуйєла Ж.А. Герра, 2010

таких фрез закладаються відповідні похибки профілю, які переносяться на профіль оброблюваних зубчастих коліс. Слід відзначити, що застосовувані в умовах способу обкату верстати є більш складними та мають більшу вартість ніж верстати, що застосовуються у попередньому способі.

Таким чином, в умовах обох розглянутих способів обробки циліндричних евольвентних зубчастих коліс застосовується складний ріжучий інструмент.

Резервом застосування простого ріжучого інструмента для обробки циліндричних евольвентних зубчастих коліс, на нашу думку, є спосіб дотику. Таким простим ріжучим інструментом можуть бути кінцеві фрези.

Поставимо за мету дослідження розробку нового способу формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс, в умовах якого евольвентна поверхня зубців утворюється кінцевою фрезою способом дотику. Для досягнення мети дослідження необхідно розв'язати такі задачі: провести аналіз рухів ріжучого інструмента та заготовки зубчастого колеса, що необхідні для отримання евольвентної поверхні; встановити зв'язок між рухом кінцевої фрези та заготовки зубчастого колеса.

В подальших дослідженнях скористаємося відомим фактом [4], який полягає у тому, що загальна номаль для евольвентного зачеплення є прямою лінією. Тобто, найбільш ефективним способом реалізації методу дотику при нарізанні зубчастих коліс евольвентного профілю є суміщення обертального руху заготовки зубчастого колеса та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі.

Евольвентою кола є траєкторія точки, що лежить на прямій, яка без проковзування перекочується по колу, що називається основним [4]. Якщо зафіксувати перекочування прямої, то основне коло буде здійснювати плоскопаралельний рух. Якщо ж основне коло буде лише обертатися, то точка, що лежить на перекочуваній прямій, буде здійснювати прямолінійний поступальний рух (рис. 1).

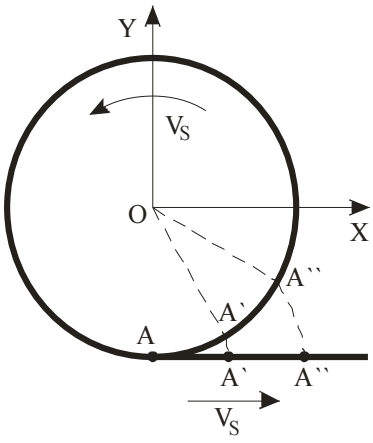


Рисунок 1 – Суміщення колового і поступального прямолінійного рухів при обробці евольвенти

Для встановлення зв'язку між обертанням заготовки зубчастого колеса і лінійним переміщенням інструменту розглянемо схему утворення евольвентного профілю зубців [3] (рис. 2). На ній представлені: r – радіус ділильного кола, r_b – радіус основного кола, r_a – радіус кола вершин, r_f – радіус кола западин, δ_b – кут початку евольвенти, α_w – кут зачеплення.

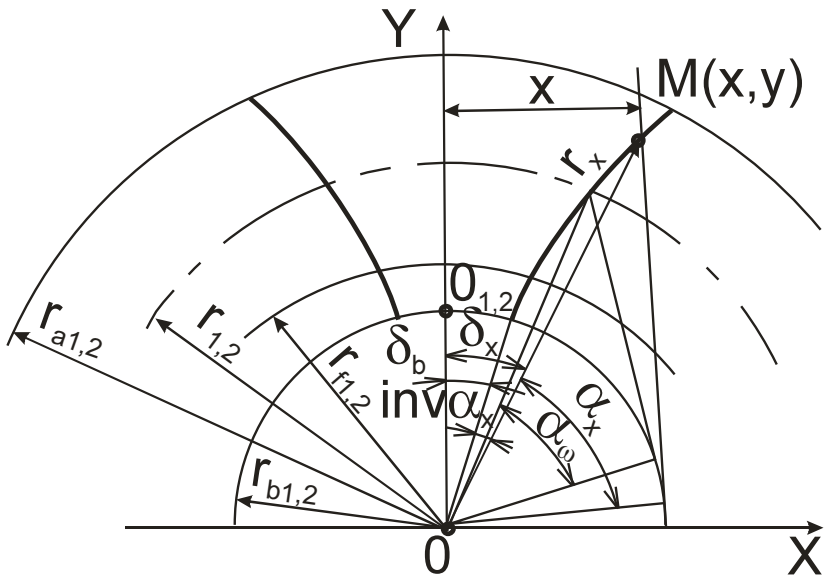


Рисунок 2 – Залежність координат довільної точки, розташованій на евольвенті

Положення довільної точки евольвенти М з координатами *x, y* в декартовій системі координат можна виразити в полярній системі через радіус-вектор r_x та кут δ_x. Оскільки розглядається процес обробки, то дані координати будуть функціями у часі *t*.

Відповідно до зміни радіусу r_x змінюватиметься і кут профілю α_x, причому:

$$\alpha_x(t) = \arccos\left(\frac{r_b}{r_x(t)}\right). \tag{1}$$

Поточний кут δ_x можна виразити наступною залежністю:

$$\delta_x(t) = \delta_b + \mathrm{inv}(\alpha_x(t)). \tag{2}$$

Знайшовши похідну від δ_x, отримаємо залежність координат евольвенти від кутової швидкості обертання оброблюваного колеса:

$$w_x(t) = \frac{d(\delta_x)}{dt} = \frac{d(\alpha_x(t))}{dt}\left(\frac{1}{\cos^2(\alpha_x(t))} - 1\right). \tag{3}$$

Зважаючи на залежність (1), рівняння (3) перепишеться в наступному вигляді:

$$w_x(t) = \frac{d(\arccos(r_b/r_x(t)))}{dt}\left(\frac{1}{\cos^2(\arccos(r_b/r_x(t)))} - 1\right) =$$

$$= \left(-\frac{r_x(t)}{\sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}\right)\left(-r_b \cdot \frac{1}{r_x^2(t)}\right)\frac{d(r_x(t))}{dt}\left(\frac{r_x^2(t)}{r_b^2} - 1\right). \tag{4}$$

У останній залежності (4) вираз $\frac{d(r_x(t))}{dt}$ є не що інше, як лінійна швидкість $V_x(t)$ в напрямку поточного радіус-вектора r_x. Відтак лінійна швидкість точки М пов'язана з кутовою швидкістю обертання наступною залежністю:

$$V_x(t) = w_x(t)\frac{r_b r_x(t)}{\sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}. \tag{5}$$

Однак для визначення залежності між кутовою швидкістю обертання заготовки та швидкістю подачі фрези вздовж загальної нормалі необхідно врахувати радіус фрези R_F, що показано на рис. 3.

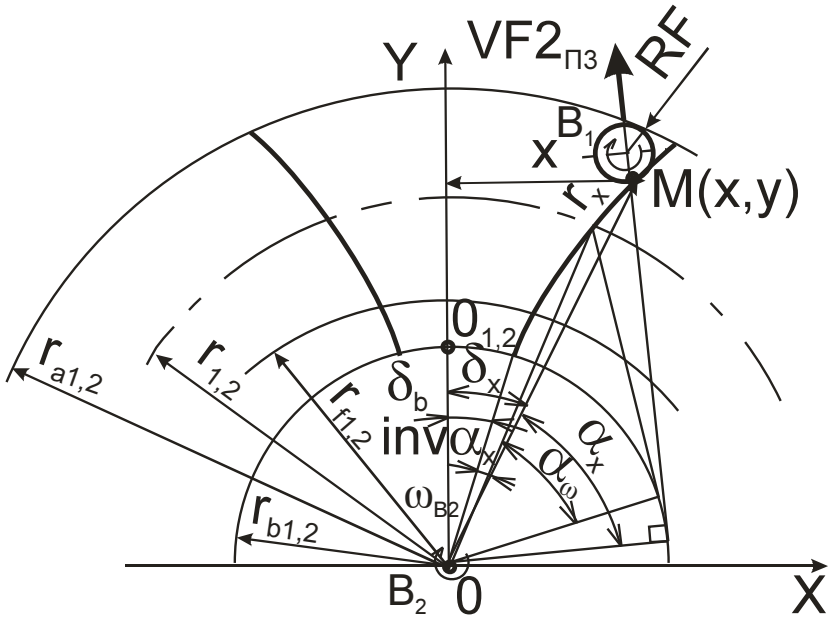


Рисунок 3 – Схема обробки ділянки евольвенти кінцевою фрезою

Для зручності подальших викладок виразимо радіус основного кола r_b та радіус кривини евольвенти ρ в точці М через поточний радіус-вектор r_x та відповідний йому кут профілю α_x:

$$\rho = r_x(t)\sin(\alpha_x(t)),\ r_b = r_x(t)\cos(\alpha_x(t)). \tag{6}$$

Поточний радіус-вектор центру фрези r_F, що відповідає координатам r_x та δ_x, знаходиться з геометричної суми радіуса основного кола r_b та суми радіусів кривини евольвенти ρ і радіуса фрези R_F:

$$r_F^2(t) = r_b^2 + (\rho + R_F)^2. \tag{7}$$

Зважаючи на залежності (6), з рівняння (7) знаходимо радіус r_F:

$$r_F(t) = \sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F r_x(t)\sin(\alpha_x(t))}. \tag{8}$$

Для знаходження лінійної швидкості руху центру фрези $V_F(t)$ знаходимо похідну з виразу (8):

$$V_F(t) = \frac{d(r_F(t))}{dt} = \frac{d\left(\sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F r_x(t)\sin(\alpha_x(t))}\right)}{dt} =$$

$$= w_x(t)\frac{r_b}{\sin^2(\alpha_x(t))}\frac{R_F\cos(\alpha_x(t)) + r_b\sin(\alpha_x(t))}{\sqrt{r_b^2 + R_F^2\cos^2(\alpha_x(t)) + 2R_F r_b\sin(\alpha_x(t))\cos(\alpha_x(t))}}. \tag{9}$$

Після математичних перетворень (6), маємо:

$$\sin(\alpha_x(t)) = \frac{\sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}{r_x(t)}. \tag{10}$$

Підставивши рівняння (10) у рівняння (9), остаточно записуємо:

$$V_F(t) = w_x(t)\frac{r_b r_x^2(t)}{r_x^2(t) - r_b^2} \cdot \frac{R_F + \sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}{\sqrt{r_x^2(t) + R_F^2 + 2R_F\sqrt{r_x^2(t) - r_b^2}}}. \qquad (11)$$

Залежність між швидкістю лінійного руху фрези вздовж загальної нормалі $V_F(t)$ та швидкістю обертання заготовки $w_x(t)$ має квадратичний характер. Це означає, що при застосуванні на фрезерному верстаті з ЧПУ обертового стола та наявності в системі ЧПУ лінійно-колового інтерполятора реалізація розробленого способу формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс кінцевими фрезами стає можливою.

Таким чином, в результаті проведеного дослідження:

– розроблено новий спосіб формоутворення циліндричних евольвентних зубчастих коліс кінцевими фрезами в умовах якого відбувається суміщення обертального руху заготовки зубчастого колеса та прямолінійного поступального руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі;

– встановлено залежність між швидкістю лінійного руху кінцевої фрези вздовж загальної нормалі $V_F(t)$ та швидкістю обертання заготовки зубчастого колеса $w_x(t)$.

Результати дослідження можуть бути застосовані при обробці циліндричних евольвентних зубчастих коліс.

Список літератури

1. Охріменко О.А. Підвищення точності та працездатності червячних зуборізних фрез: дис...канд.техн.наук: 05.03.01/ Охріменко Олександр Анатолійович. – К., 2006. – 189 с.
2. Федотенок А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков / А.А. Федотенок. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
3. Справочник инструментальщика / [И.А.Ординарцев, Г.В.Филиппов, А.Н.Шевченко и др.]; под общ. ред. И.А.Ординарцева. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
4. Белоконев И.М. Теория механизмов и машин. Методы автоматизированного проектирования: учеб.пособие / И.М.Белоконев; под ред. К.И.Заблонского. – К.: Выща шк., 1990. – 208 с.

Н. Ковришкин, А. Гречка, Хамуйела Ж.А. Герра

Формообразование эвольвентного профиля зубчатых колес концевыми фрезами путем совмещения вращательного и прямолинейного поступательного движений

В данной статье рассматривается теоретическое обоснование способа обработки евольвентного профиля зубчатых колес концевыми фрезами. Способ осуществляется за счет совмещения вращательного движения, которое сообщается заготовке зубчатого колеса, и прямолинейного поступательного движения концевой фрезы, которое сообщается ей по общей нормали к евольвентному профилю обрабатываемого зуба.

M. Kovryshkin, A. Grechka, Joaquim Augusto Guerra Hamuyela

End-milling cutter forming of evolvent profile of tooth gear by overlapping of rotary and rectilinear forward movements

In given article the theoretical substantiation of a way of processing of evolvent profile of tooth gear is considered by end-milling cutters. The way is carried out due to overlapping rotary movement which is informed tooth gear workpiece, and rectilinear progress of end-milling cutter which is informed it on the general normal to evolvent profile of a processable tooth.

Одержано 29.04.10

УДК 621.793

В.Н. Корж, проф., д-р. техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г.Киев
Д.С. Герцрикен, канд. техн. наук, стар. науч. сотруд.
Институт металлофизики им. Г.В.Курдюмова НАНУ, г. Киев
Л.А. Лопата, доц., канд. техн. наук
Институт воздушного транспорта НАУ, г. Киев
Ю.Л. Хомяковский, ст. преп.
Винницкий национальный аграрный университет

Влияние электропластического эффекта на диффузионные процессы в деформируемых металлах

Рассмотрено перенесение вещества при электроконтактном припеканием. Результаты исследований показывают, что за время действия синхронизированных импульсов тока и давления, в результате реализации электропластичного эффекта происходят мгновенное упрочнение и, как следствие, высокоскоростная пластическая деформация, в результате чего возникает развитая диффузионная зона между покрытием и металлом основы. Кроме того, имеет место также диффузия атомов основного металла в покрытие, практически на всю толщину покрытия. Для описания электропластичного эффекта использованная модель процесса упрочнения металла при прохождении импульсов тока.

электроконтактное припекание, электропластический эффект, диффузионный процесс, деформируемые металлі

Одновременное действие пластической деформации и импульсов электрического тока используется при различных видах химико-термической обработки [1].

Рассмотрим перенос вещества при электроконтактном припекании. Оно осуществляется под импульсным давлением при прямом пропускании электрического тока до 8…30 кА, вторичным напряжением 1…6 В, давлением до 100 МПа, временем импульса 0,04…0,2 с, временем паузы 0,04…0,2 с., высокими скоростями нагрева, которые могут достигать 10^3…10^4 К/с. Результаты исследований показывают, что за время действия синхронизированных импульсов тока и давления, в результате реализации электропластического эффекта происходят мгновенное разупрочнение и, как следствие, высокоскоростная пластическая деформация ($10 \le \dot{\varepsilon} \le 10^2$ с$^{-1}$), в результате чего возникает развитая диффузионная зона между покрытием и металлом основы. Кроме того, имеет место также диффузия атомов основного металла в покрытие, практически на всю толщину покрытия. При режимах $I_{св}$=9 кА, $t_{импульса}$=0,06 с, p =80 МПа, глубина проникновения составляет 10-12 мкм. С ростом величин давления и силы тока диффузионная зона возрастает и достигает значения ~ 25 мкм. Для сравнения определяли величину диффузионной зоны и форму концентрационного профиля при медленном растяжении со скоростью $3 \cdot 10^{-3}$ с$^{-1}$.

Коэффициенты диффузии (D_M) представлены в табл. 1. Из ее рассмотрения следует, что одновременное воздействие импульсов тока и деформации приводит к росту подвижности атомов на ~ 5 порядков аналогично тому, что происходит при импульсных механическом и электромагнитном нагружениях [1].

© В.Н. Корж, Д.С. Герцрикен, Л.А. Лопата, Ю.Л. Хомяковский, 2010

Таблица 1 - Подвижность атомов в металлах при статической (D) и импульсной (D_M) обработках

Диффузант	Металл	$D_M \cdot 10^5$, см^2/с	$D \cdot 10^{11}$, см^2/с
Ni	Железо	3,0	0,4
Cr	Никель	6,3	6,5
W	Железо	5,2	3,2
Fe	Никель	3,9	7,6
Al	Никель	7.1	65,0
Mn	Никель	9,2	98,0

При наложении импульсов тока на медленно растягиваемый металл (10^3А/мм^2, $1{,}25 \cdot 10^{-4}$ с, 323 К) происходит деформация со скоростью 40 с$^{-1}$, и подвижность атомов резко возрастает (табл. 2).

Таблица 2 - Подвижность атомов в металлах при действии одного импульса тока

*Me⁄Me	Ni⁄Ni	Ni⁄Cu	Cu⁄Ni	Fe⁄Fe	Fe⁄Co	Co⁄Fe	Co⁄Co	Al⁄Ti	Ti⁄Al
$D_M \cdot 10^5$, см^2/с	1,8	2,1	0,9	1,2	2.0	3,0	3,2	4,9	6,6

С повышением температуры и скорости скачкообразной деформации в момент раз упрочнения в условиях конденсаторной сварки алюминия, меди, никеля ($2 \cdot 10^{-5}$ с, $7{,}5 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^4$ с$^{-1}$, ~ 723 ÷ 873 К) подвижность собственных атомов и атомов других металлов растет еще больше и достигает величин 10^{-3} - 10^{-2} см^2/с. Аналогичное влияние температуры и скорости деформации наблюдается при различных обработках: механическом воздействии, нагружении ударами с ультразвуковой частотой и др. [1].

Для понимания полученных результатов необходимо создание модели процесса разупрочнения металла при прохождении импульсов тока.

Для описания электропластического эффекта (ЭПЭ) можно использовать модель предложенную в работе [2]. Включение импульсного тока в процессе активной деформации образцов или ползучести приводит, как правило, к скачкообразному приращению деформации и связанному с этим скачком деформирующего усилия. Зависимость этого эффекта от амплитуды J_0 и длительности t_u импульсов тока носит пороговый характер [3]. Порог по J_0 лежит на уровне 250-400 А/мм^2 для различных металлов, а по t_u на уровне 50-100 мкс. Эффект увеличивается с ростом J_0 и t_u, а также с ростом частоты тока [4]. Действие тока на дислокацию, участвующие в пластической деформации, не эквивалентно только приложению к ним механического напряжения. Как следует из формулы Пича-Келера, сила, действующая на дислокацию со стороны внешнего напряжения, изменяет своё направление на противоположное при изменении знака дислокации. Протекание тока J_0 приводит к тому, что дислокации, перемещающиеся под острым углом по отношению к направлению тока (условно, “положительные” дислокации), ускоряют своё движение под влиянием силы увлечения, которая в расчёте на единицу длины дислокации записывается в виде

$$F = J_0 B / ne, \qquad (1)$$

где B – коэффициент электрон-дислокационного взаимодействия;

n – концентрация электронов проводимости;

e – заряд электрона.

Дислокации “отрицательного” знака движутся под тупым углом к направлению тока, тормозятся той же силой. Нужно отметить, что это обстоятельство не обязательно должно

приводить к полярному характеру ЭПЭ, поскольку данный эффект является откликом всего дислокационного ансамбля на действие тока. Зависимость вклада в ЭПЭ от направления тока обусловлена различием между плотностями дислокаций разного знака. Воспользовавшись кинетическим уравнением для скорости термически активированной деформации, в которую учтено действие на дислокации силы увлечения (1), можно показать, что в режиме ползучести скачок деформации определяется выражением

$$\Delta\varepsilon = f \cdot t_u \left[\frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} \cdot \frac{\sigma_I}{K} + \frac{V^* \sigma_I^2}{2KkT} \right], \qquad (2)$$

где N_+ и N_- – плотности дислокаций положительного и отрицательно знаков;

K– коэффициент линейного упрочнения;

$\sigma_I = J_0 B / neb$;

b – вектор Бюргерса.

Здесь учтено, что $\sigma_I V^* << kT$. Число N_+ и N_- практически одинаковые. Поэтому согласно (2) термофлуктуационный вклад в ЭПЭ будет не полярным, а различие между оценкой $\Delta\varepsilon$ и ее экспериментальным значением составит четыре порядка.

Такое большое расхождение оценок с экспериментальными данными свидетельствует о более значительном безактивационном вкладе тока в ЭПЭ. Физическая природа этого вклада состоит в том, что под влиянием импульсов тока наиболее неравновесные группы дислокаций положительного знака открепляются от своих препятствий безактивационным путём, чему также способствует инерционный эффект Гранато. При этом резко возрастают силы, действующие на дислокации в направлении тока. Группы же дислокаций отрицательного знака открепляются от стопоров только термофлуктуационным путём. К тому же это открепление затрудняется встречным током. Происходящее во время деформации упрочнение материала препятствует появлению новых неравновесных групп дислокаций. Поэтому время формирования $t_Ф$ таких групп после микропластической деформации, вызванной очередным импульсом тока, с ростом общей деформации должно возрастать. Качественно это можно учесть, полагая $t_ф = \bar{l} / \overline{\vartheta}$, где $\overline{\vartheta}$ – средняя скорость термофлуктуационного движения дислокаций в отсутствии импульсов тока, а $\bar{l}$ –среднее перемещение дислокаций, открепившихся от стопоров. Так как скорость пластической деформации $\dot{\varepsilon}$ связана с $\overline{\vartheta}$ соотношением $\dot{\varepsilon} = bN\overline{\vartheta}$, то $t_ф = \varepsilon_0 / \dot{\varepsilon}$, где $\varepsilon_0 = b\bar{l}N$, а N – общая плотность дислокаций обоих знаков. Воспользовавшись уравнением термоактивируемой пластической деформации с помощью которого, в частности, получена формула (2):

$$\dot{\varepsilon} = \varepsilon_0 \omega sh \frac{\left(\sigma^* - K\varepsilon\right)\vartheta^*}{kT}. \qquad (3)$$

Здесь $\omega = \nu \exp\left(-U/kT\right)$ – средняя частота преодоления дислокациями потенциальных барьеров с энергией активации U;

ν – частота попыток преодоления барьеров;

σ^* – эффективные напряжения, отвечающие началу процесса пластической деформации.

Решая уравнение (3) для случая ползучести (σ^*=const), найдём зависимость от времени пластической деформации. Вычисляя затем скорость ее изменения, получается в итоге время формирования неравновесных дислокационных скоплений:

$$t_{\acute{O}} = \frac{\varepsilon_0}{\dot{\varepsilon}(t)}. \qquad (4)$$

Наибольшее действие импульсный ток оказывает в тех случаях, когда к приходу каждого из последующих импульсов успевают появиться неравновесные группы дислокаций, т.е. при $f\, t_ф(t) << 1$. Данному условию удовлетворяют только n первых

импульсов тока, число которых согласно приведённому неравенству определяется с помощью уравнения $f t_{\Phi}(t_0 + n/f) = 1$, где t_0 – момент включения тока. Если принять, что каждый из n импульсов вызывает элементарную пластическую деформацию $\delta\varepsilon$, то безактивационный вклад тока в пластическую деформацию будет

$$\Delta\varepsilon = n\delta\varepsilon = \frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon_0}\left\{\frac{kT}{KV^*}\left[\Phi\left(\frac{f}{\omega}\right) + \frac{f}{\omega}\ln th\frac{\sigma^* V^*}{2kT}\right] - ft_0\right\}. \qquad (5)$$

Нужно отметить, что полученная формула применима лишь при частотах $f \le f_0 = t_{\Phi}^{-1}(t_0)$. В противоположном случае, когда $f > f_0$, дислокационный ансамбль будет реагировать не на каждый очередной импульс тока, «пропуская» с увеличением f всё большее число импульсов. Учитывая это, а также наличие в (5) максимума при $f \sim \omega$, следует сделать вывод о наличии не монотонного изменения $\Delta\varepsilon$ с возрастанием частоты импульсного тока. Элементарная пластическая деформация $\delta\varepsilon$, как и $\Delta\varepsilon$, зависит, согласно (5), от амплитуды импульсов J_0 и их длительности $t_{\text{и}}$. Отметим также, что множитель kT/KV^* в (6) в отличие от случая логарифмического закона ползучести обусловлен не непосредственно термофлуктуационной пластической деформацией, а тем, что число актов безактивационной деформации определяется временем t_{Φ}, характеризующим термофлуктуационную перестройку дислокационного ансамбля в процессе ползучести.

Список литературы

1. Герцрикен, Д.С. Массоперенос в металлах при низких температурах в условиях внешних воздействий. /Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко, В.М. Тышкевич, В.М. Фальченко — Киев: РИО ИМФ НАН Украины, 1999. - 436 с.
2. Рощупкин, А.М. /А.М. Рощупкин, О.А. Троицкий, В.И. Спицин // ДАН СССР.— 1986.— Т.286, № 3. — С. 633 – 636.
3. Зуев, Л.Б. /Л.Б. Зуев, В.Е. Громов, В.Ф. Курилов, Л.И. Гуревич // ДАН СССР.— 1978.— Т.239, №1.— С. 84 – 86.
4. Троицкий, О.А. /О.А. Троицкий, В.И. Спицин, В.И. Сташенко // ДАН СССР.— 1981.— Т.256, №5.— С. 1134 – 1137.

В. Корж, Д. Герцрикен, Л. Лопата, Ю. Хомяковський, Ю. Волков

Вплив електропластичного ефекту на деформацыйны процеси в метала, що деформуються

Розглянуто перенесення речовини при електроконтактному пропіканні.. Результати досліджень показують, що за час дії синхронізованих імпульсів струму і тиску, в результаті реалізації електропластичного ефекту відбуваються миттєвізнеміцненняе і, як наслідок, високошвидкісна пластична деформація, внаслідок чого виникає розвинена дифузійна зона між покриттям і металом основи. Крім того, має місце також дифузія атомів основного металу в покриття, практично на всю товщину покриття. Для опису електропластичного ефекту використана модель процесу знеміцнення металу при проходженні імпульсів струму.

V.Korzh,. D.Gertcriken., L.Lopata, Y. Khomiykovskiy

Influence of electro-plastic effect on diffusive processes in the deformed metals

The transfer of matter is considered at the electro-pin baking. The results of researches show that in times of action of the synchronized impulses of current and pressure, as a result of realization of electro-plastic effect there are instantaneous of los of strength and, as a result, highly speed flowage, as a result there is the developed diffusive area between coverage and metal of basis. In addition, takes a place also diffusion of atoms of parent metal in coverage, practically on all of thickness of coverage. For description of electro-plastic effect the model of process of los of strength metal is utillized at passing of impulses of current.

Одержано 11.05.10

УДК 62.585.2.001.4

В.А. Павлюк-Мороз, доц., В.В. Руських, доц., канд. техн. наук, О.В. Крилов, ас., Р.А. Осін, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Вплив процесу обкатки на довговічність шестеренних насосів

В статті приведена методика та результати ресурсних стендових випробувань шестеренних насосів НШ32А-3, обкатаних із застосуванням металоплакуючої робочої рідини.
ресурсні випробування, металоплакуюча рідина, шестеренний насос

В проблемі підвищення довговічності та надійності при виготовленні або ремонті шестеренних насосів все більше уваги приділяється заключній операції – обкатці.

Найбільш ефективним способом скорочення часу та підвищення довговічності насосів на стадії обкатки є застосування металоплакуючих робочих рідин [1, 2].

Металоплакуючі робочі рідини в період обкатки утворюють на поверхнях тертя плівки з м'якого металу, які сприяють зниженню коефіцієнта тертя, тепло напруженість та спрацювання деталей, перешкоджають виникненню задирів.

Мета даної роботи – експериментально визначити довговічність шестеренних насосів після обкатки із застосуванням металоплакуючої робочої рідини.

Об'єктом досліджень були шестеренні насоси НШ32А-3, які пройшли обкатування на режимах, наведених в роботі [3], після чого були визначені основні параметри насосів.

При обкатці шестеренних насосів застосовували металоплакуючу робочу рідину, до складу якої входять наступні інгредієнти, мас.%:

– хлорна мідь	- 4,9;
– двохлорне олово	- 0,8...3;
– сечовина	- 0,7...1,3;
– формалін, 37%	- 14...22;
– сечовино-формальдегідна смола	- 0,7...1,7;
– нітрит натрію	- 0,08...0,4;
– гліцерин	- до 100.

Визначення довговічності шестеренних насосів за ДСТУ 2192-93 проводять випробуванням на ресурс.

Перевірку ресурсу шестеренних насосів НШ32А-3, обкатаних із застосуванням металоплакуючої рідини проводили у гідролабораторії ВАТ „Гідросила" на стенді для ресурсних випробувань СИН-36.

Технічна характеристика стенду для ресурсних випробувань.

1. Тип	стаціонарний;
2. Максимальний тиск, обмежений запобіжним клапаном, МПа	20;
3. Привод гідровузлів	від електродвигуна через мультиплікатор;
4. Електродвигун	АО-82-4 ГОСТ 13859-68;
5. Кількість електродвигунів, шт.	2;

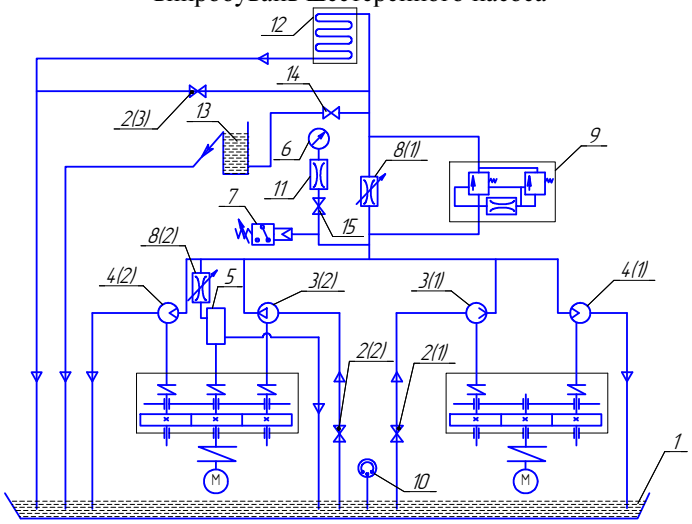
© В.А. Павлюк-Мороз, В.В. Руських, О.В. Крилов, Р.А. Осін, 2010

6. Потужність електродвигуна, кВт	55;
7. Частота обертання, об/хв.	1460;
8. Передаточне число мультиплікатора	1,64;
9. Кількість мультиплікаторів, шт.	2;
10. Частота обертання приводних валів гідровузлів, об/хв.:	
насосів	2400;
моторів	1460;
11. Охолодження робочої рідини	повітряне;
12. Діапазон регулювання тиску, МПа	0...200;
13. Маса стенду, кг	2340;
14. Об'єм гідробаку, $м^3$	1,1.

Загальний вид стенду та гідромеханічна схема стенду представлені на рисунках 1 та 2.



Рисунок 1 – Загальний вид стенду СИН – 36 для ресурсних прискорених випробувань шестеренного насоса



1- бак; 2(1), 2(2)- вентилі; 3(1), 3(2)-насоси, що випробовуються; 4(1), 4(2)- мотори, що випробовуються; 5- гідропристрій; 6- манометр; 7- реле тиску; 8(1), 8(2)- дроселі; 9- клапан запобіжний; 10- термометр; 11- демпфер; 12- установка повітряного охолодження; 13- бачок визначення підсмоктування повітря; 14- вентиль; 15 - кран

Рисунок 2 - Гідравлічна схема установки для проведення ресурсних випробувань експериментального шестеренного насоса

Випробування проводили по етапам при циклічному навантаженні від 0 до 16 МПа.

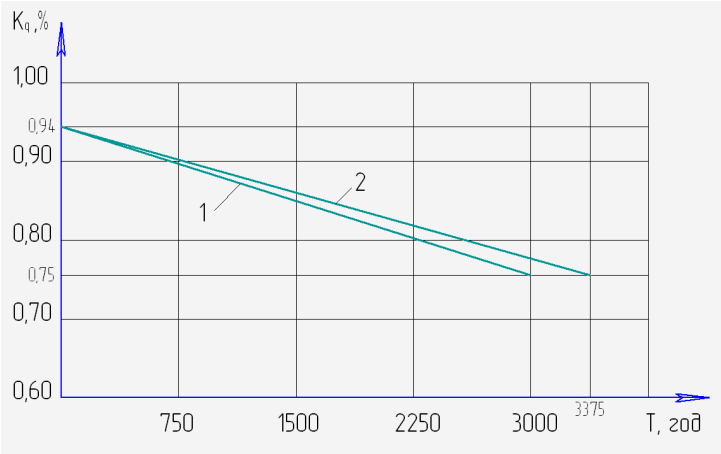
Режими випробувань:

– робочий тиск, МПа 16;
– частота обертів, об/хв. 2400;
– режим навантаження циклічний;
– частота циклу, Гц 1,25;
– робоча рідина масло мінеральне МГЕ-46В;
– температура робочої рідини, ^{o}С 30...80;
– тривалість випробувань, циклів $10^{6;}$
– швидкість зміни тиску в гідравлічній системі стенду не повинна перевищувати, МПа/с:
– при навантаженні 350;
– при розвантаженні 1000.

Перед встановленням насосів на випробування по визначенню ресурсу та після кожного етапу (250000±50000 циклів) проводилась перевірка коефіцієнту подачі $К_q$.

Критерієм граничного стану насосів є зниження величини коефіцієнту подачі $К_q$ (від початкового значення) не більше 20%.

Залежність зміни коефіцієнту подачі від тривалості випробувань наведений на рисунку 3.



1 – шестеренні насоси НШ 32-А3, обкатані за заводською технологією;2 – шестеренні насоси НШ 32-А3, обкатані із застосуванням металоплакуючої робочої рідини

Рисунок 3 – Залежність зміни коефіцієнту подачі від тривалості випробувань на ресурс шестеренних насосів НШ 32-А3

Як показали ресурсні випробування шестеренних насосів НШ32А-3, які пройшли обкатку із застосуванням металоплакуючої рідини, їх довговічність підвищилась на 375 годин порівняно з насосами, обкатаних за заводською технологією.

Список літератури

1. Балабанов, В.И., Ищенко С.А., Беклемишев В.И. Триботехнология в техническом сервисе машин. М., «Изумруд», -2005. – 177 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника, износ и безизностность. М.: Изд-во МСХА, 2001. -586 с.
3. Павлюк-Мороз В.А., Крилов О.В. та інші. Підвищення якості стендової обкатки шестеренних насосів. Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському, галузеве машинобудування, автоматизація. Випуск 20, Кіровоград, 2008. – С.236-243.

В. Павлюк-Мороз, В. Руських, О. Крилов, Р. Осін

Влияние процесса обкатки на долговечность шестеренных насосов

В статье приведена методика и результаты ресурсных стендовых испытаний шестеренных насосов НШ32А-3, обкатанных с применением металлоплакирующей рабочей жидкости.

The article describes the methodology and results of resource test bench gear pumps НШ32А-3, have been run using metalloplaking working fluid.

УДК 631.172:633.521

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук
Житомирський національний агроекологічний університет

Швидкість руху агрегату і висота брання льону-довгунця як фактори якості очісування стебел комбайном

Розглянуто втрати насіння від недоочісування стебел залежно від швидкості руху льонозбирального комбайнового агрегату та висоти брання льону-довгунця. Вплив досліджуваних факторів на якість очісування визначений з використанням елементів дисперсійного аналізу.
льон-довгунець, збирання, комбайн, стебло, очісування, якість, дисперсія, аналіз

Постановка проблеми. Швидкість руху льонозбирального комбайнового агрегату і висота брання льону-довгунця виступають як регульовані параметри комбайна, які визначають продуктивність агрегату і функціонування його з позицій екологоспрямованого розвитку механізованого збирання. Із збільшенням висоти брання зменшується засміченість льоновороху бур'янами, що сприяє економній витраті палива при його сушінні та наступній переробці. З висотою брання пов'язане і розміщення стебел в затискному конвеєрі, що відповідним чином впливає на якість очісування стебел. На якість очісування впливає і швидкість руху комбайна. У пропонованій статті передбачено з'ясувати деякі з питань проблеми механізованого збирання льону-довгунця, що висвітлюють вплив експлуатаційних режимів комбайнів на ефективність їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В льоносіючих підприємствах України та інших держав, що виникли на теренах колишнього Радянського Союзу, на збиранні льону-довгунця крім інших засобів механізації використовують і комбайни ЛК-4Т та їх модифікації. Дослідженням робочого процесу цих комбайнів займалися науковці науково-дослідних і навчальних закладів аграрного спрямування та фахівці-виробничники. Дослідників цікавили питання, що пов'язані з вивченням енергетичних властивостей машин та якісних показників їх роботи. В останні роки вивченням комбайнового збирання льону-довгунця займалися В.М. Булгаков, Р.Н. Гілязетдінов, А.Ю. Горбовий, В.Ф. Дідух, В.І. Макаєв, О.О. Налобіна, О.В. Сидорчук, Г.А. Хайліс, А.О. Шарибура, В.О. Шейченко та ін. У працях цих науковців розглянуто низку питань, що висвітлюють теоретичні основи використання комбайнових агрегатів на збиранні льону-довгунця. Проте в публікаціях перерахованих вчених недостатньо висвітлений процес очісування стебел, що супроводжується втратами насіння. За дослідженнями, наприклад [7], втрати насіння при збиранні льону-довгунця комбайнами можуть сягати 23,0…43,0% від біологічної врожайності. При цьому втрати від недоочісування коробочок зі стебел можуть становити 50,0% від загальних втрат.

© А.С. Лімонт, 2010

В статье приведена методика и результаты ресурсных стендовых испытаний шестеренных насосов НШ32А-3, обкатанных с применением металлоплакирующей рабочей жидкости.

The article describes the methodology and results of resource test bench gear pumps НШ32А-3, have been run using metalloplaking working fluid.

УДК 631.172:633.521

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук
Житомирський національний агроекологічний університет

Швидкість руху агрегату і висота брання льону-довгунця як фактори якості очісування стебел комбайном

Розглянуто втрати насіння від недоочісування стебел залежно від швидкості руху льонозбирального комбайнового агрегату та висоти брання льону-довгунця. Вплив досліджуваних факторів на якість очісування визначений з використанням елементів дисперсійного аналізу.
льон-довгунець, збирання, комбайн, стебло, очісування, якість, дисперсія, аналіз

Постановка проблеми. Швидкість руху льонозбирального комбайнового агрегату і висота брання льону-довгунця виступають як регульовані параметри комбайна, які визначають продуктивність агрегату і функціонування його з позицій екологоспрямованого розвитку механізованого збирання. Із збільшенням висоти брання зменшується засміченість льоновороху бур'янами, що сприяє економній витраті палива при його сушінні та наступній переробці. З висотою брання пов'язане і розміщення стебел в затискному конвеєрі, що відповідним чином впливає на якість очісування стебел. На якість очісування впливає і швидкість руху комбайна. У пропонованій статті передбачено з'ясувати деякі з питань проблеми механізованого збирання льону-довгунця, що висвітлюють вплив експлуатаційних режимів комбайнів на ефективність їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В льоносіючих підприємствах України та інших держав, що виникли на теренах колишнього Радянського Союзу, на збиранні льону-довгунця крім інших засобів механізації використовують і комбайни ЛК-4Т та їх модифікації. Дослідженням робочого процесу цих комбайнів займалися науковці науково-дослідних і навчальних закладів аграрного спрямування та фахівці-виробничники. Дослідників цікавили питання, що пов'язані з вивченням енергетичних властивостей машин та якісних показників їх роботи. В останні роки вивченням комбайнового збирання льону-довгунця займалися В.М. Булгаков, Р.Н. Гілязетдінов, А.Ю. Горбовий, В.Ф. Дідух, В.І. Макаєв, О.О. Налобіна, О.В. Сидорчук, Г.А. Хайліс, А.О. Шарибура, В.О. Шейченко та ін. У працях цих науковців розглянуто низку питань, що висвітлюють теоретичні основи використання комбайнових агрегатів на збиранні льону-довгунця. Проте в публікаціях перерахованих вчених недостатньо висвітлений процес очісування стебел, що супроводжується втратами насіння. За дослідженнями, наприклад [7], втрати насіння при збиранні льону-довгунця комбайнами можуть сягати 23,0…43,0% від біологічної врожайності. При цьому втрати від недоочісування коробочок зі стебел можуть становити 50,0% від загальних втрат.

© А.С. Лімонт, 2010

Якість очісування стебел за втратами насіння при використанні комбайнів вивчали М.Н. Биков [2] та Л.А. Сулима і О.Я. Дюртєєва [8]. За дослідженнями М.Н. Бикова [2] із зміною висоти брання від 200 до 330 мм чистота очісування змінювалася за випуклою залежністю вигляду параболи другого порядку. При цьому найкраще очісування спостерігалося за висоти брання 250 мм. Із зменшенням висоти брання до 200 мм та її збільшенням до 300 і далі 330 мм чистота очісування зменшувалася. Дослідник це пояснює тим, що за малої висоти брання відбувається недоочісування верхньої частини стебел, а за збільшеної – середньої. Із зміною швидкості руху від 1,64 до 13,6 км/год чистота очісування зростала із спадаючою інтенсивністю, тобто із підвищенням швидкості руху відмічена тенденція зменшення втрат насіння від недоочісування. Дослідження інших науковців [8] свідчать, що із підвищенням швидкості руху від 5,72 км/год до 7,67 і далі до 9,68 км/год втрати насіння в очісаній соломі зростають від 3,66% до 4,24 і 4,74%. Дослідження М.Н. Бикова [2] здійснені на стеблостої з середніми густотою і висотою стебел відповідно 1330 шт./м^2 і 630 мм, а Л.А. Сулими і О.Я. Дюртєєвої [8] на стеблостої з показниками 1513 шт./м^2 і 763 мм. За незначної різниці в показниках середовища використання комбайнів і відповідно умов досліджень цитовані науковці одержали неспівставимі результати щодо впливу швидкості руху на результативну ознаку.

Мета дослідження полягала у підвищенні ефективності льонозбирального процесу на базі використання комбайнів ЛК-4Т. *Завдання дослідження*: 1) дослідити вплив швидкості руху льонозбирального комбайнового агрегату на втрати насіння від недоочісування; 2) виявити кількісні закономірності зміни втрат насіння від недоочісування залежно від висоти брання льону-довгунця; 3) з'ясувати якісну взаємодію швидкості руху агрегату і висоти брання льону-довгунця як факторіальних ознак щодо їх впливу на якість очісування стебел в льонозбиральному комбайні.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження був процес очісування стебел льону-довгунця середньостиглого сорту у фазі ранньої жовтої при переході до жовтої стиглості очісувальним апаратом комбайна ЛК-4Т в реальних умовах його використання [5]. Комбайн агрегатували з трактором класу 1,4, а лляний ворох збирали в причеп 2ПТС-4М. Втрати насіння від недоочісування стебел, швидкість руху агрегату і висоту брання визначали за методиками, що наведені в працях [2, 4], а урожайність льону-довгунця, густоту стеблостою перед збиранням і висоту стебел за методикою [6]. Обробка експериментальних даних здійснена з використанням методів дисперсійного аналізу [3, 9] та стандартних комп'ютерних програм.

Результати досліджень. Дослідження проведені при збиранні виробничих посівів льону-довгунця. Льонове поле характеризувалося такими параметрами. Густота стеблостою коливалася в межах 403…2552 шт./м^2 за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 1450 і 480 шт./м^2 та коефіцієнта варіації 33,1%. Висота стебел змінювалася від 630 до 780 мм, а середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення приймали значення відповідно 700 і 33 мм за коефіцієнта варіації 4,7%. Середня урожайність соломи і насіння становили відповідно 45,8 і 6,2 ц/га.

Здійснений факторний експеримент типу 3^2 [9], за якого пересікалися два фактори, а саме: швидкість руху комбайнового агрегату і висота брання льону-довгунця комбайном. Для кожного із факторів прийняті три рівні: нижній, основний і верхній. При виборі значень рівнів факторів виходили з параметрів технічної характеристики комбайна ЛК-4Т (ЛК-4А), за якою швидкість руху знаходиться в межах 6…12 (6…10) км/год, а висота брання – 150…400 (135…360) мм. За умовами досліду рівні факторів були фіксовані і кількісні, що дозволило з належною впевненістю виконувати інтерполювання між вибраними фіксованими рівнями [9].

Для перевірки гіпотез про те, що ефекти швидкості руху і висоти брання та ефект взаємодії цих факторів відсутні, співставили спостережувані середні квадрати із середнім квадратом помилки, використовуючи *F*-статистику [3, 9]. Критичне значення *F*-критерію

знаходили за таблицями квантилів *F*-розподілу. Входами в таблицю за прийнятого рівня значущості є числа ступенів вільності для дисперсій досліджуваних факторів, що наведені в чисельнику, і ступенів вільності для помилки, які представлені в знаменнику [9]. За [9] по рівню значущості 0,05 і, наприклад, стосовно фактора «швидкість руху агрегату», що змінювався за умовами дослідження на трьох рівнях, при числі ступенів вільності чисельника 2 і знаменника 26 критичний *F*-критерій дорівнює 3,37. Спостережуваний *F*-критерій для фактора «швидкість руху агрегату» становив 8,56. Оскільки спостережуване значення *F*-критерію перевищує його критичне значення, то в цьому дослідженні слід відмітити істотну різницю у втратах насіння від недоочісування у варіантах з різною швидкістю руху агрегату, що свідчить про заперечення і відхилення нульової гіпотези. Таке стосується і щодо впливу на результативну ознаку висоти брання льону-довгунця. Результати дисперсійного аналізу наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Дисперсійний аналіз щодо визначення впливу швидкості руху $v_р$ (км/год) льонозбирального комбайнового агрегату і висоти брання $h_б$ (мм) на втрати насіння $B_{нн}$ (%) від недоочісування стебел

Джерело мінливості	Число ступенів вільності	Сума квадратів	Середній квадрат	*F*-критерій	
				спостере-жуваний	критичний
Швидкість руху $v_р$	2	23,99	11,99	8,56	3,37
Висота брання $h_б$	2	85,51	42,75	30,53	3,37
$v_р \times h_б$ – взаємодія	4	17,32	4,33	3,09	2,74
Помилка	27	37,96	1,40	–	–
Сума	35	164,78	–	–	–

Отже, за результатами порівняння дисперсій різниця між ними істотна і вплив швидкості руху та висоти брання на втрати насіння від недоочісування стебел можна визнати доведеним. При цьому в інтервалі змін досліджуваних факторів не байдуже, якому з них слід надавати перевагу при визначенні режиму експлуатації комбайнового агрегату, оскільки між цими факторами визначена статистично значуща взаємодія. Якісно це свідчить про те, що зміна одного фактора супроводжується різною зміною втрат насіння на різних рівнях іншого досліджуваного фактора.

Для з'ясування кількісних залежностей зміни втрат насіння від швидкості руху і висоти брання та оцінювання істотності частинних відмінностей визначали: середнє арифметичне значення втрат 2,80%; загальну дисперсію для всіх випробовувань 1,4, корінь квадратний від якої становило стандартне відхилення; помилку середнього арифметичного 0,59% та помилку різниці середніх, яка при чотириразовій повторності дослідів становила 0,84%. За визначеною помилкою різниці середніх і прийнятим значенням критерію Стьюдента, що на рівні довірчої ймовірності 0,95 і числа ступенів вільності помилки 27 становив 2,05 [3], найменша істотна різниця для 5%-ного рівня значущості дорівнювала $НІР_{05}$ = 1,72%. Результати дослідження і статистичної обробки даних наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Зміна втрат насіння (%) від недоочісування стебел залежно від швидкості руху $v_р$ агрегату та висоти брання $h_б$ льону-довгунця

Швидкість руху агрегату $v_р$, км/год	Висота брання $h_б$, мм		
	200	265	330
6,2	0,56	1,51	2,90
9,4	2,02	3,34	5,20
12,6	1,34	1,65	6,66
$НІР_{05}$ = 1,72%			

Аналіз наведених в табл. 2 експериментальних даних зміни втрат насіння залежно від швидкості руху при різних значеннях висоти брання свідчить, що цю зміну можна описати випуклими параболами другого порядку. Після визначення сталих коефіцієнтів параболічні рівняння набули вигляду:

– при висоті брання $h_б$ = 200 мм –

$$B_{нн} = -7{,}078 + 1{,}744v_р - 0{,}0825v_р^2; \quad (1)$$

– при висоті брання $h_б$ = 265 мм –

$$B_{нн} = -10{,}516 + 2{,}842v_р - 0{,}146v_р^2; \quad (2)$$

– при висоті брання $h_б$ = 330 мм –

$$B_{нн} = -4{,}004 + 1{,}374v_р - 0{,}04199v_р^2, \quad (3)$$

де $B_{нн}$ – втрата насіння льону-довгунця від недоочісування, %;

$v_р$ – швидкість руху льонозбирального комбайнового агрегату, км/год.

Для рівнянь (1…3) значення R^2-коефіцієнтів, що характеризують міру наближення апроксимуючих параболічних функцій до експериментальних значень втрат насіння, достатньо високі і дорівнюють одиниці.

За рівняннями (1…3) можна визначити швидкість руху комбайнового агрегату, за якої втрати насіння сягають максимального значення. Для цього слід взяти першу похідну зазначених рівнянь і, прирівнявши її до нуля, отримати максимум відповідних функцій. Виявилося, що при висоті брання 200 мм, 265 і 330 мм такими швидкостями є відповідно 10,5 км/год, 9,7 і 16,3 км/год. Значення останньої швидкості виходить за межі експерименту. Таким чином при організації льонозбирального процесу за висоти брання льону-довгунця 200 мм, 265 і 330 мм слід уникати використання комбайнів на швидкостях руху відповідно 10,5 км/год, 9,7 і 12,0 км/год, як максимальною за технічною характеристикою комбайна, на яких втрати насіння максимізуються, сягаючи відповідно 2,14%, 3,31 і близько 6,50%. За дослідженнями [1] належна якість роботи комбайнового агрегату за оптимальних значень пропускної спроможності забезпечувалася на швидкості, що не перевищувала 8 км/год. Отже, у разі брання льону-довгунця комбайном на висоті в межах 200…265 мм за втратами насіння від недоочісування швидкість руху агрегату може сягати 12 км/год.

Відстежування даних табл. 2 щодо втрат насіння від недоочісування залежно від висоти брання вказує на прогресуюче зростання цих втрат із збільшенням висоти брання на різних швидкостях руху комбайнового агрегату. Перевірка вирівнювання експериментальних даних за прямою з додатним кутовим коефіцієнтом, логарифмічною і степеневою функціями та показовою і експоненціальною залежностями з використанням R^2-коефіцієнта показала наступне. На швидкості руху 6,2 км/год найкраще наближення апроксимування до експериментальних даних забезпечувало вирівнювання за степеневою функцією (R^2 = 0,998), а при вирівнюванні за показовою і експоненціальною функціями – R^2 = 0,986. На швидкості руху 9,4 км/год вирівнювання за степеневою, показовою і експоненціальною функціями забезпечило R^2 = 0,999. На швидкості руху 12,6 км/год при вирівнюванні за степеневою функцією R^2 = 0,809, а за показовою і експоненціальною функціями – R^2 = 0,862.

Рівняння, що кількісно характеризують зміну втрат насіння від недоочісування залежно від висоти брання на різних швидкостях агрегату та при апроксимації цих втрат степеневою функцією, мають вигляд:

– на швидкості руху 6,2 км/год –

$$B_{нн} = 1{,}495 \cdot 10^{-8} \cdot h_б^{3{,}295}; \quad (4)$$

– на швидкості 9,4 км/год –

$$B_{\text{нн}} = 9{,}284 \cdot 10^{-5} \cdot h_{\text{б}}^{1{,}884}; \quad (5)$$

– на швидкості 12,6 км/год –

$$B_{\text{нн}} = 2{,}312 \cdot 10^{-6} \cdot h_{\text{б}}^{2{,}5299}. \quad (6)$$

Якщо залежності (4…6) подати у логарифмованому вигляді, то можна легко інтерпретувати значення коефіцієнтів, що входять до степеневих функцій (4…6). Так, показник степеня при аргументі $h_{\text{б}}$ характеризує інтенсивність зміни втрат насіння із збільшенням висоти брання. Чим більше значення цього показника, тим більше впливає на втрати насіння збільшення висоти брання, і навпаки. Аналізуючи за цієї умови значення показника степеня, бачимо, що на меншій швидкості руху (6,2 км/год) вплив висоти брання на втрати насіння найбільший. На цій швидкості руху за експериментальними даними збільшення висоти брання в досліджуваних межах спричинює збільшення втрат насіння у 5,17 раза. На швидкостях руху 9,4 і 12,6 км/год збільшення висоти брання від 200 до 330 викликає зростання втрат насіння відповідно у 2,57 і 3,71 раза.

Зменшення першого члена рівнянь (4…6) свідчить, що зміна швидкості руху неоднозначно впливає на зміну втрат насіння. Найбільше значення цього члена властиве використанню комбайнового агрегату на швидкості 9,4 км/год, коли втрати насіння при висоті брання 200 мм найбільші. Дещо менше значення першого члена у рівнянні (5), що визначає втрати насіння на швидкості руху 12,6 км/год. І найменше значення у рівнянні (4), яке описує зміну втрат насіння залежно від висоти брання на всьому діапазоні її зміни при швидкості руху 6,2 км/год.

У разі апроксимації експериментальних даних втрат насіння залежно від висоти брання на різних швидкостях руху агрегату показовими функціями їх рівняння такі:

– на швидкості руху 6,2 км/год –

$$B_{\text{нн}} = 0{,}0472 \cdot 1{,}01273^{h_{\text{б}}}; \quad (7)$$

– а швидкості 9,4 км/год –

$$B_{\text{нн}} = 0{,}47636 \cdot 1{,}0073001^{h_{\text{б}}}; \quad (8)$$

– на швидкості 12,6 км/год –

$$B_{\text{нн}} = 0{,}2047835 \cdot 1{,}010148^{h_{\text{б}}}. \quad (9)$$

Перші члени показових функцій (7…9) за своїми значеннями з урахуванням швидкості руху агрегату щодо її впливу на втрати насіння можна ранжирувати аналогічно першим членам степеневих функцій (4…6). Щодо іншого члена рівнянь (7…9) показових функцій то він дещо перевищує одиницю, але за своїми значеннями на різних швидкостях руху змінюється аналогічно показникам степенів рівнянь степеневих функцій (4…6).

Висновки. На засадах дисперсійного аналізу доведено, що висота брання льону-довгунця комбайном та швидкість руху комбайнового агрегату впливають на втрати насіння від недоочісування стебел. Щодо впливу на втрати насіння між цими факторами виявлена статистично значуща взаємодія. Мінімум втрат насіння від недоочісування можна забезпечити при використанні комбайнів за висоти брання, що не перевищує 265 мм. При цьому швидкість руху комбайнового агрегату може сягати 12 км/год, але водночас при визначених обмеженнях висоти брання слід уникати використання комбайнів на швидкостях руху 9,7…10,5 км/год.

Напрям подальших розвідок на нашу думку має бути спрямований на дослідження розтягнутості розстелюваних комбайном стрічок льоносоломи з урахуванням впливу розтягнутості на втрати насіння від недоочісування.

Список літератури

1. Баранов И.В. Анализ составляющих энергобаланса льнокомбайнового агрегата / И.В. Баранов, Л.П. Волков // Тр. Всесоюз. ордена Трудового Красного Знамени НИИ льна: экономика, механизация льноводства, первичная обработка льна. – Торжок, 1974. – Вып. 12. – С. 76 – 84.
2. Быков Н.Н. Режимы и качество работы комбайна / Н.Н. Быков // Лен и конопля. – 1969. – № 5. – С. 29 – 30.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учеб. [для агрономических специальностей с.-х. вузов] / Доспехов Б.А. – М.: Колос, 1973. – 336 с.
4. Кукта Г.М. Испытания сельскохозяйственных машин / Кукта Г.М. – М.: Машиностроение, 1964. – 284 с.
5. Лимонт А. Влияние высоты теребления и скорости движения льнокомбайна на параметры расстилаемой ленты / А. Лимонт // Техника в с. х. – 1975. – № 8. – С. 17 – 18.
6. Методические указания по проведению полевых опытов со льном-долгунцом / [Долгов Б.С., Заворотченко И.С., Ковалев В.Б. и др.]; под ред. Б.С. Долгова и В.Б. Ковалева. – Торжок: Всесоюз. НИИ льна, 1978. – 78 с.
7. Оробинский Д.Ф. Снижение потерь семян льна при уборке / Д.Ф. Оробинский, Н.С. Парфенов // Техника в с. х. – 1978. – № 8. – С. 28 – 29.
8. Сулима Л.А. Результаты исследований работы серийных льноуборочных машин в условиях Северо-Запада / Л.А. Сулима, О.Я. Дюртеева // Научно-исследовательский и проектно-технологический ин-т механизации и электрификации с. х. Северо-Запада: науч. тр. – Л., 1971. – Вып. 8. – С. 99 – 103.
9. Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Хикс Ч.; пер. с англ. Т.И. Голиковой, Е.Г. Коваленко, Н.Г. Микешиной; под ред. В.В. Налимова. – М.: Мир, 1967. – 406 с.

А. Лимонт

Скорость движения агрегата и высота теребления льна-долгунца как факторы качества очесывания стеблей комбайном

Рассмотрены потери семян от недоочесывания стеблей в зависимости от скорости движения льноуборочного комбайнового агрегата и высоты теребления льна-долгунца. Влияние исследуемых факторов на качество очесывания определено с использованием элементов дисперсионного анализа.

A. Limont

The unit running speed and fiber flax pulling height as factors of combine stalk stripping quality

The paper considers loss of seeds by stalk under stripping mess depending on flax combine unit travel speed and fiber flax pulling height. The influence of the factors under study on the stripping quality has been determined using some elements of dispersion analysis.

Одержано 16.05.10

УДК 621.793

В.Н.Корж, проф., д-р. техн. наук
Национальный технический университет Украины «КПИ», г.Киев
Л.А.Лопата, доц., канд., техн., наук
Институт воздушного транспорта национального авиационного университета, г.Киев
В. Я. Николайчук, ст. преп., Ю.Л.Хомяковский, ст. преп.
Винницкий национальный аграрный университет
А.В.Татаров, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический університет

Предпосылки управления качеством формируемого покрытия и соединения его с деталью при электроконтактном припекании

В статье предложены методические предпосылки, позволяющие организовывать процесс управления качеством получаемого покрытия и структурой зоны соединения его с деталью, а также структурой самого покрытия и, следовательно, качеством восстановленной или упрочненной детали, заключающиеся в получении необходимой структуры в зоне их соединения с помощью контроля величины деформации, шероховатости поверхности детали, скорости охлаждения, применения защитной среды, промежуточных слоев и т.п.
управление качеством, покрытие, соединение, деталь, электроконтактное припекание

Введение. Повышение качества и надежности восстановленных деталей работающих в условиях знакопеременных циклических или ударных нагрузок, различного вида изнашивания (например, абразивного, адгезионного, коррозионного и т.п.) всегда было актуальной задачей. Одним из перспективных путей решения такой задачи является создание на рабочей поверхности детали слоя с повышенной твердостью, коррозионной и износостойкостью в совокупности с достижением (сохранением) высокой пластичности и вязкости зоны соединения покрытия с основным металлом.

Одним из эффективных способов восстановления деталей является электроконтактное припекание (ЭКП), которое позволяет наносить на изношенные поверхности деталей покрытия из компактных (металлическая лента или проволока) и порошковых материалов, а также их композиций.

Результаты исследований. Выбранный подход к объяснению механизма образования соединения при ЭКП (с позиций современных представлений о формировании соединения в твердой фазе) позволил обосновать и предложить методические предпосылки управления качеством получаемого покрытия и соединения его с деталью. Эти предпосылки заключаются в получении необходимой структуры в зоне их соединения с помощью контроля величины деформации, шероховатости поверхности детали, скорости охлаждения, применения защитной среды, промежуточных слоев и т.п.

Оценку качества соединения покрытия с деталью, самого покрытия и восстановленной детали осуществляли с помощью стандартных или специально разработанных методик: прочностных испытаний на срез, на сопротивление ударному срезу, на ударную вязкость; микротвердости и износостойкости; определения остаточных напряжений в покрытии; микрорентгеноспектрального анализа, металлографических, усталостных и коррозионных испытаний. Разработана методики расчета и специальная программа CWTemp для компьютерного моделирования теплового состояния изделия с покрытием при электроконтактном припекании.

© В.Н.Корж , Л.А.Лопата, В. Я. Николайчук, Ю.Л.Хомяковский, А.В.Татаров, 2010

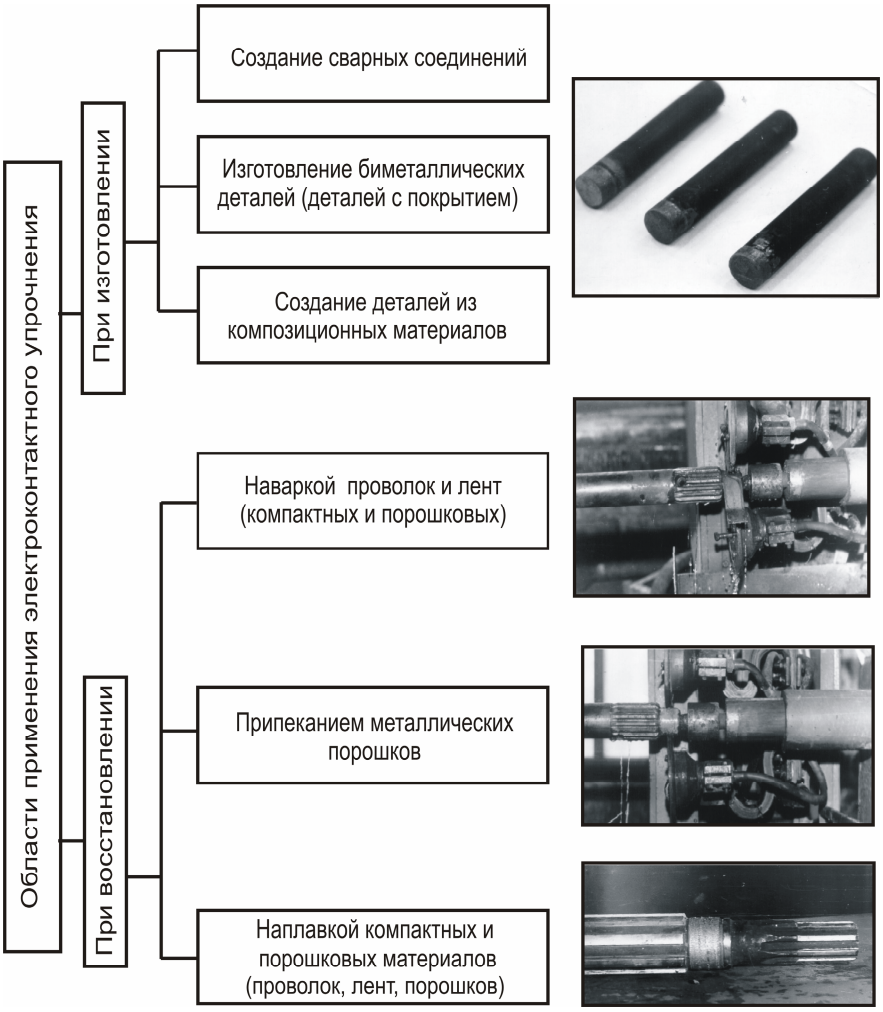


Рисунок 1 – Области использования электроконтактного упрочнения (наплавки, припекания)

Разработанные программа позволяет рассчитывать и прогнозировать распределение температуры (рис.2,а,б,в) при восстановлении и упрочнении деталей ЭКП.

При этом расчет распределение температуры в радиальном сечении детали проводили методом конечных разниц [1,4-5] в соответствии с уравнением

$$\gamma_i C_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\gamma}\frac{\partial}{\partial \gamma}\left(\gamma \lambda_i \frac{\partial T}{\partial \gamma}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial z}\right) + W_{\text{int}}, \ (i=1,2) \qquad (1)$$

где $T(r,z,t)$ - пространственно-временное распределение температуры в данной системе $\gamma_i(T)$ $C_i(T)$;

$\lambda_i(T)$ - плотность, теплоемкость и коэффициент теплопроводности материала детали и покрытия;

$W_{\text{int}} = W_{\text{int}}(r,z,t)$ - объемная интенсивность введения тепла от внутреннего источника. Индексы i = 1 принадлежат материалу детали, а i= 2 материалу покрытия.

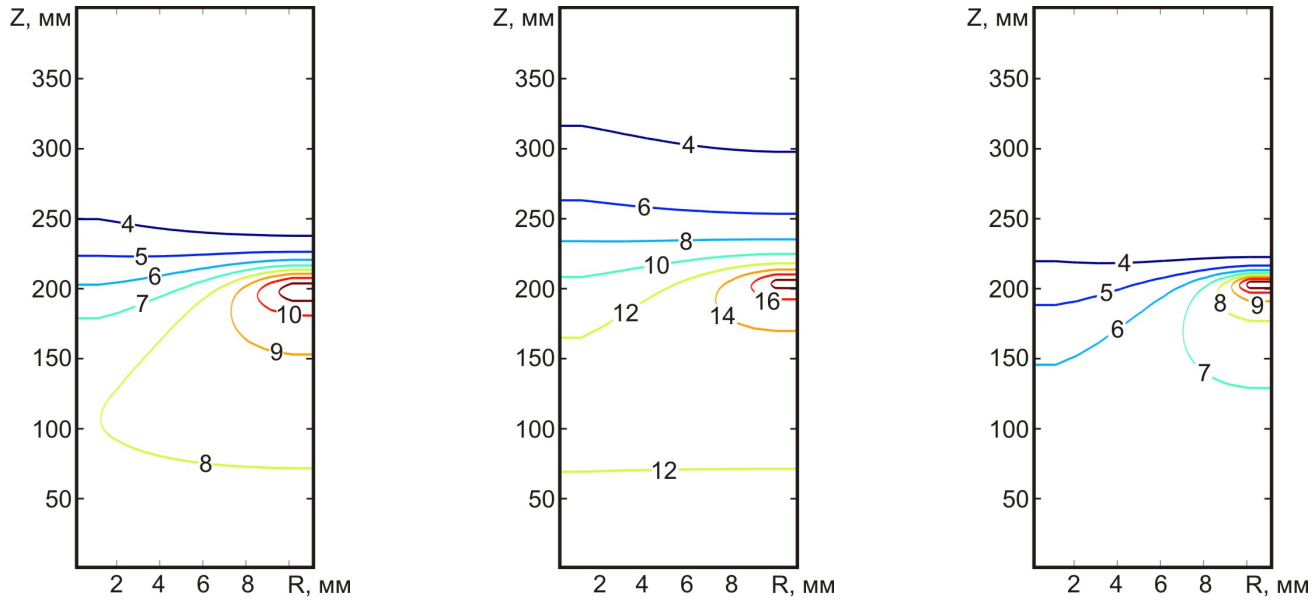
Показано, что управлять качеством (пластичностью и вязкостью) соединения покрытия с деталью при ЭКП компактного материала (металлической проволоки или ленты) можно в результате его:

– предварительного деформирования в холодном состоянии;

– при использовании защитной атмосферы, например аргона;

– созданием на поверхности детали перед ЭКП микрорельефа с заданной высотой;

– при использовании промежуточного слоя из порошкового материала, располагаемого между соединяемыми поверхностями.



I= 16 кА, P=30 Мпа, v_e = 0,02 м/с, $t_и$=$t_п$=0,1 с

а)

I= 16 кА, P=30 МПа, v_e = 0,01 м/с, $t_и$=$t_п$=0,02 с

б)

I= 16 кА, P=30 МПа, v_e = 0,03 м/с, $t_и$=$t_п$=0,02 с

в)

деталь - Сталь45, длина - 0,4 м, радиус - 0,01 м; покрытие - ПГ-С1, толщина слоя - 0,002 м

Рисунок 2 – Влияние условий режима электроконтактного припекания на температурное поле цилиндровой детали с покрытием (в момент, когда электрод прошел половину длины детали)

Установлено, что при ЭКП металлической ленты или проволоки, получение пластичной и вязкой зоны соединения покрытия с основой приводит к повышению сопротивления ударному изгибу и усталостной прочности восстановленных или упрочненных деталей. Повышение пластичности и вязкости зоны соединения в этом случае связано с образование общих зерен при протекании процессов рекристаллизации в зоне соединения, реализации которой, в частности, можно достигнуть предварительной холодной деформацией одного из соединяемых или обоих материалов перед сваркой.

При проведении экспериментов предварительную деформацию стальной ленты в холодном состоянии осуществляли на величину e=5,0...65,0 %. Анализ зоны соединения образцов, полученных ЭКП при J=5,5. ..6,5 кА, P=1,4 кН, t=0,06 с показал, что при e_x=5,0 % граница раздела наблюдается по всей длине зоны соединения. С увеличением e_x до 20% граница раздела становится прерывистой, и на отдельных участках просматриваются общие для соединяемых металлов зерна. При e_x=25 % граница раздела в зоне соединения не наблюдается. Это свидетельствует о том, что в зоне соединения образовались общие для соединяемых металлов зёрна. Последующее увеличение E_X до 40...65 % приводит снова к появлению границы раздела. Таким образом, можно заключить, что для повышения пластичности и вязкости зоны соединения и, следовательно, повышения эксплуатационных свойств восстановленных или упрочненных деталей, работающих в условиях знакопеременных циклических или ударных нагрузок, привариваемый металл, например

стальную ленту, перед ЭКП следует предварительно продеформировать в холодном состоянии на величину e_x=25 %.

На рис.3 представлены результаты испытаний зоны соединения на сопротивление ударному срезу. Видно, что при ЭКП с предварительным деформированием стальной ленты в холодном состоянии на величину 25... 35% увеличивается сопротивление ударному срезу в зоне соединения покрытия с основным металлом, приблизительно, на 37%.

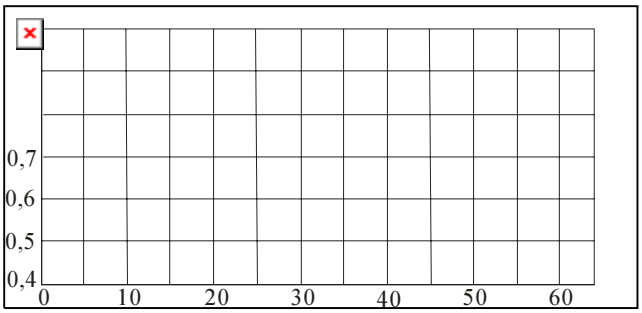
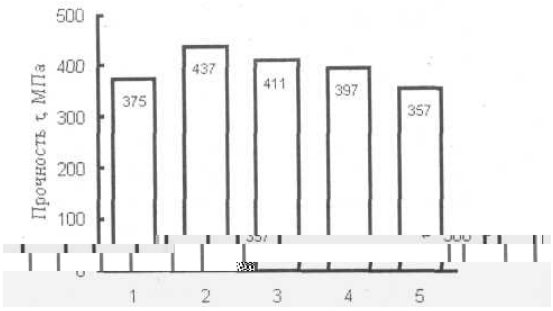


Рисунок 3 – Зависимость $\overline{a}_y$ от величины предварительной деформации стальной ленты в холодном состоянии

Установлено также, что микрорельеф поверхности детали перед ЭКП оказывает влияние на формирование покрытия и прочность соединения его с основным металлом (рис.4).

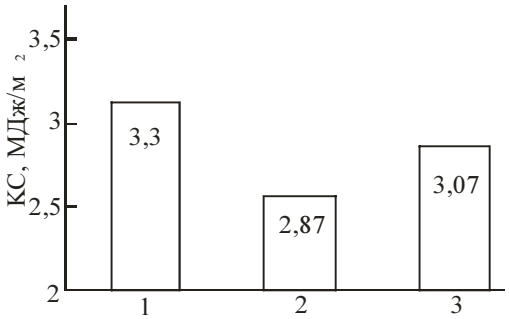


1 - резьба с шагом 0,25 мм; 2 - пескоструйная обработка; 3 - токарная обработка; 4 - шлифование; 5 - резьба с шагом 0,5 мм.

Рисунок 4 – Влияние подготовки поверхности на прочность соединения покрытия из стали 50ХФА с материалом детали из стали 45 при J=5,5 кА; P=1,4 кН; t=0,04 с

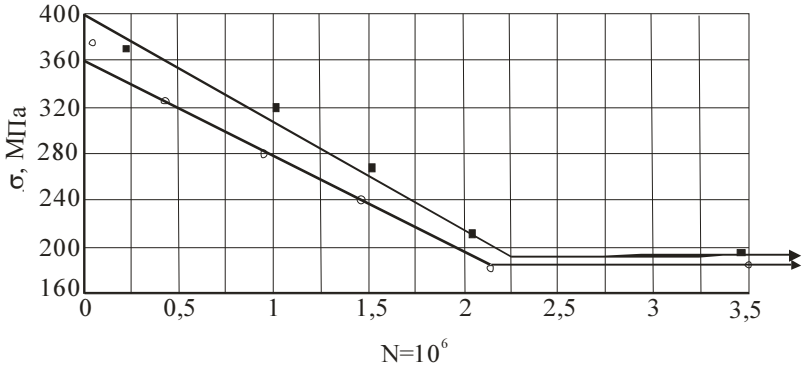
Показана целесообразность нанесения на поверхность восстанавливаемой или упрочняемой детали перед ЭКП микрорельефа высотой h = 0,1... 35 мкм (например, обработка восстанавливаемой или упрочняемой поверхности детали шлифованием, токарной или пескоструйной обработкой). При указанной высоте микрорельефа величина контактного электросопротивления между соединяемыми поверхностями оказывается достаточной для обеспечения такого тепловыделения в зоне контакта, при котором создаются оптимальные условия для деформации соединяемых металлов и развития процесса их взаимодействия. Это обстоятельство позволяет создавать в зоне соединения благоприятные условия для образования в ней общих для соединяемых металлов зерен, обеспечивающих повышение ее пластичности и вязкости и, следовательно, повышение сопротивления циклическим и ударным нагрузкам.

Исследовано влияние промежуточного слоя, располагаемого между соединяемыми поверхностями при ЭКП, на качество формируемого покрытия и соединения его с основным металлом. Экспериментально показано, что использование промежуточного слоя из порошкового материала при ЭКП компактных материалов, приблизительно, на 10% повышает ударную вязкость (рис. 5) образцов в сравнении с образцами, полученными без промежуточного слоя, а циклическая прочность $\sigma_н$, приблизительно, равна $\sigma_н$ стали 45 в исходном состоянии (рис. 6).



1 – сталь 45 в исходном состоянии; 2 – с покрытием из стали 50ХФА; 3 – с покрытием из стали 50ХФА через промежуточный слой из порошкового материала

Рисунок 5 – Влияние электроконтактной приварки на ударную вязкость образцов



○ – образцы с покрытием из стали 50ХФА, полученные электроконтактной приваркой через промежуточный слой из порошка; ■ – сталь 45 в исходном состоянии

Рисунок 6 – Результаты испытаний на усталостную прочность

Показано также, что применение промежуточного слоя позволяет, приблизительно, в 2,0 раза снизить остаточные напряжения в покрытии, возникающие в нем в результате воздействия термомеханического цикла ЭКП и последующем шлифовании в размер.

Разработан расчётно-экспериментальный метод определения прочности соединения покрытия с деталью и глубины зоны термического влияния (ЗТВ) от величины деформации компактного материала, например стальной ленты, в процессе ЭКП. Показано, что при оптимальной величине деформации прочность соединения равна прочности основного металла, а глубина ЗТВ не превышает 0,4...0,41 мм. Отмечено, что величину деформации привариваемого материала легко контролировать как в процессе ЭКП, так и после, что дает основание для разработки активного метода контроля качества получаемого соединения при восстановлении или упрочнении детали.

Выводы. С учетом полученных результатов разработаны технологические рекомендации восстановления и упрочнения деталей ЭКП компактных и порошковых материалов, позволяющие управлять структурой зоны соединения покрытия с основным металлом, структурой самого покрытия и, следовательно, качеством восстановленной или упрочненной детали. Показано, что себестоимость восстановленных деталей составляет 20-50% от стоимости новых при сроке окупаемости не более 1,5...2,0 года.

Список литературы

1. Лопата Л.А. Разработка технологии нанесения износостойких порошковых покрытий электроконтактным припеканием с силовым активированием сдвигом: Дис. к-та техн. наук. 05.16.06:/ АН Беларуси. Ин-т. проблем надежности и долговечности машин. – Минск. – 1989.
2. Лопата Л.А. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственных машин электроконтактным припеканием металлических порошков. // Разработка и производство с/х машин: Сборник научных трудов.- Киев ВО, 1988.- С.-63-68.

3. Лопата Л.А. , Красота М.В. Поєднання процесів електроконтактного припікання порошків і теплого пластичного деформування. Системні методи керування, технологія та організація виробництва.
4. Лопата Л.А., канд. техн. наук, доц., Харламов М.Ю., канд. техн. наук, доц., Ніколайчук В.Я., асп., Кожевнікова О.Є., асп. Теоретичні дослідження розподилу температури при електроконтактному припіканні і їх вплив на фізичні процеси // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. Вип.50.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - Москва: Высшая школа 1967. – 600 с.

В. Корж, Л. Лопата, В. Ніколайчук, Ю. Хомяковський

Передумови управління якістю формованого покриття і з'єднання його з деталлю при електроконтактному припіканні

У статті запропоновані методичні передумови, що дозволяють організовувати процес управління якістю отримуваного покриття і структурою зони з'єднання його з деталлю, а також структурою самого покриття і, отже, якістю відновленої або зміцненої деталі, що полягають в отриманні необхідної структури в зоні їх з'єднання за допомогою контролю величини деформації, шорсткості поверхні деталі, швидкості охолоджування, вживання захисної середи, проміжних шарів і тому подібне.

V. Korzh, L. Lopata, , V. Nikolaychuk, Y. Khomiykovskiy

Pre-conditions of quality management of the formed coverage and connection of him with a detail at electrocontact burning

In the article methodical pre-conditions are offered allowing to organize the process of quality of the got coverage and structure of area of connection of him management with a detail, and also structure of coverage and, consequently, by quality of the recovered or consolidated detail, consisting in the receipt of necessary structure in the area of their connection by control of size of deformation, roughness of surface of detail, cooling speed, application of protective environment, intermediate layers etc.

Одержано 23.05.10

УДК 621.539.4

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, О.В. Шевченко, асп., С.О. Довжук, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Методи формування покриттів на різальному інструменті

В статті дана характеристика, аналіз і класифікація методів зміцнення і нанесення покриттів на різальний інструмент. Показано, що сучасні методи формування зносостійкого покриття дозволяють науково обґрунтовано визначати форму і структуру робочих поверхонь, їхні геометричні параметри і фізико-механічні властивості, що забезпечать ефективність роботи різального інструменту. Рекомендовано для покриттів на різальному інструменті застосовувати диференційні дискретні композиційні покриття.
різальний інструмент, зносостійкі покриття, поверхневе зміцнення, спосіб, метод, експлуатаційні характеристики

Вступ. Структура і властивості покриття є відображенням тих умов, у яких відбувалося його формування. Основне питання в кожній технології поверхневого зміцнення – це спосіб доставки матеріалу покриття до поверхні різального інструмента, його хімічний і фізичний стан.

Більшість способів поверхневого зміцнення варто розглядати як альтернативні. Той самий матеріал покриття може бути нанесений різними способами.

© М.О.Ковришкін, О.В.Шевченко, С.О.Довжук, 2010

3. Лопата Л.А. , Красота М.В. Поєднання процесів електроконтактного припікання порошків і теплого пластичного деформування. Системні методи керування, технологія та організація виробництва.
4. Лопата Л.А., канд. техн. наук, доц., Харламов М.Ю., канд. техн. наук, доц., Ніколайчук В.Я., асп., Кожевнікова О.Є., асп. Теоретичні дослідження розподилу температури при електроконтактному припіканні і їх вплив на фізичні процеси // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2008. Вип.50.
5. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - Москва: Высшая школа 1967. – 600 с.

В. Корж, Л. Лопата, В. Ніколайчук, Ю. Хомяковський

Передумови управління якістю формованого покриття і з'єднання його з деталлю при електроконтактному припіканні

У статті запропоновані методичні передумови, що дозволяють організовувати процес управління якістю отримуваного покриття і структурою зони з'єднання його з деталлю, а також структурою самого покриття і, отже, якістю відновленої або зміцненої деталі, що полягають в отриманні необхідної структури в зоні їх з'єднання за допомогою контролю величини деформації, шорсткості поверхні деталі, швидкості охолоджування, вживання захисної середи, проміжних шарів і тому подібне.

V. Korzh, L. Lopata, , V. Nikolaychuk, Y. Khomiykovskiy

Pre-conditions of quality management of the formed coverage and connection of him with a detail at electrocontact burning

In the article methodical pre-conditions are offered allowing to organize the process of quality of the got coverage and structure of area of connection of him management with a detail, and also structure of coverage and, consequently, by quality of the recovered or consolidated detail, consisting in the receipt of necessary structure in the area of their connection by control of size of deformation, roughness of surface of detail, cooling speed, application of protective environment, intermediate layers etc.

Одержано 23.05.10

УДК 621.539.4

М.О. Ковришкін, доц., канд. техн. наук, О.В. Шевченко, асп., С.О. Довжук, інж.
Кіровоградський національний технічний університет

Методи формування покриттів на різальному інструменті

В статті дана характеристика, аналіз і класифікація методів зміцнення і нанесення покриттів на різальний інструмент. Показано, що сучасні методи формування зносостійкого покриття дозволяють науково обґрунтовано визначати форму і структуру робочих поверхонь, їхні геометричні параметри і фізико-механічні властивості, що забезпечать ефективність роботи різального інструменту. Рекомендовано для покриттів на різальному інструменті застосовувати диференційні дискретні композиційні покриття.
різальний інструмент, зносостійкі покриття, поверхневе зміцнення, спосіб, метод, експлуатаційні характеристики

Вступ. Структура і властивості покриття є відображенням тих умов, у яких відбувалося його формування. Основне питання в кожній технології поверхневого зміцнення – це спосіб доставки матеріалу покриття до поверхні різального інструмента, його хімічний і фізичний стан.

Більшість способів поверхневого зміцнення варто розглядати як альтернативні. Той самий матеріал покриття може бути нанесений різними способами.

© М.О.Ковришкін, О.В.Шевченко, С.О.Довжук, 2010

При цьому можуть істотно розрізнятися властивості покриття. Умови нанесення можуть змінювати у широких межах комплекс механічних властивостей матеріалу основи, так що експлуатаційні характеристики різального інструменту з покриттям істотно залежать від способу поверхневого зміцнення.

Сучасні методи формування зносостійкого покриття дозволяють науково обґрунтовано визначати форму і структуру робочих поверхонь, їхні геометричні параметри і фізико-механічні властивості, що забезпечать ефективність роботи різального інструменту.

Прогрес технології в галузі інженерії поверхні дає можливість використовувати різні метали, сплави і псевдосплави шляхом нанесення їх на робочі поверхні інструменту з різних матеріалів та сплавів для підвищення ефективності їх експлуатації. Одним із направлень інженерії поверхні є формування поверхневих шарів – найбільш активних областей конструкційних інструментальних матеріалів, що приймають участь в обміні енергією і речовиною із зовнішнім середовищем. Це приводить до їхньої більш ранньої пошкоджуваності порівняно з глибинними шарами. В більшості випадків працездатність різального інструменту залежить не стільки від якості матеріалу основи, скільки від властивостей поверхневих шарів. Використання покриттів сприяє зміцненню поверхневого шару, збільшенню терміну експлуатації різального інструмента, заміні дорогих інструментальних матеріалів більш дешевими.

Вирішення проблеми підвищення якості інструменту, виходячи з необхідності поліпшення їх експлуатаційних властивостей, може здійснюватись, як за рахунок застосування вже існуючих методів зміцнення, так і за рахунок їхнього удосконалення та створення нових. У зв'язку з цим виникає необхідність систематизації та класифікації наявних методів нанесення покриттів.

Характеристика, аналіз і класифікація методів зміцнення і нанесення покриттів на різальний інструмент. Вибір конкретного методу формування поверхневого шару являє собою складну техніко-економічну задачу. В даний час відомо понад 130 методів нанесення функціональних покриттів (захисних, корозійностійких, антифрикційних, та ін.), що відрізняються фізичними, механічними, хімічними та багатоопераційними способами утворення.

Проведений аналіз способів нанесення зміцнюючих покриттів показав, що їх можна класифікувати на чотири основні групи згідно з методами їх утворення.

Для першої групи способів фізичного зміцнення: вакуумні та лазерні технології, електроіскрове легування (ЕІЛ), газотермічне напилювання, поверхневі загартування та оплавлення, вибухове нанесення провідника, алмазоподібні плівки, аморфні покриття) характерний високий рівень питомої енергії впливу (до 10^6 Дж/см^2), густина енергії (до 10^6 Вт/см^2) і середній час впливу.

Друга група включає способи механічного зміцнення: поверхневе пластичне деформування (ППД), механічне нанесення покриттів, плакування, розпилення. Цю групу характеризує мінімальна густина енергетичного впливу (до 10^4 Вт/см^2), при часі впливу (10^{-8} – 10^{-6} с) і рівні питомої енергії до 10^6Дж/см^2.

До третьої групи віднесені способи хімічного зміцнення: хіміко-термічна обробка (ХТО) (азотування, цементація, карбонітрація, оксидування, борирування), хімічне та гальванічне осадження, хімічне осадження (CVD), епіламування. Для цієї групи методів характерно середнє значення густини енергії (10^5–10^7 Вт/см^2), збільшений час впливу при рівні питомої енергії.

До четвертої групи віднесені багатоопераційні способи зміцнення, такі як лазерна і іонно-дифузійна обробки, електроіскрове легування і поверхневе пластичне деформування, електроіскрове легування і лазерне оплавлення, порошкові покриття, електронно-променеве легування і електронно-механічна обробка, що характеризуються максимальною густиною енергії (до 10 Вт/см^2) при досить високому рівні питомої енергії (10^6–10^8 Дж/см^2).

Серед методів фізичного зміцнення деталей і інструмента в даний час широко розвиваються вакуумні і лазерні технології та ЕІЛ. Термовакуумний метод напилювання заснований на нагріванні у вакуумі речовини до температури випаровування, утворення пари і конденсації його на виробі. Перенесення часток випаровування до поверхні конденсації виникає при перевищенні тиску пару матеріалу над тиском у робочій камері. Для нагрівання використовують електронний промінь, лазер, джоулеве тепло, високочастотне поле.

При бомбардуванні поверхні матеріалу, що випаровується, електронним пучком істотна частка кінетичної енергії електронів перетворюється в тепло та поверхня нагрівається до такої температури, що стає джерелом пари. У потоці пари розміщають виріб, на який конденсується частина пару, тобто відбувається напилювання.

До зміцнення іонним осадженням відносять процеси осадження, у яких поверхня різального інструменту бомбардується іонами, що мають енергією, достатньої для створення змін у структурі і складах поверхневого шару. Речовина, яка наноситься, випаровується чи розпорошується, а джерелом іонів є плазма тліючого розряду, що збуджується в просторі між випарником і основою, попередньо заповненим аргоном при низькому тиску. Позитивні іони аргону і складових покриття, що утворилися в розряді, прискорюються полем і бомбардують основу, яка знаходиться під високим негативним потенціалом.

При бомбардуванні прискореними іонами відбуваються такі фізичні процеси, як розпилення матеріалу основи, утворення точкових і лінійних недосконалостей кристалічних ґраток, прискорення дифузії, локальне нагрівання. Усе це викликає зміну в структурі і властивостях покриттів у порівнянні з нанесенням без іонного бомбардування [1,2].

В процесі іонного осадження є можливість ефективного очищення поверхні різального інструменту шляхом розпилення при бомбардуванні іонами інертного газу. Процес очищення поєднують з нагріванням різального інструменту в тліючому розряді до необхідної температури, що прискорює дифузійні процеси в приповерхніх шарах під дією іонного бомбардування. Очищена поверхня і висока дифузійна рухливість атомів сприяють масопереносу на початкових стадіях формування покриття. В результаті утворюється протяжна перехідна зона між основою і покриттям, що забезпечує високу адгезійну міцність. Прискорення дифузійних процесів дозволяє істотно знизити температуру різального інструмента при зміцненні в порівнянні з традиційними способами ХТО. Частина іонів, що бомбардують, безпосередньо вводиться в поверхню різального інструменту, інша частина вибиває електрони і атоми легуючих елементів. Розпилені атоми основи можуть реагувати з газовим середовищем, утворювати з'єднання типу нітридів і карбідів, і осаджуватись на поверхню різального інструменту. Це сприяє прискоренню дифузійних процесів, збільшуючи концентрацію насичуючих елементів у поверхневих шарах. Можливість одержувати регульовану товщину покриття на «затемнених» ділянках поверхні на відміну від інших способів (PVD – фізичне осадження з парогазової фази), дозволяє зміцнювати різальний інструмент складної форми.

Існування великої кількості технологічних варіантів іонного осадження, дає можливість використовувати різні комбінації методів випаровування, розпилення та одержання іонів. Серед вакуумних технологій інтерес представляє іонна імплантація. Ефект зміцнення досягається як за рахунок росту щільності дефектів кристалічної структури інструментального матеріалу, закріплення цих дефектів атомами легуючих елементів, так і за рахунок формування додаткової кількості дрібнодисперсних карбідних, нітридних і інтерметалевих структур. Слід зазначити, що технологія іонної імплантації, з метою формування прогнозованих властивостей поверхневого шару інструментального матеріалу, є найбільш перспективною при створенні композиційних матеріалів з оптимальним набором поверхневих властивостей.

Суть іонної імплантації [1,2] полягає у впровадженні прискорених до енергії 1–10 меВ, іонів легуючого елементів у кристалічну гратку основи. Імплантовані іони проходячи через речовину мішені втрачають свою енергію, яка затрачується на утворення дефектів кристалічної структури, при цьому стимулюються процеси кристалізації і перекристалізації. Імплантація хімічно активних елементів приводить до утворення хімічних сполук. Заснована на методі іонної імплантації іонна металургія дозволяє одержувати на поверхні виробу сплави, що важко одержати відомими способами. Відмінною рисою методу є відсутність межфазової межі розподілу. Практично методом іонної імплантації можна впроваджувати в структуру основи всі елементи періодичної системи.

Іонна імплантація [1] широко застосовується для зміцнення поверхонь різального інструменту. Наприклад, впровадження іонів И+, С+, Ті+, Сг+ в інструментальні сталі і сплави підвищує їхні експлуатаційні характеристики, при цьому зростає втомна міцність і корозійна стійкість.

Найбільш розповсюджений процес іонної імплантації – насичення поверхні різального інструмента іонами N4-. Густина потоку складає (2–8) – 10^{17} іон/см^2 з енергією 45–500 кеВ. Іонна імплантація може здійснюватися як з розігрівом катода, так і без нього. Глибина проникнення іонів складає усього кілька сотень ангстрем. Виявлено значне зміщення атомів у кристалічних ґратках, а також збільшення щільності дислокацій у поверхневих шарах.

Іонна імплантація призводить до підвищення стійкості та антифрикційних властивостей різального інструмента. Підвищення мікротвердості в результаті імплантації іонів пов'язано із закріпленням дислокацій, що призводить до підвищення зносостійкості при імплантації С або N в поверхневий шар із кобальтовою зв'язкою. Зміцнення відбувається в наслідок блокування дислокацій у Со. Зміцнюють імплантацією іонів N+ різальний інструмент з інструментальних і швидкоріжучих сталей і твердих сплавів. Іонну імплантацію використовують при зміцненні твердосплавних непереточуваних пластин типу ВК і ТК. Для зміцнення різального інструменту застосовують іонну імплантацію в реактивному середовищі. Таким чином іонним променем наносять покриття з TiC і TIN. Електронопроменеве випаровування бору с наступною його іонізацією, іонним прискоренням при введенні в камеру N_2 дозволяє одержати покриття з різних структурних модифікацій нітриду бора. При іонній імплантації майже відсутній термодифузійний ефект, тому що при безупинному скануванні поверхні деталі пучком іонів, зона опромінення не локалізована і деталь практично не нагрівається.

Конденсація з газової фази відноситься до фізичних методів осадження (PVD), при якому паровий потік матеріалу покриття конденсується на поверхні різального інструменту, попередньо нагрітої до визначеної температури з метою одержання заданої структури покриття і адгезійної міцності.

Конденсацією з газової фази зміцнюють різальний інструмент з інструментальної сталі, швидкорізальної сталі і твердих сплавів. Конденсація покриття може відбуватися при температурі теплової рівноваги різального інструмента чи додатковим нагріванням – непрямим, радіаційним.

Парова фаза не має обмежень у взаємній розчинності компонентів. Одночасне випаровування декількох з'єднань, змішування їхнього парового потоків і наступна конденсація дозволяють керувати складом, структурою і властивостями покриттів, одержувати різні сполучення металевих і неметалічних матеріалів, практично недосяжні іншими методами. Осадження покриттів прямим випаром без зміни вихідного складу з'єднань можливо тільки за умови, що продукти дисоціації мають практично однакову летючість, тобто необхідно погоджене «конгруентне» випаровування з'єднань. Варіантами простого способу конденсації можуть бути поєднані розплавлюванням, випаровуванням, іонізації і осадженням.

Нанесення зносостійких покриттів за допомогою низьковольтного дугового розряду є досить розповсюдженим методом зміцнення різального інструменту у вакуумі. Покриття в цьому випадку осаджується на основу, що знаходиться під негативним потенціалом. Матеріал, що розпорошується, є катодом. Нагрівання основи здійснюється за допомогою бомбардування іонами металу, що випаровується. Така технологія реалізується методом «конденсації іонного бомбардування» - КІБ[3-5].

Лазерне зміцнення. Сутність лазерного зміцнення полягає в потужному імпульсному (або безперервному) впливі світлового пучка надзвичайно великої густини енергії, що викликає локальне (миттєве) нагрівання поверхні до високих температур, які перевищують не тільки температури структурно-фазових перетворень металу, але і температуру плавлення [4]. З урахуванням надзвичайно високих швидкостей охолодження, що у 10 – 100 разів перевищують швидкості охолодження при загартуванні деталей та інструменту, у поверхні матеріалу основи формуються дрібнозерниста або навіть псевдоаморфна структура, що має підвищену (на 20–30%) твердість. Перевага цього способу полягає насамперед у можливості місцевого зміцнення без нагрівання основної частини різального інструмента і без застосування гартувальних середовищ. Стійкість різального інструмента після лазерного загартування в 5–10 разів вища, ніж після традиційної термообробки.

При лазерному зміцненні розвиваються два основних напрямки: поверхневе загартування і поверхневе легування, а також поєднання цих процесів. Ефект зміцнення залежить від енергії опромінення, часу впливу і вихідної структури. Отримані загартовані структури мають підвищену зносостійкість, що пов'язують з підвищеною твердістю мартенситу та аустеніту. Чим менше час опромінення і більше дисперсна фаза, що розчиняється, тим більше ефект зміцнення. Для досягнення максимальної твердості твердих розчинів краща низьковідпущена структура інструментальної і швидкорізальної сталі, а також опромінення з більш короткими імпульсами.

Лазерна обробка дозволяє зміцнювати різальний інструмент з інструментальних і швидкорізальних сталей і твердих сплавів скануючим електронним променем. Оплавлення і швидке охолодження інструментальних і швидкоріжучих сталей забезпечує утворення мартенситної структури. У переплавленому шарі твердих сплавів змінюється склад карбідних фаз, зростає мікротвердість і ударна в'язкість.

Електроіскрове легування. Одним з перспективних шляхів зміцнення робочих поверхонь інструменту є технологія електроіскрового легування (ЕІЛ), суть якої полягає в наступному. Спосіб електроіскрової обробки полягає в легуванні поверхневого шару різального інструменту матеріалом електрода при іскровому розряді в повітряному чи технологічному (газовому чи рідкому) середовищі. В результаті взаємодії легуючого елемента з технологічним середовищем, а також з матеріалом різального інструмента в поверхневих шарах утворяться високодисперсні нітриди, карбіди, карбонітриди. Нанесення покриття не супроводжується розігрівом основного матеріалу через короткочасність імпульсів іскрового розряду, що дає можливість зміцнювати різальний інструмент практично з усіх інструментальних матеріалів [6-11].

ЕІЛ, як ефективний спосіб, використовується для підвищення стійкості різального інструменту з швидкорізальних сталей і формування товстошарового покриття. При ЕІЛ спостерігається типова структура покриття – поверхневий «білий» шар, зовні безструктурний, що не травиться, а нижні підшари, дифузійні, з сильно зміненою, дисперсною структурою, що поступово переходить у структуру основного металу. Для способу ЕІЛ характерно одночасне протікання таких процесів як надшвидкісне загартування, азотування, цементація, збагачення легуючими елементами за рахунок прискореної дифузії. Ефект зміцнення пов'язаний з термічним впливом електричних розрядів, що приводять до утворення загартованих структур без додаткового легування електродним матеріалом [6].

Перевагою ЕІЛ є простота устаткування, низька електроємність, високий коефіцієнт використання матеріалів, придатність більшості видів різального інструментів до зміцнення, вибірне, локальне легування поверхні, яка найбільш піддається зношуванню, відсутність необхідності попередньої підготовки поверхні, а також можливість застосування різних легуючих електродів. Глибина зміцненого шару складає 10–500 мкм. При збільшенні енергії імпульсу глибина легованого шару збільшується, але при цьому погіршується шорсткість легованої поверхні. Ефект зміцнення збільшується при збільшенні енергії імпульсу і швидкості сканування електроду. При зміцненні твердих сплавів твердість після ЕІЛ збільшується, однак ефект підвищення твердості значно менше, ніж у інструментальних і швидкорізальних сталей.

Для ЕІЛ різального інструменту застосовують спеціальні електроди з композиційних матеріалів на основі карбідів, боридів і нітридів, які одержують методами порошкової металургії, що забезпечують одержання покриття з заздалегідь заданими властивостями. Створення легуючих гетерофазних матеріалів на основі тугоплавких з'єднань дозволяє в широких межах керувати властивостями покриттів.

З газотермічних методів нанесення покриттів для зміцнення різального інструменту застосовують плазмовий і детонаційний метод.

Плазмовими методами іонного осадження називаються методи, у яких для утворення іонного потоку на основу використовується газовий розряд при робочих тисках 10^{-1}-10^{1} Па, незалежно від способу утворення часток пару. На основу може подаватися негативна напруга розряду U_p або зміщення $U_{см}$. Нагрівання матеріалу, що випаровується, проводиться електронно-променевим способом із застосуванням газорозрядної гармати з порожнім катодом [7].

Процес плазмового напилення, поєднаний з цільовими хімічними перетвореннями, є одним з методів за допомогою якого можна синтезувати нові матеріали. Основну роль в плазмово-променевих процесах пов'язаних з обробкою дисперсних матеріалів грають швидкість, температура плазми і часток порошку його фракційний склад. При цьому буде отриманий новий клас покриттів, які можуть мати синтезовані в плазмі матеріали нітриди, карбіди, оксиди.

Суть детонаційного напилювання полягає в збільшенні часток, які напилюють, продуктами детонації, їх розігріві, прискоренні і викиді через сопло на поверхню основи. Процес формування детонаційних покрить багато в чому подібний процесу формування плазмових покрить, що в основному полягає в розтіканні і кристалізації рідких часток по поверхні основи. Детонаційне напилювання є імпульсним процесом. В результаті одиничного циклу формується покриття товщиною 5–6 мкм. Температура осадження покриття знаходиться в межах 200°С.

Багатоопераційні способи нанесення покриттів поєднують декілька фізико-хімічних і механічних явищ і способів їхнього підведення в зону обробки. Застосування багатоопераційних способів нанесення покриттів дозволяють досягти нових технічних ефектів, значно збільшити зносостійкість, поверхневу міцність і інші експлуатаційні властивості.

Комбіновані способи одержання покриттів являють собою сукупність двох чи більше методів, що відносяться до різних, наведених вище, груп одержання покриттів. Реалізація комбінованих способів одержання покриттів пов'язано з можливістю поліпшення якості покриття, отриманого одним методом, шляхом впливу на нього іншого методу. Перспективність застосування комбінованих способів очевидна, тому що комбінація різних методів дозволяє до деякої міри усунути їхні недоліки.

Для створення на робочих поверхнях різального інструменту локальних зміцнених ділянок з високими механічними властивостями використовують поверхневу пластичну деформацію (ППД), ультразвукову обробку, термомеханічну обробку. Перспективним є поєднання ЕІЛ і ППД у виді електромеханічного зміцнення різального інструменту, особливо з інструментальних сталей. Широко використовують попереднє нанесення підшару

з окремих елементів з наступною ХТО, CVD), ТО. Шар Ті наносять на інструментальні сталі з наступною цементацією і утворенням шару TiC, на тверді сплави із наступною цементацією чи нітроцементацією. Попереднє азотування твердих сплавів завершується нанесенням CVD-методом шару TiC, TiC чи TiCN, шару $A1_2O_3$.

Додаткова лазерна термічна обробка інструментальної сталі Р6М5 з покриттями з TiN і твердого сплаву ВК8, нанесеними відповідно методом КІБ і електроіскровим легуванням, дозволяє значно знизити схоплювання інструменту з оброблюваним матеріалом, при нанесенні TiN методом КІБ, і знизити шорсткість, подрібнити структуру і підвищити мікротвердість покриття при електроіскровому легуванні.

На різальну кромку з інструментальних та швидкорізальних сталей методом іонної імплантації наносять метали (W, Mo, Nb, Zr, Ti) суцільним шаром товщиною h=25 мкм і наступною ХТО в середовищі С, В, N, що забезпечує у поверхневому шарі утворення карбідів, боридів і нітридів. Іонна імплантація одного з тугоплавких металів (W, Mo, Nb, Zr, Ti) у різальну кромку кільцевих пил, виготовлених з мартенситної сталі з високою стійкістю – хімічне перетворення тугоплавкого металу в карбід, нітрид чи борід і наступне імпульсне загартування, дозволяють одержати зносостійке покриття і підвищити стійкість пил у 8-10 разів.

Зміцнюють твердий сплав нанесенням TiC-покриття (CVD- або PVD- методом) з наступною термічною обробкою при температурі, що перевищує температуру плавлення кобальтової зв'язки. При цьому в поверхневому шарі утвориться твердий розчин карбідів і Со, що містить переважно TiC, завдяки чому покриття здобуває високу зносостійкість і в'язкість.

Багатошарові покриття наносяться способами ХТО, але особливо великі можливості відкривають перед CVD і PVD -способами. При досліджені впливу способів нанесення покриття на властивості покриття, нанесеного на різальний інструмент з швидкорізальної сталі і пластин з твердого сплаву, встановлено, що твердість шарів нанесених методом КІБ є найбільш високою, а також цей метод забезпечує міцне зчеплення покриття з основою. Однак використання багатошарових композиційних матеріалів дозволило лише частково зняти проблеми, які виникають при створені композиційних матеріалів з одношаровим покриттями. В цілому використання твердосплавного інструменту з різними конструкціями покриття не змогли вирішити проблему гарантованої і надійної його роботи стосовно важких умов лезової обробки конструкційних матеріалів в наслідок високого градієнта зміни властивостей покриття по відношенню до основи, що призводить до передчасного руйнування сплавів з покриттями.

Відомо застосування захисних покриттів дискретного типу і створення на їхній основі композиційних структур з мінімальним зносом [12,13]. Дискретні композиційні покриття (ДКП) з оптимальної щільністю за критерієм мінімального напруженого стану і ряду основних критеріїв працездатності деталей машин (контактна міцність в умовах тертя, міцність і витривалість) дозволяють досягти найбільшого ефекту по працездатності контактних пар. Ідея принципу нанесення диференційних ДКП полягає в тому, що суцільний шар покриття змінюють переривчастим (фрагментованим) шаром із змінною товщиною в залежності від епюри зносу. Дискретна структура поверхневого шару забезпечує можливість проникнення мастильного середовища в зону тертя, сприяє утворенню вторинних структур, та охолодженню контактної поверхні. Утворений мікрорельєф сприяє локалізації абразивних часток та продуктів зношування, що зменшує ймовірність заклинювання трибосполучень.

Висновок.

Проведені дослідження показали, що для покриттів, які працюють у важких умовах (покриття різального інструменту, важконавантажених пар тертя) найбільш працездатними є диференційні дискретні композиційні покриття. Тому, одним із перспективних напрямків в інженерії поверхні є розробка і використання диференційних ДКП, що враховують

недоліки суцільних покриттів і значно підвищують експлуатаційні характеристики фрикційної поверхні.

Список літератури

1. Повышение износостойкости режущего инструмента методом ионной имплантации / В.П. Суриков, А.Л. Лисин, С.Г. Яковлева // Прогрессивные технологические процессы в тяжелом машиностроении. – Свердловск, 1990. – С.86–97.
2. Костюк Г.И. Стойкость режущего инструмента с плазменно-ионным покрытием, после лазерной обработки, имплантации и комбинированного воздействии / Г.И. Костюк, П.Н. Васильков // Авиационно-космическая техника и технологии: сб. науч. труд. / М-во образования и науки, Нац. аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ». – Х., 2000 – Вып. 18. – С. 26-37.
3. Костюк Г.И. Пути повышения стойкости режущего инструмента износостойкости – его материала и коррозионной стойкости / Г.И. Костюк, А.А. Белоусов, Е.Г. Скорик, М.Л. Заугольников // Авиационно - космическая техника и технологии: сб. науч. труд. / М-во образования и науки, Нац. аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ». – Х., 1997. – С.159-163.
4. Лазерное упрочнение режущего инструмента / А.В. Грищенко, А.Ю. Локтев, В.И. Чещевой // Технология и организация производства. – 1991. – №4. – С.47–48.
5. Финкельштейн Г.М. Повышение стойкости режущего инструмента вольфрамированием / Г.М. Финкельштейн // Электрохимические и электрические методы обработки материалов. – М., 1963. – С.28-33.
6. Розробка нового евтектичного електродного сплаву для нанесения зносостійких покригпв на ріжучий інструмент комплексним електроіскровим легуванням і лазерною обробкою // В. Голубецъ, О. Бшоус // Проблемы триболопї. – 2001. –№2. – С.56–61.;
7. Способ обработки позволяющий получить инструмент, поверхностный слой которого имеет высокую твердость и достаточно высокую пластичность. Яп. заявка 58-161771, С23С11/10, опубл. 26.09.83.
8. Заявка 57-5860, Яп. С23С11/08, С23С11/14. Способ получения твердосплавных пластин для рабочей части металлорежущего инструмента. Опубл. 12.01.82.
9. Пат. 4374685, США В22F3/24, В22F7/02. Способ получения покрытий на режущей части инструмента. Опубл. 22.02.83.
10. Орлов А. С. Лазерная обработка режущего инструмента с электроискровым покрытием / Орлов А.С, Орлова А.И., Селезнев В.В. и др.//«Применение лазеров в народном хозяйстве». 17-20 мая 1985: всес. конф.: тезисы докл. / Звенигород, М., Наука, 1985, с.91.
11. Электроискровое легирование и последующая обработка инструмента из быстрорежущих сталей / М.С. Ковальченко, А.В. Паустовский, В.П. Ботвинко, Тамаров А.П. // Порошковая металлургия. – 1996. – № 5/6. – С. 11–15.
12. А.с. 1311107 СССР, В 23 Н9/00 Способ нанесения покрытий / Ю.Г. Булах, В.И. Побировский, Ю.А. Кузёма, М.С. Дигам, Б.А. Ляшенко.
13. Восстановление деталей машин дифференциальными покрытиями дискретной структуры / Ляшенко Б.А., Розенберг О.А., Ермолаев В.В., Мирненко В.И. // Тяжелое машиностроение. – 2001. – № 2. – С.21–23.

Н. Ковришкин, А. Шевченко, С. Довжук

Методы формирования покрытий на режущем инструменте

В статье дана характеристика, анализ и классификация методов упрочнения и нанесения покрытий, на режущем инструменте. Показано, что современные методы формирования износостойких покрытий позволяют научно обоснованно определять форму и структуру рабочих поверхностей, их геометрические параметры и физико-механические свойства, которые обеспечат эффективность работы режущего инструмента. Предложено для покрытий на режущем инструменте применять дифференциальные дискретные композиционные покрытия.

M Kovryshkin, A. Shevchenko, S. Dovzhuk

Methods of formation of coverings on the cutting tool

In article the characteristic, the analysis and classification of methods of hardening and drawing of coverings, on the cutting tool is given. It is shown, that modern methods of formation of wear proof coverings allow scientifically is proved to define form and structure of working surfaces, their geometrical parameters and physico-mechanical properties which will provide an overall performance of the cutting tool. It is offered for coverings on the cutting tool to apply differential discrete composite coverings.

Одержано 23.05.10

УДК 621.512.011.56.01.83

Г.М. Клещов, проф., канд. техн. наук
Одеський державний інститут вимірювальної техніки

Адаптивна модель управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів ХЛШ

У статті розглянута модель адаптивної автоматизованої системи управління підготовкою виробництвом штампів, яка призначена для скорочення термінів і трудових витрат підготовки виробництва та виготовлення штампів, а також розробка строго формалізованого методу, заснованого на теоретико-множинних конструкціях, що дає можливість наділяти отримані конструкції конкретними математичними структурами, які сприяють детальному одержанню конкретних результатів
модель управління, штампи холодної листової штамповки, підготовка виробництва

Перехід до серійного виробництва і комп'ютерних технологій дозволяє застосувати системний підхід, стандартизацію і уніфікацію, зберігаючи гнучкі, багато номенклатурні методи обробки і забезпечити можливість часто перебудовувати виробництво, витрачаючи на це мінімум часу і засобів.

Постановка проблеми. У зв'язку з вказаним виникла необхідність застосування технічно гнучких механізмів, автоматизованих інформаційних систем і технологій управління, які дозволяють підвищити продуктивність при серійному виробництві[2]. При створенні адаптивної моделі управління стандартизованою підготовкою виробництва штампів холодною листовою штамповкою (ХЛШ) використаний системний підхід, який дозволяє застосовувати модель у всіх галузях промисловості і в створенні побутової техніки.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Розглянуті останні публікації і в них дослідження носять демонстраційний характер [3] з відносним наближенням до реального виробничого проектування і виготовлення штампів ХЛШ.

Мета досліджень. Метою є скорочення термінів і трудових витрат підготовки виробництва та виготовлення штампів, а також розробка строго формалізованого методу, заснованого на теоретико-множинних конструкціях [1]. Такий метод дає можливість підійти до проблеми опису складних систем, до яких відноситься система управління виробництвом штампів. Вона дає можливість наділяти отримані конструкції конкретними математичними структурами, що сприяє детальному вивченню і одержанню конкретних результатів.

Основні задачі синтезу системи управління виробництвом відповідають державним науково-технічним програмам, сформульованим у Законі України “Про науково - виробничу діяльність”.

У цьому зв’язку актуальність роботи, яка присвячена розробці моделі адаптивного управління стандартизованої підготовки виробництва штампів та алгоритмів визначення структури і властивостей ієрархічної автоматизованої системи очевидна.

Результати досліджень. У якості об’єкта дослідження нами прийнятий процес синтезу структури управління виробництвом штампів. Предмет досліджень – апарат і математичні моделі прийняття рішень.

Для вирішення поставленої задачі використовували методи теорії системного аналізу і синтезу оптимізації організованих структур.

Наукова новизна роботи складається в розробці адаптивної моделі та алгоритмів автоматизованого синтезу структури ієрархічної системи.

Рішення представленої задачі базується на теоретико-множинному підході, в основі

© Г.М. Клещов, 2010

якого лежить уявлення системи у вигляді сукупності множини елементів, відповідна структура яких визначається як сукупність поверхонь різних класів і множин сполучень, визначених на елементах структури, а процедура синтезу у виді теоретико-множинних операцій над множинами.

При синтезі оптимальної структури системи управління виробництвом найбільш ефективним є застосування підходу, заснованого на теоретико-множинних конструкціях. Даний підхід забезпечує можливість найбільш повно наділяти отримані конструкції конкретними математичними структурами і гранично узагальнено підійти до проблеми опису складних систем, до яких відносяться системи управління виробництвом [2]. При цьому ми виходили з поняття системи S як підмножини декартового добутку деякого ряду множин

$$\left\{V_i \middle| i \in I\right\}\ S \subset \prod_{i \in I} V_i ,$$

де I - множина індексів, приймаючи до уваги існування глобальної реакції системи [1]

$$R : X \times \prod_{i \in I_1} V_i \to \prod_{j \in I_2} V_j ,$$

де $I_1 \bigcup I_2 = I$ і $I_1 \bigcap I_2 = \varnothing$;

X - деяка абстрактна множина, яка називається множиною становищ.

Ієрархічна n - рівнева система управління U являє собою сукупність векторів

(див. рисунок), де: блок 1- основний блок: керування (1.1), обробки інформації (1.2,1.3), підготовки виробництва (1.2.1-1.2.5) та виготовлення деталей штампів (1.2.6); блок2- адаптації (2.1,2.1.1-2.1.5) керування, з кінцевим прийняттям рішення людиною (вчителем - місце користувача); програмне поле сприймання (2.1.3); зрівнювання, розпізнавання і оцінювання (2.1.1); нормативно – довідкова інформація (2.1.2); алгоритми адаптації(2.1.4); бази даних і знання (2.1.5); блок 3- обробки інформації(3.1,3,2); блок 4 – умови виробництва, що змінюються (4.1,4.2); блок 5 – ПЕОМ (5.1,5.2). Вектор управління буде:

$$U = \left(X, Z, \Omega, \varphi, \psi\right), \qquad (1)$$

де X – вхідна множина станів системи є декартовим добутком множин $X = \prod_{i=1}^{n} X_i$.

Множина зовнішніх управлінь Z і множина вихідних впливів Ω є множинами відображень $\forall z \in Z\ \ Z : X \to X,\ \ \forall \omega \in \Omega\ \ \omega : X \to X$.

Причому $Z = \prod_{i=1}^{n} Z_i$, $\Omega = \prod_{i=1}^{n} \Omega_i$, так що

$$z\left(x\right) = \left(z_1\left(x_1\right), z_2\left(x_2\right), \ldots, z_n\left(x_n\right)\right),\ \omega\left(x\right) = \left(\omega_1\left(x_1\right), \omega_2\left(x_2\right), \ldots, \omega_n\left(x_n\right)\right),$$

для усіх $x = \left(x_1, x_2, \ldots, x_n\right) \in X$, де $z_i \ni Z_1 : X_i \to X_i$, $\Omega_i \ni \omega_i : X_i \to X_i$.

Будемо вважати, що множини Z_i і Ω_i містять елемент $\wedge$ такий, що $\wedge\left(x\right) = x$, для всіх $x \in X_i$ і для $i = 1, 2, \ldots, n$.

Далі,

$$\varphi : X \to P\left(X\right),\ \psi : X \to P\left(Z\right),$$

де $P(\cdot)$ - сукупність усіх непустих підмножин, множини m, φ і ψ є діагональними добутками $\varphi = \underset{i=1}{\overset{n}{\Delta}} \varphi_i$, $\psi = \underset{i=1}{\overset{n}{\Delta}} \psi_i$ відображень $\varphi_i : X \to P(X_i)$, $\psi_i : X \to P(Z_i)$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$.

Так що для кожного $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$

$$\varphi(x) = \prod_{i=1}^{n} \varphi_i(x),\ \psi(x) = \prod_{i=1}^{n} \psi_i(x)$$

$\varphi_i(x)$ визначаються значеннями багатозадачних відображень

$$\varphi_{ki} : X_k \to P(X_i),\ (k = 1, 2, \ldots, n) \tag{2}$$

як перша непуста множина у послідовності

$A_n \subseteq A_{n-1} \subseteq \ldots \subseteq A_1$.

Аналогічно $\psi_i(x)$ – перше непусте перетинання $B_m = \bigcap_{k=1}^{m} \psi_{ki}(x_k)$ у послідовності $B_n \subseteq B_{n-1} \subseteq \ldots \subseteq B_1$.

Таким чином, ієрархічну систему (1) можна розглядати як систему, що складається з n - рівнів $(i = 1, 2, \ldots, n)$

$$U_i = \left(X_i, Z_i, \Omega_i, \{\varphi_{ij}\}, \{\psi_{ij}\}_{1 \le j \le n}\right). \tag{3}$$

Будемо називати множину X_i множиною станів i - го рівня, Z_i – множиною зовнішніх впливів можливих управлінь i - м рівнем і Ω_i – множиною вихідних впливів на i - й рівень. $\varphi_{i_j}(x)$ можна інтерпретувати як множину j - го рівня, що задовольняють вимогам i - ому рівневі, який знаходиться в стані $x \in X_i$.

Зокрема множину $\varphi_{i_i}(x)$ будемо називати власною метою i - го рівня, що відповідає його станові x. Якщо $\varphi_{i_j}(x) = X_j$, то це буде означати інваріантість станів x i - го рівня до станів j - го рівня (відсутність цільових вказівок).

Множина $\psi_{i_j}(x)$ є множиною припустимих управлінь на j - ом рівні, обумовленим станом x рівня U_i. Відсутність обмежень на управління j - м рівнем з боку рівня U_i, що знаходиться в стані x, виражається рівністю $\psi_{i_j}(x) = Z_j$.

Зберігаючи прийняту індексацію, ми будемо говорити, що рівень U_k є вищестоящим стосовно U_k', якщо $k < k'\ (U_k > U_k')$. Отже, можна говорити про упорядковану множину рівнів (3) системи U: $U_1 > U_2 > \ldots > U_n$. Стан x системи U будемо називати ідеальним (або рішення системи), якщо x є нерухомою крапкою багатозначного відображення φ,

тобто $x \in \varphi(x)$. Якщо множина нерухомих крапок відображення φ не порожня $(F_{ix}\varphi \neq 0)$, то система U називається розв'язною.

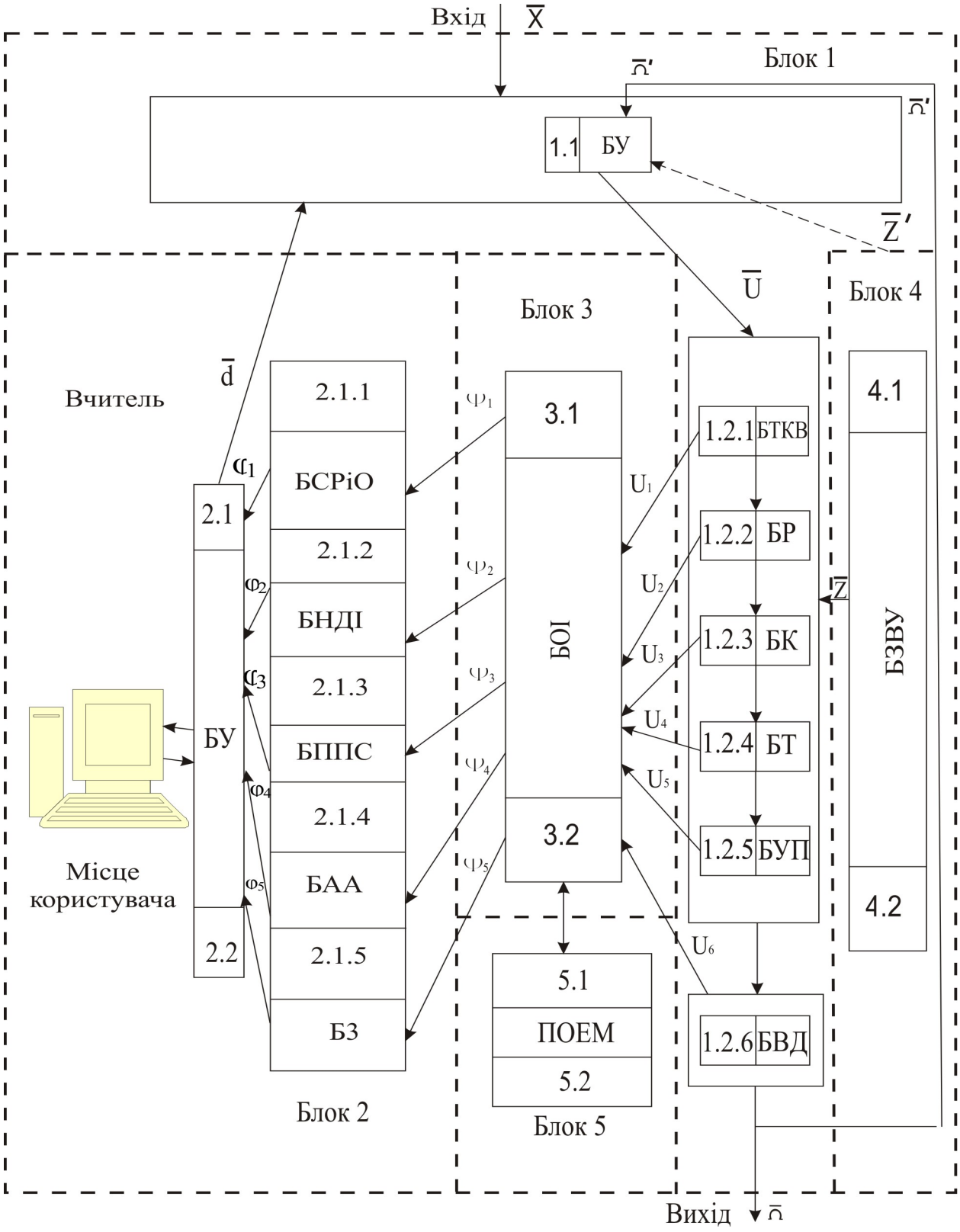


Рисунок 1 – Адаптивна модель підготовки виробництва і виготовлення деталей штампів ХЛШ

Ієрархічна система потенційно управляєма в стані x, коли існує таке управління $z \in \psi(x)$, що $z(x) \in \psi(z(x))$, і цілком управляєма в стані x, якщо $\forall \omega \in \Omega \ \ \exists z \in \psi(x)$, то $z(\omega(x))$ – нерухома точка відображення φ.

У загальному випадку під управлінням ієрархічної системи можна розуміти кінцеву послідовність управлінь $z_1, z_2, \ldots, z_p$, яка приводить стан x системи в стан x_p такий що $z_i(x) = x_1,\ z_l(x_{l-1}) = x_l \ \ (l = 1, 2, \ldots, h)$.

Для розв'язання системи U необхідно, щоб $(F_{ix}\varphi_{11} \neq 0)$. Дійсно, якщо $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$ – нерухома крапка відображення φ, тоді $x_1 \in \varphi_1(x)$.

У силу визначення $\varphi_1 : \varphi_1(x) \cap \varphi_{11}(x_1) \neq 0$ і $\varphi_1(x) \subseteq \varphi_{11}(x_1)$, отже $x_1 \in \varphi_{11}(x_1)$.

Нехай $x_1, x_2, \ldots, x_n$ є непустими компактними випуклими множинами $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Тоді для того, щоб ієрархічна система (1) була розв'язною, досить, щоб відображення (2) φ_{ki} $(1 \le i,\ k \le n)$ були замкнутими і випуклими.

Дійсно, при цих умовах множина станів X ієрархічної системи є компактною випуклою множиною $x = \prod_{i=1}^{n} x_i$. У силу визначення відображень φ_j $(j = 1, 2, \ldots, n)$ для всіх $x \in X$ $\varphi_j(x)$ непустого і для кожного j $\exists_k : \varphi_j(x) = \bigcap_{i=1}^{k} \varphi_{ij}(x)$, тому для усіх $\varphi_j(x)$ є замкнутим, випуклим як непусте перетинання випуклих множин. Тоді відображення $\varphi = \underset{j=1}{\overset{n}{\Delta}} \varphi_j$ буде задовольняти умовам замкнутості і компактності. По теоремі Какутані про нерухомі крапки маємо: $F_{ix}\varphi \neq \varphi$.

На підставі адаптивної моделі, вектор станів А(вектор автоматизації і адаптації) і враховуючи змінний вектор D (дивись рисунок), вектор управління адаптивною системою U можливо представити у вигляді - математичної моделі (інтегрованої системи підготовки виробництва і виготовлення деталей штампів холодної листової штамповки) двох векторів:

$$U = F(A, X); \tag{4}$$

$$A = P(\varphi, \Psi, X, Z, D, \Omega); \tag{5}$$

звідси

$$U = F[P(\varphi, \Psi, X, Z, D, \Omega)\, X], \tag{6}$$

де P та F – позначення функцій.

Кожен з векторів може бути представлені у вигляді матриці або графа.

При створенні штампів потрібно використовувати велику кількість масивів даних у 10^6 і більше. У цьому випадку застосовуються просторові матриці.

Безумовно, у кожному випадку використовують: стандартизовану штампову оснастку, уніфікацію: використання блоків, пакетів і деталей для різних типорозмірів штампів і як висновок - застосовується високоточна вимірювальна техніка контролю, оскільки штампи є особливо точним інструментальним оснащенням [3,4].

Розроблена адаптивна модель буде включена у інтегровану наскрізну комп'ютерну технологію управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів холодної листової штамповки з використанням штамп – напівфабрикатів [5], що дає:

– керувати підготовкою виробництва та доробкою деталей штамп – напівфабрикатів, використовуючи наскрізну комп'ютерну технологію у автоматизованому режимі;

– застосувати безлюдну, безпаперову комп'ютерну технологію виготовлення деталей штампів на верстатах з ЧПУ, які керуються цеховою ПЕОМ;

– значно скоротити трудомісткість виробництва штампів за рахунок комплектування штампів по типорозмірам і, таким чином, збільшувати партії деталей штампів.

Висновки. Представлені в статті адаптивна модель та алгоритми, автоматизованого синтезу структури і властивостей управління гнучкими виробничими системами, забезпечують зниження тимчасових, трудомістких та грошових витрат.

Список літератури

1. Мессарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. - М.: Мир, 1978. -311с. .
2. Клещов Г. М. Математическая модель автоматизированной интегрированной системы подготовки производства штампов ХЛШ. Вісник, випуск № 29 Одеської державної академії будівництва та архітектури, Частина 2, Одеса: 2008.
3. Клещов Г.М. Роль стандартизації в підготовки виробництва штампів послідовної дії холодного листового штампування в сільгоспвиробництві //Аграрний вісник Причорномор'я: Збірн. наук. праць. Випуск 40.- Одеський державний аграрний університет. Одеса: 2007.- С. 136 – 143.
4. Квасников В. П., Клещёв Г. М. Роль стандартизации в подготовке производства штампов совмещённого действия ХЛШ. // Вісник інженерної академії України. -2008. - №1, С.168- 174.
5. Квасніков В.П., Коломієць Л.В., Клещов Г.М. та ін. Патент «Метод інтегрованої скрізної підготовки виробництва та виготовлення деталей штампів», № 48027 від 10.03.2010.

Г.Клещёв

Адаптивная модель управления подготовкой производства и изготовления деталей штампов ХЛШ

В статье рассмотрена модель адаптивной автоматизированной системы управления подготовкой производством штампов которая предназначена для сокращения сроков и трудовых расходов подготовки производства и изготовления штампов, а также разработка строго формализированного метода, основанного на теоретико-множинных конструкциях, что дает возможность наделять полученные конструкции конкретными математическими структурами, которые способствуют детальному получению конкретных результатов.

G .Kleschev

Adaptive case preproduction and making of details of stamps of KHLSH frame

In the article the model of adaptive automated control the system by preparation the production of stamps is considered which is intended for reduction of terms and labour charges of preproduction and making of stamps, and also development of the strictly formalized method, based on teoretiko-mnozhinnikh constructions, that enables to provide with the got constructions concrete mathematical structures which are instrumental in the detailed receipt of concrete results.

Одержано 22.06.10

УДК 321.728

Ф.М. Капелюшний, доц., канд. техн. наук, Л.М.Кривоблоцька, доц., канд. физ.–мат. наук, С.Є.Катеринич, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Технологічний процес відновлення гільз циліндрів методом термопластичного деформування

В статті запропоновано нову технологію відновлення гільз циліндрів за допомогою термопластичного деформування поверхонь. Розроблено раціональний план операцій технологічного процесу відновлення гільз для впровадження на ремонтних підприємствах при серійному і багатосерійному типах відновлення деталей.
термопластичне деформування, технологія відновлення, процес охолодження, теплообмін, фазові перетворення

Результати проведених досліджень дозволили розробити і запропонувати нову технологію відновлення гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання методом термопластичного деформування. При цьому розроблене і запропоноване у виробництво технологічне оснащення для реалізації даної технології.

Розроблена технологія відновлення гільз циліндрів включає ряд операцій, що виконуються відповідно до схеми на рис. 1.



Рисунок 1 – Схема технологічного процесу відновлення гільз циліндрів методом термопластичного деформування

Дефектування проводиться зовнішнім оглядом і обміром з метою вибраковування гільз, непридатних до відновлення. Не підлягають відновленню гільзи, що мають наступні дефекти: тріщини, обломи будь-якого характеру та розташування, корозійне та кавітаційне руйнування зовнішньої поверхні гільзи глибиною більше 3 мм, діаметральний знос внутрішньої поверхні більше 0,5 мм.

© Ф.М. Капелюшний, Л.М.Кривоблоцька, С.Є.Катеринич, 2010

Процес термопластичного деформування гільз циліндрів здійснюється наступним чином (рис. 2, а) [1].

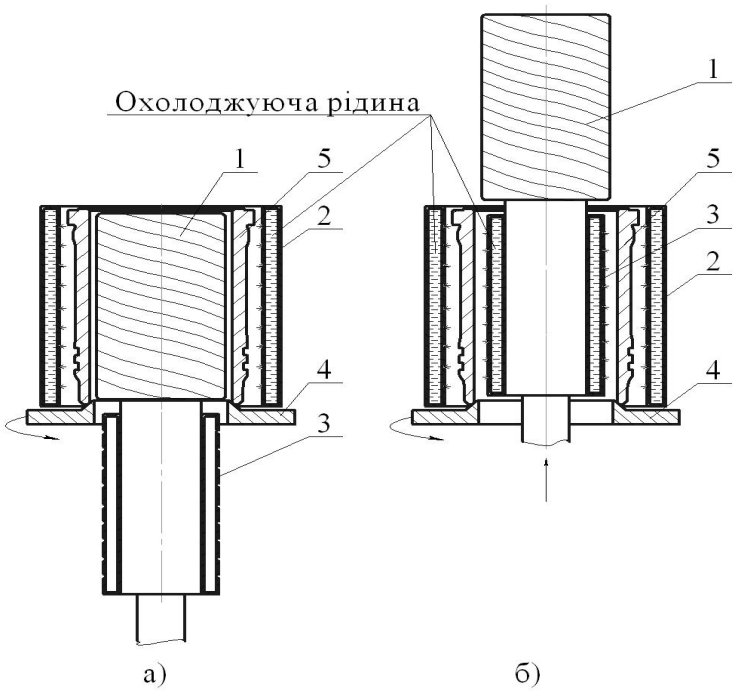


Рисунок 2 – Схема технологічного процесу термопластичного деформування гільз циліндрів

Гільзу 5 нижнім кінцем встановлюють на механізм обертання 4 так, що ззовні деталі знаходиться зовнішній спрейєр 2, а в середині – джерело нагрівання 1, яке виконане таким чином, що різна кількість теплоти нагрівача заздалегідь нерівномірно розподілена по твірній внутрішньої спрацьованої поверхні в залежності від величини її зносу. Коли температура на зовнішній поверхні гільзи сягає 450°С, вмикається зовнішній спрейєр імпульсної дії 2 і підтримує її температуру в межах 400…450°С цим самим запобігає її деформації в бік збільшення діаметру. Для рівномірності нагріву та охолодження деталі по колу, їй надають обертальний рух за допомогою механізму обертання 4. Внутрішня поверхня продовжує нагріватися до температури 730…750°С. Направлений тепловий потік джерела нагрівання 1 нагріває деталь від центра до периферії. Цей процес призводить до поступового утворення теплового вісесиметричного градієнта великої крутизни. При чому, у верхній частині гільзи 5 температура нагрівання ще з самого початку процесу відновлення більша ніж у нижній частині, а отже, має місце осьовий градієнт температур.

Досягнувши заданих температур, матеріал гільзи переходить у пластичний стан і під дією градієнта температур в металі проходять пластичні деформації, які мають напрям від менш нагрітої до більш нагрітої ділянки. Тобто, матеріал з менш прогрітих ділянок, де менша величина зносу перерозподіляється в зону більшого нагріву, де більший знос. Паралельно з цим у внутрішніх шарах матеріалу спостерігатиметься явище часткової графітизації, при якому величина приросту об’єму визначається кількістю вуглецю, що перейшов із цементиту в графіт, зменшуючи при цьому внутрішній діаметр гільзи.

Деталь утримують в такому стані певний час в залежності від величини зносу. Після того як внутрішній діаметр в зоні найбільшого зносу досягне номінальних значень, джерело нагрівання вимикається і переміщується за межі гільзи 5, а внутрішній спрейєр 3 займає його місце (рис. 2, б) і одразу вмикається. Відбувається процес гартування внутрішньої робочої поверхні деталі.

Таким чином, робоча поверхня відновленої гільзи суттєво не втрачає фізико-механічних властивостей і не потребує значних витрат на чистову обробку.

Величина пластичної деформації гільз циліндрів в коловому напрямку приймається рівною 0,7...0,8 мм, що дозволяє обробляти її під номінальний розмір.

Для нагрівання гільз циліндрів може використовуватися керамічне осердя з навитою ніхромовою спіраллю на бічній його поверхні. Витки спіралі по висоті осердя розміщуються з різним кроком навивки, в залежності від ступеня зносу гільзи.

Для відновлення посадочних поясочків гільз циліндрів розроблена і впроваджена у виробництво технологія контактного приварювання присадного матеріалу [3]. Відновлення здійснюється на установці 011-01-10 сталевою холоднокатаною стрічкою з низьковуглецевої сталі (наприклад, стрічкою 08кп-М-2-08×90 ГОСТ 503-81). Приварювання проводиться кільцевими замкнутими швами. До місця контакту електродів з гільзою подається вода для охолоджування в кількості 2,5...3 л/хв. Час зварювання – 0,03 с, проковування – 0,02 с, пауза - 0,05 с. Частота обертання гільзи $n = 1,5$ хв$^{-1}$.

Для відновлення посадочних поясочків розроблена також технологія легко-плазмового напилення на установці моделі 15В-Г порошком ПГ-10Н-04 [2].

Механічна обробка гільз циліндрів здійснюється добре відомими методами і засобами.

Після закінчення відновлення гільзи циліндра проводиться контрольна операція. При цьому перевіряються параметри гільзи по ремонтному кресленню завода.

Список літератури

1. А.с. u2006 12664, кл. B23 P 6/02. Спосіб відновлення спрацьованої внутрішньої циліндричної поверхні з нерівномірним зносом по висоті, переважно чавунних та сталевих деталей. / Капелюшний Ф.М., Аулін В.В., Калита М.М., Жулай О.Ю./ - № 24912; Заявл. 01.12.2006; Опубл. 25.07.2007, Бюл. №11, 2007. – 3с.
2. 2 Меркулов Е.П. Изучение возможностей номенклатуры и разработка режимов восстановления деталей способом газо-термического напыления: Отчет по НИР/ , Ж.С.Волчегорская, В.В.Анцупов. – Челябинск: УфНИИАТ, 1988. – 58с.
3. 3 Комплект документов на ГТП восстановления деталей автомобиля КамАЗ контактной приваркой присадочного материла: Отчёт по НИР / Е.П.Меркулов. Челябинск: УфНИИАТ, 1991. – 38 с.

Ф. Капелюшный, Л. Кривоблоцкая, С. Катеринич

Технологический процесс восстановления гильз цилиндров методом термопластического деформирования

В статье предложена новая технология восстановления гильз цилиндров с помощью термопластического деформирования поверхностей. Разработан рациональный план операций технологического процесса восстановления гильз для внедрения на ремонтных предприятиях при серийном и многосерийном типах восстановления деталей.

F. Kapelushniy, L. Krivoblockaya, S. Katerinich

Technological process of proceeding in the shells of cylinders by the method of thermoplastic deformation

In the article new technology of proceeding in the shells of cylinders is offered by means of thermoplastic deformation of surfaces. The rational plan of operation of technological process of proceeding in shells is worked out for introduction on repair enterprises at the serial and serial types of proceeding in details.

Одержано 23.05.10

УДК 621.9.04

В.Н.Кропивный, проф., канд. техн. наук, И.В.Шепеленко, доц., канд. техн. наук, В.В.Черкун, инженер

Кировоградский национальный технический университет

Антифрикционные свойства поверхности при обработке ФАБВО

В статье представлены результаты исследований антифрикционных свойств поверхностей трения, обработанных ФАБВО. Доказано, что ФАБВО сокращает период приработки и интенсивность изнашивания соединения «сталь - бронза», а также улучшает их прирабатываемость. Это позволяет использовать данный метод для повышения износостойкости цапф шестерен гидронасосов.
приработка, износостойкость, ФАБВО, покрытие, цапфа шестерни

Актуальность. В проблеме повышения долговечности деталей машин важнейшую роль играют антифрикционные свойства их рабочих поверхностей: износостойкость, коэффициент трения, прирабатываемость и другие. Протекание процесса изнашивания во времени характеризуются тремя фазами: приработочный (начальный), нормальный (установившийся), предельный (катастрофический) износы. Нормальный износ тесно связан с процессом приработки, от условий приработки зависит износ всего периода эксплуатации. Указанное в полно мере относится к деталям шестеренного гидронасоса, в частности соединению цапфа шестерни – обойма (втулка), требующее при изготовлении и ремонте длительного периода приработки.

Одним из путей решения этой задачи является применение новых прогрессивных способов, в том числе и разработанного авторами финишной антифрикционной безабразивной вибрационной обработки (ФАБВО) [1], сущность которой состоит в том, что поверхность трения покрывается слоем латуни путем использования явления переноса металла при трении. При этом с целью повышения производительности процесса обработки инструменту дополнительно сообщается осцилляционное движение [2].

Данные о влиянии ФАБВО поверхностей на прирабатываемость и износостойкость отсутствуют. В связи с этим в работе проводилось исследование прирабатываемости и износостойкости поверхностей, обработанных ФАБВО.

Методика проведения исследований. Длительность приработки определялась временем от начала работы трущейся пары трения (ролик – кольцевой сектор) до момента перехода граничного трения в жидкостное по методике, изложенной в работе [3].

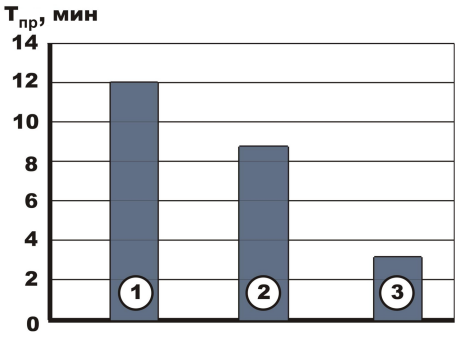
В качестве образцов использовались ролики, изготовленные из материала шестерни гидронасоса НШ 50А-3 – сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-71, предварительно обработанные чистовым точением, шлифованием, традиционным способом ФАБО и ФАБВО. Материал кольцевых секторов – бронза БрОЦС 5-5-5 ГОСТ 613-65.

Исследование износостойкости проводились на аналогичных образцах на модернизированной машине трения МИ-1М. Модернизация машины заключалась в увеличении точности замеров образцов в реальном диапазоне скоростей и нагрузок за счет введения плечевого рычага и микрометрической индикаторной головки.

Результаты исследований. Установлено, что период приработки образцов, обработанных методами ФАБО и ФАБВО (рис.1), существенно короче, чем обработанных шлифованием (при ФАБО образцов из стали 18ХГТ по сравнению с чистовым точением и шлифованием в 1,4 раза, а при ФАБВО – в 4 раза при трении с контртелом из бронзы БрОЦС

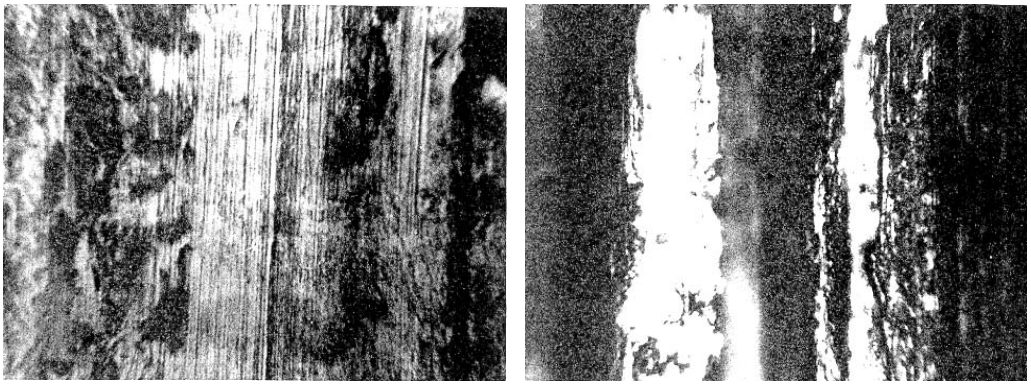
© В.Н.Кропивный, И.В.Шепеленко, В.В.Черкун, 2010

5-5-5). Фрагменты поверхностей трения стального ролика, обработанного ФАБВО, в начале и в конце испытаний трущихся поверхностей на прирабатываемость представлены на рис.2.



1 – чистовое точение и шлифование; 2 – чистовое точение и ФАБО; 3 – чистовое точение и ФАБВО

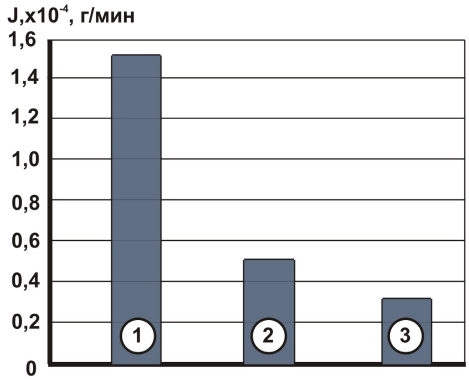
Рисунок 1 - Диаграмма длительности приработки $T_{пр}$ при различных способах обработки



а) б)

Рисунок 2 - Поверхность трения образцов из стали 18ХГТ, обработанных ФАБВО, в начале испытания на прирабатываемость (а) и после (б), ×250

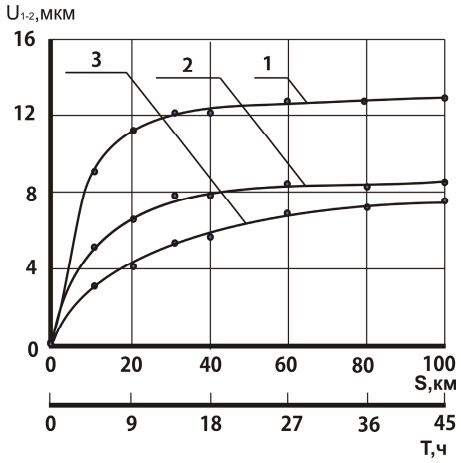
Финишная обработка (ФАБО и ФАБВО) значительно снижает интенсивность начального изнашивания поверхностных слоев по сравнению с образцами, обработанными чистовым точением и шлифованием (рис.3). На наш взгляд, это связано с наличием на поверхности стального образца латунного покрытия, улучшающего процесс приработки пары трения: ролик – кольцевой сектор. Снижение интенсивности изнашивания образцов, обработанных ФАБВО, по сравнению с образцами, обработанными ФАБО, можно объяснить получением более равномерного и плотного покрытия.



1 – чистовое точение и шлифование; 2 – чистовое точение и ФАБО; 3 – чистовое точение и ФАБВО

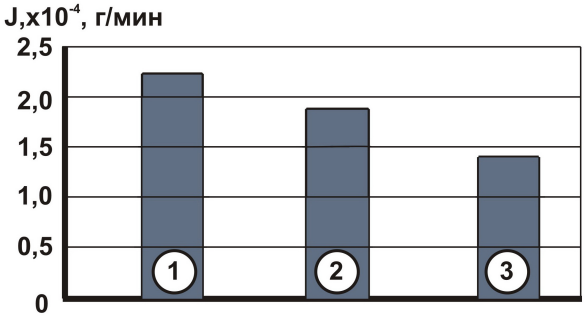
Рисунок 3 - Диаграмма интенсивности начального изнашивания J при различных способах обработки

Проведенные исследования показали, что использование в качестве финишной операции метода ФАБВО позволяет уменьшить износ (рис.4) и интенсивность изнашивания сопряжения при граничном (рис.5), а следовательно и при жидкостном трении.



1 - шлифование; 2 - ФАБО; 3 - ФАБВО (материалы: ролик - сталь 18ХГТ; сектор - бронза БрОЦС 5-5-5)

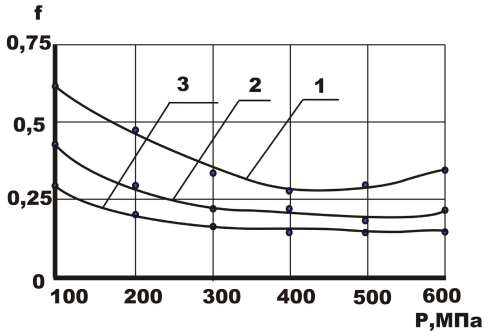
Рисунок 4 - Зависимость суммарного износа сопряжения U_{1-2} от пути S и времени T трения при различных способах обработки поверхности ролика



1 - шлифование; 2 - ФАБО; 3 - ФАБВО (материалы: ролик - сталь 18ХГТ; сектор - бронза БрОЦС 5-5-5)

Рисунок 5 - Диаграмма интенсивности суммарного изнашивания сопряжения при различных способах обработки поверхности ролика (граничное трение)

Повышение износостойкости образцов, подвергнутых ФАБВО, на наш взгляд, можно объяснить наличием сплошного латунного покрытия, снижающего коэффициент трения (рис.6).



1 - шлифование; 2 - ФАБО; 3 - ФАБВО

Рисунок 6 - Зависимость коэффициента трения от нагрузок при различных способах обработки

Выводы. Результаты исследований антифрикционных свойств поверхностей трения, обработанных ФАБВО, позволили заключить следующее.

1. Применение ФАБВО сокращает период приработки (в 1,4 раза по сравнению с образцами обработанными ФАБО и 4 раза - шлифованием), а также улучшает прирабатываемость пары трения «сталь - бронза».

2. Наличие сплошного латунного покрытия в соединении «сталь - бронза» снижает в 1,6 раза интенсивность изнашивания по сравнению с образцами, обработанными шлифованием и в 1,3 раза – ФАБО.

3. Предложенная технология нанесения приработочных покрытий путем ФАБВО позволяет использовать данный метод для повышения износостойкости цапф шестерен.

Список литературы

1. Декл. пат. 35859А Україна С23С20/00. Спосіб нанесення антифрикційних покриттів/ Черновол М.І., Черкун В.В., Наливайко В.М., Солових Є.К., Шепеленко І.В., Щербина А.М. (Україна). – №99010210; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3.
2. Декл. пат. 35858А Україна С23С20/00.Пристрій для фрикційно-механічного нанесення покриттів/ Черновол М.І., Черкун В.В., Наливайко В.М., Солових Є.К. (Україна). – №99010209; заявл. 14.01.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл.№3.
3. Наливайко В.Н., Шепеленко И.В., Русских В.В. Прирабатываемость поверхности с регулярным микрорельефом// Проблеми трибології (Problems of Tribology). 2001. - №1. – С.44-51.

В.Кропівний, І.Шепеленко, В.Черкун
Антифрикційні властивості поверхні при обробці ФАБВО

У статті наведені результати досліджень антифрикційних властивостей поверхонь тертя, оброблених ФАБВО. Доведено, що ФАБВО скорочує період припрацювання та інтенсивність зношування з'єднання «сталь - бронза», а також поліпшує їх припрацьовуваність. Це дозволяє використовувати даний метод для підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів.

V.Kropivniy, I.Shepelenko, V.Cherkun

Antifriktsionnie properties of surface at the FABVO treatment

In the article the results of researches of antifriktsionnih properties of surfaces of friction, treated FABVO are presented. It is proved, that FABVO abbreviates the period of earning extra money and intensity of wear of connection «steel - bronze», and also prirabativaemost improves them. It allows to use the given method for the rise of wearproof of pins of cog-wheels of gidronasosov.

Одержано 25.05.10

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук
Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Вплив попереднього навантаження на просторову жорсткість робочого органа верстата з механізмом паралельної структури

Визначено матриці жорсткості окремих ланок та загальну матрицю жорсткості робочого органа просторового механізму паралельної структури з ланками змінної довжини. Розглянуто вплив величини навантаження на просторову жорсткість.

механізм паралельної структури, матриця жорсткості, навантаження

Одним з важливих показників матеріалообробного технологічного обладнання, що впливає на точність обробки та якість обробленої поверхні, є жорсткість. На відміну від традиційного обладнання, жорсткість обладнання з механізмами паралельної структури носить складний просторовий характер, і для її опису використовується матриця просторової жорсткості [1].

У [2] показано, що матриця просторової жорсткості системи з n пружних ланок дорівнює сумі матриць жорсткості окремих ланок

$$K_O = \sum_{i=1}^{n} K_i \,, \tag{1}$$

де K_i – матриці жорсткості окремих ланок, що визначаються за формулою

$$K_i = k_i \mathbf{N}_i \mathbf{N}_i^T \,, \tag{2}$$

де k_i – жорсткість ланки;

$\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_i \\ \mathbf{b}_i \times \mathbf{n}_i \end{bmatrix}$ для ланки у вигляді лінійної пружини або $\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_i \end{bmatrix}$ для ланки у вигляді крутильної пружини;

© А.М. Кириченко, 2010

У статті наведені результати досліджень антифрикційних властивостей поверхонь тертя, оброблених ФАБВО. Доведено, що ФАБВО скорочує період припрацювання та інтенсивність зношування з'єднання «сталь - бронза», а також поліпшує їх припрацьовуваність. Це дозволяє використовувати даний метод для підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів.

V.Kropivniy, I.Shepelenko, V.Cherkun

Antifriktsionnie properties of surface at the FABVO treatment

In the article the results of researches of antifriktsionnih properties of surfaces of friction, treated FABVO are presented. It is proved, that FABVO abbreviates the period of earning extra money and intensity of wear of connection «steel - bronze», and also prirabativaemost improves them. It allows to use the given method for the rise of wearproof of pins of cog-wheels of gidronasosov.

Одержано 25.05.10

УДК 621.01-621.9.06

А.М. Кириченко, доц., канд. техн. наук
Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Вплив попереднього навантаження на просторову жорсткість робочого органа верстата з механізмом паралельної структури

Визначено матриці жорсткості окремих ланок та загальну матрицю жорсткості робочого органа просторового механізму паралельної структури з ланками змінної довжини. Розглянуто вплив величини навантаження на просторову жорсткість.

механізм паралельної структури, матриця жорсткості, навантаження

Одним з важливих показників матеріалообробного технологічного обладнання, що впливає на точність обробки та якість обробленої поверхні, є жорсткість. На відміну від традиційного обладнання, жорсткість обладнання з механізмами паралельної структури носить складний просторовий характер, і для її опису використовується матриця просторової жорсткості [1].

У [2] показано, що матриця просторової жорсткості системи з n пружних ланок дорівнює сумі матриць жорсткості окремих ланок

$$K_O = \sum_{i=1}^{n} K_i \,, \tag{1}$$

де K_i – матриці жорсткості окремих ланок, що визначаються за формулою

$$K_i = k_i \mathbf{N}_i \mathbf{N}_i^T \,, \tag{2}$$

де k_i – жорсткість ланки;

$\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_i \\ \mathbf{b}_i \times \mathbf{n}_i \end{bmatrix}$ для ланки у вигляді лінійної пружини або $\mathbf{N}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{n}_i \end{bmatrix}$ для ланки у вигляді крутильної пружини;

© А.М. Кириченко, 2010

$\mathbf{n}_i$ – одиничний вектор осі ланки;

$\mathbf{b}_i$ – радіус-вектор точки прикріплення ланки.

Проте наведені залежності справедливі за умови відсутності зовнішнього навантаження, а в реальних конструкціях присутня сила ваги робочого органа та рухомих ланок, що може вплинути на параметри просторової жорсткості. В зв'язку з цим постає задача визначення матриці жорсткості просторового механізму паралельної структури при наявності попереднього навантаження та оцінки його впливу на величину жорсткості.

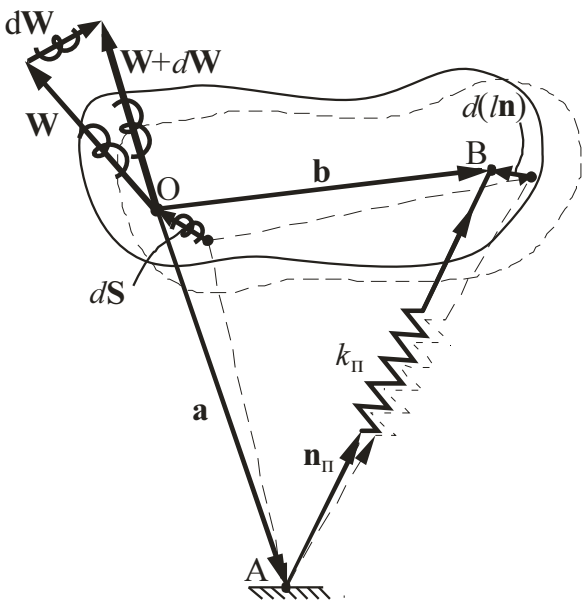


Рисунок 1 – Схема до визначення матриці жорсткості пружної ланки змінної довжини

Розглянемо окрему ланку змінної довжини з одиничним вектором $\mathbf{n}_{\text{п}}$, прикріплену до основи у точці А, заданій радіус-вектором $\mathbf{a}$, та до рухомого тіла у точці В, заданій радіус-вектором $\mathbf{b}$ (рис. 1). Нехай у початку координат до рухомого тіла прикладене просторове навантаження у вигляді вектора шостого порядку $\mathbf{W} = \left(\mathbf{f}^T \ \mathbf{m}^T\right)^T$, де $\mathbf{f} = \left(P_x, P_y, P_z\right)^T$ – вектор сил, $\mathbf{m} = \left(M_x, M_y, M_z\right)^T$ – вектор моментів. Малі відносні переміщення описуються вектором шостого порядку $d\mathbf{S} = \left(d\mathbf{r}^T \ \delta\boldsymbol{\theta}^T\right)^T$, який фактично представляє собою диференціал шестивимірного вектора квазікоординат ($d\mathbf{r} = \left(dx, dy, dz\right)^T$ – вектор малих лінійних переміщень, $\delta\boldsymbol{\theta} = \left(\delta\theta_x, \delta\theta_y, \delta\theta_z\right)^T$ – вектор малих поворотів рухомого тіла).

Відносне подовження ланки під навантаженням $\mathbf{W}$ складає $\varepsilon = l/l_0$, де l_0 – початкова довжина ланки, l – довжина ланки у навантаженому стані. Нескінченно малі зміни довжини ланки dl, викликані нескінченно малими змінами навантаження $d\mathbf{W}$, необхідно віднести до нескінченно малих переміщень рухомого тіла $d\mathbf{S}$. Матриця жорсткості в даному випадку пов'язує між собою нескінченно малі відносні переміщення та нескінченно малі зміни прикладеного навантаження відносно початку координат

$$d\mathbf{W} = K\, d\mathbf{S}. \tag{3}$$

При переході від точки О до точки В рухомого тіла вектор повороту $\delta\boldsymbol{\theta}$ залишається незмінним, а вектор переміщення $d\mathbf{r}$ змінюється з врахуванням паралельного переносу

$$d\mathbf{r}_B = d\mathbf{r} - \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}. \tag{4}$$

Оскільки точка А нерухома, то відносно нерухомої системи координат

$$d\mathbf{r}_B = d\left(l\mathbf{n}\right). \tag{5}$$

Згідно з правилами диференціювання

$$d\left(l\mathbf{n}\right) = dl\,\mathbf{n} + l\,d\mathbf{n}. \tag{6}$$

Тоді

$$dl\mathbf{n} + l\,d\mathbf{n} = d\mathbf{r} - \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}. \tag{7}$$

Звідси

$$d\mathbf{r} = dl\mathbf{n} + l\,d\mathbf{n} + \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}. \tag{8}$$

Підставляючи у (3), одержуємо

$$d\mathbf{S} = \begin{bmatrix} dl\,\mathbf{n} + l\,d\mathbf{n} + \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta} \\ \delta\boldsymbol{\theta} \end{bmatrix}. \tag{9}$$

Навантаження $\mathbf{W}$ визначається як

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{a}\times\mathbf{f} \end{bmatrix} = k(l - l_0)\mathbf{N} = k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\mathbf{N}, \tag{10}$$

де k – осьова жорсткість ланки;

$\mathbf{N}$ – нормалізований вектор плюкерових координат ланки

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} \\ \mathbf{a}\times\mathbf{n} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} \\ \mathbf{b}\times\mathbf{n} \end{bmatrix}. \tag{11}$$

Тоді

$$\mathbf{N}^T d\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} \\ \mathbf{b}\times\mathbf{n} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} dl\,\mathbf{n} + l\,d\mathbf{n} + \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta} \\ \delta\boldsymbol{\theta} \end{bmatrix} = dl\,\mathbf{n}^T\mathbf{n} + l\,\mathbf{n}^T d\mathbf{n} + \mathbf{n}^T(\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}) + (\mathbf{b}\times\mathbf{n})^T\delta\boldsymbol{\theta} = \tag{12}$$

$$= dl\,\mathbf{n}^T\mathbf{n} + l\,\mathbf{n}^T d\mathbf{n} + \mathbf{n}\cdot(\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}) - (\mathbf{n}\times\mathbf{b})\cdot\delta\boldsymbol{\theta} = dl\,\mathbf{n}^T\mathbf{n} + l\,\mathbf{n}^T d\mathbf{n} + \mathbf{n}\cdot(\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}) - (\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta})\cdot\mathbf{n}.$$

Оскільки $\mathbf{n}^T\mathbf{n} = 1$, $\mathbf{n}^T d\mathbf{n} = 0$, а $\mathbf{n}\cdot(\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}) = (\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta})\cdot\mathbf{n}$ згідно циклічним властивостям змішаного добутку [3], одержуємо

$$\mathbf{N}^T d\mathbf{S} = dl\,. \tag{13}$$

Іншу залежність можна вивести з (11) та (4)

$$d(l\,\mathbf{N}) = \begin{bmatrix} d(l\,\mathbf{n}) \\ \mathbf{a}\times d(l\,\mathbf{n}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d\mathbf{r} - \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta} \\ \mathbf{a}\times(d\mathbf{r} - \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d\mathbf{r} - \mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta} \\ \mathbf{a}\times d\mathbf{r} - \mathbf{a}\times\mathbf{b}\times\delta\boldsymbol{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E & -[\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix} d\mathbf{S}, \tag{14}$$

де E – одинична матриця;

$[\mathbf{a}]_\times$, $[\mathbf{b}]_\times$ – породжені векторними добутками кососиметричні матриці [3], наприклад

$$[\mathbf{b}]_\times = \begin{bmatrix} 0 & -b_3 & b_2 \\ b_3 & 0 & -b_1 \\ -b_2 & b_1 & 0 \end{bmatrix}. \tag{15}$$

Згідно з (10), нескінченно мала зміна навантаження дорівнює

$$d\mathbf{W} = d(k(l - l_0)\mathbf{N}) = k\left[\mathbf{N}dl + \left(1 - \varepsilon^{-1}\right)l\,d\mathbf{N}\right]. \tag{16}$$

Враховуючи, що $d(l\,\mathbf{N}) = dl\,\mathbf{N} + l\,d\mathbf{N}$, маємо

$$d\mathbf{W} = k\mathbf{N}dl + k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\left[d(l\,\mathbf{N}) - dl\,\mathbf{N}\right] = k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}dl + k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)d(l\,\mathbf{N}). \tag{17}$$

З врахуванням (13) та (14)

$$d\mathbf{W} = k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T d\mathbf{S} + k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\begin{bmatrix} E & -[\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix} d\mathbf{S}. \tag{18}$$

Тоді згідно з (3) матриця жорсткості дорівнює

$$K = k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T + k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\begin{bmatrix} E & -[\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix}. \tag{19}$$

Матриця жорсткості представляє собою суму двох матриць, перша з яких симетрична внаслідок симетрії $\mathbf{N}\mathbf{N}^T$, а друга несиметрична внаслідок нерівності векторів $\mathbf{a}$ та $\mathbf{b}$. Якщо ланка знаходиться в початковому недеформованому стані ($l = l_0$, $\varepsilon = 1$), друга частина (19) обертається на нуль, а матриця жорсткості стає симетричною

$$K = k\,\varepsilon^{-1}\,\mathbf{N}\mathbf{N}^T. \tag{20}$$

Якщо кожна ланка знаходиться у початковому недеформованому стані, матриця жорсткості приймає вигляд (1).

Підставляючи (11) у (19), одержимо блочний вигляд матриці жорсткості

$$K = k\varepsilon^{-1}\begin{bmatrix} \mathbf{n} \\ \mathbf{a}\times\mathbf{n} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \mathbf{n}^T & (\mathbf{a}\times\mathbf{n})^T \end{bmatrix} + k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\begin{bmatrix} E & -[\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix} = .$$

$$= \begin{bmatrix} k\varepsilon^{-1}\mathbf{n}\mathbf{n}^T + k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)E & -k\varepsilon^{-1}\mathbf{n}\mathbf{n}^T[\mathbf{a}]_\times - k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)[\mathbf{b}]_\times \\ k\varepsilon^{-1}[\mathbf{a}]_\times\mathbf{n}\mathbf{n}^T + k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)[\mathbf{a}]_\times & -k\varepsilon^{-1}[\mathbf{a}]_\times\mathbf{n}\mathbf{n}^T[\mathbf{a}]_\times - k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix}. \quad (21)$$

Структура матриці жорсткості часто розглядається у вигляді блоків 3×3 [4]

$$K = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}, \quad (22)$$

Тоді

$$A = k\left(\varepsilon^{-1}\mathbf{n}\mathbf{n}^T + \left(1-\varepsilon^{-1}\right)E\right) = k\left(\varepsilon^{-1}\left(\mathbf{n}\mathbf{n}^T - E\right) + E\right) = k\left(\varepsilon^{-1}[\mathbf{n}]_\times[\mathbf{n}]_\times + E\right), \quad (23)$$

$$B = -k\left(\varepsilon^{-1}\mathbf{n}\mathbf{n}^T[\mathbf{a}]_\times - \left(1-\varepsilon^{-1}\right)[\mathbf{b}]_\times\right), \quad (24)$$

$$C = k\left(\varepsilon^{-1}[\mathbf{a}]_\times\mathbf{n}\mathbf{n}^T + [\mathbf{a}]_\times - \varepsilon^{-1}[\mathbf{a}]_\times\right) = k\left(\varepsilon^{-1}[\mathbf{a}]_\times\left(\mathbf{n}\mathbf{n}^T - E\right) + [\mathbf{a}]_\times\right) = k[\mathbf{a}]_\times\left(\varepsilon^{-1}[\mathbf{n}]_\times[\mathbf{n}]_\times + E\right), \quad (25)$$

$$D = -k[\mathbf{a}]_\times\left(\varepsilon^{-1}\mathbf{n}\mathbf{n}^T[\mathbf{a}]_\times - k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)[\mathbf{b}]_\times\right). \quad (26)$$

Можна помітити, що підматриця сполучної жорсткості дорівнює моменту підматриці поступальної жорсткості $C = -[\mathbf{a}]_\times A$, а підматриця крутильної жорсткості визначається моментом підматриці сполучної жорсткості $D = [\mathbf{a}]_\times B$, подібно до випадку відсутності попереднього навантаження [2].

Знайдемо симетричну частину матриці жорсткості

$$K_{\text{сим}} = \frac{K + K^T}{2} =$$

$$= \frac{k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T + \left(k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T\right)^T}{2} + \frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} E+E & -[\mathbf{b}]_\times + \left([\mathbf{a}]_\times\right)^T \\ [\mathbf{a}]_\times + \left(-[\mathbf{b}]_\times\right)^T & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times + \left(-[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times\right)^T \end{bmatrix}. \quad (27)$$

Враховуючи симетрію першої частини матриці та деякі правила теорії матриць

$$K_{\text{сим}} = k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T + \frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} 2E & -[\mathbf{a}]_\times - [\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times + [\mathbf{b}]_\times & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times - [\mathbf{b}]_\times[\mathbf{a}]_\times \end{bmatrix}. \quad (28)$$

Знайдемо асиметричну частину матриці жорсткості

$$K_{\text{асим}} = \frac{K - K^T}{2} =$$

$$= \frac{k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T - \left(k\varepsilon^{-1}\mathbf{N}\mathbf{N}^T\right)^T}{2} + \frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} E-E & -[\mathbf{b}]_\times - \left([\mathbf{a}]_\times\right)^T \\ [\mathbf{a}]_\times - \left(-[\mathbf{b}]_\times\right)^T & -[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times - \left(-[\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times\right)^T \end{bmatrix} =$$

$$= \frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} 0 & [\mathbf{a}]_\times - [\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}]_\times - [\mathbf{b}]_\times & [\mathbf{b}]_\times[\mathbf{a}]_\times - [\mathbf{a}]_\times[\mathbf{b}]_\times \end{bmatrix} = \frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} 0 & [\mathbf{a}-\mathbf{b}]_\times \\ [\mathbf{a}-\mathbf{b}]_\times & [\mathbf{b}\times\mathbf{a}]_\times \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Якщо врахувати, що $\mathbf{b} - \mathbf{a} = l\mathbf{n}$, а $\mathbf{a}\times\mathbf{b} = \mathbf{a}\times l\mathbf{n}$ (оскільки площа паралелограма, утвореного векторами $\mathbf{a}$ та $\mathbf{b}$, дорівнює площі паралелограма з векторів $\mathbf{a}$ та $l\mathbf{n}$), маємо

$$K_{\text{асим}} = -\frac{k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)}{2}\begin{bmatrix} 0 & [l\mathbf{n}]_\times \\ [l\mathbf{n}]_\times & [\mathbf{a}\times l\mathbf{n}]_\times \end{bmatrix}. \quad (30)$$

Оскільки $k\left(1-\varepsilon^{-1}\right)l\mathbf{n} = \mathbf{f}$,

$$K_{\text{асим}} = -\frac{1}{2}\begin{bmatrix} 0 & [\mathbf{f}]_\times \\ [\mathbf{f}]_\times & [\mathbf{a}\times\mathbf{f}]_\times \end{bmatrix}. \quad (31)$$

Таким чином, асиметрична частина матриці жорсткості пропорційна зовнішньому навантаженню із від'ємним знаком. Позадіагональні блоки дорівнюють кососиметричній матриці, утвореній вектором сили, верхній діагональний блок нульовий (тобто підматриця поступальної жорсткості завжди симетрична), а нижній діагональний блок представляє собою момент вектору сили відносно початку координат у вигляді кососиметричної матриці.

Фактично вираз (31) представляє собою половину навантаження, вираженого у формі оператора просторового векторного добутку [5].

Подібно до (1), матриця жорсткості системи *n* пружних ланок дорівнює сумі матриць жорсткості окремих ланок

$$K_O = \sum_{i=1}^{n} k_i \left[\varepsilon_i^{-1} \mathbf{N}_i \mathbf{N}_i^T + \left(1 - \varepsilon_i^{-1}\right) U_i \right], \tag{32}$$

де $U_i = \begin{bmatrix} E & -[\mathbf{b}_i]_\times \\ [\mathbf{a}_i]_\times & -[\mathbf{a}_i]_\times [\mathbf{b}_i]_\times \end{bmatrix}$.

Відносне подовження ланок можна визначити як

$$\varepsilon_i = 1 - \frac{F_i}{k_i \cdot l_i}, \tag{33}$$

де F_i – зусилля у ланці;

k_i – жорсткість ланки;

l_i – довжина ланки.

У [4] показано, що силові співвідношення механізму паралельної структури з ланками змінної довжини можна характеризувати за допомогою якобіана, тобто

$$\mathbf{W} = J^{-T} \mathbf{F}, \tag{34}$$

де $\mathbf{W}$ – навантаження на робочий орган;

$\mathbf{F}$ – вектор зусиль у ланках;

J^{-T} – транспонований якобіан зворотної кінематичної залежності.

Тоді

$$\mathbf{F} = J^T \mathbf{W}, \tag{35}$$

де J^T – транспонований якобіан прямої кінематичної залежності.

Різниця між підматрицями поступальної жорсткості навантаженої та ненавантаженої ланок дорівнює

$$\Delta K_{\text{п}} = K_{\text{п}} - K_{\text{п}0} = k\left(\varepsilon^{-1} \mathbf{n}\mathbf{n}^T + \left(1 - \varepsilon^{-1}\right)E\right) - k\mathbf{n}\mathbf{n}^T = k\left(1 - \varepsilon^{-1}\right)\left(E - \mathbf{n}\mathbf{n}^T\right), \tag{36}$$

а для механізму паралельної структури в цілому

$$\Delta K_{\text{п}} = k \sum_{i=1}^{n} \left(1 - \varepsilon_i^{-1}\right)\left(E - \mathbf{n}_i \mathbf{n}_i^T\right). \tag{37}$$

Розглянемо гексапод структури 3×3 у центральному положенні з радіусом розміщення шарнірів основи $R_A = 0{,}5$ м, рухомої платформи $R_B = 0{,}25$ м, відстань між основою та рухомою платформою складає $z_0 = 0{,}5$ м, а жорсткість штанг приймаємо 100 Н/мкм=10^8 Н/м. Відповідно до залежностей [4] довжина ланок у центральному положенні складає $l = 0{,}661$ м, а якобіан зворотної кінематичної залежності дорівнює

$$J = \begin{pmatrix} 0.327 & -0.327 & 0.655 & 0.655 & 0.327 & -0.327 \\ 0.567 & 0.567 & 0 & 0 & 0.567 & -0.567 \\ 0.756 & 0.756 & 0.756 & 0.756 & 0.756 & 0.756 \\ 0.378 & -0.189 & -0.189 & -0.189 & -0.189 & 0.378 \\ 0 & -0.327 & -0.327 & 0.327 & 0.327 & 0 \\ -0.164 & 0.164 & -0.164 & 0.164 & -0.164 & 0.164 \end{pmatrix}.$$

Приймаємо, що у центрі робочого органа прикладені сили величиною 1000 Н у кожному координатному напрямку, тоді вектор навантаження дорівнює

$$\mathbf{W}^T = \begin{pmatrix} 1000 & 1000 & 1000 & -500 & 500 & 0 \end{pmatrix}.$$

Зусилля у ланках розрахуємо згідно з (35)

$$\mathbf{F}^T = (34.1 \quad 406.9 \quad -288.7 \quad 729.7 \quad 916 \quad -475.1).$$

Тоді відносні деформації згідно з (33) дорівнюють

$$\varepsilon = (0.99999948 \;\; 0.99999385 \;\; 1.00000436 \;\; 0.99998897 \;\; 0.99998615 \;\; 1.00000718).$$

Визначаємо матрицю жорсткості згідно з (32)

$$K = \begin{pmatrix} 1.286\cdot10^{8} & -1.714\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} & 714.319 & 6.428\cdot10^{7} & 1.143\cdot10^{3} \\ -1.714\cdot10^{3} & 1.286\cdot10^{8} & 1.143\cdot10^{3} & -6.429\cdot10^{7} & -714.319 & -1.143\cdot10^{3} \\ 1.143\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} & 3.429\cdot10^{8} & -1.429\cdot10^{3} & 1.429\cdot10^{3} & 5.942\cdot10^{-7} \\ 714.319 & -6.429\cdot10^{7} & -428.574 & 4.286\cdot10^{7} & 517.875 & -500.01 \\ 6.429\cdot10^{7} & -714.319 & 428.618 & 517.875 & 4.286\cdot10^{7} & -500.003 \\ 142.858 & -142.939 & 5.979\cdot10^{-7} & 0.044 & 5.548\cdot10^{-9} & 1.607\cdot10^{7} \end{pmatrix}.$$

Симетрична та асиметрична частини матриці жорсткості

$$\frac{K+K^T}{2} = \begin{pmatrix} 1.286\cdot10^{8} & -1.714\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} & 714.319 & 6.428\cdot10^{7} & 642.861 \\ -1.714\cdot10^{3} & 1.286\cdot10^{8} & 1.143\cdot10^{3} & -6.429\cdot10^{7} & -714.319 & -642.916 \\ 1.143\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} & 3.429\cdot10^{8} & -928.578 & 928.595 & 5.96\cdot10^{-7} \\ 714.319 & -6.429\cdot10^{7} & -928.578 & 4.286\cdot10^{7} & 517.875 & -249.983 \\ 6.428\cdot10^{7} & -714.319 & 928.595 & 517.875 & 4.286\cdot10^{7} & -250.002 \\ 642.861 & -642.916 & 5.96\cdot10^{-7} & -249.983 & -250.002 & 1.607\cdot10^{7} \end{pmatrix},$$

$$\frac{K+K^T}{2} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -500.117 & 500.003 \\ 0 & 0 & 0 & 500.117 & 0 & -499.977 \\ 0 & 0 & 0 & -500.003 & 499.977 & 0 \\ 0 & -500.117 & 500.003 & 0 & 0 & -250.027 \\ 500.117 & 0 & -499.977 & 0 & 0 & -250.002 \\ -500.003 & 499.977 & 0 & 250.027 & 250.002 & 0 \end{pmatrix}.$$

Бачимо, що асиметрична частина матриці жорсткості з урахуванням похибок обчислення дорівнює половині зовнішнього навантаження, вираженій у операторній формі (31).

Визначимо різницю між матрицями поступальної жорсткості навантаженої та ненавантаженої системи. Для розглянутого гексапода вона буде дорівнювати

$$\Delta K_{\text{п}} = \begin{pmatrix} -3.286\cdot10^{3} & -1.714\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} \\ -1.714\cdot10^{3} & 142.5 & 1.143\cdot10^{3} \\ 1.143\cdot10^{3} & 1.143\cdot10^{3} & -857.344 \end{pmatrix}.$$

Максимальна відносна зміна координатної жорсткості внаслідок навантаження спостерігається у напрямку осі X і дорівнює $\Delta K_{1,1}/K_{1,1} = -2.556\cdot10^{-5}$. Отже, зміною жорсткості внаслідок попереднього навантаження можна знехтувати.

Висновки:

1. При наявності попереднього навантаження матриця жорсткості стає асиметричною, причому її асиметрична частина пропорційна зовнішньому навантаженню із від'ємним знаком.
2. Встановлено залежності для визначення відносних деформацій ланок та матриці жорсткості попередньо навантаженого механізму паралельної структури з ланками змінної довжини.

3. При високій жорсткості ланок змінами матриці жорсткості внаслідок попереднього навантаження (наприклад, викликаного силами ваги робочого органа верстата), можна знехтувати.

Список літератури

1. Кириченко А.М. Показники жорсткості верстатного обладнання з паралельною кінематикою / А.М. Кириченко // Збірник наукових праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С.272-282.
2. Кириченко А.М. Матриця жорсткості просторових механізмів паралельної структури з пружними ланками / А.М. Кириченко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин / Вип. 40, ч. І. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 256-262.
3. Кочин Н.Е. Векторное исчисление и начала тензорного исчисления / Кочин Н.Е. – М.: Наука, 1965. – 426 с.
4. Струтинський В.Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В.Б. Струтинський, А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету України „Київський політехнічний інститут”. Серія „Машинобудування”. – 2009. – №57. – С. 198-207.
5. Featherstone R. Rigid Body Dynamics Algorithms / R. Featherstone. – New York: Springer, 2008. – 272 p.

А.Кириченко

Влияние предварительного нагружения на пространственную жесткость рабочего органа станка с механизмом параллельной структуры

Определены матрицы жесткости отдельных звеньев и общая матрица жесткости пространственного механизма со звеньями переменной длины в случае наличия предварительной нагрузки. Рассмотрено влияние величины нагрузки на пространственную жесткость.

A.Kyrychenko

The impact of preload upon spatial stiffness of end effector of PKM-based machine tool

The stiffness matrices of individual links and general stiffness matrix of spatial mechanism with variable-length links are determined in presence of preload. The impact of preload upon spatial stiffness is considered.

Одержано 25.05.10

УДК 621.63+533(075.8)

О.В. Коваленко, ас.
Кіровоградський національний технічний університет

Математична модель зрівноваження кульовим (роликовим) автобалансиром диска ручної шліфувальної машини на кулісі

Побудована математична модель руху ручної шліфувальної машини, встановленої на кулісу, яку тримає циліндричний в'язко-пружний шарнір, диск РШМ зрівноважується кульовим (роликовим) автобалансиром. Знайдені умови існування режиму автобалансування та аналітично визначені діапазони швидкостей, на яких наставатиме автобалансування при певних співвідношеннях між параметрами системи.
автобалансир, зрівноважування, дисбаланс, ручна шліфувальна машина

Вступ. Ручні шліфувальні машини (РШМ) знайшли широке застосування у машино і кораблебудуванні, будівництві тощо. Під час їх експлуатації виникає додаткове збільшення вібрації, через встановлення нового диска з похибкою, через його нерівномірне зношування під час виконання технологічних операцій, а також при застосуванні неякісних дисків.

Для боротьби з виникаючими вібраціями фірми виробники РШМ застосовують кульові автобалансувальні пристрої (АБ), які дозволяють на ходу відслідковувати дисбаланс і зрівноважувати його, що забезпечує значне зменшення вібрацій.

У рамках різних моделей РШМ з АБ теоретично цей процес досліджувався у роботах Агафонова Ю.В., Гольштейна Б.Г. [1-3], Клавдієва С.Н. [4], Несторенка В.П. [5], Пашкової Л.А. [6], Філімоніхіна Г.Б. [7], Emanuelsson S.[8], Miwa T, Suzuki K, Miwa T, Suzuki K, Kawaguchi T, Kawakami Y, Ohtsu S[9], Rajalingham C., Rakheja S.[10] та інших вчених. За наявними матеріалами на сьогодні теоретично не досліджена можливість зрівноваження АБ РШМ при закріпленні її на кулісі, яку тримає циліндричний в'язко-пружний шарнір. Тому у цій роботі будується відповідна математична модель РШМ з АБ, виділяються параметри, що впливають на динаміку машини, досліджуються умови існування режиму автобалансування. Із застосуванням емпіричного (інженерного) критерію настання автобалансування аналітично визначаються діапазони швидкостей, на яких можливе автобалансування при певних співвідношеннях між параметрами.

§1. Опис моделі РШМ і АБ, деякі співвідношення. Модель системи зображена на рис. 1. Корпус РШМ прикріплений до куліси, що може повертатися навколо осі, що перпендикулярна рисунку і проходить через точку *O*. Осьовий момент інерції корпуса і куліси $J_O^{(кор)}$ відносно цієї осі. Відрізний (шліфувальний) диск має радіус *R*, масу m_d, осьовий момент інерції $J_K^{(d)}$ відносно осі, що перпендикулярна площині малюнка і проходить через його геометричний центр – точку *K*. Центр мас диска також у точці *K*. Диск обертається відносно корпуса РШМ із сталою кутовою швидкістю ω. Введемо нерухому праву прямокутну декартову систему координат Oxy, у якій вісь *x* виходить з точки *O* і проходить через центр диска непрацюючої РШМ. Кут повороту куліси з корпусом РШМ φ визначатимемо як кут між осями *x* і u', де вісь u' виходить з точки *O* і проходить через точку *K*. Введемо рухому праву прямокутну декартову систему координат Ouv, у якій вісь *u* виходить з точки *K* і спів направлена з віссю u'. При поворотах куліси на неї діють пружний

© О.В. Коваленко, 2010

оновлюючий момент і момент сил в'язкого опору

$$M_{пр} = c_ш l^2 \varphi, \quad M_{оп} = h_ш l^2 \dot{\varphi}, \quad l = |OK|, \tag{1.1}$$

де $c_ш$, $h_ш$ - коефіцієнти жорсткості і в'язкості шарнірної опори відповідно, приведені до плеча l.

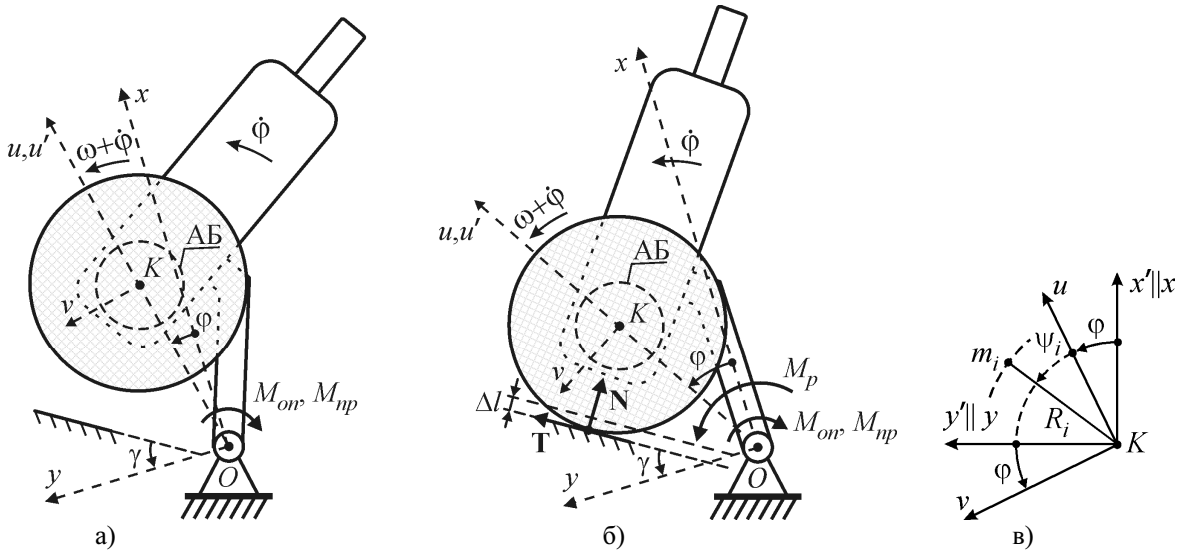


Рисунок 1 – Математична модель АБ і РШМ на кулісі

Режим холостого ходу РШМ показаний на рис. 1, а.

При різанні периферією круга (рис. 1, б) на кулісу діє момент M_p, що забезпечує безвідривне притискання диску до поверхні, що обробляється. Коли диск тільки торкається поверхні, то $\varphi = \varphi_0$. Від тиску диска на поверхню вона прогинається на Δl у нормальному напрямку щодо поверхні у точці контакту диска і поверхні, і виникає пружна нормальна щодо поверхні сила **N**. Також виникає дотична сила **T**. У теорії шліфування (різання) [11,12] сила **N** називається нормальною (радіальною), сила **T** – дотичною (тангенціальною, окружною). Припускаємо, що сила **T** підпорядковується закону сухого тертя Кулона, а сила N - закону Гука

$$T = f_n N, \quad N = c_n \Delta l \approx c_n l(\varphi - \varphi_0)\sin(\gamma + \varphi_0), \tag{1.2}$$

де f_n - коефіцієнт сухого тертя диска об поверхню (коефіцієнт абразивного різання; $f_n < 1$ [12]);

c_n - коефіцієнт жорсткості поверхні у нормальному напрямку;

γ – кут між віссю y і дотичною до поверхні у точці контакту диска с поверхнею.

Зауважимо, що коефіцієнт c_n можна розглядати і як жорсткість технологічної системи ВПІД (верстат – пристосування – інструмент – деталь), а деформацію Δl частково відносити до круга [11].

У площині диска знаходиться АБ, складений з n корегувальних вантажів (КВ). Маса i-го КВ m_i і він рухається по кільцевій доріжці радіуса R_i (рис. 1, в). Як це прийнято у теорії пасивних АБ, вважається що КВ є матеріальними точками і вони на одній доріжці не заважають рухатися один одному. Положення i-го КВ відносно диска визначається: абсолютним кутом ψ_i, який відраховується між віссю u' і віссю, що починається у точці K і проходить через цей КВ; відносним кутом α_i, який відраховується відносно диска, причому:

$$\psi_i = \omega t + \alpha_i, \quad \dot{\psi}_i = \omega + \dot{\alpha}_i, \quad \ddot{\psi}_i = \ddot{\alpha}_i, \quad / i = \overline{1,n} / . \tag{1.3}$$

Відносному рухові КВ перешкоджає сила в'язкого опору

$$F_i^{(on)} = h_i v_i^{(відн)} = h_i R_i(\dot{\psi}_i - \omega) = h_i R_i \dot{\alpha}_i, \quad /i = \overline{1,n}/, \tag{1.4}$$

де h_i – коефіцієнт сил в'язкого опору;

$v_i^{(відн)} = R_i(\dot{\psi}_i - \omega) = R_i\dot{\alpha}_i$ – відносна швидкість КВ (швидкість КВ відносно диска).

Дисбаланс диска створює нерухома щодо диска точкова маса m_0. Її положення визначається абсолютним кутом ψ_0, або відносним кутом $\alpha_0 = const$, $(\psi_0 = \omega t + \alpha_0)$.

§2. Диференціальні рівняння руху системи. Рівняння Лагранжа II роду дають такі диференціальні рівняння руху КВ:

$$m_i[R_i(\ddot{\psi}_i + \ddot{\varphi}) + l\ddot{\varphi}\cos\psi_i + l\dot{\varphi}^2\sin\psi_i] + h_i R_i(\dot{\psi}_i - \omega) = 0, \quad /i = \overline{1,n}/. \tag{2.1}$$

Рівняння Лагранжа II роду дають такі диференціальні рівняння руху корпуса РШМ:

- при холостому ході РШМ

$$\left(J_O + 2l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i \cos\psi_i\right)\ddot{\varphi} + h_ш l^2\dot{\varphi} + c_ш l^2\varphi +$$

$$+\sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2\ddot{\psi}_i + l\sum_{i=1}^{n} m_i R_i\ddot{\psi}_i\cos\psi_i - l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i^2\sin\psi_i - 2l\dot{\varphi}\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i\sin\psi_i = 0; \tag{2.2}$$

- при різанні

$$\left(J_O + 2l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i \cos\psi_i\right)\ddot{\varphi} + h_ш l^2\dot{\varphi} + c_ш^{(p)} l^2\varphi +$$

$$+\sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2\ddot{\psi}_i + l\sum_{i=1}^{n} m_i R_i\ddot{\psi}_i\cos\psi_i - l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i^2\sin\psi_i - 2l\dot{\varphi}\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i\sin\psi_i =$$

$$= M_p + [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]c_n l\varphi_0\sin\vartheta, \tag{2.3}$$

де

$$J_O = J_O^{(кор)} + J_K^{(d)} + m_d l^2 + \sum_{i=0}^{n} m_i(l^2 + R_i^2),$$

$$\vartheta = \gamma + \varphi_0, \quad c_ш^{(p)} = c_ш + c_n[\sin\vartheta + f_n(R/l - \cos\vartheta)]\sin\vartheta. \tag{2.4}$$

§3. Умови існування режиму автобалансування. В усталеному режимі руху РШМ кут φ не змінюється і КВ не рухаються відносно диска:

$$\varphi = \tilde{\varphi}, \ \psi_i = \omega t + \tilde{\alpha}_i, \quad /i = \overline{1,n}/, \tag{3.1}$$

де $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\alpha}_i$, $/i = \overline{1,n}/$ сталі параметри. Тоді на цьому русі рівняння руху КВ (2.1) виконуються тотожньо, а рівняння руху корпуса РШМ приймуть вигляд:

- при холостому ході РШМ

$$c_ш l^2\tilde{\varphi} - \sum_{i=0}^{n} m_i R_i\omega^2\sin(\omega t + \tilde{\alpha}_i) = 0. \tag{3.2}$$

- при різанні

$$c_ш l^2\tilde{\varphi} + [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]c_n l(\tilde{\varphi} - \varphi_0)\sin\vartheta - M_p - \sum_{i=0}^{n} m_i R_i l\omega^2\sin(\omega t + \tilde{\alpha}_i) = 0. \tag{3.3}$$

Рівняння (3.2) буде виконуватися тоді і тільки тоді, коли

$$\tilde{\varphi} = 0, \quad \sum_{i=0}^{n} m_i R_i\cos\tilde{\alpha}_i = 0, \quad \sum_{i=0}^{n} m_i R_i\sin\tilde{\alpha}_i = 0. \tag{3.4}$$

Рівняння (3.3) буде виконуватися тоді і тільки тоді, коли

$$c_ш l^2\tilde{\varphi} + [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]c_n l(\tilde{\varphi} - \varphi_0)\sin\vartheta - M_p = 0,$$

$$\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\cos\alpha_i = 0, \quad \sum_{i=0}^{n} m_i R_i\sin\alpha_i = 0. \tag{3.5}$$

Звідки знаходимо таке значення $\tilde{\varphi}$ на усталеному русі при різанні

$$\tilde{\varphi} = \frac{M_p + [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]c_n l\varphi_0 \sin\vartheta}{c_ш l^2 + [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]c_n l\sin\vartheta}. \quad (3.6)$$

Для забезпечення тиску диска на поверхню, що обробляється, повинна виконуватися умова $\tilde{\varphi} > \varphi_0$. Звідки знаходимо, що момент різання повинен бути більшим за

$$M_p > c_ш l^2 \varphi_0. \quad (3.7)$$

Перетворимо диференціальні рівняння (2.1), (2.3). Введемо кутове відхилення корпуса від автобалансувального положення

$$\delta = \varphi - \tilde{\varphi}. \quad (3.8)$$

Тоді диференціальні рівняння руху (2.1) і (2.3) приймуть, відповідно, вигляд

$$m_i[R_i(\ddot{\psi}_i + \ddot{\delta}) + l\ddot{\delta}\cos\psi_i + l\dot{\delta}^2\sin\psi_i) + h_i R_i(\dot{\psi}_i - \omega) = 0, \quad / i = \overline{1,n} /, \quad (3.9)$$

$$\left(J_O + 2l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i \cos\psi_i\right)\ddot{\delta} + h_ш l^2\dot{\delta} + c_ш^{(p)} l^2\delta +$$

$$+\sum_{i=1}^{n} m_i R_i^2\ddot{\psi}_i + l\sum_{i=1}^{n} m_i R_i\ddot{\psi}_i\cos\psi_i - l\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i^2\sin\psi_i - 2l\dot{\delta}\sum_{i=0}^{n} m_i R_i\dot{\psi}_i\sin\psi_i = 0. \quad (3.10)$$

Отже, диференціальні рівняння руху системи при різанні подібні до диференціальних рівнянь при холостому ході, тільки у режимі різання контакт з поверхнею, що обробляється, змінює сумарну жорсткість, що видно зо рівняння (3.10).

§4. Визначення умов настання автобалансування емпіричним (інженерним) методом. Відповідно до емпіричного (інженерного методу) автобалансування наставатиме тоді і тільки тоді, коли буде виконуватися умова [7]

$$\frac{\omega}{2\pi}\int_0^{2\pi/\omega} \mathbf{r}_K \cdot \boldsymbol{\epsilon} dt < 0, \quad (4.1)$$

де: $\mathbf{r}_K$ - вектор відхилення точки *K* від положення статичної рівноваги;

$\boldsymbol{\epsilon}$ - одиничний вектор, спрямований вздовж вектора елементарного дисбалансу.

Вектор $\mathbf{r}_K$ визначається за умови, що КВ нерухомі щодо диска, знаходяться в околі автобалансувального положення, через що створюється незмінний елементарний дисбаланс диска. Застосуємо цей критерій відповідно до методики роботи [7].

1. Диференціальне рівняння руху. Оскільки КВ знаходяться в околі автобалансувального положення, то виникає елементарний дисбаланс, що дорівнює

$$ds_u = \sum_{i=0}^{n} m_i R_i \cos\alpha_i, \quad ds_v = \sum_{i=0}^{n} m_i R_i \sin\alpha_i. \quad (4.2)$$

Диференціальні рівняння руху корпуса приймуть вигляд:

$$[J_O + 2l(ds_u\cos\omega t - ds_v\sin\omega t)]\ddot{z} + \mu\dot{z} + kz - (2\dot{\varphi}\omega + \omega^2)l(ds_u\sin\omega t + ds_v\cos\omega t) = 0, \quad (4.3)$$

де при холостому ході РШМ

$$z = \varphi, \quad \mu = h_ш l^2, \quad k = c_ш l^2; \quad (4.4)$$

при різанні

$$z = \delta, \quad \mu = h_ш l^2, \quad k = c_ш^{(p)} l^2. \quad (4.5)$$

Через те, що диск симетричний, не обмежуючи загальності, можна вважати, що

$$ds_v = 0. \quad (4.6)$$

Поділимо рівняння (4.3) на J_O. Введемо позначення

$$\varepsilon = lds_u / J_O, \quad h = \mu/(2J_O), \quad \omega_0^2 = k / J_O. \quad (4.7)$$

Одержимо

$$\ddot{z}(1 + 2\varepsilon\cos\omega t) + 2\dot{z}(h - \varepsilon\omega\sin\omega t) + \omega_0^2 z = \omega^2\varepsilon\sin\omega t. \quad (4.8)$$

Це – звичайне лінійне неоднорідне диференціальне рівняння 2-го порядку із періодичними коефіцієнтами і малим параметром ε.

Відповідно до теорії коливань механічних систем [13-15] у такої системи можуть існувати параметричні резонанси.

2. Частинний розв'язок диференціального рівняння руху. Будемо шукати частинний розв'язок диференціального рівняння (4.8), який з часом не буде затухати. Саме такий рух буде з часом встановлюватися незалежно від початкових умов.

Застосовуємо метод прямого розкладання розв'язку диференціального рівняння за степенями малого параметра [15]. Шукаємо φ у вигляді такого ряду

$$z = \varepsilon z_1 + \varepsilon^2 z_2 + \varepsilon^3 z_3 + \cdots. \tag{4.9}$$

Подамо диференціальне рівняння (4.8) у вигляді

$$\ddot{z} + 2h\dot{z} + \omega_0^2 z = -2\varepsilon \frac{d}{dt}(\dot{z}\cos\omega t) + \omega^2 \varepsilon \sin\omega t\,. \tag{4.10}$$

Підставляємо ряд (4.9) у диференціальне рівняння (4.10) і збираємо коефіцієнти при однакових степенях ε, одержуємо

$$\begin{gathered} \varepsilon: \quad \ddot{z}_1 + 2h\dot{z}_1 + \omega_0^2 z_1 = \omega^2 \sin\omega t, \\ \cdots \\ \varepsilon^i: \quad \ddot{z}_i + 2h\dot{z}_i + \omega_0^2 z_i = -2\frac{d}{dt}(\dot{z}_{i-1}\cos\omega t), \\ \cdots \end{gathered} \tag{4.11}$$

Це – нескінченна система рекурентних звичайних неоднорідних диференціальних рівнянь 2-го порядку із сталими коефіцієнтами.

Незатухаючим розв'язком першого рівняння буде

$$z_1 = M\cos\omega t + N\sin\omega t\,,$$

$$M = \frac{-2h\omega^3}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}, \quad N = \frac{\omega^2(\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4h^2\omega^2}\,. \tag{4.12}$$

Враховуючи нескінчену малість параметра ε, обмежимося першою складовою у розкладанні. Отже

$$z \approx \varepsilon(M\cos\omega t + N\sin\omega t)\,. \tag{4.13}$$

3. Умова настання автобалансування. В проекціях на осі *u*, *v*

$$\mathbf{r}_K = (0,\, lz)^{\mathrm{T}}, \quad \boldsymbol{\epsilon} = (\cos\omega t,\, \sin\omega t)^{\mathrm{T}}\,. \tag{4.14}$$

Тоді

$$\mathbf{r}_K \cdot \boldsymbol{\epsilon} = lz\sin\omega t, \quad \frac{\omega}{2\pi}\int_0^{2\pi/\omega} \mathbf{r}_K \cdot \boldsymbol{\epsilon}\, dt = \varepsilon N l/2\,. \tag{4.15}$$

Звідки одержуємо таку умову настання автобалансування $N < 0$, або

$$\omega > \omega_0\,. \tag{4.16}$$

Зауважимо, що розв'язок (4.13) та умова (4.16) дають велику точність тільки на віддалі від параметричного резонансу системи [13-15]. Для збільшення точності треба наближено розв'язати диференціальне рівняння (4.10) іншим асимптотичним методом, зокрема врахувавши загальний розв'язок однорідного рівняння в (4.10).

При холостому ході РШМ умова (4.16) фактично виконується завжди через невелику жорсткість шарніра. У режимі різання умова (4.16) може порушитися через велику жорсткість технологічної системи ВПІД. Ця умова дає

$$\omega > \sqrt{k/J_O} = \sqrt{c_{ш}^{(p)} l^2 / J_O} = \sqrt{\{c_{ш} + [\sin\vartheta + f_n(R/l - \cos\vartheta)]c_n \sin\vartheta\} l^2 / J_O}\,. \tag{4.17}$$

Розв'язуючи цю нерівність відносно c_n, одержимо таку умову, що обмежує зверху жорсткість c_n:

$$c_n < \frac{J_O\omega^2 - l^2 c_0}{[l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]l\sin\vartheta}. \quad (4.18)$$

Тут кутову швидкість обертання диска ω слід розглядати як задану (паспортну) характеристику РШМ.

Визначимо кут ϑ^*, при якому коефіцієнт c_n буде найменшим. Це буде відбуватися, коли функція у знаменнику

$$f(\vartheta) = [l\sin\vartheta + f_n(R - l\cos\vartheta)]l\sin\vartheta \quad (4.19)$$

прийме максимальне значення. Досліджуємо цю функцію на екстремум. Знаходимо

$$df(\vartheta)/d\vartheta = [l\sin 2\vartheta + f_n(R\cos\vartheta - l\cos 2\vartheta)]l = 0. \quad (4.20)$$

Це рівняння важко розв'язати аналітично, бо воно зводиться до визначення коренів полінома 4-го ступеня. Наближеним розв'язком цього рівняння у вигляді усіченого ряду за степенями f_n, що відповідає максимуму, є:

$$\vartheta^* \approx \frac{\pi}{2} + \frac{f_n}{2} - \frac{Rf_n^2}{4l} + \frac{(3R^2 - 4l^2)f_n^3}{24l^2}. \quad (4.21)$$

З використанням цього розв'язку знаходимо таке обмеження, що накладається на жорсткість c_n:

$$c_n < \frac{J_0\omega^2 - c_0 l^2}{l\left(l + Rf_n + lf_n^2/4 - Rf_n^3/8\right)}. \quad (4.22)$$

Висновки. У рамках побудованої математичної моделі зрівноваження диску РШМ на кулісі кульовим (роликовим) АБ:

1) режими холостого ходу і різання описуються подібними системами звичайних диференціальних рівнянь другого порядку, але у режимі різання поверхня, що обробляється, збільшує жорсткість системи;

2) автобалансування наставатиме на швидкостях, що перевищують власну частоту коливань системи, за умови, що немає параметричного резонансу;

3) у режимі різання автобаласування може порушитися через велику жорсткість технологічної системи ВПІД, тому ця жорсткість повинна бути обмежена зверху (умова (4.22)).

Список літератури

1. Агафонов Ю.В. Исследование устойчивости шарикового автобалансира роторной системы на упругих опорах // Машиноведение. 1976. –№6, – С. 3–7.
2. Агафонов Ю. В. Исследование ручных угловых шлифовальных машин под действием неуравновешенности шлифовальных кругов. – В кн.: Колебания и динамическая прочность элементов машин. М.: Наука, 1976, с. 130 –135.
3. Агафонов Ю. В. Гольштейн Б.Г. Автоматическое балансирующее устройство для ручных шлифовальных машин // Строительные и дорожные машины. 1976. –№3. –С. 15–17.
4. Кладиев С.Н. Автобалансирующие устройства ручных шлифовальных машин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 01.02.06 "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры" / С.Н. Кладиев. –Томск, 1996. – 21 с.
5. Нестеренко В.П. Теория и практика устройств автоматической балансировки роторов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д–ра техн. наук: спец. 05.02.18 "Теория механизмов и машин"/ В.П. Нестеренко. – Новосибирск, 1990. – 34 с.
6. Пашкова Л.А. Влияние автобалансирующих устройств на износ шлифовальных кругов и качество обрабатываемой поверхности: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 01.02.06 "Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры" / Л.А. Пашкова. –Томск, 1999. –24 с.
7. Філімоніхін Г.Б. Зрівноваження і віброзахист роторів автобалансирами з твердими коригувальними вантажами: Монографія (за спеціальністю 05.02.09 – динаміка та міцність машин). – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 352 с.

8. Emanuelsson S. Introducing Automatic Balancing as a Means to Reduce Imbalance Induced Vibrations in Electrical and Air–Powered Hand–Held Angle Grinders (Power Tools) // Proceeding, 49th International Appliance Technique Conference, 1998, pp. 282–293.
9. Miwa T, Suzuki K, Kawaguchi T, Kawaguchi Y, Ohtsu S, Date O Reduction of grind vibration by balancing // *Industrial Health,* 1984, 22, pp. 59–74.
10. Rajalingham C., Rakheja S. Whirl suppression in handheld power tool rotors using guided rolling balancers // *J. Sound Vibr.,* 1998, 217(3), pp. 453–466.
11. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1974. 319 с.
12. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1985. - 304с.
13. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. –М.: Физматгиз, 1959. – 918 с.
14. Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. -М.: Наука, 1974. - 503 с.
15. Найфэ А. Введение в методы возмущений: Пер. с англ. -М.: Мир, 1984. - 535 с.

А. Коваленко

Математическая модель уравновешивания шаровым (роликовым) автобалансиром диска ручной шлифовальной машины на кулисе

Построена математическая модель движения ручной шлифовальной машины, установленной на кулису, которую удерживает цилиндрический вязко-упругий шарнир, диск которой уравновешивается шариковым (роликовым) автобалансиром. Найдены условия существования режима автобалансировки,и аналитически определены диапазоны скоростей, на которых будет наступать автобалансировка при определенных соотношениях между параметрами системы.

A. Kovalenko

Mathematical model of balancing by ball (roller) type autobalancer of disk of hand polishing machine on a side scene

Built mathematical model of motion of hand polishing machine set on a side scene the disk of which is counterbalanced by ball (roller) type autobalancer. The terms of existence of the mode of autobalancing are found, and the ranges of speeds on which autobalancing will come at certain betweennesss by parameters are analytically certain.

Одержано 23.05.10

УДК 624.664

Ю.В. Кулєшков, проф., канд. техн. наук, М.І. Черновол, проф., док. техн. наук,
Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, В.І. Гуцул, доц., канд. фіз.-мат. наук,
Р.А. Осин, инж.
Кіровоградський національний технічний університет

Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насосу типу НШ від параметрів зубчатого зачеплення

Одним з перспективних напрямків подальшого вдосконалення конструкції шестеренних насосів гідроприводу сільськогосподарських машин є підвищення його питомих показників подачі. Дослідження розробленої математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насоса дозволило визначити ступінь впливу параметрів зубчатого зачеплення на питомий робочий об'єм шестеренного насоса.
шестеренний насос, параметри зубчатого зачеплення, питомий робочий об'єм

В попередній статті [1] нами були визначені шість напрямків подальшого вдосконалення шестеренного насоса (НШ) реалізація яких дозволить підвищити рейтинг НШ серед насосів об'ємного типу і потіснить інші типи насосів з ринку об'ємних насосів. При цьому першим напрямком подальшого вдосконалення НШ є напрям підвищення його питомої потужності, що реалізується підвищенням його питомого робочого об'єму.

В цій же роботі [1] нами була отримана математична модель питомого робочого об'єму НШ, який представляє собою відношення робочого об'єму насоса до об'єму, зайнятому вінцями шестерень від параметрів зубчатого зачеплення (ЗЗ) шестерень НШ з відповідними обмежуючими умовами:

$$V_{0\,пит} = \frac{\pi}{2}\frac{\left(De^2 - A^2 - \frac{t_0^2}{3}\right)}{D_e\left(0{,}25\,\pi\,D_e + A\right)}, \qquad (1)$$

де $V_{0\,пит}$ – питомий робочий об'єм насоса (ПРОН);

D_e – діаметр вершин зубів шестерень, мм;

A – міжцентрова відстань (МЦВ), мм;

t_0 – крок зачеплення по основній кола, мм.

Питомий робочий об'єм насоса (ПРОН) визначає технічний рівень ЗЗ качаючого вузла (КВ) насоса по подачі і може служити критерієм оптимізації ЗЗ КВ НШ по подачі.

В цій роботі ставиться задача оцінити ступінь впливу параметрів ЗЗ КВ НШ на параметр оптимізації питомого робочого об'єму насоса.

Відзначимо, що в процесі дослідження при виборі змінних, що впливають на ПРОН виходили з реальної можливості їх зміни з метою отримання можливості керувати ПРОН.

1. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від зовнішнього діаметру шестерень.

Аналізуючи залежність (1) бачимо, що збільшення зовнішнього діаметра шестерень веде до збільшення ПРОН - $V_{0\,пит}$, оскільки з ростом аргументу - De швидкість росту чисельника перевищує швидкість росту знаменника.

© Ю.В. Кулєшков, М.І. Черновол, Т.В. Руденко, В.І. Гуцул,Р.А. Осин, 2010

Знайшовши першу похідну, знайдемо швидкість зростання ПРОН - $V_{0\,пит}$ від зміни діаметра вершин зубів шестерень - De:

$$\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial De} = \frac{\pi}{(0{,}25\,\pi D_e + A)} - \frac{\pi}{2}\frac{\left(De^2 - A^2 - \frac{t_0^2}{3}\right)(0.5\,\pi D_e + A)}{D_e^{\,2}(0{,}25\,\pi D_e + A)^2}. \qquad (2)$$

Знайдені залежності представлені на рис. 1. Тут і надалі, як приклад, розрахунки зроблені для параметрів ЗЗ КВ, що відповідають серійному насосу НШ-32 УК.

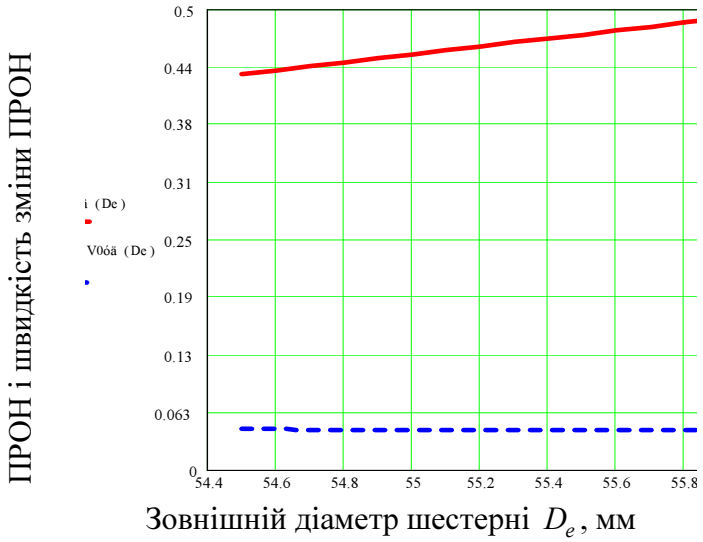


Рисунок 1 - Залежність ПРОН - $V_{0\,пит}$ і швидкості зміни ПРОН - $\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial De}$ від зміни зовнішнього діаметра шестерень

З рис. 1 бачимо, що з ростом зовнішнього діаметра шестерень - De відбувається збільшення ПРОН - $V_{0\,пит}$ практично по лінійній залежності. Швидкість зміни ПРОН - $V_{0\,пит}$ (2), носить слабо виражений спадаючий характер. Середня швидкість зростання ПРОН – $V_{0\,пит}$ складає $\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial De} = 0{,}043\ мм^{-1}$.

Відповідно до отриманих результатів можна рекомендувати для отримання максимального значення ПРОН використовувати шестерні з максимально можливим значенням зовнішнього діаметра - De.

2. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від міжцентрової відстані.

Аналіз залежності (1), а також графіки представлені на рис. 2 дають підстави стверджувати, що залежність ПРОН від - A носить нелінійний спадаючий характер.

Знайшовши першу похідну, знайдемо швидкість спадання ПРОН - від зміни МЦВ - A:

$$\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial A} = \frac{-\pi A_д}{D_e(0{,}25\,\pi D_e + A)} - \frac{\pi\left(D_e^{\,2} - A^2 - \frac{t_0^{\,2}}{3}\right)}{2\,D_e(0{,}25\,\pi D_e + A)^2}. \qquad (3)$$

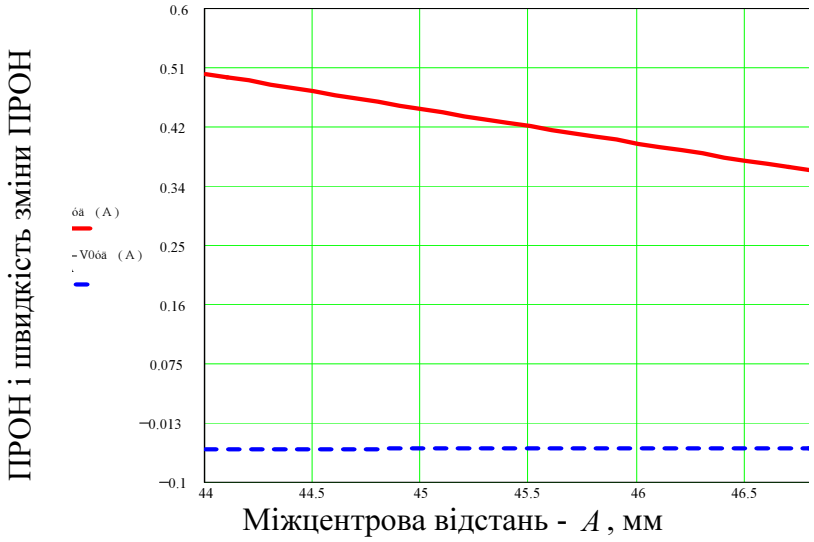


Рисунок 2 – Залежність ПРОН - $V_{0\,пит}$ і швидкість зміни ПРОН - $\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial A}$ від міжцентрової відстані – A

З рис. 2 бачимо, що з ростом МЦВ - A відбувається спадання ПРОН - $V_{0\,пит}$ практично по лінійній залежності. Але аналіз залежності (3) свідчить про те, що швидкість спадання ПРОН - $V_{0\,пит}$ в залежності від МЦВ - A носить нелінійний спадаючий характер. З рис. 2 бачимо, що швидкість спадання ПРОН - $V_{0\,пит}$ складає $\frac{\partial V_{0\,пит}}{\partial A} = 0{,}051\ мм^{-1}$.

Як бачимо, для отримання максимального значення ПРОН необхідно прагнути до використання ЗЗ з мінімальним значенням МЦВ.

Для проведення більш глибокого дослідження залежності ПРОН необхідно представити його в залежності від вихідних параметрів, що визначають форму і основні параметри ЗЗ.

Відомо, що ЗЗ може бути задано п'ятьма параметрами [2, 3]. В класичному варіанті – цими параметрами є параметри інструменту і параметри ЗЗ шестерень.

При розрахунку ЗЗ, при заданому коефіцієнті профільного зміщення (КПЗ) вихідними даними для розрахунку прямозубого ЗЗ є наступні параметри:

z – число зубів;

m – модуль зачеплення;

α_0 – кут вихідного профілю;

ξ – коефіцієнт профільного зміщення;

χ – коефіцієнт висоти головки зуба.

При розрахунку ЗЗ при заданому МЦВ - A вихідними даними для розрахунку прямозубого ЗЗ є ті ж параметри ЗЗ, але замість заданого КПЗ - ξ - задається МЦВ - A.

Можна вибрати і будь-який інший набір вихідних параметрів, а вищенаведені параметри виразити через них. Але більш зручно вибирати такі параметри, якими можна було б легко керувати з метою отримання ЗЗ із заданими властивостями, як правило - це параметри формоутворюючого інструменту.

Крім цього існує ще ряд умов, що обмежують область існування параметрів ЗЗ з метою отримання працездатного ЗЗ. До цих параметрах слід віднести:

ε – коефіцієнт перекриття зубчатого зачеплення (КПЗЗ), при цьому:

$$\varepsilon \geq 1, \qquad (4)$$

S_e – товщину зуба на вершині, при цьому:

$$S_e \geq 0{,}2\, m, \tag{5}$$

відсутність інтерференції зубів шестерень, ця умова записується у вигляді:

$$\rho_L < \rho_P, \tag{6}$$

При цьому складові залежності (6) можуть бути визначені:
– радіус кривизни в граничный точці профілю зуба:

$$\rho_L = 0{,}5\, d \sin\alpha_0 - \frac{1-\xi}{\sin\alpha_0}\, m, \tag{7}$$

– радіус кривизни активного профілю зуба в нижній точці:

$$\rho_P = A \sin\alpha - 0{,}5\, d_0\, tg\gamma_e. \tag{8}$$

Нас буде цікавити залежність ПРОН - $V_{0\,num}$ від початкових параметрів ЗЗ. Перетворимо залежність (1) з урахуванням відомих залежностей теорії евольвентого ЗЗ [2, 3, 4] до виду:

$$V_{0\,num} = \frac{\pi}{2} \frac{\begin{array}{c}\left[z\cos\alpha + 2\chi\cos\alpha - 2\xi\cos\alpha + 2z\left(\cos\alpha_0 - \cos\alpha\right)\right]^2 - \\ -\left(z\cos\alpha_0\right)^2 - \dfrac{\left(\pi\cos\alpha_0\cos\alpha\right)^2}{3}\end{array}}{\begin{array}{c}\left[z\cos\alpha + 2\chi\cos\alpha - 2\xi\cos\alpha + 2z\left(\cos\alpha_0 - \cos\alpha\right)\right]\cdot \\ \cdot\left[0{,}25\,\pi\left[z\cos\alpha + 2\chi\cos\alpha - 2\xi\cos\alpha + 2z\left(\cos\alpha_0 - \cos\alpha\right)\right] + z\cos\alpha_0\right]\end{array}}. \tag{9}$$

Аналізуючи отримані залежності (9) приходимо до наступних висновків.

По-перше, ПРОН - $V_{0\,num}$ не залежить від модуля зачеплення, що з точки зору фахівця по НШ на перший погляд виглядає парадоксальним. Оскільки відомі залежності подачі НШ, в які модуль ЗЗ входить у квадраті [3, 4, 5, 6]. Це пояснюється тим, що у вказаних залежностях мова йде про визначення подачі або РОН, які дійсно залежать від квадрата модуля, але і габарити НШ змінюються за такою ж залежністю, а їх відношення, виявляється, не залежить від модуля ЗЗ.

По-друге, аналітично оцінити ступінь впливу того чи іншого параметра ЗЗ на ПРОН - $V_{0\,num}$ не представляється можливим. Це пояснюється тим, що вихідні параметри ЗЗ, не є незалежними. Вони залежать один від одного по складним залежностям, причому ці залежності не завжди можна виразити в явному вигляді, оскільки вони часто носять трансцендентний характер.

Далі нам необхідно дослідити характер зміни ПРОН, представленого у вигляді (9) від наступних параметрів ЗЗ, що визначають форму евольвентного профілю зубів шестерень:

z – числа зубів шестерень;

α – кута зачеплення, град;

α_0 – кута вихідного профілю;

ξ – коефіцієнта профільного зміщення;

χ – коефіцієнта висоти головки зуба.

3. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від числа зубів шестерень

Одним з найважливіших вихідних параметрів при розрахунку ЗЗ є число зубів шестерень, яке має істотний вплив на ПРОН - $V_{0\,num}$ НШ. Аналіз отриманих раніше аналітичних залежностей ПРОН виду (9) не дає можливості визначити характер поведінки ПРОН - $V_{0\,num}$ від числа зубів шестерень насоса - z. А тому визначимо дану залежність

чисельним методом шляхом розрахунку ПРОН у відповідності з залежністю (9). Для проведення відповідних розрахунків задамося наступними вихідними даними:

– числом зубів, $z = 5...30$;

– модулем зачеплення, $m = 5$;

– кутом вихідного профілю, $\alpha_0 = 20^0$;

– кутом зачеплення, $\alpha = 20^0$

– КПЗ приймаємо рівним $\xi = 0$.

В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ отримаємо необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від кількості зубів шестерень z.

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН -$V_{0\,num}$ (9) по числу зубів, після відповідних спрощень отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності:

$$\frac{\partial V_{0\,num}}{\partial z} = \frac{\pi^3 \cos^2\alpha \cos^2\gamma_e}{3 z^3 \left(0.0625\,\pi^2 \cos^2\alpha + \cos\alpha \cos\gamma_e\right)}. \qquad (10)$$

Візуально результати розрахунків зміни ПРОН -$V_{0\,num}$ і швидкості зміни ПРОН від числа зубів - z відображені графічними залежностями, представленими на рис. 3.

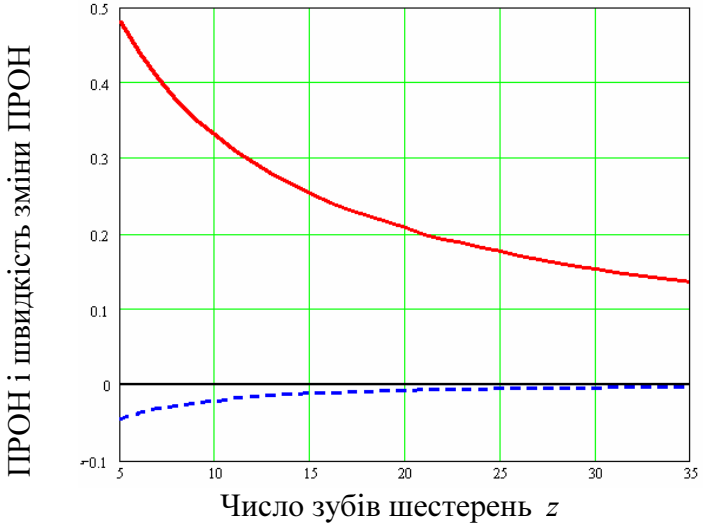


Рисунок 3 – Залежність ПРОН – $V_{0\,num}$ і швидкості зміни ПРОН від кількості зубів шестерень – z

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 3 бачимо, що функція залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від числа зубів шестерень - z носить криволінійний спадаючий характер. Максимальна швидкість спадання залежності ПРОН спостерігається на інтервалі $z = 5...15$ зубів (див. рис. 3).

Залежність швидкості зміни ПРОН носить криволінійний зростаючий характер. З рис. 3 бачимо, що крива швидкості зміни ПРОН у своїй зміні асимптотично наближається до горизонталі з ординатою „0”.

Аналізуючи криві, представлені на рис. 3, бачимо, що максимальна швидкість зміни ПРОН спостерігається на інтервалі $z = 5...15$ зубів, про це свідчить, як крива зміни ПРОН, так і крива швидкості зміни ПРОН. На зазначеному інтервалі відбувається інтенсивне зниження ПРОН - $V_{0\,num}$ по криволінійній залежності, в той час, як за межами даного інтервалу спостерігається менш інтенсивне зниження ПРОН - $V_{0\,num}$, практично по лінійній залежності.

Визначимо середню швидкість зміни ПРОН в розрахунку на один зуб:

– на інтервалі $z = 5...35$ – $\overline{VV_{0\,num}}(z) = -0{,}011$;

– на інтервалі $z = 5...15$ – $\overline{VV_{0\,num}}(z) = -0{,}035$;

– на інтервалі $z = 15...35$ – $\overline{VV_{0\,num}}(z) = -0{,}006$.

Як бачимо середня швидкість зміни ПРОН на інтервалі $z = 5...15$ майже в 3 рази вище, ніж на всьому інтервалі зміни кількості зубів - $z = 5...35$ і в 6 разів вище ніж на інтервалі $z = 15...35$.

Звідси випливає, що число зубів шестерень слід вибирати з інтервалу $z = 5...15$. При цьому, по можливості, слід прагнути до проектування шестерень з мінімальним числом зубів. Таке ЗЗ забезпечить, при інших рівних умовах максимальне значення ПРОН.

4. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від кута зачеплення. Одним з найважливіших інтегральних характеристик ЗЗ після його синтезу є кут зачеплення передачі - α, який визначається і КПС - ξ і МЦВ - A та іншими вихідними параметрами ЗЗ. Змінюючи кут зачеплення можна істотно впливати на всі функціональні характеристики ЗЗ, в тому числі і ПРОН. В цьому розділі нам належить з'ясувати, як залежить ПРОН від кута зачеплення шестерень НШ.

Як і в попередньому розділі, цю залежність будемо шукати чисельним методом шляхом розрахунку ПРОН у відповідності з залежністю (9). Для проведення відповідних розрахунків задамося наступними вихідними даними:

– числом зубів, $z = 8$;

– модулем зачеплення, $m = 5$;

– кутом вихідного профілю, $\alpha_0 = 20^0$;

– КПЗ приймаємо у відповідності до значень, які мають місце на практиці при виробництві шестеренних насосів, $\xi = 0$.

– кут зачеплення будемо приймати з інтервалу $\alpha = 5^0...50^0$.

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ (9) по куту зачеплення - α отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності:

$$\frac{\partial V_{0\,num}}{\partial \alpha} = m\, tg\, \alpha \left(z - 2\chi + 2\xi\right)\left[\frac{6\pi + 2\pi^2 \cos^2\alpha_0 \sin 2\alpha - 3V_{0\,уд}\ \pi}{3\left(D_e + 4\,A_o\right)} - \frac{V_{0\,уд}}{D_e}\right]. \qquad (11)$$

В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ ми отримаємо необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ і швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення шестерень насоса - α. Результати розрахунку зміни ПРОН - $V_{0\,num}$ і швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення - α відображені графічними залежностями на рис. 4.

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 4 бачимо, що функції залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від кута зачеплення - α носить криволінійний спадаючий характер.

Визначимо середню швидкість зміни ПРОН в розрахунку на один градус зміни кута зачеплення - α:

– на інтервалі $\alpha = 5^0...50^0$ $\overline{VV_{0\,num}}(\alpha) = -0{,}00501$ град$^{-1}$.

– на інтервалі $\alpha = 5^0...20^0$ $\overline{VV_{0\,num}}(\alpha) = -0{,}003758$ град$^{-1}$

– на інтервалі $\alpha = 20^0...50^0$ $\overline{VV_{0\,num}}(\alpha) = -0{,}005639$ град$^{-1}$.

Як бачимо середня швидкість зміни ПРОН на інтервалі $\alpha = 5^0...20^0$ нижче, ніж на інтервалі $\alpha = 20^0...50^0$.

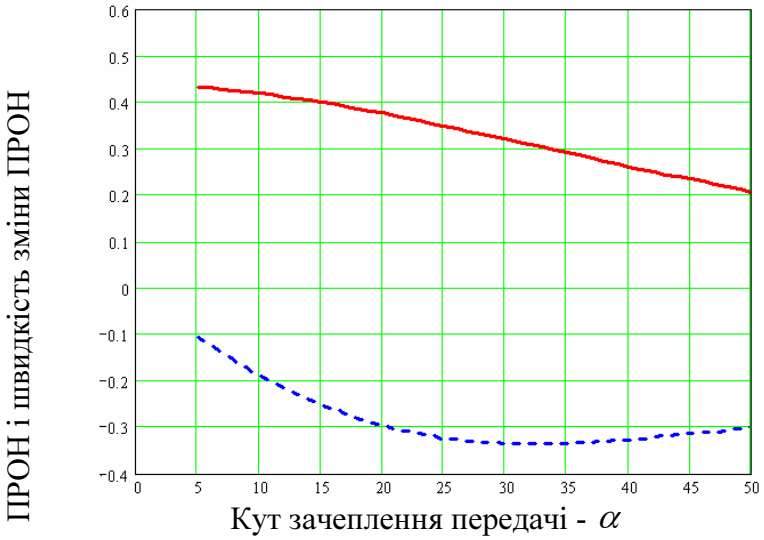


Рисунок 4 – Залежність ПРОН – $V_{0\,num}$ і швидкості зміни втрат від кута зачеплення зубів шестерень – α

Залежність швидкості зміни ПРОН від кута зачеплення - α носить криволінійний характер. З рис. 4 бачимо, що крива залежності швидкості зміни ПРОН на інтервалі зміни кута зачеплення має локальний мінімум. При цьому на інтервалі від $\alpha = 5^0...50^0$ швидкість зміни ПРОН спадає від $\frac{\partial V_{0\,num}(\alpha)}{\partial\alpha} = -0{,}10482$ рад$^{-1}$ до $\frac{\partial V_{0\,num}(\alpha)}{\partial\alpha} = -0{,}33595$ рад$^{-1}$, а на інтервалі від $\alpha = 32^0...50^0$ швидкість зміни ПРОН зростає від $\frac{\partial V_{0\,num}(\alpha)}{\partial\alpha} = -0{,}33595$ рад$^{-1}$ до $\frac{\partial V_{0\,num}(\alpha)}{\partial\alpha} = -0{,}30205$ рад$^{-1}$.

З отриманих результатів випливає, що для підвищення ПРОН слід проектувати ЗЗ з мінімально можливим кутом зачеплення - α.

5. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від коефіцієнта профільного зміщення.

Для визначення цієї залежності задамося наступними вихідними даними:

– число зубів, z;

– модуль зачеплення, m;

– кут вихідного профілю, як правило $\alpha_0 = 20^0$.

Коефіцієнт профільного зміщення відповідно до багатьох рекомендацій [4, 7, 8, 9, 10] для ЗЗ НШ повинен бути додатнім - $\xi \geq 0$. Однак надмірне збільшення КПЗ веде до загострення вершин зубів шестерень, що накладає обмеження у вигляді умови (5).

Існує і нижнє значення КПЗ [5], яке накладає обмеження на КПЗ знизу: В разі якщо $\xi < \xi_{\min}$ то при нарізанні зубів шестерень відбувається підрізання зубів, що знижує їх міцність на згин.

В цьому розрахунку інтервал варіювання КПЗ лежить у межах $\xi = -0{,}5...0{,}9$.

Для розрахунків залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від КПЗ - ξ використовували залежність (9).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН від КПЗ отримаємо залежність швидкості зміни ПРОН від КПЗ - ξ:

$$\frac{\partial V_{0\,num}}{\partial \xi} = \frac{2\pi V_{0\,num}\cos\alpha - 8\pi m}{0{,}25D_e + 4A} - \frac{2V_{0\,num}\,m}{D_e}. \qquad (12)$$

Результати розрахунків залежностей ПРОН - $V_{0\,nun}$ і швидкості зміни ПРОН від КПЗ - ξ представлені у вигляді графіків на рис. 5.

З рис 5 бачимо, що результати розрахунків виявилися дещо несподіваними. За результатами розрахунків, представлених на рис. 5, бачимо, що ПРОН мало залежить від КПЗ - ξ. Про це свідчать обидва графіка, представлених на рис. 5. З рис. 5, бачимо, що розмах зміни ПРОН на інтервалі $\xi = -0{,}5...0{,}9$ практично дорівнює нулю. Про це ж свідчить і графік швидкості зміни ПРОН в залежності від КПС: $\frac{\partial V_{0\,nun}}{\partial \xi} = 0{,}004$.

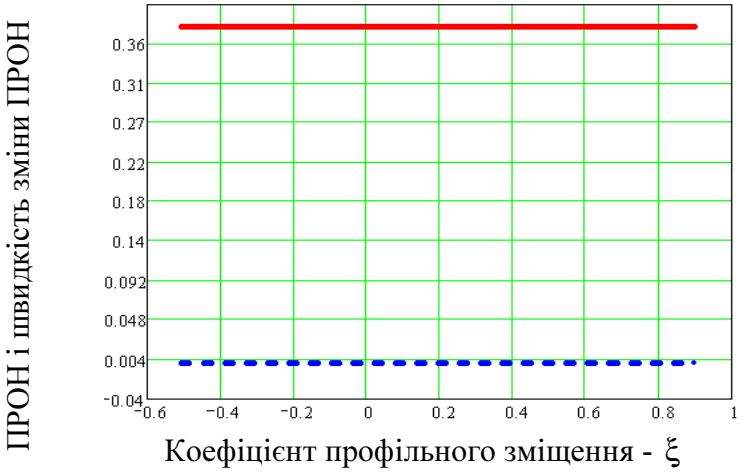


Рисунок 5 – Залежність ПРОН – $V_{0\,nun}$ і швидкості зміни ПРОН від коефіцієнта профільного зміщення $-\xi$

6. Характер залежності питомого робочого об'єму насоса від кута вихідного профілю.

Для визначення залежності втрат від кута вихідного профілю задамося наступними вихідними даними:

– число зубів, $z = 8$;

– модуль зачеплення, $m = 5$;

– кут вихідного профілю, α_0 змінюється в інтервалі $\alpha_0 = 5^0...30^0$;

– КПЗ, приймаємо рівним $\xi = 0$.

Параметри ЗЗ для розрахунку залежності ПРОН - $V_{0\,nun}$ від кута вихідного профілю - α_0 визначали за залежності (9).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - $V_{0\,nun}$ (9) від кута вихідного профілю - α_0, отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності від кута вихідного профілю - α_0 :

$$\frac{\partial V_{0\,nun}}{\partial \alpha_0} = \frac{m \sin\alpha_0}{\cos\alpha} x$$

$$x\left[\frac{3\,z\;V_{0\,nun}\,(0{,}5\pi+1) - 24\,z\,\pi + 4z^2\,\pi\cos\alpha_0 + 4\pi^3\cos^2\alpha\cos\alpha_0}{3\,(D_e + 4\,A)} + \frac{2\,z\,V_{0\,nun}}{D_e}\right], \quad (13)$$

В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ ми отримуємо необхідні дані для визначення характеру поведінки ПРОН - $V_{0\,nun}$ від кута вихідного профілю - α_0. Графіки залежності ПРОН від кута вихідного профілю - α_0, що відображають досліджувану

залежність візуально, представлені на рис. 6. А залежність швидкості зміни ПРОН від кута вихідного профілю - α_0 представлена на рис. 7



Рисунок 6 – Залежність зміни ПРОН від кута вихідного профілю – α_0

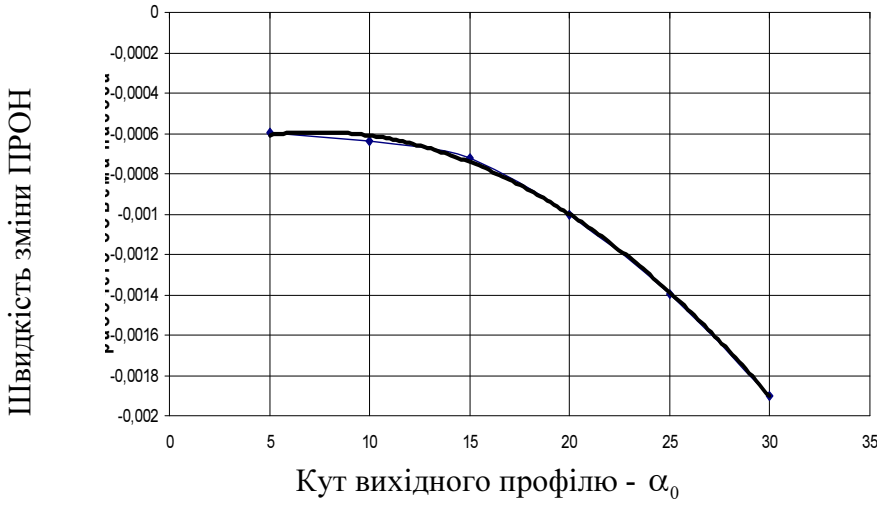


Рисунок 7 – Залежність швидкості зміни ПРОН від кута вихідного профілю – α_0

Аналізуючи результати розрахунків, представлених на рис. 6 бачимо, що функції залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від кута вихідного профілю - α_0 носить криволінійний падаючий характер. При цьому швидкість убивання ПРОН нерівномірна на заданому інтервалі зміни кута вихідного профілю - α_0: ця швидкість мінімальна для малих значень кута вихідного профілю - α_0 і зростає по мірі його зростання.

Отримані результати дають підставу рекомендувати для підвищення ПРОН ЗЗ з меншим значенням кута вихідного профілю - α_0.

7. Характер залежності питомої робочого об'єму насоса від коефіцієнта висоти головки зуба.

Для визначення цієї залежності задаємося наступними вихідними даними:

– число зубів, $z = 8$;

– модуль зачеплення, $m = 5$ *мм*;

– кут вихідного профілю, як правило $\alpha_0 = 20^0$;

– КПЗ, приймаємо відповідно із значенням $\xi = 0$.

– інтервал зміни коефіцієнта висоти головки зуба (КВГЗ) лежить у межах $\chi = 1{,}0...1{,}25$.

Надмірне збільшення КВГЗ веде до загострення вершин зубів шестерень, що накладає обмеження у вигляді умови (5).

Знайшовши першу похідну від функції залежності ПРОН - $V_{0\,nun}$ (9) у КВГЗ - χ, отримаємо залежність для розрахунку швидкості зміни досліджуваної залежності від КВГЗ - χ:

$$\frac{\partial V_{0\,nun}}{\partial \chi} = 2\,m\left[\frac{4\,\pi - \pi V_{0\,nun}}{D_e + 4\,A} - \frac{V_{0\,nun}}{D_e}\right]. \qquad (14)$$

В результаті розрахунку геометричних параметрів ЗЗ були отримані необхідні дані для визначення характеру залежності ПРОН - $V_{0\,nun}$ і швидкості зміни ПРОН від КВГЗ - χ, які візуально відображені у вигляді графіків на рис. 8.

Аналізуючи графічні залежності, представлені на рис. 8 бачимо, що залежність ПРОН - $V_{0\,nun}$ від КВГЗ має зростаючий прямолінійний характер. Графік швидкості зміни ПРОН від КВГЗ показує, що він являє собою пряму, паралельну осі абсцис, що говорить про те, що швидкість зміни ПРОН не залежить від зміни аргументу.

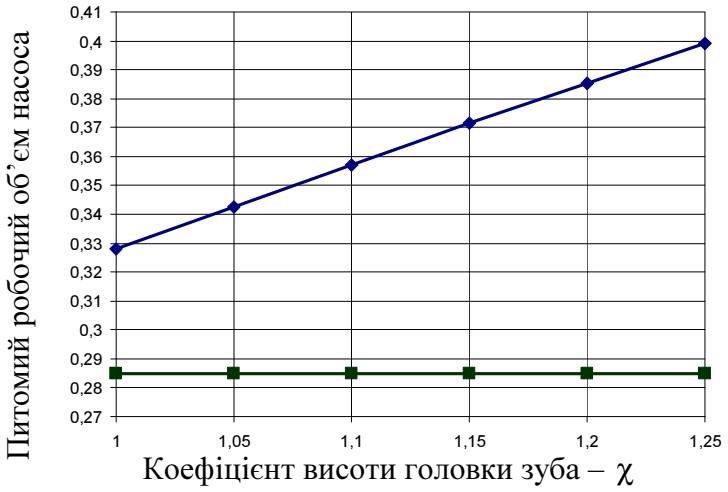


Рисунок 8 – Характер залежності питомого робочого об'єму насоса і швидкості зміни питомого робочого об'єму насоса від КВГЗ – χ

З отриманих результатів випливає, що для отримання ЗЗ з максимальним ПРОН необхідно використовувати ЗЗ з максимально можливим КВГЗ - χ.

8. Порівняльний аналіз ступеня впливу вихідних параметрів зубчатого зачеплення на питомий робочий об'єм насоса.

Перш ніж перейти до аналізу ступеня впливу вихідних параметрів ЗЗ на ПРОН зазначимо наступне. В пунктах 5 і 7 досліджувалися залежності ПРОН від КПЗ і КВГЗ. Результати цих досліджень представлені на рис. 5 і рис. 8. Особливістю цих результатів є те, що в якості аргументу були взяті КПЗ і КВГЗ. Для проведення порівняльного аналізу бажано, щоб аргумент, по можливості був виражений через однакові одиниці виміру. Тому в якості аргументу на зазначених вище залежностях ПРОН пропонується використовувати:

– замість КПЗ - ξ – профільне зміщення ξm, яке представляє собою зміщення інструменту в мм, щодо його нульового положення при $\xi = 0$;

– замість КВГЗ - χ – добуток виду χm, що представляє собою висоту головки зуба в мм.

Характер залежностей, представлених на рис. 5, рис. 8 не зміниться.

Для проведення порівняльного аналізу результати досліджень залежності швидкості зміни ПРОН від параметрів шестерень і ЗЗ були зведені в таблицю. В таблиці представлені середні швидкості зміни ПРОН із тих інтервалів зміни аргументу, які забезпечують максимальне значення ПРОН.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз міри впливу геометричних параметрів шестерень і ЗЗ на середню швидкість зміни ПРОН

Параметр зубчатого зачеплення, що оказує вплив на ПРОН	Середня швидкість зміни ПРОН
1. Міжцентрова відстань - A_o, мм	$\overline{VV_{0\,num}}(A) = -5{,}1 \cdot 10^{-2}$ *мм*$^{-1}$
2. Діаметр вершин шестерень - D_e, мм	$\overline{VV_{0\,num}}(De) = 4{,}3 \cdot 10^{-2}$ *мм*$^{-1}$
3. Число зубів шестерень - z	$\overline{VV_{0\,num}}(z) = -3{,}5 \cdot 10^{-2}$
4. Кут зубчатого зачеплення - α, град	$\overline{VV_{0\,num}}(\alpha) = -0{,}3758 \cdot 10^{-2}$ град$^{-1}$
5. Висота головки зуба - χm, мм	$\overline{VV_{0\,num}}(\chi) = 0{,}29 \cdot 10^{-2}$ мм$^{-1}$
6. Кут вихідного профілю, α_0, град	$\overline{VV_{0\,num}}(\alpha_0) = -0{,}248 \cdot 10^{-2}$ *град*$^{-1}$
7. Профільне зміщення, ξm, мм	$\overline{VV_{0\,num}}(\xi)_1 = 0$

Порівнюючи представлені в таблиці 1 результати, бачимо, що максимальний вплив на зростання ПРОН $V_{0\,num}$ здійснює МЦВ - A. Наступним за ефективністю впливу на зростання ПРОН - $V_{0\,num}$ є зовнішній діаметр шестерень - D_e, потім число зубів шестерень - z, далі кут ЗЗ - α, потім висота головки зуба - χm і кут вихідного профілю - α_0. Як виявилося при проведенні досліджень профільне зміщення - ξm на зміну ПРОН не впливає.

Слід зазначити, що порівняння між собою першого, другого, п'ятого та шостого рядків коректно, оскільки зміна ПРОН - $V_{0\,num}$ в цих рядках залежить від зміни величин, що вимірюються в одиницях довжини. В третьому рядку представлені результати дослідження зміни ПРОН - $V_{0\,num}$ від числа зубів шестерень, а в четвертому і п'ятому рядках від кута, а тому порівняння цих результатів між собою і з результатами, представленими в інших рядках неправомірно.

Для візуального представлення залежностей ПРОН - $V_{0\,num}$ від вищезазначених параметрів ЗЗ побудуємо графіки залежності ПРОН - $V_{0\,num}$ від міжцентрової відстані - A, діаметра вершин - D_e, висоти головки зуба - χm і профільного зміщення - ξm.

Аналізуючи дані, представлені в таблиці 1 і графічні залежності, представлені на рис. 9, бачимо, що найбільша середня швидкість зміни ПРОН - $V_{0\,num}$ відповідає МЦВ - A - 0,051 мм$^{-1}$, потім діаметру вершин D_e - 0,043 мм$^{-1}$, потім висоті головки зуба - χm - 0,029 мм$^{-1}$ і профільному зміщенню - ξm - 0 мм$^{-1}$.

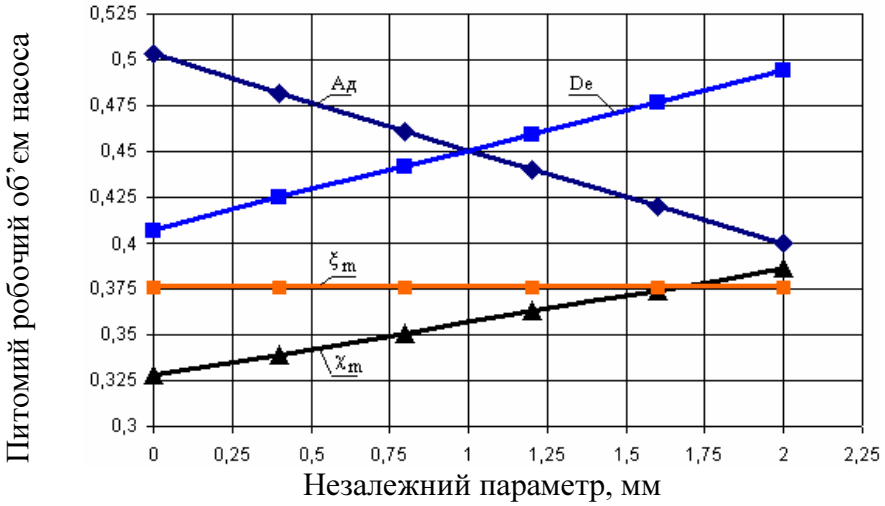


Рисунок 9 – Графіки залежності ПРОН – $V_{0\,пит}$ від діаметра вершин – D_e, міжцентрової відстані – A, профільного зміщення – ξm і висоти головки зуба – $\chi\, m$

З рис. 9 бачимо, що рейтинг параметрів ЗЗ за ступенем їх впливу на ПРОН неоднозначний і змінюється в залежності від інтервалу зміни параметра ЗЗ. Графіки, представлені на рис. 9, дають можливість побачити в яких інтервалах слід змінювати вихідні параметри ЗЗ, щоб досягти максимального значення ПРОН.

Висновки

1. Як критерій оцінки технічного рівня ЗЗ КВ НШ по подачі запропонований ПРОН насоса, який являє собою відношення РОН до об'єму, зайнятому вінцями шестерень, що дає можливість дати об'єктивну оцінку технічного рівня НШ по подачі.

2. Розроблена математична модель залежності ПРОН від початкових параметрів ЗЗ КВ НШ дозволяє всебічно його досліджувати з метою визначення пріоритетних напрямків подальшого його збільшення.

3. Через складність трансцендентних взаємозв'язків параметрів ЗЗ аналітичні методи дослідження отриманої математичної моделі не можуть дати однозначної відповіді про характер впливу того чи іншого параметра ЗЗ на ПРОН.

4. Істотно більш якісну інформацію вдалось отримати при дослідженні отриманої математичної моделі ПРОН чисельними методами. При цьому вдалось встановити рейтинг параметрів ЗЗ за ступенем їх впливу на ПРОН. Було з'ясовано, що ступінь впливу зазначених параметрів ЗЗ неоднозначна і змінюється в залежності від інтервалу зміни параметра ЗЗ.

5. Чисельними методами дослідження математичної моделі ПРОН вдалось встановити наступний рейтинг впливу параметрів ЗЗ на ПРОН:

– міжцентрова відстань - A із середньою швидкістю зростання ПРОН - $\overline{VV_{0\,пит}}(A) = -5{,}1\cdot 10^{-2}\ мм^{-1}$;

– зовнішній діаметр шестерень - D_e: $\overline{VV_{0\,пит}}(De) = 4{,}3\cdot 10^{-2}\ мм^{-1}$;

– число зубів шестерень - z: $\overline{VV_{0\,пит}}(z) = -3{,}5\cdot 10^{-2}$;

– кут зачеплення - α: $\overline{VV_{0\,пит}}(\alpha) = -0{,}3758\cdot 10^{-2}$ град$^{-1}$;

– коефіцієнт висоти головки зуба - χ : $\overline{VV_{0\,пит}}(\chi) = 0{,}29\cdot 10^{-2}$ мм$^{-1}$;

– кут вихідного профілю - α_0: $\overline{VV_{0\,пит}}(\alpha_0) = -0{,}248\cdot 10^{-2}\ град^{-1}$.

Несподіваним результатом виявилося те, що модуль зачеплення - m і КПЗ - ξ на зміну ПРОН не впливають.

Отримані результати дають можливість визначити пріоритетний напрямок подальшого підвищення ПРОН і подачі НШ.

Список літератури

1. Черновол М.І., Кулєшков Ю.В. Основні напрями вдосконалення шестеренних насосів сільськогосподарської техніки. Вісник аграрної науки, серпень 2008 № 8 –С. 52-54.
2. Вулгаков Э.Б. Эвольвентные зубчатые предачи в обобщающих параметрах: [справочник по геометрическому расчету]/ Вулгаков Э.Б., Васина Л.В. – М.: Машиностроение, 1978. –174 с.
3. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии: ГОСТ 16532-70. – [Введен с 01.01.1972. Переиздан в августе 1983]. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 19 с.
4. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет/ Юдин Е.М. – [2-е изд. перераб. и доп.]. – М.: Машиностроение, 1964. – 236 с.
5. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: [справочное пособие]/ Башта Т.М. – М.: Машиностроение, 1977. – 672 с.
6. Кулешков Ю.В. Оценка методов определения объемной подачи шестеренных насос НШ:. загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин»/ Кулешков Ю.В. – Кіровоград, КДТУ – 2004. – № 34 – С. 178–186.
7. Лурье З.Я. Математическая модель качающего узла шестеренного насоса, как объекта многокритериальной оптимизации/ Лурье З.Я., Коваленко И.В.// Вибрации в технике и технологиях. – 2003. – № 3 (29) – С.9 - 13.
8. Башта Т.М. Самолетные гидравлические приводы и агрегаты: [конструкция и расчет]/ Башта Т.М. –М.: Гос. издат. оборонной промышленности, 1951. – 356 с.
9. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств/ Башта Т.М. – [3-е изд. перераб. и доп.] –. М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. – 475 с.
10. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем / Башта Т.М. – М.:Машиностроение, 1974. – 606 с.

Ю. Кулешков, М. Черновол, Т. Руденко, Р. Осин

Исследование поведения математической модели удельного рабочего объема шестеренного насоса типа НШ от параметров зубчатого зацепления

Одним из перспективных направлений дальнейшего совершенствования конструкции шестеренных насосов гидропривода сельскохозяйственных машин является повышение его удельных показателей подачи. Исследование разработанной математической модели удельного рабочего объема шестеренного насоса позволило определить степень влияния параметров зубчатого зацепления на удельный рабочий объем шестеренного насоса.

U. Kuleshkov, M. Chernovol, T. Rudenko,V. Guzul, R. Osin

Investigation of the behavior of mathematical models of specific working volume gear pump type on the parameters of НШ gear

One of the promising directions of further improving the design of gear pumps hydraulic drive farm machinery is increasing its specific indicators filing. The study developed a mathematical model of the specific work of gear pumps possible to determine the degree of influence of the parameters of the gear ratio on the working volume of gear pumps.

Одержано 25.02.10

УДК 621.735.3

В.П.Пукалов, доц., канд.техн наук, В.В. Пукалов, доц., канд.техн наук, Ф.И. Златопольский, проф., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Расчет напряжений при осадке сплошных осесимметричных тел

Статья посвящена расчету напряжений при осадке сплошных осесимметричных тел. На основании аналитического изучения распределения касательных напряжений по контактной поверхности инструмента с металлом и совместного решения дифференциальных уравнений равновесия и уравнения пластичности, получены формулы для расчета напряжений в любой точке деформируемой заготовки
осесимметричное тело, напряжения, контактное трение, усилие деформации

Напряженно-деформированное состояние металла при осадке заготовок между плоскими шероховатыми плитами зависит от химической, физической и структурной неоднородности, структуры, что особенно сильно сказывается при деформации литых заготовок, неравномерности нагрева, контактного трения, формы тела и многих других факторов.

Осадка цилиндрических заготовок относится к осесимметричному напряженному и деформируемому состоянию. К числу осесимметричных задач, для которых метод интегрирования дифференциальных уравнений равновесия совместно с уравнением пластичности для определения напряжения и усилия деформации, дает замкнутое решение, относится пластическое равновесие цилиндра под действием внешнего давления. Для определения напряжений в пластически деформируемом цилиндре имеем два дифференциальных уравнения равновесия (1 – 2) и уравнения пластичности (3) в цилиндрических координатах [1 – 4]

$$\frac{\partial \sigma_\rho}{\partial \rho} + \frac{\partial \tau_{zp}}{\partial z} + \frac{\sigma_\rho - \sigma_\theta}{\rho} = 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{z\rho}}{\partial \rho} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{\rho z}}{\rho} = 0; \quad (2)$$

$$(\sigma_\theta - \sigma_\rho)^2 + 4\tau_{\rho\theta}^2 = 4k^2, \quad (3)$$

где k – пластическая постоянная.

Удельные силы контактного трения τ_k направлены против течения металла (рис.1), то есть от боковой свободной поверхности к середине цилиндра. При принятом расположении осей координат, при $p > 0$ силы трения τ_k следует брать со знаком минус, при $p > 0$ – со знаком плюс. Величина удельных сил трения может меняться от минимального значения, равного произведению коэффициента трения.
на постоянную пластичности (4)

$$\tau_k = 2k \cdot f, \quad (4)$$

на краю заготовки до максимального значения, равного сопротивлению металла пластическому сдвигу (5), то есть

$$2k \cdot f \le \tau_k \le k = \frac{\beta \cdot \sigma_T}{2} \quad (5)$$

© В.П.Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И. Златопольский, 2010

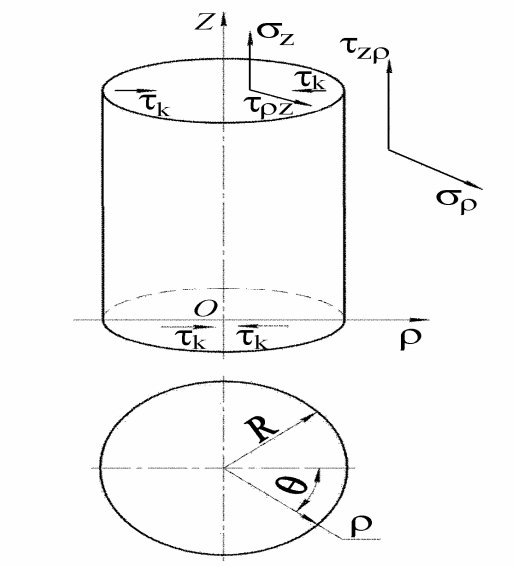


Рисунок 1 – Схема действия напряжений при осадке сплошного цилиндра

или

$$2k = \beta \cdot \sigma_T ,$$

где σ_T – предел текучести;

β – коэффициент Лодэ

$$\beta = 1.00 - 1.15.$$

Имеем всего три уравнения (1, 2, 3) с четырьмя неизвестными (σ_p, σ_θ, σ_z, $\tau_{zp} = \tau_{pz}$). Задача статически неопределимая. Решение становится возможным, если принять, что цилиндр является достаточно длинным, и деформация в направлении оси z, оси цилиндра достаточно мала и ею можно пренебречь, т.е. отсутствует. Деформация цилиндра осесимметричная и в то же время плоская, все деформации лежат в плоскости ρθ, перпендикулярной оси *z*, т.е., деформации в диаметральных плоскостях отсутствуют.

В этом случае нормальное напряжение σ_z в направлении отсутствия деформации равно полусумме двух других σ_ρ и σ_θ:

$$\sigma_z = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\theta}{2}, \tag{6}$$

а касательные напряжения равны нулю: $\tau_{z\rho} = \tau_{\rho z} = 0$, $\tau_{z\theta} = \tau_{\theta z} = 0$, $\tau_{\rho\theta} = \tau_{\theta\rho} = 0$.

Таким образом, если касательные напряжения отсутствуют, то нормальные напряжения σ_p и σ_θ действуют в головной площадке и являются главными.

Так как σ_p зависит только от координаты ρ то дифференциальные уравнения равновесия (1,2) упрощаются. Остается одно уравнение, которое можно записать в обычных производных (7). Решая оставшееся уравнение с уравнением пластичности (3), получим

$$d\sigma_\rho = (\sigma_\theta - \sigma_\rho)\frac{d\rho}{\rho} = \pm 2k\frac{d\rho}{\rho}. \tag{7}$$

Отсюда

$$\sigma_\rho = \pm 2k \ln\rho + c; \tag{8}$$

$$\sigma_\theta = \pm 2k + \sigma_\rho . \tag{9}$$

Постоянную интегрирования находим из уравнения (8):

при $\rho = R$ наружному диаметру цилиндра

$$\sigma_R = 2k \ln R + c = 0 .$$

Отсюда

$$c = -2k \ln R ,$$

$$\sigma_\rho = 2k \ln \rho - 2k \ln R = -2k \ln \frac{R}{\rho}$$

$$\text{и } \sigma_\rho = -2k \ln \frac{R}{\rho}. \qquad (10)$$

Определим нормальные напряжения:

σ_θ из условия (9):

$$\sigma_\theta = \sigma_\rho = 2k .$$

Тогда

$$\sigma_\theta = 2k + \sigma_\rho = 2k - 2k \ln \frac{R}{\rho},$$

$$\sigma_\theta = 2k\left(1 - \ln \frac{R}{\rho}\right). \qquad (11)$$

Нормальное напряжение σ_z находим из равенства (6)

$$\sigma_z = \frac{\sigma_\rho + \sigma_\rho}{2} = 2k\left(\frac{1}{2} - \ln \frac{R}{\rho}\right). \qquad (12)$$

Зная значения нормальных напряжений на контактной поверхности можно рассчитать полное и удельное усилие, необходимое для пластической деформации заготовки.

Список литературы

1. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М: Машиностроение, 1977. – 423 с.
2. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением. – М: Металлургия, 1987. – 360 с.
3. Гун Г.Я. Теоретические основы обработки металлов давлением. – М: Металлургия, 1980. – 450 с.
4. Полухин П.И., Горелик С.С., Воронцов В.К. Физические основы пластической деформации. – М: Металлургия, 1982. – 584 с.

В. Пукалов, В. Пукалов, Ф. Златопольський

Розрахунок напружень при осадці суцільних вісесиметричних тіл

Стаття присвячена розрахунку напружень при осадці суцільних вісесиметричних тіл. На основі аналітичного вивчення розподілу дотичних напружень по контактній поверхні інструменту з металом і сумісного рішення диференціальних рівнянь рівноваги і рівняння пластичності, отримані формули розрахунку напружень у будь-якій точці заготовки, яка деформується.

V. Pukalov, V. Pukalov, F. Zlatopolskyy

Stresses calculation when precipitating solid axisymmetric bodies

The article deals with the problem of stresses calculation when precipitating solid axisymmetric bodies. On the ground of analytic study of distribution of the tangent stresses along the contact surface of the tool with metal and joint resolution of differential balance equations and plasticity equations formulas for stresses calculation at any point of deformable work material are received.

Одержано 28.05.10

Зміст

В.І. Носуленко, В.М. Шмельов, О.С. Чумаченко
Технологічні характеристики розмірної обробки електричною дугою спряжених пар робочих деталей штампів суміщеної дії 3

В.В. Древецький, О.В. Кованько
Розробка автоматичної системи регулювання швидкості дослідного зразка підземнорухомого пристрою.....8

С.Я. Гончарова
Дослідження задачі про розладнання бінарної послідовності та її застосування у схемах захисту інформації.....13

Л.В. Коломиец, В.В. Ковальчук, О.В.Грабовський, Л.Н.Жеребцова
Измерение толщины кластерного слоя методом кварцевого резонатора……...17

О.В. Бевз, С.О. Магопець, В.А. Онопа
Дослідження працездатності пари тертя "гальмівний диск – гальмівна колодка" легкового автомобіля.....23

О.М. Рева, О.О. Смірнов
Організація інформаційної діяльності підприємства 29

О.Д. Криськов, І.М. Іваник
Робочі структури та поля САПР «TECHNOL» 34

Ю.И.Казанцев, Г.Ю.Маклаков, В.Ф. Мануйлов
Основная энергетическая характеристика группы предприятий с многономенклатурным производством как некорректная стохастическая связь.....39

Т.Ф. Шмельова, М.О.Калита, І.О.Скриннік, В.О.Шалімов
Оцінювання висоти дисперсного матеріалу при неповних вимірюваннях вихідних сигналів зерносушильної установки (ЗСУ) з киплячим шаром.....45

В.О. Кондратець, М.О. Карчевська
Теоретичне дослідження взаємодії первинних перетворювачів завантаження кульового млина рудою з молольними тілами 52

О.Д.Криськов, І.М. Іваник, К.К.Щербина
Особливості взаємозв'язку полів при проектуванні переходів в САПР регламентів технологічного процесу на основі ООП 59

В.О. Кондратець, А.М. Мацуй
Обґрунтування параметрів і структури блока ідентифікації співвідношення тверде/рідке по тиску пульпи.....65

Ю.О. Єрмолаєв, Т.Г. Руденко
Визначення параметрів асинхронних двигунів з побудовою статичних характеристик для приводів фрезерувального верстата СФ-АСТРА-РК8.....71

В.О. Кондратець, О.М. Сербул
Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів.....78

Н.В. Ковальчук, Л.Г. Мещишена
Алгоритм розрахунку розгалуженої мережі водопостачання.....85

Г.Б. Філімоніхін, М.В. Гончарова
Дослідження задачі про розладнання послідовності з n символів.....91

І.І. Павленко, В.А. Мажара, М.О. Сторожук
Структурні планувально-компонувальні дослідження роботизованих комплексів 96

І.І. Павленко, І.А. Валявський
Інтегральний робочий простір верстатів-гексаподів.....100

Е.И.Чемерис
Надежность оценки параметров качества штамповки тонколистових деталей сложного контура.....107

В.І.Носуленко, В.М.Шмельов
Розділовий штамп суміщеної дії з моноблочною матрицею-пуансоном.....111

О.В. Артеменко
Построение математической модели процесса принятия решения на вылет командиром воздушного судна.....115

І.І.Павленко, М.О.Годунко
Аналіз передавальних відношень плеч сил затискних важелів захватних пристроїв роботів.....123

Ю.В. Версаль
Побудова математичних моделей функцій належності параметрів стану лактуючих корів для системи діагностики фізіологічного стану тварин.....129

Ю.Н. Внуков, М.А. Шамровский
Формообразование профиля кулачка исходя из расстояния до плоского толкателя.....137

Н.В.Смирнова
Применение критерия Неймана-Пирсона для обнаружения скачкообразного изменения среднего значения тока дуги.....142

М.О.Ковришкін, М.Л.Рудич
Вплив кута сточування на геометрію збірних незатилованих черв'ячних фрез з поділеним профілем.....146

Р.В. Гогаладзе, Р.Г. Кириа
Методика определения контактной линии сопряженных поверхностей пространственной передачи зубчатых зацеплений.....154

Е.В. Надєїна
Методика розрахунку параметрів різцевих головок з нахиленими різцями.....158

В.В. Коваленко, В.В. Пукалов, В.З. Хіоні
Експериментальне визначення енергосилових параметрів процесу витягування деталей з низьковуглецевих сталей з використанням полімерних мастил.....164

В.В. Баранов , А.П. Кравченко, Е.А. Кравченко
Методология решения задач повышения эффективности транспортних систем применением методов теории принятия решений 168

І.Ф. Василенко, І.В. Шепеленко , М.В. Красота
Проектування складу композиційного покриття в умовах абразивного зношування.....173

Б.М. Гевко, О.Л. Ляшук, Ю.Я. Вовк, А.Б. Гупка
Дослідження процесу зношення пар тертя свердлильних кондукторів.....178

Л.Г.Віхрова, Р.П. Ткаченко, А.В.Рибаченко
Автоматизована енергоощадна система управління параметрами температурного режиму пташника.....183

В.О.Дзюра, О.С. Шевчук , В.В.Крук
Результати експериментальних досліджень визначення зусилля дорнування напівкруглих канавок шліцьових валів.....189

Ю.М. Куценко
Аналіз якості роботи електронної системи контролю дихання рослин.....194

С.І. Маркович, Ю.В.Рябоволик, С.А. Глушаков
Дослідження впливу фретінг-зношування на довговічність картера коробки передач з розробкою технології його відновлення 200

В.І.Рубльов
Види характерних небезпечних дефектів і їх вплив на пріоритети робіт по поліпшенню безпеки сільськогосподарської техніки.....203

В.І.Рубльов
Альтернативний статистичний контроль як вид діагностичних методів оцінки сільськогосподарської техніки.....209

В.Я. Чабанний, І.М. Соколенко, М.В. Онолов, О.М. Кальченко
Аналіз технології нанесення полімерних матеріалів у вузлах тертя сільськогосподарських машин.....215

А.В. Дыха, Т.В. Гедзюк
Математическое моделирование термодинамических процессов граничного трения……219

В.М. Боков, О.Ф. Сіса, М.І. Попова
Удосконалення розмірної обробки твердосплавних прокатних валків біполярним інструментом.....225

В.М. Пестунов, В.М. Бабич
Передаточні механізми металорізальних верстатів із функціями управління.....229

Е.К. Соловых
Выбор альтернативных технологий нанесения износостойких покрытий дискретной структуры.....236

Ф.М. Капелюшний, М.М. Калита, С.Є. Катеринич
Оптимізація процесу охолодження гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання при їх термопластичному деформуванні.....240

Г.Б. Філімоніхін, А.Ю. Невдаха
Стенд для дослідження процесу складання роторів барабанно-дискової конструкції.....244

В.О. Швидя, С.П. Степаненко, Б.І. Котов
Результати експериментальних досліджень пневмосепарації зерна у пневмовідцентровому сепараторі з удосконаленим експериментальним диском.....250

Ф.І. Василенко, І.Ф. Василенко, О.П. Бруцький
Теоретичні передумови відновлення підшипників ковзання поліамідними композиціями з накладенням ультразвукових коливань.....257

Ф.І. Василенко, В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька
Проектування нестандартних ультразвукових випромінювачів.....264

О.Й. Мажейка, С.І.Маркович, О.Б. Чайковський
Оцінка діагностичного моніторингу дизелів для аграрного виробництва, як елемент системи якості менеджменту.....269

Д.В. Трушаков, Л.А. Ніколаєва, Н.Б. Коренецька, Д.Ю. Мошна
Дослідження надійності інформаційної системи.....274

А.В. Лизунков, В.А. Шевченко, А.А. Резников
Особенности нагружения металлоконструкции автогрейдера при выполнении различных рабочих операций.....280

А. А. Тамаргазин , Л.А.Лопата, Ю.В. Брусило , С.А. Довжук
Влияние факторов процесса электродугового напыления на структурообразование и свойства покрытий.....287

М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко
Методи підвищення працездатності різального інструменту.....298

С.І. Шмат, П.Г. Лузан, С.В. Колісник
Ресурсозберігаючі технології вирощування сільськогосподарських культур.....303

К.Д. Матвєєв, Р.В. Кісільов, В.О. Матвєєва, О.М. Лєснік, В.М. Сергієнко
Дослідження і розробка удосконаленої конструкції вертикального транспортерного дозатора кормів грабельного типу.....309

В.В. Свяцький, Л.П. Свяцька
Металографічні дослідження волокнових свинцевих елементів.....316

М.О. Ковришкін, А.І. Гречка, Хамуйєла Ж.А. Герра
Формоутворення евольвентного профілю зубчастих коліс кінцевими фрезами шляхом суміщення обертального та прямолінійного поступального рухів.....321

В.Н. Корж, Д.С. Герцрикен, Л.А. Лопата, Ю.Л. Хомяковский
Влияние электропластического эффекта на диффузионные процессы в деформируемых металлах.....326

В.А. Павлюк-Мороз, В.В. Руських, О.В. Крилов, Р.А. Осін
Вплив процесу обкатки на довговічність шестеренних насосів.....330

А.С. Лімонт
Швидкість руху агрегату і висота брання льону-довгунця як фактори якості очісування стебел комбайном 333

В.Н.Корж, Л.А.Лопата, В. Я. Николайчук, Ю.Л.Хомяковский, А.В.Татаров
Предпосылки управления качеством формируемого покрытия и соединения его с деталью при электроконтактном припекании.....339

М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко, С.О. Довжук
Методи формування покриттів на різальному інструменті.....344

Г.М. Клещов
Адаптивна модель управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів ХЛШ.....352

Ф.М. Капелюшний, Л.М.Кривоблоцька, С.Є.Катеринич
Технологічний процес відновлення гільз циліндрів методом термопластичного деформування.....358

В.Н.Кропивный, И.В.Шепеленко, В.В.Черкун
Антифрикционные свойства поверхности при обработке ФАБВО.....361

А.М. Кириченко
Вплив попереднього навантаження на просторову жорсткість робочого органа верстата з механізмом паралельної структури 364

О.В. Коваленко
Математична модель зрівноваження кульовим (роликовим) автобалансиром диска ручної шліфувальної машини на кулісі.....371

Ю.В. Кулєшков, М.І. Черновол, Т.В. Руденко, В.І. Гуцул, Р.А. Осин
Дослідження поведінки математичної моделі питомого робочого об'єму шестеренного насосу типу НШ від параметрів зубчатого зачеплення.....378

В.П.Пукалов, В.В. Пукалов, Ф.И. Златопольский
Расчет напряжений при осадке сплошных осесимметричных тел.....391

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ
КІРОВОГРАДСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

ТЕХНІКА В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ, ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Випуск 23

Відповідальний за випуск

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво про реєстрацію № 05720-ПП-1 від 10.12.1996.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53

Здано в набір 21.05 .2010 Підписано до друку 09.06. 2010. Формат 60х84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк.49,87
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №00030.