

ISSN 2414-3820

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

**КОНСТРУЮВАННЯ, ВИРОБНИЦТВО
ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ
МАШИН**

**Загальнодержавний міжвідомчий
науково-технічний збірник**

Заснований у 1971 р.

За загальною редакцією М.І. Черновола

Випуск 47
Частина II

КРОПИВНИЦЬКИЙ • 2017

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 47, ч.ІІ. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 238 с.

В збірнику викладені питання конструювання, розрахунку, удосконалення, створення і дослідження нових робочих органів сільськогосподарських машин, засобів механізації, електрифікації та автоматизації сільськогосподарського виробництва. Наведені результати досліджень в галузі технологій виробництва і експлуатації машин та забезпечення їх надійності і довговічності. Викладені практичні рекомендації по використанню результатів досліджень і дослідно-конструкторських розробок в сільськогосподарській і інших галузях машинобудування. Збірник розрахований на наукових та інженерно-технічних працівників науково-дослідних установ, ВНЗ, конструкторських організацій та промислових підприємств.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 18 грудня 2017 року № 4.

Редакційна колегія: Черновол М.І., д.т.н., проф. – головний редактор;
Петренко М.М., к.т.н., проф. – заст. головного редактора;
Петренко Д.І., к.т.н. – відповідальний секретар;
Адамчук В.В., д.т.н.;
Бойко А.І., д.т.н., проф.;
Бойко Л.Й., д.т.н. (Білорусь);
Булгаков В.М., д.т.н., проф.;
Гамалій В.Ф., д.ф.-м.н., проф.;
Кропівний В.М., к.т.н., проф.;
Лобачевский Я.П., д.т.н., проф. (Росія);
Носуленко В.І., д.т.н., проф.;
Осадчий С.І., д.т.н., проф.;
Павленко І.І., д.т.н., проф.;
Сало В.М., д.т.н., проф.;
Свірень М.О., д.т.н., проф.
Vladimir Jurcha, д.т.н., проф. (Чехія);
Janusz Nowak, д.т.н., проф. (Польща);
Marian Wesołowski, д.т.н., проф. (Польща);

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8, Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: 390-581, 390-472, 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.

Включений до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук з технічних наук (бюлетень ВАК №5 від 2010р., наказ Міністерства освіти і науки України від 21 грудня 2015 року №1328).

Збірник наукових праць зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «*Україніка наукова*» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародній наукометричній базі даних *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія КВ № 15254 – 3826 ПР від 30.04.2009 р.
ISSN 2414-3820

УДК 656:338

В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук, Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук, А.В. Гриньків, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: AulinVV@gmail.com

Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва

Встановлено особливості формування вантажного автопарку транспортних засобів сільськогосподарських підприємств. Дано системний підхід до формування оптимального складу парку автомобільних транспортних засобів і ефективного його використання на підприємствах агропромислового виробництва на основі застосування методів економіко-математичного моделювання і сучасних комп'ютерних технологій. Розроблено економіко-математичну модель визначення оптимального складу вантажного автомобільного транспорту галузевої структури підприємств агропромислового виробництва. Виявлено основні показники роботи транспортних засобів, що залежать від умов, в яких вони використовуються та вплив відповідних коефіцієнтів на ці показники. **транспортне обслуговування, агропромислове виробництво, транспортний засіб, показники роботи, підхід, математична модель**

В.В. Аулин, проф., д-р техн. наук, Д.В. Голуб, доц., канд. техн. наук, А.В. Гриньков, асп.

Центральноукраинский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина

Усовершенствование системы транспортного обслуживания предприятий агропромышленного производства

Установлены особенности формирования автопарка транспортных средств сельскохозяйственных предприятий для грузовых перевозок. Дан системный подход до формирования оптимального состава парка автомобильных транспортных средств и эффективного его использования на предприятиях агропромышленного производства на основе применения методов экономико-математического моделирования и современных компьютерных технологий. Разработана экономико-математическая модель определения оптимального состава грузового автомобильного транспорта отраслевой структуры предприятий агропромышленного производства. Выявлены основные показатели работы транспортных средств, которые зависят от условий, в которых они используются, а также влияние соответствующих коэффициентов на эти показатели.

транспортное обслуживание, агропромышленное производство, транспортное средство, показатели работы, подход, математическая модель

Постановка проблеми. Важливим питанням ефективного використання автотранспорту у сільськогосподарському виробництві (СГВ) є обґрунтування його оптимального складу, що є дуже складним завданням. По-перше, зміна розмірів і об'ємів продукції СГВ вимагає відповідно змін в структурі автопарку господарств. По-друге, зростання масштабів і ускладнення структури автомобільного транспорту (АТ), капіталоемність і тривалі терміни створення виробничої бази підприємств агропромислового виробництва (АПВ) підвищують роль і значення стратегічних рішень, що визначають напрям і перспективи його розвитку в ринкових умовах.

Для ефективної роботи АТ в період робіт по збиранню врожаю потрібна розробка єдиного комплексного плану організації збирально-транспортних робіт, годинні графіки роботи системи «Комбайн – автомобіль – приймальний пункт», мережеві графіки ув'язки транспортних процесів з іншими агровиробничими процесами. Велика увага в єдиному комплексному плані повинна приділятися розподілу усього транспортного парку по ділянках робіт і видах перевезень. При цьому необхідно враховувати тип і вантажопідйомність рухомого складу (РС), рівень механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, стан вагового пункту або господарства і дорожні умови.

Аналіз стану справи із зазначеними питаннями показав, що в досліджуваних підприємствах АПВ ці документи не завжди розробляються.

Планування потреби автомобільних транспортних послуг на підприємствах АПВ необхідно проводити у напрямку загальних програм переходу економіки країни на ринкову систему господарювання. При цьому, в силу обмеженості зони дії АТ і невід'ємності перевезень від обслуговуваного регіону потреби кожної галузі можуть обґрунтовуватися незалежно один від одного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На організацію транспортного процесу в АПВ в цілому і на організацію праці на транспортних роботах, в першу чергу, впливають специфічні особливості робочих місць, їх умови і поєднання з робочими місцями інших підрозділів [1].

Витрати на транспорт складають значну частину від загальної суми виробничих витрат і витрат праці. Тому раціоналізація транспортного господарства є таким же актуальним завданням, як і раціоналізація виробництва, праці і управління [2].

Основні показники роботи автомобілів, у тому числі їх продуктивність і собівартість перевезень, залежать передусім від умов, в яких використовуються транспортні засоби [3]. Ці умови характеризуються сукупністю факторів, що визначають режим роботи і висувають вимоги до типу, конструкції і вантажопідйомності транспортних засобів.

На думку В.А. Верзиліна [4], умови експлуатації транспорту в СГВ мають свої особливості і залежать від багатьох факторів, у тому числі і природних. До найважливіших факторів експлуатації транспорту в СГВ слід віднести: 1) фізико-механічні і агробіологічні властивості вантажів, що перевозяться, 2) відстань перевезень, 3) дорожні умови, 4) об'єми перевезень і їх сезонні коливання, 5) міру механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, 6) форми організації транспортних підрозділів і підприємств, 7) кваліфікацію водіїв.

Структура вантажів і співвідношення їх кількості з різними властивостями визначають вимоги до складу транспортного парку. По своєму складу транспортний парк підприємств АПВ може більшою чи меншою мірою відповідати кількості і характеру вантажів, що перевозяться. Від цього залежать продуктивність і економічність його роботи. За вимогами до типу кузова, способу перевезення, а також вантажопідйомності РС усі сільськогосподарські вантажі Л. Ф. Кормаков [5] поділяє на наступні групи: насипні і навалювальні, затарені, штучні, неділимі, наливні, вимагаючі перевезення в спеціалізованих кузовах, дрібнопартійні. Від способів навантаження, розвантаження і транспортування значною мірою залежать надійність і якість перевезень в АПВ.

Відмітною особливістю СГВ є те, що більшість вантажів перевозиться малою об'ємною вагою [6]. При транспортуванні легковагових вантажів не повністю використовується вантажопідйомність транспортних засобів (ТЗ) з кузовами загального

призначення. В результаті знижується їх продуктивність і збільшуються витрати на перевезення.

Таким чином, умови експлуатації автомобільного транспорту в СГВ своєрідні і більш складніші, ніж в інших галузях народного господарства, що обов'язково необхідно враховувати при дослідженні транспортних процесів.

Дослідження ряду учених [7, 8] показали, що потреба у вантажних автомобілях в період збирання врожаю в основних сільськогосподарських районах країни збільшується в 2,0...2,5 рази. Тому здійснити процес збирання і вивезення урожаю в найкоротші терміни вдається тільки при виключно інтенсивній і злагодженій роботі збиральної і транспортної техніки. Отже, дуже важливо мати оптимальну структуру парку ТЗ і оперативно управляти ним по єдиному комплексному плану.

Постановка завдання. Розробити системно-спрямований підхід до формування оптимального складу парку автомобільних транспортних засобів і ефективного його використання на підприємствах АПВ на основі застосування методів економіко-математичного моделювання і сучасних комп'ютерних технологій.

Виклад основного матеріалу. Планування потреби АПВ в ТЗ для перевезення продукції базується на аналізі об'єктивних закономірностей і специфічних особливостей еволюції автотранспорту, на прогнозах основних факторів, що визначають його подальший розвиток, обліку програмних і цільових установок реформи сільського господарства регіону і його галузей, переробної промисловості, ремонтно-технічних підприємств, будівельних, торгових фірм і комерційних організацій [9].

До сучасних методів оперативного керівництва і управління роботою АТ можна віднести диспетчерську службу сільськогосподарських підприємств, оперативні графіки транспортних процесів на напружені періоди, застосування ПК і сучасної оргтехніки для збору і обробки оперативної інформації по виконанню транспортних процесів та інші.

Основними початковими принципами розробки планування потреб сільськогосподарської галузі в АТ в умовах ринку являються:

- цільова спрямованість, при орієнтуванні розвитку автотранспорту на потреби виробника;
- збільшення кількості і зростання якості сільськогосподарської продукції;
- об'єм перевезення вантажів;
- підвищення ефективності діяльності наявних автотранспортних підрозділів підприємств АПВ і виробничих потужностей.

Тенденція до зростання долі об'ємів перевезень нетранспортними організаціями свідчить про те, що підприємства-вантажовласники продовжують більшою мірою розраховувати на власний автопарк і віддають йому перевагу перед найманими перевізниками [10]. Це пов'язано передусім з тим, що у більшості вантажних автотранспортних підрозділів підприємств основу парку складають універсальні вантажні автомобілі середньої вантажопідйомності, що не мають достатнього комерційного попиту. На ринку автотранспортних послуг спостерігається найбільш високий попит на самоскиди, фургони (з об'ємом кузова 82 куб. м. і більше) і рефрижератори.

Дані галузевої статистики показують, що якщо коефіцієнт технічної готовності парку по підприємствах галузі «Автотранспорт» з 2001 по 2007 рік зріс в межах з 0,79 до 0,96, то коефіцієнт випуску вантажних автомобілів на лінію за цей же період знизився з 0,6 до 0,3%. Це свідчить про те, що значна частина парку автомобілів не знаходить комерційного попиту.

Додатковими чинниками, що знижують конкурентоспроможність багатьох суб'єктів галузі, являються нерозвиненість транспортної експедиції і логістичних систем, недостатня підприємницька гнучкість професійних перевізників.

На сьогодні наростає процес фізичного і морального зносу не лише вантажного автомобільного, але і усього машинотракторного парку підприємств АПВ. Понад амортизаційний термін експлуатується від 60 до 80% вантажних автомобілів, з року в рік зменшується ресурсозабезпеченість, що призводить до збільшення навантаження на одиницю кожного виду сільськогосподарської техніки. Крім того, не уся наявна в господарствах АПВ техніка справна. Кількість вантажних автомобілів, виражена у відсотках до загальної наявності її в господарствах, по роках і по видах коливається від 70 до 90 %. Збільшення навантаження на одиницю техніки, у свою чергу, розтягує агротехнічні терміни, що негативно позначається на врожайності і якості продукції і призводить до додаткових втрат при збиранні врожаю.

Проведені авторами даної роботи аналітичні дослідження свідчать про те, що досліджувані сільськогосподарські товаровиробники упродовж 5-7 років стикаються з певними проблемами, пов'язаними з організацією і управлінням СГВ. Частина цих проблем носить об'єктивний характер і є наслідком складного макроекономічного середовища функціонування підприємств, а інша – велика частина є наслідком ряду прийнятих неефективних і необґрунтованих управлінських рішень, що стосуються вибору тих або інших стратегічних напрямів розвитку виробництва. Усе це призводить до зниження об'ємів перевезень, а отже, і до зниження вантажообігу.

Для визначення оптимального складу автопарку в конкретних підприємствах АПВ пропонується апробований в Кіровоградській області методичний підхід, що складається з двох етапів. На першому етапі визначається об'єм вантажоперевезень в підприємствах АПВ по кожному виду сільськогосподарської продукції з урахуванням каналів її реалізації. Для цих цілей пропонується використання економіко-математичної моделі за визначенням оптимальної галузевої структури СГВ.

На другому етапі розробляється економіко-математична модель визначення оптимального складу вантажного автомобільного транспорту, на основі використання даних вантажоперевезень, отриманих при рішенні економіко-математичної моделі по оптимізації галузевої структури виробництва в кожному конкретному підприємстві АПВ. Для реалізації першого етапу пропонованого методичного підходу з наступною метою пошуку оптимального розміру і поєднання галузей в сільськогосподарських підприємствах за допомогою ПЕОМ була реалізована економіко-математична модель оптимізації розвитку сільськогосподарського виробництва досліджуваних АПВ Кіровоградської області.

Від раціонального поєднання галузей на підприємствах АПВ значною мірою залежать результати їх виробничої діяльності. Поєднання галузей і спеціалізація підприємств АПВ визначаються багатьма факторами, що обумовлює завдання визначення раціонального поєднання галузей складним і багатоваріантним. Зміна розміру однієї з галузей призводить до істотних змін в інших галузях, а будь-яке коригування плану вимагає великих витрат часу для проведення балансових розрахунків і ув'язки показників окремих галузей.

В усіх підприємствах АПВ необхідно мати таку структуру посівних площ, яка забезпечує отримання максимальної кількості сільськогосподарських продуктів з кожного гектара землі при найменших витратах праці і засобів на одиницю продукції. В якості критерію оптимальності при реалізації цього завдання доцільно використати максимізацію суми прибутку від виробничої діяльності підприємств АПВ, який визначається при рішенні завдання як різниця між вартістю товарної продукції в

грошовому вираженні і сумою витрат на її виробництво. В якості оцінок цільової функції по товарних сільськогосподарських культурах і галузях тваринництва приймається товарна продукція в грошовому вираженні з гектара посіву або від однієї голови тварин, визначена за ринковими цінами, по кормах, що реалізуються працівникам за собівартістю, по допоміжній змінній.

При цьому необхідно провести техніко-економічну оцінку сільськогосподарських культур і сівозміну, технологію їх обробітку і обґрунтувати наступну інформацію: розмір площі ріллі, природних сінокосів, пасовищ і можливості їх поліпшення, перелік оброблюваних сільськогосподарських культур, їх врожайність, вихід валової і товарної продукції з 1 га посіву; види тварин, їх продуктивність, норми годування; наявність виробничих ресурсів в господарстві і норми їх витрат на 1 га посіву і голову тварин; плановані об'єми реалізації сільськогосподарської продукції; агротехнічні умови виробництва, тобто побудувати економіко-математичну модель.

За основні змінні економіко-математичної моделі прийнято площі посіву сільськогосподарських культур по їх цільовому призначенню, площа пари, поголів'я тварин по видах в сільськогосподарських підприємствах, а також кількість молока для годування телят, поросят і кормів тваринного походження. В якості допоміжної змінної прийнято загальну суму виробничих витрат в підприємствах АПВ. Усі вимоги в економіко-математичній моделі можна відобразити у вигляді лінійних рівнянь і нерівностей.

У структурному аспекті економіко-математична модель складається з:

- цільової лінійної функції прибутку:

$$Z_{\max} = \sum_{j=1}^s c_j x_j - \bar{x}_{s+1}, \quad (1)$$

де c_j – валова продукція в грошовому вираженні, що отримується з 1 га посіву j -ої сільськогосподарської культури або від однієї голови j -го виду тварин, $j = \overline{1, s}$;

x_j – посівна площа j -ої сільськогосподарської культури або поголів'я худоби j -го виду;

$\bar{x}_j$ – сума виробничих витрат сільськогосподарського підприємства;

- системи наявності виробничих ресурсів:

$$\sum_{j=1}^s a_{ij} x_j \leq b_i, \quad (2)$$

де i – порядковий номер обмеження, $i = \overline{1, m}$;

a_{ij} – витрати виробничих ресурсів i -го виду на га посіву j -тої сільськогосподарської культури або голів худоби j -го виду;

b_i – об'єм виробничих ресурсів i -го виду що є в наявності.

- системи допоміжного обмеження для визначення виробничих витрат, витрат праці і вартості товарної продукції:

$$\sum_{j=1}^s a_{ij} x_j = \bar{x}_j, \quad (3)$$

де $\bar{x}_j$ – шукані величини;

- виконання системи агротехнічних умов обробітку сільськогосподарських культур і окремих організаційно-економічних вимог:

$$\sum_{j=1}^s x_j \begin{cases} \leq G_i \\ = G_i \\ \geq G_i \end{cases}, \quad (4)$$

де G_i – верхні або нижні межі насичення сівозмін окремими сільськогосподарськими культурами або групами культур, або розміри тваринницьких галузей;

- співвідношення між окремими групами сільськогосподарських культур:

$$\sum_{j=1}^s w_{ij} x_j - \sum_{j=1}^s w'_{ij} x_j \leq 0, \quad (5)$$

де w_{ij} і w'_{ij} – коефіцієнти пропорційності;

Виконання обмеження по виробництву і використанню кормів:

$$\sum_{j=j'}^s d_{ij} x_j - \sum_{j=1}^{s-1} v_{ij} x_j \leq 0, \quad (6)$$

де d_{ij} – норма годування i -им видом корму j' -го виду тварини;

v_{ij} – вихід i -го виду корму з 1 га посіву j -ї сільськогосподарської культури;

- виконання договірних зобов'язань по реалізації сільськогосподарської продукції:

$$\sum_{j=1}^s q_{ij} x_j \geq Q_i, \quad (7)$$

де Q_i – об'єм реалізації i -го виду сільськогосподарської продукції за договорами;

q_{ij} – вихід товарної продукції i -го виду з 1 га посіву j -ої сільськогосподарської культури або від 1 голови тварин;

- умова наявності поголів'я:

$$x_j \geq b_i, \quad j = \overline{1, s}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (8)$$

де b_i – розмір i -ої галузі тваринництва.

Зазначимо, що шукані значення не можуть бути негативними:

$$x_j \geq 0. \quad (9)$$

Отже в представленій економіко-математичній моделі усі умови завдання за визначенням оптимальної спеціалізації і поєднання галузей в досліджуваних сільськогосподарських підприємствах подані в математичній формі.

Рішення моделі дали можливість визначити основні показники оптимального розвитку виробництва досліджуваних господарств АПВ.

Статистичний аналіз структури товарної продукції свідчить про те, що галузь рослинництва, як і раніше, займатиме основну частку 75...85%, а рільництво в господарствах також матиме зернобурячноолійний напрям. В той же час, оптимальне рішення дає можливість змінити пропорції усередині самої галузі. Визначено, що для умов Кіровоградської області необхідно більш ніж в два рази збільшити питому вагу зерна і цукрового буряку, але слід значно скоротити питому вагу соняшнику.

Після цього далі проводиться оптимізаційний аналіз, що дозволяє оцінити економічну доцільність пропонованих структурних змін, пов'язаних з коригуванням галузевої структури виробництва в досліджуваних господарствах, і здійснюється обґрунтування джерел і механізмів фінансування пропонованих структурних змін і заходів, необхідних для їх реалізації на підприємствах АПВ.

Висновки.

1. Встановлено, що особливостями формування вантажного автопарку сільськогосподарських підприємств є сезонність використання вантажних автомобілів, необхідність мати в розпорядженні ТЗ різної вантажопідйомності, видів і марок, неможливість або складність заміни марок ТЗ на деяких видах вантажоперевезень.

2. Виявлено, що основними показниками роботи ТЗ є продуктивність і собівартість перевезень, які залежать передусім від умов, в яких використовуються транспортні засоби. На ці показники істотно впливають коефіцієнт технічної готовності автопарку, коефіцієнт використання автопарку, коефіцієнт використання пробігу, міра використання вантажного рухомого складу в підприємствах АПВ, коефіцієнт виходу автопарку, коефіцієнт використання вантажопідйомності автомобілів.

3. Дослідження теоретичних положень і методологічних передумов методів оптимального планування, а також результати аналітичних досліджень функціонування автомобільного транспорту в сільському господарстві дозволили зробити висновок про доцільність системного підходу до формування оптимального складу і ефективного використання автомобільних ТЗ в сільськогосподарських підприємствах на основі застосування методів економіко-математичного моделювання і сучасних комп'ютерних технологій, що обумовлено багатоваріантністю допустимих рішень, об'єктивно існуючою обмеженістю чинників і можливістю з усіх допустимих рішень знайти оптимальне.

4. Розроблено економіко-математичну модель з цільовою функцією прибутку, за визначенням оптимального складу вантажного автомобільного транспорту на основі використання даних по вантажоперевезеннях і оптимізації галузевої структури АПВ в кожному конкретному сільськогосподарському підприємстві.

Список літератури

1. Курносов, А.П. Оптимизация параметров функционирования сельскохозяйственных предприятий при изменяющихся условиях хозяйствования [Текст] / А.П. Курносов, А.В. Улезько, А.К. Камалян, Н.М. Бухонова. – М.: МГСУ «Союз», 2000. – 163 с.
2. Терновых, К.С. Агропромышленная интеграция в условиях трансформации экономики: тенденции и механизм реализации [Текст] / К.С. Терновых, П.С. Гребнев. – Воронеж: ВГАУ, 2002. – 48 с.
3. Вельможин, А.В. К вопросу о рынке автотранспортных услуг [Текст] / А.В. Вельможин, В.П. Гудков // Автомобильный транспорт. – № 3 – 2000. – С.14 – 15.
4. Верзилин, В.А. Использование транспорта в сельском хозяйстве: теория и практика [Текст] / В.А. Верзилин. – Воронеж: ВГАУ, 2003. – 238 с.
5. Кормаков, Л.Ф. Организация использования транспорта в сельском хозяйстве [Текст] / Л.Ф. Кормаков. – М.: Колос, 1976. – 208 с.
6. Лукинский, В.С. Логистика автомобильного транспорта. Концепция, методы, модели [Текст] / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Б.В. Бережная, И.А. Цвиринько. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 280 с.
7. Сарафанова, Е.В. Грузовые автомобильные перевозки [Текст] / Е.В. Сарафанова, А.А. Евсеева, Б.П. Копцев. – М.: ИКЦ «МарТ»; Ростов - н/д: Издательский центр «МарТ», 2006. – 480 с.
8. Хицков, И.Ф. Перспективы развития АПК региона в рыночных условиях [Текст] / И.Ф. Хицков, И.Б. Загайтов, В.Ф. Печеневский, В.М. Новиков // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2003. № 4. – С.1-5.
9. Аулін, В.В. Логістичний підхід в дослідженні процесів вантажних перевезень у фермерських господарствах агропромислового комплексу України [Текст] / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.Б. Гупка. – Київ: Вісник інж. академії України. – 2016. – №4. – С. 61-66.
10. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем : монографія [Текст] / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко ; під. заг. ред. проф. В. В. Ауліна. – Кропивницький : КОД, 2017. – 370 с.

Viktor Aulin, Prof., DSc., Dmytriy Golub, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Hrinkiv, post-graduate
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Improvement of the Transport Service System of Enterprises of Agro-industrial Production

To develop a system-directed approach to the formation of the optimal composition of the fleet of automobile vehicles and its efficient use at the enterprises of the automobile industry on the basis of application of methods of economic-mathematical modeling and modern computer technologies.

The features of the formation of a truck fleet of vehicles of agricultural enterprises are established. The system approach before the formation of the optimal composition of the fleet of motor vehicles and its effective use at the enterprises of agroindustrial production on the basis of application of methods of economic and mathematical modeling and modern computer technologies is given. An economic-mathematical model for determining the optimal composition of freight road transport for the sectoral structure of enterprises of agro-industrial production has been developed. The main performance indicators of vehicles that depend on the conditions in which they are used and the influence of the corresponding coefficients on these indicators are revealed.

The results of analytical studies of the functioning of automobile transport in agriculture allowed us to conclude that the developed system approach to the formation of optimal composition and efficient use of vehicles in agricultural enterprises based on the application of the economic-mathematical model and modern computer technologies, due to the multivariance of admissible decisions, on the The fact that existing factors are limited and the ability to find optimum from all permissible solutions ne.

transport services, agro-industrial production, vehicle, performance indicators, approach, mathematical model

Одержано 18.09.17

УДК 621.914.02

С.М. Анастасенко, канд. техн. наук, І.О. Григурко, ст. викл., В.Л. Будуров, викл.
Первомайська філія Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, м.Первомайськ, Україна, E-mail: ondi2008@rambler.ru

Модернізація спеціальної оправки з торцевою фрезою-протяжкою, яка працює за схемою прогресивного фрезерування

У статті представлена модернізація конструкції спеціальної оправки для торцевої фрези зі зміщеним центром обертання. Розроблено схему прогресивного фрезерування поверхонь за допомогою спеціальної оправки для фрези-протяжки, яка забезпечує знімання припуску від 10 до 30 мм за один прохід.

стійкість інструмента, фрезерування, припуск, фреза протяжка, геометричні параметри, передній кут, головний кут в плані, спеціальна оправка, різальні зубці

С.Н. Анастасенко, канд. техн. наук, І.А. Григурко, ст.препод., В.Л.Будуров, препод.
Первомайский филиал Национального университета кораблестроения им. адм.Макарова, г. Первомайск, Украина

Модернизация специальной оправки с торцевой фрезой-протяжкой, которая работает по схеме прогрессивного фрезерования

В статье представлена модернизация конструкции специальной оправки для торцевой фрезы со смещенным центром вращения. Разработана схема прогрессивного фрезерования поверхностей с помощью специальной оправки для фрезы-протяжки, которая обеспечивает съем припуска от 10 до 30 мм за один проход.

стойкость инструмента, фрезерование, припуск, фреза протяжка, геометрические параметры, передний угол, главный угол в плане, специальная оправка, резальные зубцы

© С.М. Анастасенко, І.О. Григурко, В.Л. Будуров, 2017

Постановка проблеми. Фрезерування на виливках площини деталі "плита", або "корпус" з припуском від 10 до 30 мм за один прохід є великою проблемою щодо економного використання різального інструменту, його стійкості та зниження трудомісткості процесу, так як знімання величини припуску до 30 мм при фрезеруванні торцевими фрезами цих виливок доволі трудомістка операція, яка виконувалась за 10 проходів.

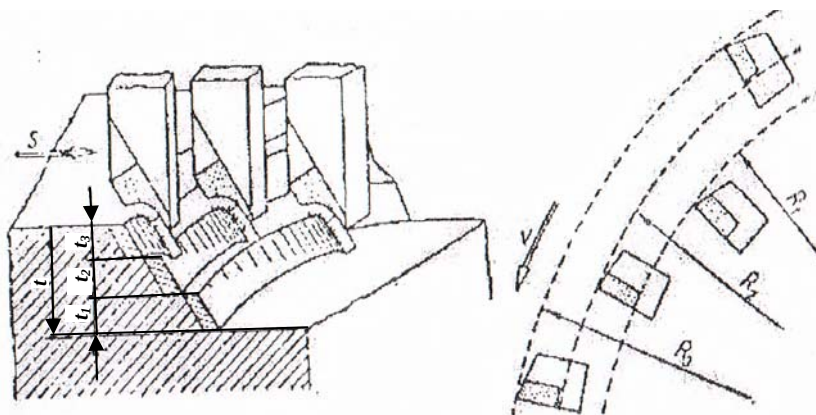
Для зменшення трудомісткості при фрезеруванні поверхонь з великими припусками виникла необхідність вирішення проблеми знімання великої величини припуску за один прохід, для чого необхідно провести дослідження різних конструкцій спеціальних оправок зі зміщеним центром обертання для фрез-протяжок.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз останніх досліджень показав, що при механічній обробці площин застосовуються торцеві фрези, які мають малу стійкість твердосплавних пластин і тому процес обробки потребує великих затрат трудомісткості.

Впровадження у виробництво модернізованої конструкції спеціалізованої оправки з торцевою фрезою дало позитивний результат як з підвищення стійкості різального інструмента, так і зниження трудомісткості виготовлення деталей.

Постановка завдання. Для зменшення трудомісткості при фрезеруванні поверхонь з великими припусками, а, відповідно, і собівартості випуску продукції, та з метою збільшення стійкості різальних пластин фрези-протяжки пропонується використання модернізованої конструкції спеціальної оправки зі зміщеним центром обертання для фрези-протяжки. Тому для досягнення поставленої задачі необхідно провести дослідження різних варіантів спеціальних оправок з торцевою фрезою, яка працює за схемою прогресивного фрезерування та запропонувати найоптимальніші конструктивні елементи фрези-протяжки і відповідну методику розрахунку спеціальної оправки для цієї фрези.

Виклад основного матеріалу. При необхідності знімання збільшеного припуску металу використовують ступінчасті схеми розміщення ножів (рис.1 а-в). Ножі при цьому розміщуються в декілька рядів (рис.1а), ($\phi_1=\phi_2=\phi_3$), кожен ряд на своєму діаметрі, який відрізняється від діаметра другого ряду на величину, що перевищує подвоєну подачу на оберт числа зубців ряду і на різній висоті, яка забезпечує розподіл припуску на обробку між рядами в потрібному співвідношенні. Інколи ножі кожного ряду мають різні кути в плані ($\phi_1<\phi_2<\phi_3$) – ножі, які здійснюють чорнову обробку з кутом, наближеним до $\phi=90^\circ$, ножі, які розміщені на других рівнях – менше значення ϕ .



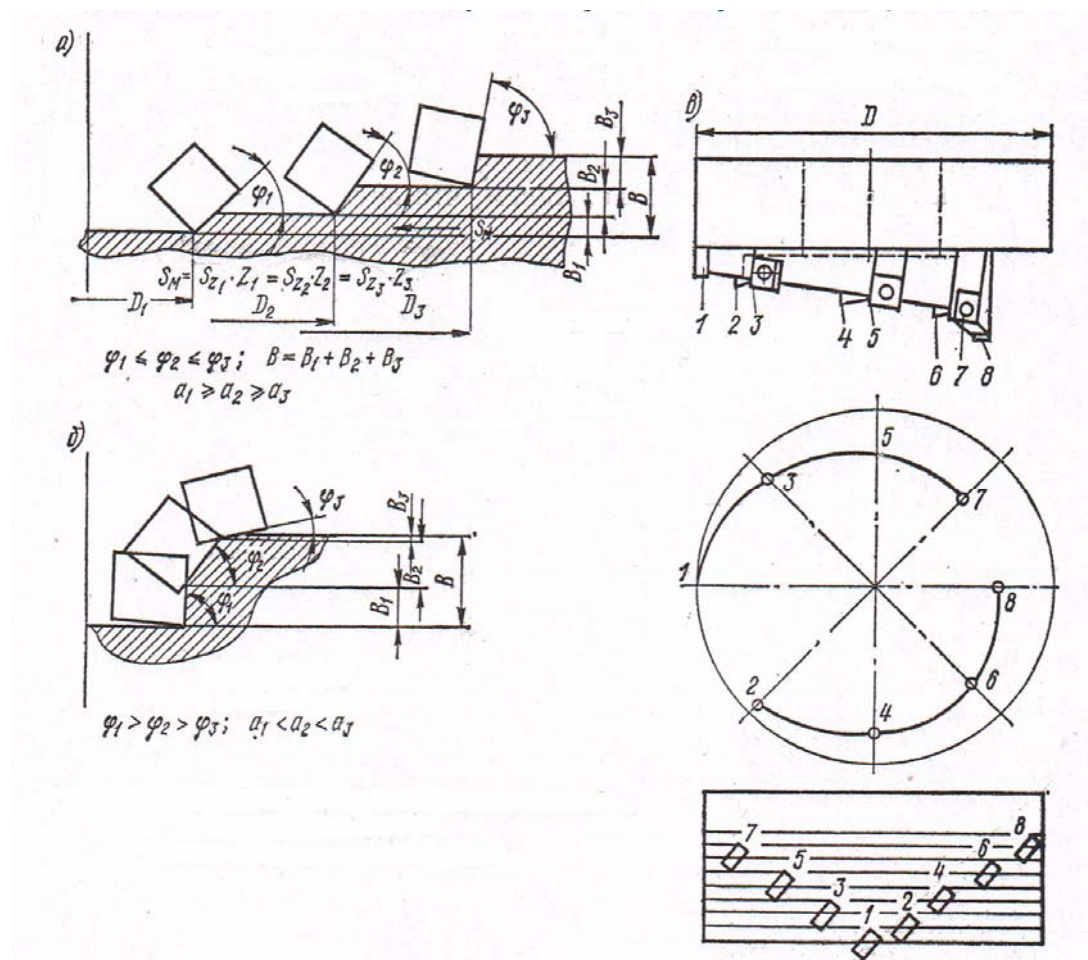


Рисунок 1 – Схема ступінчастого фрезерування

При фрезеруванні площини деталі за схемою прогресивного фрезерування, торцева стандартна фреза встановлюється на спеціальну оправку, яка має таку конструкцію. Посадочна шийка з торцем оправки під фрезу виконується під деяким кутом $\alpha = 3 \dots 9^\circ$ до осі хвостовика, яка збігається з віссю обертання. Кутове розташування корпуса фрези забезпечує різний торцевий виліт різальних ножів по відношенню до площини фрезерування. При цьому, кожний ніж працює в своїй горизонтальній площині, паралельній площині фрезерування. Найбільшу різницю по висоті мають діаметрально розташовані зубці. В процесі обертання інструмента кожний послідовний зуб врізається в оброблюючий матеріал на більшу глибину, ніж попередній, тобто шар металу, що зрізується за один оберт інструмента, розподіляється між усіма різальними зубцями. Таким чином, різальні зубці працюють тільки частиною різальної кромки, що поліпшує умови роботи інструмента та підвищує його стійкість. Умови роботи зубців теж поліпшуються із-за їх різного нахилу. Усі ці фактори дозволяють зменшувати витрати потужності на фрезерування до 50%.

Розглянемо проектування фрези торцевої для фрезерування площини деталі шириною 200 мм на глибину 20 мм. Матеріал заготовки: Чавун СЧ 25 НВ = 197...217. Фрезерування площини деталі будемо виконувати торцевою фрезою $\varnothing 200$ мм з насадними ножами із твердого сплаву марки ВК8, встановленою на спеціальну оправку для прогресивного фрезерування (рис. 2, 3).

Геометричні параметри різальної частини фрези-протяжки:

- передній кут $\gamma = 15^\circ$;
- величина головного заднього кута в перетині перпендикулярно до осі фрези $\alpha = 12^\circ$;
- допоміжний задній кут $\alpha_1 = 8^\circ$;
- головний кут в плані $\varphi = 45^\circ$;
- допоміжний кут в плані $\varphi_1 = 2^\circ$.

Конструктивні елементи фрези-протяжки:

Діаметр корпуса фрези приймається на 1,5...2,0 мм менше за діаметр фрези.

Число зубців фрези для обробки чавуну:

$$Z = 0,04 \times D + 2 = 0,04 \times 200 + 2 = 10 \text{ шт.}$$

Ми пропонуємо наступну методику розрахунку спеціальної оправки для фрези протяжки. Розрахунок кута нахилу посадочної під отвір фрези-протяжки шийки оправки до осі хвостовика оправки знаходимо за розрахунковим припуском. Для того, щоб зубці, які знаходяться у верхній плоскості брали участь в роботі, розрахунковий припуск повинен бути меншим на величину усереднювального припуску на 1 зуб за глибиною, тобто:

$$t_{\text{розр.}} = t_{\text{min}} - \frac{t_{\text{min}}}{Z_{\text{фр.}}},$$

де t_{min} – мінімальний припуск рівний 20мм;

$Z_{\text{фр}}$ – число зубців фрези = 10 шт.

$$t_{\text{розр.}} = 20 - \frac{20}{10} = 18 \text{ мм.}$$

Тоді кут нахилу корпуса фрези α буде дорівнювати

$$\arcsin \alpha = \frac{t_{\text{розр.}}}{D_{\text{фрез}}} = \frac{18}{200} = 0,09; \quad \alpha = 5^\circ 12';$$

Так, як в даному випадку використовуються торцеві стандартні фрези, то при установці їх на зміщену відносно осі обертання оправку, дійсні головні та допоміжні кути в плані кожного ножа відрізняються від кутів в плані, одержаних при заточці, а також один від другого.

Ніж, що працює в нижній плоскості має:

головний кут в плані

$$\varphi_{\text{н}} = \varphi - \alpha = 45 - 12 = 33^\circ,$$

допоміжний кут в плані

$$\varphi'_{\text{н}} = \varphi' + \alpha = 2 + 12 = 14^\circ.$$

Ніж, що працює у верхній площині має:

головний кут в плані

$$\varphi_{\text{в}} = \varphi + \alpha = 45 + 12 = 57^\circ$$

допоміжний кут в плані

$$\varphi'_{\text{в}} = \varphi' - \alpha = 2 - 12 = -10^\circ.$$

Так, як допоміжні кути в плані малі за величиною, то заточку допоміжних кутів в плані потрібно виконувати під кутом:

$$\varphi'_{\text{зат}} = \varphi' + \alpha = 2 + 12 = 14^\circ.$$

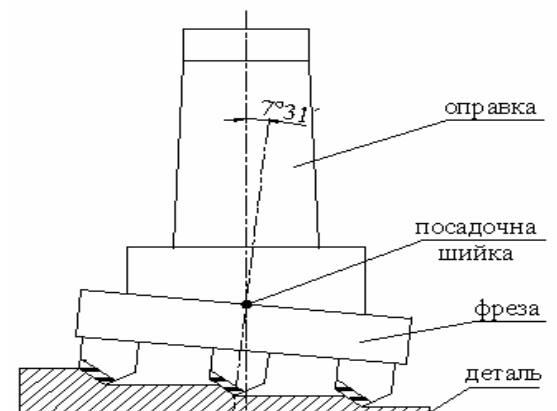


Рисунок 2 – Схема прогресивного процесу фрезерування поверхні деталі

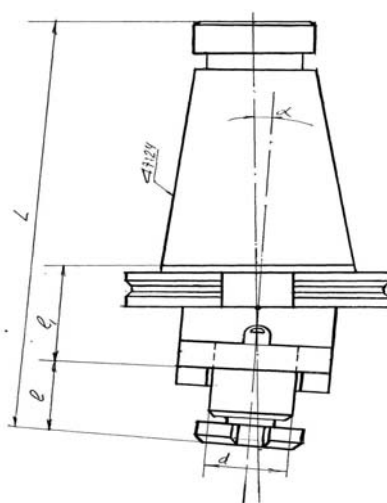


Рисунок 3 – Ескіз спеціальної оправки для фрези-протяжки

Висновок. Модернізована конструкція спеціальної оправки зі зміщеним центром обертання фрези для фрези-протяжки дає можливість збільшити стійкість різальної пластини фрези-протяжки приблизно в 3 рази і зменшити трудомісткість виготовлення деталі в 4...5 раз, що значно впливає на зниження собівартості випуску виробів.

Список літератури

1. Григурко, І. О. Технологія обробки типових деталей. Курсове проектування [Текст] : навч. посібник / І. О. Григурко, М.Ф. Брендюла, С.М. Доценко. – Львів : Новий Світ - 2000, 2006. – 576 с.
2. Григурко, І.О. Технологія машинобудування. Дипломне проектування [Текст] : навч. посібник / І. О. Григурко, М.Ф. Брендюла, С.М. Доценко. – Львів :Новий Світ-2000, 2014. – 760 с.
3. Матюха, П. Г. Теорія різання [Текст]: навч. посіб. для ВНЗ / П. Г. Матюха. – Донецьк : ДонНТУ, 2007. – 206 с.
4. Основы теории резания материалов [Текст] : учеб. для высш. уч. зав. / Н.П.Мазур [и др.]; под общей редакцией Н.П. Мазура. – Львов: Новый свет – 2000, 2010. – 422 с.
5. Аршинов, А.В. Резание металлов и режущий инструмент [Текст] : учебное пособие / А.В. Аршинов, Г.А. Алексеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 440 с.
6. Солоненко, В.Г. Резания металов и режущий інструмент [Текст] : учебное пособие / В.Г. Солоненко. 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2008. – 414 с.
7. Шагун, В.И. Металорежущий інструмент [Текст]: учебное пособие / В.И. Шагун. – М.: Высшая школа, 2007. – 423 с.

Sergey Anastasenko, PhD tech. sci., Vasiliy Bydyrov, Sr. Lect., Ivan Grigyrko, Lect.

Pervomayskiy politechnichnyy institut Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaysk, Ukraine

Upgrading of the Special Mandrel With a Face Broach Milling Cutter That Operates According to the Scheme of Advanced Milling

The article presents the design upgrading of a special mandrel for a face milling cutter with a displaced center of rotation in order to decrease labor intensity when milling surfaces with large allowances, to reduce the production cost and to increase the cutting power of inserts of the broach milling cutter.

An upgraded design of a special mandrel with a displaced center of rotation for the broach milling cutter has been proposed.

The design upgrading of the special mandrel with a displaced center of rotation of the cutter for the face broach milling cutter allows to multiply the cutting power of inserts of the broach milling cutter by about 3 times and reduce the labor intensity of manufacturing per part by 4-5 times, which significantly affects the reduction of the unit cost production.

A scheme of advanced milling of surfaces with the help of a special mandrel for the broach milling cutter, which ensures the removal of the allowance from 10 to 30 mm in one pass, has been devised.

the broach milling cutter, firmness of instrument, milling, geometrical parameters, front corner, main corner in a plan, special mounting, cutting indents

Одержано 30.10.17

УДК 631.4

В.М. Боровський, ст. викл., В.Л. Куликівський, канд. техн. наук, В.К. Палійчук, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна

E-mail: kylikovskiyv@ukr.net

Енергія взаємодії частинок у дискретному середовищі ґрунту

Розглянуто процес структуроутворення, фактори, які на нього впливають і проаналізовані енергетичні критерії утворення водотривкої структури. Запропоновано метод енергетичного розрахунку взаємодії ґрунтових частинок, що дозволяє здійснити спрощений розрахунок електростатичної взаємодії ґрунтових колоїдів, які є складовою структури ґрунту.

взаємодія ґрунтових частинок, водотривка структура, енергетичний розрахунок, фізико-механічні властивості ґрунту

В.Н. Боровский, ст. преп., В.Л. Куликовский, канд. техн. наук, В.К. Палийчук, доц., канд. техн. наук

Житомирский национальный агроекологический университет, г. Житомир, Украина

Энергия взаимодействия частиц в дискретной среде почвы

Рассмотрен процесс структурообразования, факторы, которые на него влияют и проанализированы энергетические критерии образования водопрочной структуры. Предложен метод энергетического расчета взаимодействия почвенных частиц, позволяющий осуществить упрощенный расчет электростатического взаимодействия почвенных коллоидов, которые являются составляющей структуры почвы.

взаимодействие почвенных частиц, водопрочная структура, энергетический расчет, физико-механические свойства почвы

© В.М. Боровський, В.Л. Куликівський, В.К. Палійчук, 2017

Постановка проблеми. На врожайність сільськогосподарських культур впливають різні фактори, серед яких основними, керованими є такі агротехнічні заходи, як якісно-кількісний склад добрив та обробіток ґрунту.

Під час механічного обробітку ґрунту одночасно відбувається два процеси – руйнування структури ґрунту і структуроутворення [1-3]. В залежності від того, який процес переважає відбувається або розпилення ґрунту, що призводить до підсилення деградації, чи навпаки, його агроструктура поліпшується і, відповідно, підвищується родючість. Баланс між цими процесами залежить від багатьох факторів. Серед них слід виділити – спосіб обробітку ґрунту та знаряддя, що при цьому застосовуються. Збільшити кількість цінних водотривких агрегатів в ґрунті можливо шляхом введення штучних структуроутворювачів, але це досить затратно, крім того післядія та вплив на спадковість якості структур, утворених за умов їх застосування, вивчені недостатньо.

Тому при конструюванні знарядь для механічного обробітку ґрунту, актуальними є прагнення до мінімізації процесів руйнування водотривких агрегатів та створення найбільш сприятливих умов для структуроутворення.

Так як результатом обробітку є нерівноважний стан ґрунту, то в будь-якому випадку – це процес підведення до частинок ґрунту певної кількості енергії з метою зміни властивостей і досягнення, з точки зору агротехнічної науки, оптимального складу, при якому досягається максимальний ефект (наприклад, врожайність культур).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливою умовою розвитку ґрунтообробної техніки є модель ґрунтового середовища як об'єкта механічного обробітку. Процес взаємодії робочих органів і знарядь з ґрунтовым середовищем є основою теорії обробітку ґрунту. Причому створення робочих органів і знарядь повинно ґрунтуватися на теоретичних відображеннях технологічних процесів, що протікають в ґрунті, з урахуванням властивостей раціонально обраних її моделей і описаних математичними залежностями.

Початковим етапом структуроутворення є виникнення контакту поміж сусідніми частинками дисперсної фази, а кінцевий результат являє собою виникнення просторової структури, яка охоплює весь ґрунтовий профіль. Кількість і характер контактів є найважливішими структурними характеристиками агрономічно цінних водотривких агрегатів. Розрізняють три основних типи поміжчастинкових контактів [4-6]. Це коагуляційні рідинні контакти, сухі точкові (молекулярно-точкові) і конденсаційні (кристалізаційно-цементацийні), або фазові контакти. В утворенні ґрунтових агрегатів беруть участь всі три типи контактів. Поряд із вказаними, в ґрунтах утворюються специфічні цементацийно-фазові контакти. Вони пов'язують між собою органомінеральні фракції мікроагрегатів, неагреговані пилові і піщані частинки ґрунтів і формують з них водостійкі ядра, які є основною, функціональною одиницею агрегатної структури ґрунтів.

Постановка завдання. Мета дослідження – розглянути процеси структуроутворення агрономічно цінних водотривких агрегатів, умови, при яких вони утворюються для подальшого аналізу енергетичної взаємодії структурних складових дискретного середовища ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Під час дослідження механізму структуроутворення можна стверджувати, що на першому етапі утворення ґрунтових агрегатів виникає просте прилипання колоїдних частинок між собою. Подальше зміцнення цих «проагрегатів» відбувається за рахунок клейких речовин, а саме гідратів повторних окислів, силікагелів. Однак найбільш стійкі та цінні агрегати утворюються лише у верхніх ґрунтових горизонтах, де роль клею виконують органічні речовини ґрунту. При наявності у розчині вільних солей заліза, алюмінію та лужноземельних

катіонів відбувається незворотне обернення гуматів і зв'язки останніх із мінеральними частинками стають найбільш слабкими, що супроводжується утворенням дрібних агрегатів.

З енергетичної точки зору фізико-механічні властивості ґрунту визначаються природою і величиною сил зчеплення частинок одна з одною, а також кількістю поміжчастинкових контактів в одиниці об'єму системи. Повна потенційна енергія двох взаємодіючих частинок задовільно описується рівнянням:

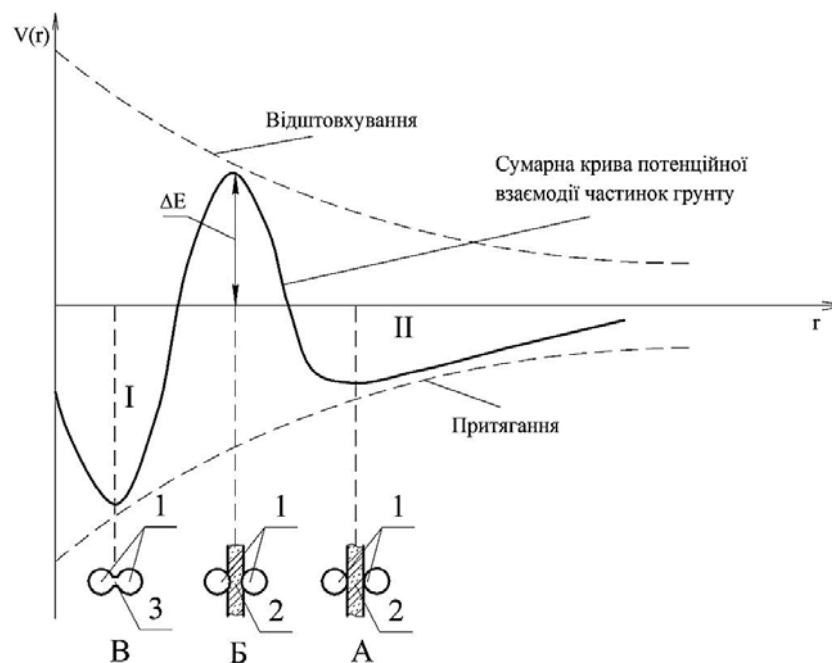
$$E(r) = \frac{b}{r^{12}} - \frac{c}{r^6}, \quad (1)$$

де r – відстань поміж центрами мас взаємодіючих частинок;

b , c – емпіричні константи.

Відповідно до наведеного рівняння сумарна потенційна енергія взаємодії частинок від'ємна на близьких і далеких відстанях (переважає енергія притягання) і може бути додатна на середніх відстанях (переважає енергія відштовхування). Максимум потенційної кривої відповідає деякому потенційному бар'єрові ΔE (рис. 1). Первинним актом структуроутворення є виникнення контакту поміж сусідніми частинками дисперсної фази, а кінцевий результат являє собою утворення просторової структури, яка охоплює весь ґрунтовий профіль. Таким чином, можна стверджувати, що водотривкі агрегати утворюються в ґрунті за таких умов:

- 1) ґрунт має оптимальну вологість, тобто знаходиться в стані фізичної стиглості;
- 2) коагуляційно-рідинні контакти між частинками ґрунту перетворюються спочатку в молекулярно-точкові, а потім у кристалізаційно-цементаційні;
- 3) ґрунт має достатню кількість колоїдів міцелі мінерального чи органічного походження.



А – коагуляційний контакт через сольватні прошарки; Б – точковий контакт із проривом сольватного прошарку; В – утворення конденсаційно-цементаційного контакту; 1 – частинки ґрунту; 2 – сольватний шар; 3 – конденсаційно-цементаційний зв'язок

Рисунок 1 – Енергетичні криві потенційної взаємодії та характер взаємодії двох частинок ґрунту

Ґрунти в силу дисперсності, мають колосальну питому поверхню і, як наслідок, велику кількість питомої енергії, величина якої обумовлює процеси формування ґрунтових агрегатів та їх сталість. Для ґрунту, як і для будь-якого дисперсного середовища характерні такі фактори сталості (стабілізації):

1. Електростатичний фактор (термодинамічний) полягає у зменшенні поверхневого натягу внаслідок виникнення подвійного електростатичного шару поверхні частинок.

2. Абсорбційно-сольватний фактор (термодинамічний) полягає у зменшенні поверхневого натягу в результаті взаємодії частинок із дисперсійним середовищем або завдяки адсорбційній дії стабілізаторів.

3. Ентропійний фактор (термодинамічний) проявляється у прагненні дисперсної фази до рівномірного розподілення за об'ємом системи під дією теплового руху.

4. Структурно-механічний фактор (кінетичний), пов'язаний із тим, що на руйнування плівок, які утворюються на поверхні частинок і відрізняються пружністю та механічною міцністю, потрібні енергія і час.

5. Гідродинамічний фактор (кінетичний) полягає у зменшенні швидкості руху частинок при зміні в'язкості та дисперсійного середовища.

Необхідно відзначити, що для ґрунтів найбільш характерна змішана дія багатьох факторів, тобто агрегатна сталість структури забезпечується дією декількох факторів одночасно. Таким чином, сталість структур ґрунту визначається балансом енергії притягання та енергії відштовхування частинок.

Пропонується наближений метод, який дозволяє розрахувати енергію взаємодії частинок з викривленою поверхнею U за відомим законом взаємодії плоских частинок $U(h)$, що має вигляд:

$$U_s = K_h \cdot U(h) \cdot dh, \quad (2)$$

де K – константа форми частинок;

h – найкоротша відстань поміж частинками.

Метод дозволяє отримати в аналітичному вигляді вираз для енергії взаємодії частинок правильної (модельної) геометричної форми. Однак, отримані вирази досить складні. Спрощені вирази енергії та сил електростатичної взаємодії слабо заряджених сферичних частинок радіусом a_1 та a_2 мають вигляд:

$$U_i = 2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \psi^2 \frac{2 \cdot \pi \cdot a_1 \cdot a_2}{a_1 + a_2} \ln[1 + \exp(-\chi h)], \quad (3)$$

$$F_i = 2 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \psi^2 \frac{2 \cdot \pi \cdot a_1 \cdot a_2}{a_1 + a_2} \cdot \frac{\chi}{1 + \exp(\chi h)}, \quad (4)$$

де ε – відносна діелектрична проникність;

ε_0 – електрична константа;

ψ – потенціал поверхні максимального наближення;

χ – величина, зворотна товщині дифузійної частини подвійного електричного шару;

h – відстань між центрами мас частинок;

a_1 та a_2 – розміри частинок, які взаємодіють між собою.

Енергію електростатичного відштовхування частинок при $\psi > 1$ можна визначити за формулою:

$$U = \frac{a}{z^2} f(\psi; \chi h), \quad (5)$$

де z – валентність іонів симетричного електроліту (водне середовище), $z = 1$.

Значення функції $f(\psi; \chi h)$ розраховані: $\psi = 2 \dots 6$; $\chi h = 0 \dots 3$. Для розрахунку енергії молекулярної взаємодії (енергії притягання) сферичних частинок з радіусом a , за умови $h < a$, отримано вираз:

$$U_i = \frac{Aa}{12h}, \quad (6)$$

де A – константа Гамакера.

Отже, сумарна енергія взаємодії частинок середовища ґрунту може бути обчислена за формулою:

$$U_s = U_i + U_m = \frac{a}{z^2} f(\psi; \chi h) - \frac{Aa}{12h}. \quad (7)$$

Практичні результати розрахунку енергії U_s , U_i , U_m , парної взаємодії частинок ґрунту з гранулометричним складом, виконані у відповідності до формули (7) та графічно відображені на рис. 2, 3.

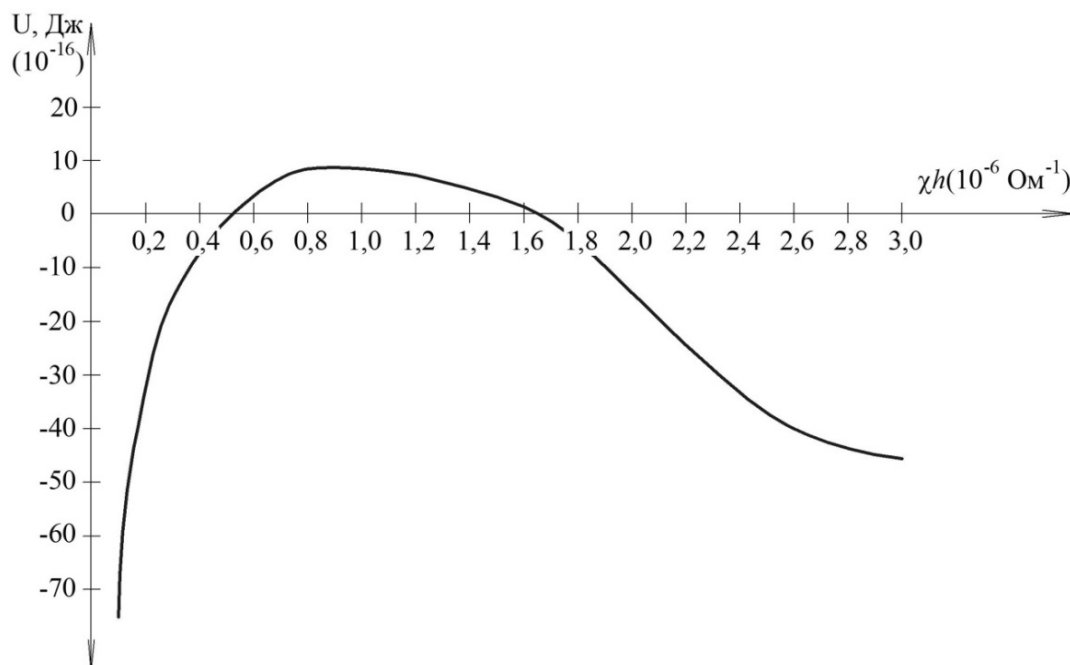


Рисунок 2 – Варіант «максимального» енергетичного рівня взаємодії частинок

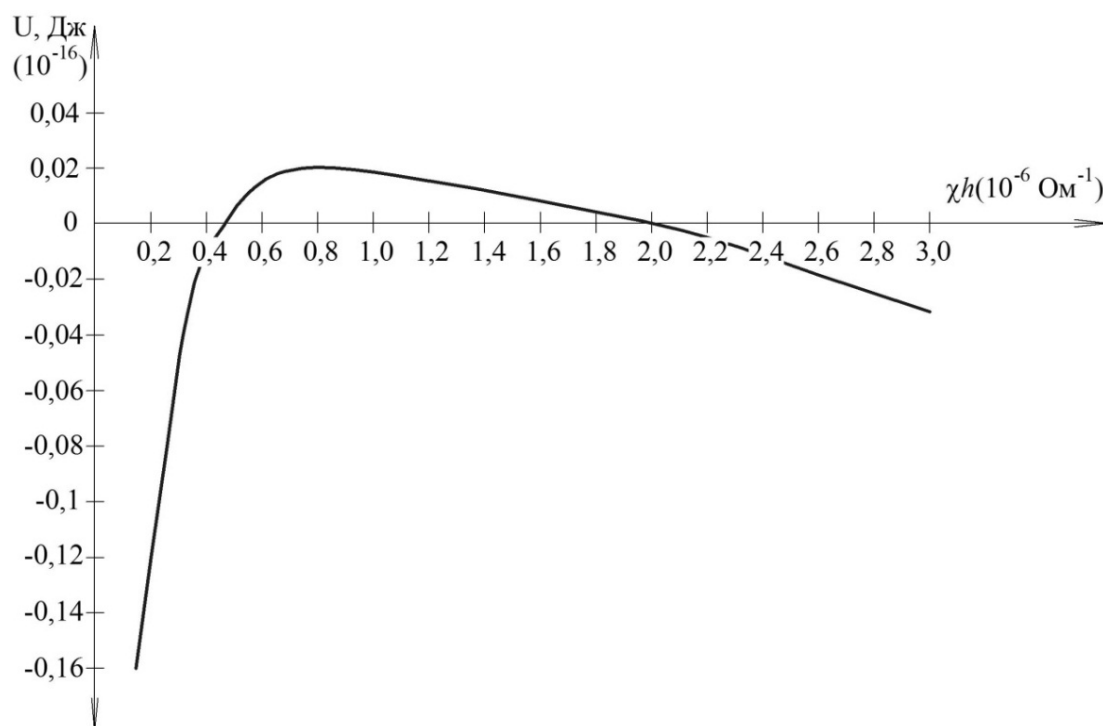


Рисунок 3 – Варіант «мінімального» енергетичного рівня взаємодії частинок

Висновки. Сталість структур ґрунту визначається балансом енергій взаємодії (енергії притягання та енергії відштовхування) ґрунтових частинок. Метод енергетичного розрахунку, взаємодії ґрунтових частинок, дозволяє здійснити спрощений розрахунок електростатичної взаємодії ґрунтових колоїдів, які є складовою структури ґрунту і може бути використаний для моделювання енергетичної взаємодії структурних складових дискретного середовища ґрунту.

Список літератури

1. Кушнарєв, А.С. Механико-технологические основы обработки почвы [Текст] / А.С. Кушнарєв, В.И. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 140 с.
2. Медведєв, В.В. Водные свойства почв Украины и влагообеспеченность сельскохозяйственных культур [Текст] / В.В. Медведєв, Т.Н. Лактионова, Л.В. Донцова – Харьков: Апостроф, 2011. – 224 с.
3. Тимонов, В.Ю. Механическая обработка и агрофизические свойства почвы [Текст] / В.Ю. Тимонов, Н.М. Чернышева, С.С. Балабанов, Н.И. Картамышев // Вестн. Курской гос. с.-х. акад. – 2009. – № 6. – С. 53-57.
4. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв [Текст] / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
5. Качинский, Н.А. Физика почв. Водно-физические свойства и режимы почв [Текст] / Н.А. Качинский. – М.: Высшая школа, 1970. – 182 с.
6. Панов, И.М. Физические основы механики почв [Текст] / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

Victor Borovskiy, Sr. Lect., Vladimir Kulykivskiy, PhD tech. sci., Vladimir Paliychuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

The Energy of Interaction of Particles in a Discrete Medium of the Soil

The purpose of the study is to examine the processes of structure formation of valuable waterproof aggregates, the conditions under which they are formed for further analysis of the energy interaction of the structural components of the discrete soil environment.

From the energy point of view, the physical and mechanical properties of the soil are determined by the nature and magnitude of the forces of cohesion of particles with each other, and also by the number of contacts between particles per unit volume of the system. The primary act of structuring is the emergence of contact between the neighboring particles of the dispersed phase, and the final result is the formation of a spatial structure that encompasses the entire soil profile. The soils, due to the dispersion, have a colossal specific surface and, as a result, a large amount of specific energy, the magnitude of which causes the formation of soil aggregates and their constancy. It should be noted that the mixed effect of many factors is most typical for soils, that is, the aggregate stability of the structure is provided by the action of several factors simultaneously. Thus, the consistency of soil structures is determined by the balance of the energy of attraction and the energy of repulsion of particles.

The method of energy calculation, the interaction of soil particles, makes it possible to carry out a simple calculation of the electrostatic interaction of ground colloids, which are a composite structure of the soil and can be used to model the energy interaction of the structural components of a discrete soil medium.

interaction of soil particles, waterproof structure, energy calculation, physical and mechanical properties of soil

Одержано 26.10.17

УДК 664.161

В.В. Бредихин, доц., канд. техн. наук, С.А. Харченко, доц., канд. техн. наук

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, м.Харків, Україна, E-mail:vadimbr76@ukr.net

К уравнению движения частиц при моделировании процесса сепарации зерновых смесей вибропневматическими сепараторами

В статье рассмотрено уравнение движения частиц n -го слоя при моделировании сепарации зерновых смесей. Определено, что моделирование процессов перераспределения слоев зернового материала путем рассмотрения n -го слоя, является перспективным подходом.

движение частиц, процесс сепарации, вибропневматические сепараторы, математическая модель

В.В. Бредіхін, доц., канд. техн. наук, С.О. Харченко, доц., канд. техн. наук

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків, Україна

До рівняння руху часток при моделюванні процесу сепарації зернових сумішей вібропневматичними сепараторами

У статті розглянуто рівняння руху частинок n -го шару при моделюванні сепарації зернових сумішей. Визначено, що моделювання процесів перерозподілу шарів зернового матеріалу шляхом розгляду n -го шару, є перспективним підходом.

рух часток, процес сепарації, вібропневматичні сепаратори, математична модель

Постановка проблемы. В современных экономических условиях развитие народного хозяйства неразрывно связано с научным подходом к решению поставленных задач. Украина является одной из ведущих Европейских аграрных стран. Одним из основных аспектов развития аграрного сектора страны является наращивание объемов и качества выращиваемого зернового материала. Получение высококачественного зернового и посевного материала возможно только при использовании передовых научных и теоретических разработок.

Наиболее перспективными машинами для фракционирования зернового материала, являются пневмосортировальные столы (ПСС), поскольку получение высококачественного семенного материала возможно при делении частиц смеси по удельной плотности зерен. Использование указанного физико-механического свойства позволяет, с минимальными энергетическими затратами, выделить максимальное число биологически активного семенного материала.

Машины, используемые в настоящее время, не в полной мере удовлетворяют возросшим требованиям к технологическим процессам и оборудованию, реализующему эти процессы. В связи с этим, при проектировании новых машин и модернизации уже существующих, крайне важно использование современных теоретических методов моделирования процессов, происходящих в зерновых смесях на рабочей поверхности ПСС.

Анализ последних исследований и публикаций. Рядом исследователей (Блехман Н.И., Гортинский В.В., Желтухин Б.В., Лейкин Я.И. и др.) созданы основы теории самосортирования частиц зерновых смесей в псевдооживленном слое при воздействии колебаний различного типа [1, 2]. Определены условия начала внутрислоевых перемещений, закономерности протекания процесса самосортирования, связывающие свойства сыпучей смеси с динамическими и кинематическими характеристиками рабочей поверхности. Однако эти теоретические исследования внутрислоевых процессов, как правило, основывались на простейших физических моделях [3, 4]. Слой смеси частиц, различающихся по геометрическим, физико-механическим свойствам и находящийся на воздухопроницаемой поверхности, подвергается воздействию воздушного потока и/или виброколебаниям рабочей поверхности. В результате, при определенных значениях скорости воздушного потока и величинах амплитуды и частоты колебаний опорной поверхности, слой частиц может находиться в псевдооживленном состоянии, т.е. приобретает свойство текучести. Это приводит к тому, что наблюдается расслаивание смеси частиц: частицы, отличающиеся по своим аэрогравитационным свойствам, могут погружаться или всплывать в псевдооживленном слое. Этот физический механизм и лежит в основе процесса самосортирования [1].

Математические модели, описывающие этот процесс, в основном, основываются на уравнениях движения отдельной частицы [5]. При этом, воздействие псевдооживленного слоя на частицу учитывается введением различного типа сил: сила тяжести, сила сопротивления среды в приближении Ньютона или Стокса, выталкивающая сила Архимеда и т.п. Такой подход, хотя и позволяет определять влияние кинематических, технических и конструктивных параметров на внутрислоевые процессы в псевдооживленном слое частиц, однако, имеет ограниченную область применения, поскольку введение в уравнение движения отдельной частицы указанных выше сил, как правило, делается формально, без увязки с другими членами уравнения. Кроме того, физические модели, основанные на уравнении движения отдельной частицы, не могут описать в полной мере такие важные эффекты как внутреннее взаимодействие между частицами, обусловленное поперечным сдвигом и образованию

скоплений частиц, приводящее к снижению коэффициента сопротивления и др. Эти эффекты оказывают существенное влияние на интенсивность процесса самосортирования слоя частиц и, в конечном счете, на эффективность использования этого процесса в соответствующих технологиях.

Постановка задачи. В этой связи актуальной является проблема разработки математических моделей, позволяющих в наиболее общем виде учесть взаимодействие частиц (а не отдельной частицы) с псевдооживленной средой.

Изложение основного материала. Одним из эффективных подходов к решению возникающих при этом задач является подход, использующий методы гидродинамики многофазных систем [5, 6].

При построении математических моделей будем предполагать [7], что под воздействием воздушного потока и колебаний рабочей поверхности произошло расслоение псевдооживленного зернового слоя по высоте (вдоль оси, перпендикулярной опорной поверхности). В результате образовались N -слоев частиц, обладающих различными аэрогравитационными и гидродинамическими свойствами. Движение каждого слоя частиц будем рассматривать как движение сплошных сред, а взаимодействие этих сред моделируется соответствующими краевыми условиями на границах раздела сред. Таким образом, в соответствии с основными концепциями механики многофазных систем, движение расслоенного по высоте псевдооживленного слоя частиц будем моделировать как движение $N + 1$ - фазной системы, состоящей из N слоев частиц дискретных фаз и одной непрерывной фазы – газообразная среда (воздух).

Пусть x_1, x_2 и x_3 – декартовы координаты. Причем плоскость x_1, x_2 совпадает с плоской рабочей поверхностью, а ось x_3 ей перпендикулярна и направлена вверх. Ось x_1 наклонена под углом α к горизонтальной плоскости, а ось x_2 ей параллельна. В дальнейшем, не ограничивая общности, будем рассматривать движение $N + 1$ - фазной системы вдоль оси x_1 и полагать, что все величины, характеризующие это движение, не зависят от координаты x_2 .

Введем приведенную плотность частиц n -го слоя ρ_n и среднюю плотность частиц $\bar{\rho}_n$, образующих n -ю дискретную фазу. Тогда:

$$\rho_n = \delta_n \bar{\rho}_n, \quad (1)$$

где δ_n – объемная доля частиц n -ой дискретной фазы. Обозначим через ρ – приведенную плотность непрерывной фазы, а $\bar{\rho}$ – среднюю плотность газообразной среды, образующую эту фазу. Тогда, согласно [6], имеем:

$$\rho = \bar{\rho} \left(1 - \sum_{n=1}^N \frac{\rho_n}{\bar{\rho}_n} \right) = \bar{\rho} \left(1 - \sum_{n=1}^N \delta_n \right). \quad (2)$$

Далее, будем считать, что средняя толщина n -го слоя частиц – h_n , $n = 1, 2, \dots, N$. Значение индекса $n = 1$ соответствует самому нижнему слою, расположенному на рабочей поверхности, а $n = N$ – верхнему. Таким образом, средняя толщина псевдооживленного слоя частиц

$$h = \sum_{n=1}^N h_n. \quad (3)$$

В соответствии с уравнениями [7] уравнения движения частиц n -го слоя, $\overline{h_{n-1}} < x_3 < \overline{h_n}$, $n = 1, 2, \dots, N$, $\overline{h_n} = \sum_{p=1}^n h_p$, $\overline{h_0} = 0$, можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \rho_n \left(\frac{\partial V_{ni}}{\partial t} + (\nabla, \vec{V}_{ni}) V_{ni} \right) = & - \frac{\partial P_n}{\partial x_i} + \mu_n \Delta V_{ni} + 0,5 \frac{\overline{\rho}_n}{\rho_n} \left[\frac{\partial}{\partial t} (V_i - V_{ni}) + (\nabla, \vec{V} - \vec{V}_n) (V_i - V_{ni}) \right] + \\ & + \frac{9 \overline{\rho}_n \sqrt{v}}{2 \sqrt{\pi} a_n \rho_n} \int_0^t \left[\frac{\partial}{\partial \tau} (V_i - V_{ni}) + (\nabla, \vec{V} - \vec{V}_n) (V_i - V_{ni}) \right] \times (t - \tau)^{-1/2} d\tau + \rho_n F_n (V_i - V_{ni}) + \rho_n f_{ni}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\operatorname{div} \vec{V}_n = 0, \quad n = 1, 2, \dots, N, \quad i = 1, 2, 3. \quad (5)$$

где $\vec{V}_n = (V_{n1}, V_{n2}, V_{n3})$ и $\vec{V} = (V_1, V_2, V_3)$ – скорости частиц n -ой дискретной фазы и скорость непрерывной фазы;

P_n – давление в n -ом слое;

μ_n – эффективный коэффициент динамической вязкости n -ой дискретной фазы;

v – эффективный коэффициент кинематической вязкости непрерывной фазы;

a_n – эквивалентный средний радиус по объему частиц n -ой дискретной фазы;

f_{ni} – i -я компонента массовой силы, действующая на частицы n -ой дискретной фазы (в качестве которой выбираем силу тяжести);

F_n – коэффициент, характеризующий взаимодействие непрерывной фазы с частицами n -ой дискретной фазы, который можно представить в следующем виде:

$$F_n = \frac{\overline{\rho}}{2 \rho_n (1 - \delta_n)^2 a_n} \left(1,75 V_{0n} + \frac{75 v \delta_n}{a_n} \right), \quad (6)$$

где V_{0n} – средняя скорость воздушного потока на верхней границе $\left(x_3 = \sum_{p=1}^n h_p \right)$

n -го слоя.

Выводы. В статье рассмотрено уравнение движения частиц n -го слоя при моделировании сепарации зерновых смесей. Определено, что моделирование процессов перераспределения слоев зернового материала путем рассмотрения n -го слоя, является перспективным подходом.

Список литературы

1. Дринча, В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки [Текст] / В.М. Дринча. – Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2006. – 384 с.
2. Моделирование процессов зерновых сепараторов [Текст] / Л.Н. Тищенко, Д.П. Мазоренко, М.В. Пивень и др. – Харьков: ХНТУСХ, «Місьрук», 2010. – 360 с.
3. Дулаев, В.Г. Анализ вибрационного и вибропневматического процессов разрешения зерновок пшеницы различной плотности и стекловидности [Текст] / В.Г. Дулаев, Г.В. Яцевич, В.В. Гортинский // Труды ВНИИЗ. – М., 1986. – Вып. 107. – С. 84-91.

4. Кизильвальтер, Б.В. Теоретические основы гравитационных процессов обогащения [Текст] / Б.В. Кизильвальтер. – М.: Недра, 1979. – 295 с.
5. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред [Текст] / Р.И. Нигматулин. – М.: Наука, 1978. – 336 с.
6. Соус, С. Гидродинамика многофазных систем [Текст] / С. Соус. – М.: Мир, 1871. – 536 с.
7. Бредихин, В. Определение эффективного коэффициента динамической вязкости зерновой смеси на рабочей поверхности пневмосортировального стола [Текст] / В. Бредихин, Л. Тищенко, М. Пивень. – Lublin, «Motrol», 2013. – С. 192-199.

Vadym Bredyhyn, Assos. Prof., PhD tech. sci., Sergey Kharchenko, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

To the Equation of Motion of Particles While Modelling the Process of Separation of Grain Mixtures by Vibrating Pneumatic Separators

It is very important to apply modern theoretical methods of modelling processes that take place in grain mixtures on the working surface of the gravity separators when designing new machines and modernizing the existing ones. For this purpose, the method of hydrodynamics of multiphase systems was used.

The equation of motion of the particles of the n layer is considered in the process modelling of the separation of grain mixtures was considered in the article.

It was determined that modelling of the processes of redistribution of layers of grain material by considering the n layer is a promising approach.

particle motion, separation process, vibro-pneumatic separators, mathematical model

Получено 21.11.17

УДК 631.33

К.В. Васильковська, канд. техн. наук, Г.А. Кулик, доц., канд. с.-г. наук, В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, Н.М. Трикіна, викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: vasilkovskakv@ukr.net

Технічне забезпечення програмування врожайності

Проведена серія досліджень нового пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок на висівному диску та інерційним видаленням зайвого насіння для підтвердження гіпотези щодо його універсальності.

Конструкція нового пневмомеханічного висівного апарата дозволяє значно зменшити вакуум у системі, збільшивши колову швидкість комірок висівного диску, наблизивши її до значень швидкості руху посівного агрегату, таким чином забезпечуючи постійну точку скидання насіння з насінневого диска на тій же траєкторії їх польоту до борозни і якісне заповнення комірок. Для визначення раціональних параметрів і режимів роботи висівного апарата на насінні сої, соняшнику і кукурудзи проведена серія досліджень, отримані залежності коефіцієнта заповнення комірок від розрідження у вакуумній камері ΔP та колової швидкості комірок висівного диска V для перерахованих видів насіння.

Таким чином, коефіцієнт заповнення комірок $K=100\%$ при дозуванні вказаних культур досягається встановленням наступних параметрів: для сої – $\Delta P=0,4...0,5$ кПа, $V_k=1,5...2,0$ м/с; для соняшнику – $\Delta P=0,4...0,5$ кПа, $V_k=1,5...2,5$ м/с. А висів насіння кукурудзи ускладнений великими розмірами насіння.

програмування врожаю, універсальність, пневмомеханічний висівний апарат, висівний диск, експеримент

© К.В. Васильковська, Г.А. Кулик, В.І. Носуленко, Н.М. Трикіна, 2017

К.В. Васильковская, канд. техн. наук, Г.А. Кулик, доц., канд. с.-г. наук, В.И. Носуленко, проф., д-р техн. наук, Н.М. Трикина, преп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна

Техническое обеспечение программирования урожайности

Проведена серия исследований нового пневмомеханического высевающего аппарата с периферийным расположением ячеек на высеваемом диске и инерционным удалением лишних семян для подтверждения гипотезы о его универсальности.

Конструкция нового пневмомеханического высевающего аппарата позволяет значительно уменьшить вакуум в системе, увеличив круговую скорость ячеек высевающего диска, приблизив ее к значениям скорости движения посевного агрегата, обеспечивая постоянную точку сброса семян с семенного диска на той же траектории их полета к борозде и качественное заполнение ячеек. Для определения рациональных параметров и режимов работы высевающего аппарата на семенах сои, подсолнечника и кукурузы, проведена серия исследований, получены зависимости коэффициента заполнения ячеек от разрежения в вакуумной камере ΔP и окружной скорости ячеек высевающего диска V для перечисленных видов семян.

Таким образом, коэффициент заполнения ячеек $K = 100\%$ при дозировке указанных культур, достигается установлением следующих параметров: для сои – $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k = 1,5 \dots 2,0$ м / с; для подсолнечника – $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k = 1,5 \dots 2,5$ м / с. А высеv семян кукурузы затруднен большими размерами семян

программирование урожая, универсальность, пневмомеханический высевающий аппарат, высевающий диск, эксперимент

Постановка проблеми. Основою ефективної реалізації технологій виробництва сільськогосподарських культур є програмування врожаю, що базується на системі відновлення родючості та ґрунтозахисних технологіях, якісній підготовці високопродуктивного насіннєвого матеріалу, ресурсозберігаючих засобах механізації та автоматизації виробництва, дієвого захисту рослин від хвороб, шкідників та бур'янів.

Відомо, що родючість – це здатність ґрунту безперервно впродовж всього вегетаційного періоду забезпечувати рослини необхідною кількістю поживних речовин, водою, теплом та повітрям [1, 2]. Без належного догляду з боку людини в агроєкосистемі неминуче відбувається поступове збіднення й деградація її важливої складової – ґрунту [3].

Програмування врожайності є одним із важливих та перспективних напрямів у технологіях виробництва, зокрема просапних культур, що дає змогу раціонально використовувати матеріальні, трудові та енергетичні ресурси для максимального виходу продукції належної якості. Сьогодні існують окремі напрями програмування врожаю, котрі на різних етапах життєвого циклу допомагають аналізувати та оцінювати якість вирощування просапних культур, однак вони лише частково виконують завдання забезпечення якості та врожайності продукції рослинництва. Повноцінне впровадження технології програмування врожаю в реальні господарські умови стримує ряд проблем, які вимагають комплексного вирішення. Серед основних – вибір знарядь для обробітку ґрунту, що дозволить забезпечити реалізацію технологій ґрунтозахисного та ресурсозберігаючого землеробства, а також точний висів, оскільки рівномірне розміщення насіння по площі живлення – основа високого врожаю у майбутньому [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, сівба польових культур повинна проводитися у оптимальні терміни. Це впливає на умови появи сходів, їх подальший розвиток і пов'язане із вологістю та температурою ґрунту на глибині загортання насіння. Сівба в недостатньо прогрітий ґрунт спричиняє не тільки подовження періоду «сівба – сходи», але призводить до загибелі частини насіння в ґрунті та нерівномірності розвитку рослин. За дотримання оптимальних строків сівби, забезпечується найвища енергія проростання та польова схожість насіння, що сприяє

рівномірному розвитку рослин та забезпечує формування високої продуктивності агроценозу в цілому [2].

Рівномірність висіву насіння та рівномірність його розташування в рядку є запорукою не тільки отримання дружніх сходів, а й в подальшому майбутнього врожаю. Крім цього зі збільшенням рівномірності розподілу насіння по площі живлення, знижується рівень забур'яненості посівів [3, 5].

Отже, питання вдосконалення технічних засобів для сівби може стати початковим етапом програмування врожаю, а практичне вирішення означеної задачі дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції рослинництва та запровадити основи ґрунтозахисного та ресурсозберігаючого землеробства [2, 6].

Сучасні пневмомеханічні висівні апарати точного висіву, попри довгу історію їх створення і вдосконалення, мають ряд недоліків, основними з яких є: недостатня дозуюча здатність, викликана обмеженістю колової швидкості висівного диска ($V_k \leq 0,5$ м/с) і наявність випадкового неконтрольованого перерозподілу інтервалів між насінинами в борозні, внаслідок великої відносної швидкості насіння при контакті з останньою під час руху сівалки на номінальних швидкостях ($V_c = 1,5 \dots 2,5$ м/с) [1]. Усунення зазначених недоліків досягається шляхом збільшення колової швидкості висівного диска і узгодження її з поступальною швидкістю сівалки [2].

Однак, в конструкціях сучасних пневмомеханічних висівних апаратів вирішити дану задачу технологічно неможливо, оскільки це погіршує утворення однонасінневого потоку насіння ще на початковому етапі його формування.

Постановка завдання. З метою підвищення ефективності точного висіву насіння на кафедрі сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету розроблено дослідний зразок секції нової пневмомеханічної сівалки для точного висіву насіння просапних культур (рис. 1) [7].

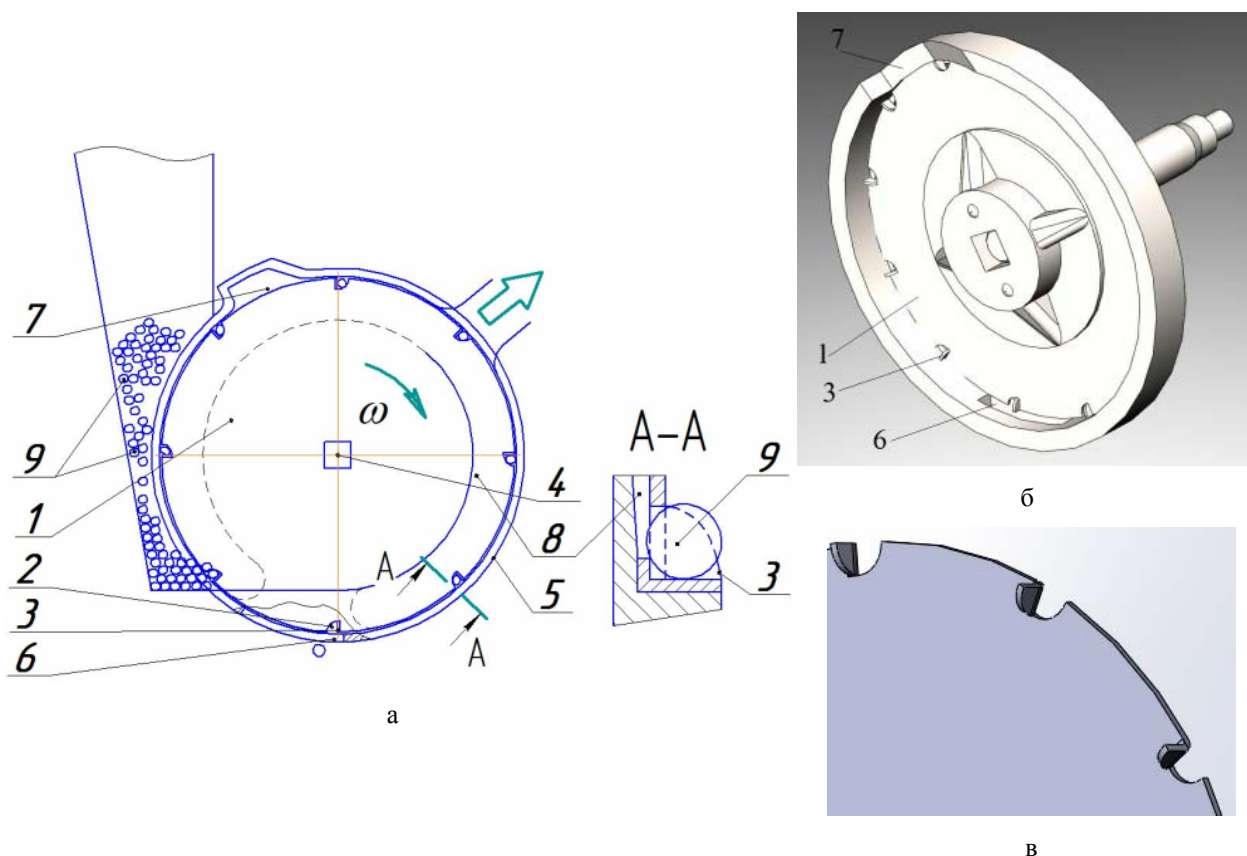
Головною особливістю нового висівного апарата є використання висівного диска з периферійним розташуванням комірок, за якими на його внутрішній поверхні розмішені лопатки для примусового захоплення насіння диском в робочій камері та подальшого його транспортування до зони скидання.

Для видалення зайвого насіння з комірок висівного диска у верхній частині циліндричної поверхні корпусу виконано пасивний пристрій у вигляді порожнини, до якої потрапляють зайві насінини і, відокремлюючись від диска, повертаються до зони заповнення.

В нижній частині поверхні корпусу виконано висівне вікно, яке забезпечує вільне випадіння насіння до борозни.

Виклад основного матеріалу. Для перевірки гіпотези щодо універсальності запропонованого висівного апарата, підвищення ефективності видалення зайвого насіння та надійності звільнення комірок в зоні висіву було проведено дослідження на універсальність диска пневмомеханічного дискового висівного апарата на насінні сої, соняшнику та кукурудзи.

Висівну здатність висівного апарату для різних типів насіння зручно оцінювати коефіцієнтом заповнення комірок K , %, який дорівнює відношенню кількості фактично висіяного насіння за певний проміжок часу до кількості комірок висівного диска, які пройшли точку скидання за цей же час.



1 – висівний диск; 2 – комірка; 3 – лопатка; 4 – приводний вал; 5 – корпус; 6 – висівне вікно; 7 – пасивний пристрій для видалення зайвого насіння; 8 – вакуумна камера; 9 – насіння
а – схема; б – тривимірний модель висівного апарата; в – тривимірний модель фрагмента висівного диска

Рисунок 1 – Схема запропонованого пневмомеханічного висівного апарата

Розрідження у вакуумній камері вибрано на основі результатів досліджень [8], відповідно до яких $\Delta P = 0,1; 0,5$ кПа та додатково $\Delta P = 0,3$ кПа.

Колову швидкість комірок V_k м/с вибрано на основі рекомендацій досліджень, відповідно до яких $V_k = 1,5; 2,5$ м/с та додатково $V_k = 2$ м/с [9].

Для дослідження використовувався диск з периферійно розташованою коміркою, радіус заокруглення комірки (r) становив 6 мм [8].

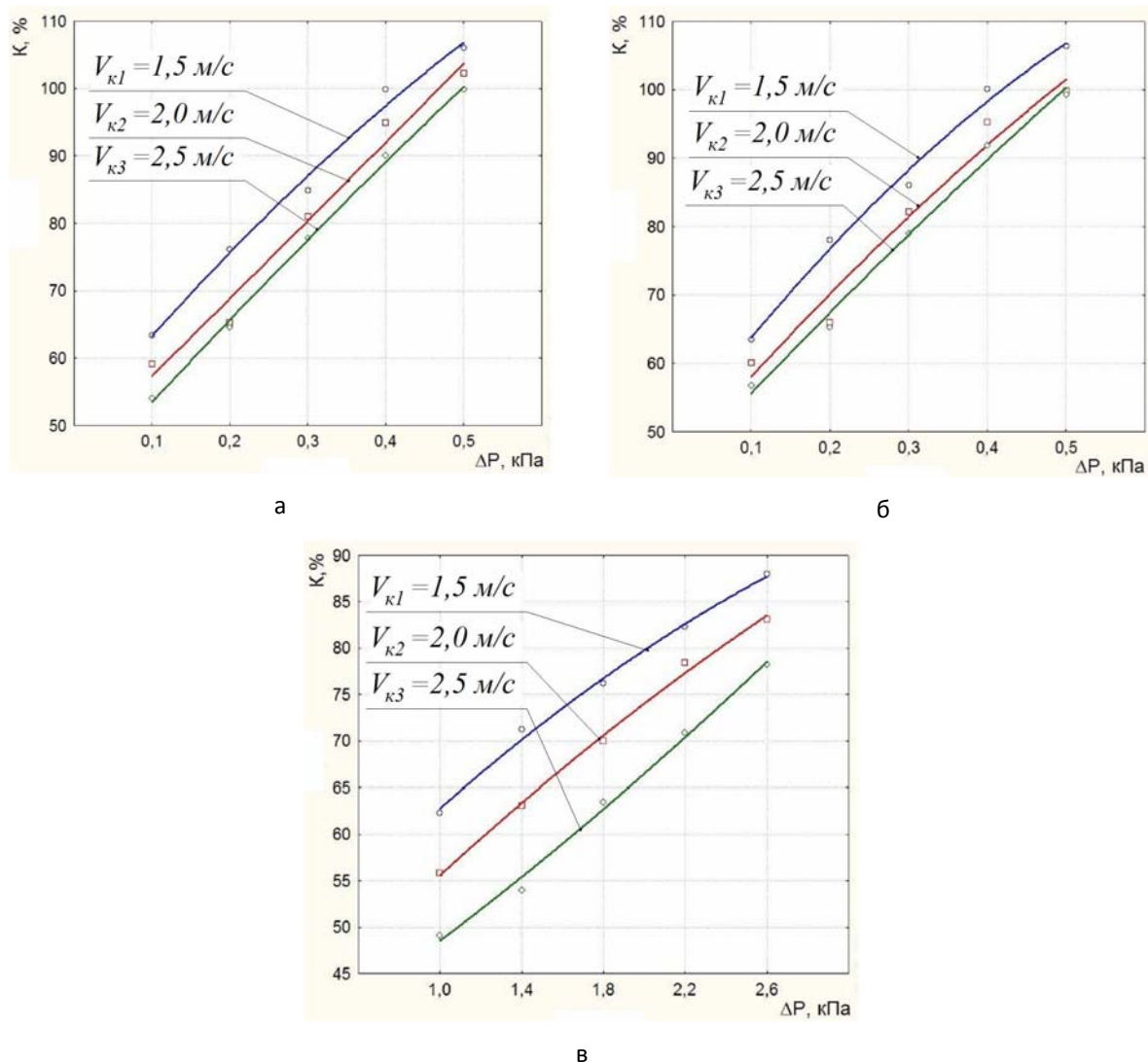
Отримано залежності коефіцієнту заповнення комірок висівного диска K від розрідження у вакуумній камері ΔP для відповідних видів насіння (рис. 2) [7, 10].

Перевіркою універсальності дослідного висівного апарата встановлено, що диск з коміркою, радіусом твірної $r = 6,0$ мм дозволяє задовільно дозувати насіння цукрових буряків, сої та соняшнику.

Оптимальне значення коефіцієнту заповнення комірок ($K \rightarrow 100\%$) при дозуванні вказаних культур досягається встановленням наступних параметрів:

- для сої – $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k = 1,5 \dots 2,0$ м/с;
- для соняшнику – $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k = 1,5 \dots 2,5$ м/с.

Аналіз залежності коефіцієнту заповнення комірок для насіння кукурудзи (рис. 2) диском з коміркою, радіусом твірної $r = 6,0$ мм ускладнений великими розмірами насіння, внаслідок чого максимальне значення коефіцієнту заповнення комірок $K = 88\%$ досягається при $\Delta P = 2,6$ кПа, $V_k = 1,5$ м/с. Тому для цієї просапної культури необхідно використовувати окремий висівний диск з більшим радіусом твірної комірки.



а – для насіння сої; б – для насіння соняшнику; в – для насіння кукурудзи

Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта заповнення комірок висівного диска K від величини розрідження у вакуумній камері ΔP для різних видів насіння

Висновки. Впроваджуючи ґрунтозахисні технології, якісну підготовку високопродуктивного насіннєвого матеріалу просапних культур, ресурсозберігаючи засоби механізації та автоматизації виробництва сільськогосподарської продукції, особливу увагу треба приділити забезпеченню якісного розміщення насіння за площею живлення.

Конструкція нового пневмомеханічного апарата дозволяє збільшити колову швидкість комірок та зменшити їх кількість на висівному диску, і значно зменшити розрідження у вакуумній камері. Таким чином, запропонований висівний апарат збільшує технологічну ефективність висіву насіння просапних культур та зменшує енергоємність процесу.

Таким чином, проведені дослідження дослідного висівного апарата дали змогу встановити, що диск з коміркою, радіусом твірної $r=6,0$ мм дозволяє дозувати насіння цукрових буряків, сої та соняшнику. Коефіцієнт заповнення комірок $K=100\%$ при дозуванні вказаних культур досягається встановленням наступних параметрів: для сої – $\Delta P=0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k=1,5 \dots 2,0$ м/с; для соняшнику – $\Delta P=0,4 \dots 0,5$ кПа, $V_k=1,5 \dots 2,5$ м/с.

А висів насіння кукурудзи диском з коміркою, радіусом твірної $r=6,0$ мм ускладнений великими розмірами насіння, внаслідок чого максимальне значення коефіцієнта заповнення комірок $K=88\%$ досягається при $\Delta P = 2,6$ кПа, $V_k=1,5$ м/с.

Список літератури

1. Васильковська, К. В. Точний висів просапних культур – першочерговий крок у програмуванні майбутнього врожаю [Текст] / К. В. Васильковська // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45, Ч. 1. – С. 160-166.
2. Васильковська, К. В. Точний висів просапних культур крок до програмування врожаю [Текст] / К. В. Васильковська, Н. М. Трикіна, О. М. Васильковський // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – Вип. 4. – С. 88-97.
3. Сисолін, П. В. Сільськогосподарські машини: Теоретичні основи, конструкція, проектування. – Кн. 1: Машини для рільництва. / [Сисолін П.В., Сало В.М., Кропивний В.М.]; за ред. Черновола М.І. – К. : Урожай, 2001. – 384 с.
4. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки [Текст] / [В.В. Адамчук, Г.Л. Баранов, О.С. Барановський та ін.]; за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. – 396 с.
5. Амосов, В.В. Обґрунтування параметрів універсального висівного апарата для просапних культур [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Амосов В.В. – Кіровоград, 2007. – 19 с.
6. Свірень, М.О. Научно-технологические основы повышения эффективности работы высевальных аппаратов посевных машин [Текст] : дис. ... д-р техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Свірень М.О. – Кіровоград, 2012. – 18 с.
7. Пат. 77191 У Україна, МПК А01С 7/04 (2006.01). Пневмомеханічний висівний апарат [Текст] / М. М. Петренко, М. І. Васильковський, К. В. Васильковська (Україна); заявник і патентотримач Кіровоградський національний технічний університет. – №u201203339; заявл. 20.03.2012; опубл. 11.02.2013, Бюл. № 3.
8. Васильковская, Е. Обоснование конструктивной схемы пневмомеханического высевального аппарата для точного посева семян пропашных культур [Текст] / Е. Васильковская, Н. Петренко, С. Гончарова // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture: an international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. – Lublin, Vol.15, No. 2. – 2013, pp. 99–105.
9. Васильковська, К. В. Аналіз роботи пневмомеханічного висівного апарата з периферійним розташуванням комірок [Текст] / К. В. Васильковська, М. М. Петренко, С. Я. Гончарова // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – Вип. 43, Ч. 1. – С. 18-22.
10. Підручник дослідника [Текст] : Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. – Харків: Мачулін, 2016. – 204с.

Kateryna Vasytkovska, PhD tech. sci., Galina Kulik, Assoc. Prof., PhD agric. sci., Viktor Nosulenko, Prof., Natalia Trykina, Lect.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Technical Support for Yield Programming

A series of studies of a new pneumomechanical seeding machine with a peripheral arrangement of cells on the seed disk and inertial removal of excess seed has been carried out to confirm the hypothesis of its universality.

The construction of a new pneumomechanical seeding machine can significantly reduce the vacuum in the system by increasing the speed of the seed disk cells, bringing it closer to the values of the speed of the sowing unit, thus ensuring a constant point of dumping the seeds from the seed disk on the same trajectory of their flight to the furrow and high-quality filling of the cells. A series of studies has been carried out to determine the rational parameters and operating conditions of seeding on soybean, sunflower and corn seed, the dependence of the filling factor of the cells on the vacuum in the vacuum chamber ΔP and the speed of the seed cell disk V for these types of seeds have been obtained.

Thus, the filling factor of the cells $K = 100\%$ at the dosage of these crops is achieved by setting the following parameters: for soybeans - $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ kPa, $V_k = 1,5 \dots 2,0$ m / s; for sunflower - $\Delta P = 0,4 \dots 0,5$ kPa, $V_k = 1,5 \dots 2,5$ m / s. And hanging seeds of corn is complicated by large seed sizes.

crop programming, versatility, pneumatic mechanic sowing machine, seed disk, experiment

Одержано 29.08.17

УДК 539.621:621.82.09

Г.Г. Веселівська, канд. техн. наук, Я.Я. Сірак, асп., В.М. Гвоздецький, канд. техн. наук, Х.Р. Задорожна, асп., В.М. Посувайло, ст. наук. співр.

Фізико-механічний інститут ім.Г.В.Карпенка НАН України, м.Львів, Україна

С.І. Маркович, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна, E-mail: marko60@ukr.net

Зносостійкість та корозійна тривкість ПЕО шарів на покритті зі сплаву Д16

В роботі представлено результати досліджень корозійної та зносотривкості електродугового покриття (ЕДП) Д16 на сталі із синтезованим на поверхні покриття оксидокерамічного шару із корунду методом плазмоелектролітного синтезу (ПЕО). Досліджено вплив температури відпалу електродугового покриття на його корозійну стійкість у середовищі синтетичного слабкогокислого дощу. Показано, що корозійна тривкість електродугового покриття із оксидним поверхневим шаром зростає на порядок. Встановлено, що підвищення температури відпалу зразків із електродуговими покриттями призводить до збільшення розмірів інтерметалідних включень Al_2Cu у покритті, які діють як катодні включення і призводять до збільшення розмірів пор у оксидокерамічному шарі. Результатом таких змін є значне збільшення струмів корозії електродугового покриття, як із оксидокерамічним шаром так і без нього. Виявлено, що розмір інтерметалідних включень Al_2Cu в ЕДП суттєво впливає на зносостійкість ПЕО шару. Оптимальною температурою відпалу ЕДП перед синтезом оксидокерамічних шарів є 300...400 °С. За такої температури в електродуговому покритті утворюються інтерметаліди Al_2Cu розміром 1,5...4,0 мкм, що надають оксидокерамічному шару високу корозійну тривкість, твердість та зносостійкість.

температура відпалу, оксидокерамічні шари, інтерметаліди Al_2Cu , мікротвердість, корозія, знос, Д16

Г.Г. Веселивская, канд. техн. наук, Я.Я. Сирак, асп., В.М. Гвоздецкий, канд. техн. наук, Х.Р. Задорожна, асп., В.М. Посувайло, ст. научн. сотр.

Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАН Украины, г. Львов, Украина

С.И. Маркович, канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Износостойкость и коррозионная стойкость ПЭО слоев на покрытии из сплава Д16

В работе представлены результаты исследований коррозионной износостойкости электродугового покрытия из проволоки Д16 на стали с синтезированным на поверхности покрытия оксидокерамического слоя из корунда методом плазмоелектролитного синтеза (ПЭО). Исследовано влияние температуры отжига электродугового покрытия на его коррозионную стойкость в среде синтетического слабкогокислого дождя. Показано, что коррозионная стойкость электродугового покрытия с оксидным поверхностным слоем возрастает на порядок. Установлено, что повышение температуры отжига образцов с электродуговыми покрытиями приводит к увеличению размеров интерметаллидных включений Al_2Cu в покрытии, которые действуют как катодные включения и приводят к увеличению размеров пор в оксидокерамическом слое. Результатом таких изменений является значительное увеличение токов коррозии электродугового покрытия, как с оксидокерамическим слоем так и без него. Выведено, что размер интерметаллидных включений Al_2Cu в ЭДП существенно влияет на износостойкость ПЭО слоя. Оптимальной температурой отжига ЭДП перед синтезом оксидокерамических слоев является 300 ... 400 °С. При такой температуре в электродуговом покрытии образуются включения интерметаллида Al_2Cu размером 1,5 ... 4,0 мкм, предоставляющих оксидокерамическому слою высокую коррозионную стойкость, твердость и износостойкость.

температура отжига, оксидокерамические слои, интерметаллиды Al_2Cu , твердость, коррозия, износ, Д16

© Г.Г. Веселівська, Я.Я. Сірак, В.М. Гвоздецький, Х.Р. Задорожна, В.М. Посувайло, С.І. Маркович, 2017

Постановка проблеми. Для відновлення та захисту спрацьованих деталей із сталі часто застосовують електродугові покриття з алюмінієвого сплаву Д16, які забезпечують високу корозійну тривкість, проте володіють малою абразивною зносостійкістю. Плазмо-електролітна обробка (ПЕО) дозволяє сформувати на поверхні напиленого покриття з Д16 зносостійкий оксидокерамічний шар на основі корунду [1-6]. На структуру та властивості цього шару має суттєвий вплив розмір інтерметалідів Al_2Cu в напиленому покритті.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Мікроплазмове оксидування алюмінієвих сплавів є одним з новітніх методів поверхневої обробки [7-9]. У процесі даного методу обробки на поверхні утворюється захисне покриття з високотемпературних фаз оксиду алюмінію $\alpha-Al_2O_3$, $\gamma-Al_2O_3$ товщиною від 50 до 400 мкм. Оксидне покриття, отримане методом мікроплазмового оксидування, володіє більш високими механічними та корозійними характеристиками, ніж стандартні методи хімічного анодування [10]. В даний час, даний метод обробки досить швидко розвивається, технічні рішення дозволяють проводити процес оксидування як цілком для деталей з алюмінієвих сплавів, так і локально - на окремих ділянках. Локальне мікроплазмове оксидування дозволяє обробляти різні ділянки деталей, такі як зварні шви на зварних конструкціях, геометричні характеристики яких не дозволяють виробляти оксидування цілком всієї конструкції [11, 12]. Одним з переваг даного процесу полягає у відсутності необхідності попередньої підготовки і зачистки металу, використання екологічно безпечних електролітів, високої корозійної стійкості та зносостійкості оксидних покриттів [13-15]. З причини недостатньої вивченості процесу мікроплазмового оксидування, на поточний момент не існує єдиної фізичної моделі процесу, технології отримання оксидної плівки. У більшості випадків процес вимагає значних енергетичних витрат з причини відсутності глибокого розуміння процесів, що відбуваються в розрядних плазмових каналах при синтезі оксидного шару.

Постановка завдання. Метою роботи є встановлення залежності між зміною розмірів структурних складових (інтерметалідів) електродугового покриття (ЕДП), зі сплаву Д16 та зносостійкістю, а також корозійною тривкістю цього покриття з оксидокерамічними шарами в середовищі синтетичного слабокислого дощу.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження було ЕДП напилене з суцільного електродного дроту марки Д16 (3,8...4,9 % Cu, 1,2...1,8 % Mg, 0,3...0,9 % Mn, $\leq 0,5$ % Fe, $\leq 0,5$ % Si, $\leq 0,1$ % Ni, $\leq 0,3$ % Zn, $\leq 0,1$ % Ti, решта Al) з наступним синтезом оксидокерамічного шару. Збільшення розмірів інтерметалідних включень в ЕДП досягали відпалом за температур 200...600 °С.

Покриття напиляли з дистанції 200 мм на трубу зі сталі 20 діаметром 40 мм електродуговим металізатором ЭМ-17 за наступним режимом: напруга на дузі – 30...32 В, величина струму – 130...150 А, тиск повітря 0,6 МПа. Для якісного нанесення покриття поверхню металу попередньо активували, очищаючи її піскоструминним способом. Вихідна товщина покриття після напилення становила 1,5 мм, а після шліфування – 1 мм. Шорсткість поверхні – 32 ± 3 мкм.

Синтез оксидокерамічних шарів проводили на установці ІМПЕЛІОМ в електролітній плазмі в електроліті складу 3g/l KOH + 2 g/l $nNa_2O \cdot mSiO_2$, решта дистильована вода. Густина струму 20А/дм², співвідношення між $I_c/I_a=1$, час синтезу – 50 хв.

Характеристики корозійних процесів на поверхні досліджували в потенціодинамічному режимі у середовищі слабокислого синтетичного дощу (рН 4,5), при його температурі 18...25 °С. Тривалість експозиції покриття у середовищі становила 40 діб.

Мікротвердість визначали по поверхні за допомогою мікротвердоміра ПМТ – 3.

Випробування при осциляційному терті (плоскої поверхні горизонтально розміщеного плоского зразка контртілом) на повітрі та в 3%-ій водній емульсії з емульсолу Hydroway проводили на установці WAZAU типу SVT. Контртілом слугувала сталева кулька (загартована сталь ШХ15, 822 HV_{0,3}). Дослідження стану поверхні зразків після тертя проводили на профілографі-профілометрі “Калібр 202”.

В процесі напilenня ЕДП з Д16 легувальні компоненти повністю, або частково розчиняються в алюмінії без виділення інтерметалідних фаз, зокрема залізовмісних, які завжди присутні у монолітному сплаві. Мікроструктура покриття зі сплаву Д16 після термообробки складається з твердого розчину міді в алюмінії та вторинних включень різних інтерметалідних сполук, таких як CuAl_2 , Al_2CuMg , Mg_2Si , $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{Al}_6$, AlSiMnFe (рис. 1).

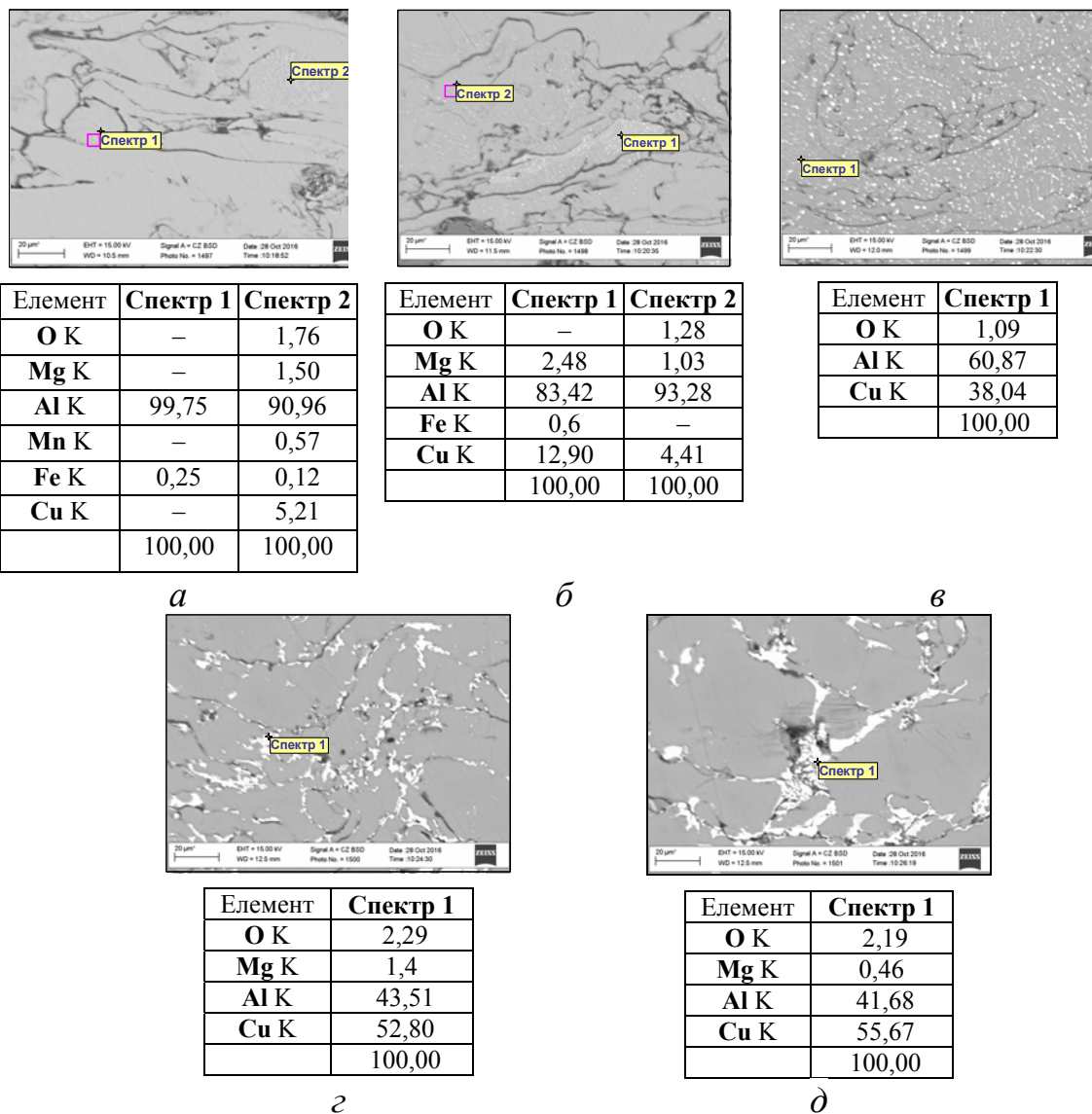


Рисунок 1 – Мікрорентгеноспектральний аналіз характерних структурних складових відпаленого покриття Д16 за різних температур та їх хімічний склад: а – 200 °С; б – 300 °С; в – 400 °С; г – 500 °С; д – 600 °С.

Після утворення первинних кристалів алюмінієвого твердого розчину, відбувається виділення фази Al_2Cu . Концентрації домішок заліза і кремнію знаходяться на досить низькому рівні, тому їх вплив на мікроструктуру практично відсутній.

Встановлено, що з ростом температури відпалу покриття в межах 200...600 °C збільшується кількість фази Al_2Cu і змінюється її морфологія. На основі металографічних досліджень було побудовано залежність зміни розміру інтерметалідних включень від температури відпалу (рис. 2). За температури 600 °C відбувається утворення евтектики та оплавлення покриття. В цьому випадку отримуємо максимальний розмір інтерметаліду Al_2Cu – 20 мкм.

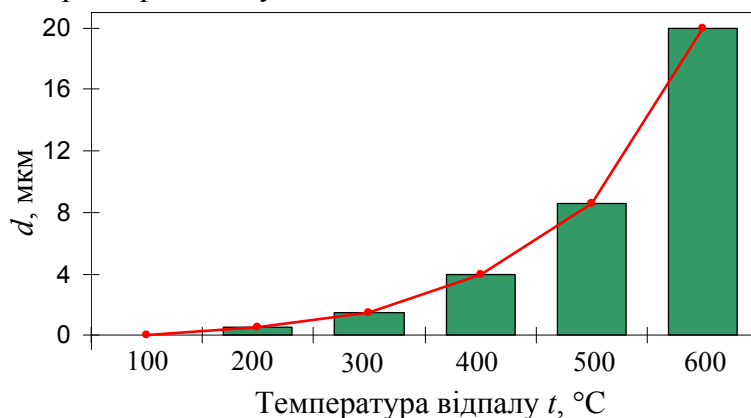


Рисунок 2 – Залежність розміру інтерметалідів Al_2Cu від температури відпалу

При проведенні довготривалих досліджень виявлено, що напилене покриття створює анодний захист основи (рис. 3). Встановлено, що зі зростанням площі катодних включень Al_2Cu та укрупненням їх розмірів у покритті зі сплаву Д16 швидкість корозії зростає.

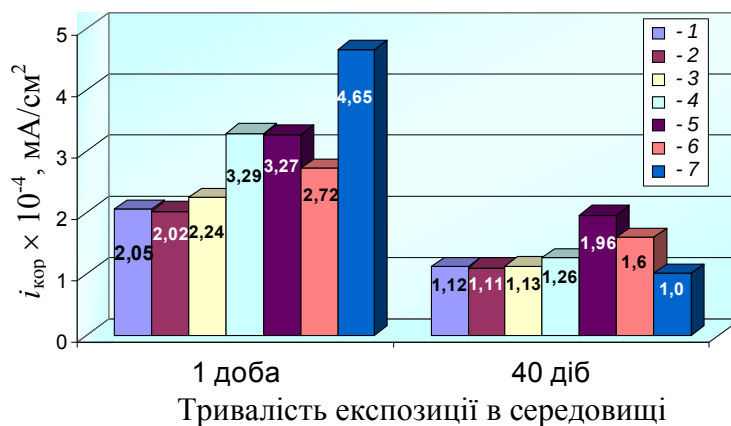


Рисунок 3 – Корозійна тривкість напиленого на основу покриття Д16 у середовищі кислого дощу:
1 – невідпалений; 2 – 200 °C; 3 – 300 °C; 4 – 400 °C; 5 – 500 °C;
6 – 550 °C; 7 – 600 °C.

Оксидокерамічні шари сформовані на товстому (400-500 мкм) ЕДП із сплаву Д16 мають типову структуру (рис. 4). Верхній пористий шар займає 20% товщини всього шару. Нижній шар практично безпоруватий, проте у структурі шару спостерігаються поодинокі мікротріщини. На границі між оксидним шаром та ЕДП з

Д16Т формується мікро поруватий шар товщиною декілька мікрон. По всьому шару, особливо по границях зерен шару, зустрічаються виділення із збільшеним вмістом міді.

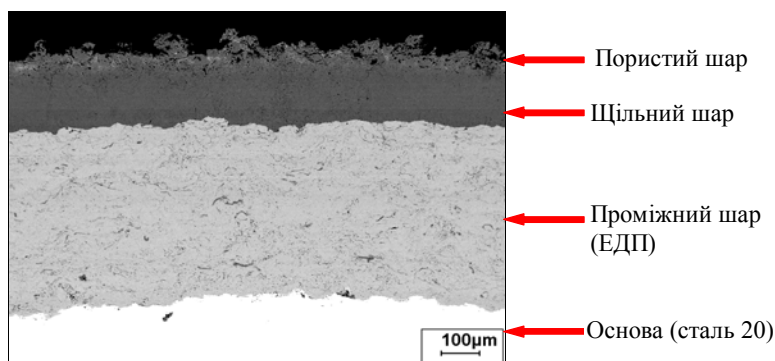


Рисунок 4 – Структура оксидного шару на ЕДП Д16

Встановлено, що значення струмів корозії зразків Д16 з ПЕО покриттями на порядок менші, порівняно з ЕДП. Оксидокерамічні шари є електрохімічно інертні [2-4]. В цьому випадку корозійному руйнуванню, внаслідок проникнення агресивного середовища через наскрізні пори оксидокерамічного шару та ЕДП, піддається металева основа, тобто сталь 20. Зниження швидкості корозії таких систем обумовлено тим фактом, що при плазово-електролітній обробці легувальні елементи (мідь) переходять із електродугового покриття в оксидокерамічний шар у вільному стані та розташовуються в порах керамічного шару, зменшуючи його поруватість, що приводить до зменшення доступу корозивного середовища до основи. Загальна поруватість таких шарів не перевищує 5 % [5, 6, 14].

Оксидокерамічні шари, створені на відпалених електродугових покриттях, мають неоднакову мікроструктуру і поруватість [15].

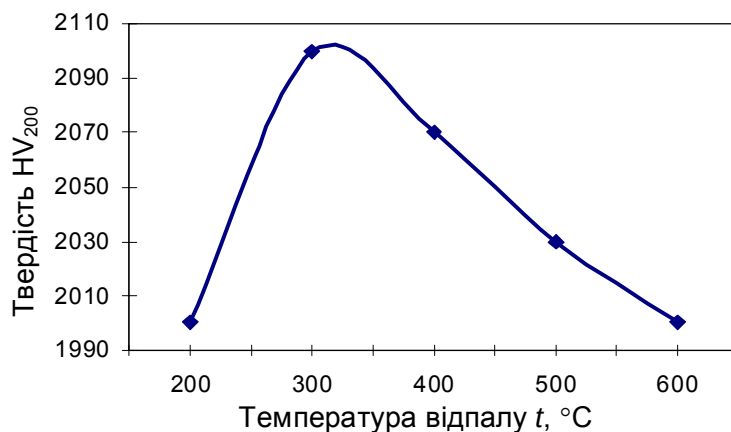


Рисунок 5 – Мікротвердість ПЕО шару залежно від температури відпалу електродугового покриття

Виявлено, що мікротвердість ПЕО шару, синтезованого на покритті Д16, є максимальною за температури відпалу 300 °C (рис. 5), що корелює з корозійною тривкістю (рис. 3) та зносостійкістю цих шарів як на повітрі, так і в середовищі 3%-ї водної емульсії з емульсолу (рис. 6).

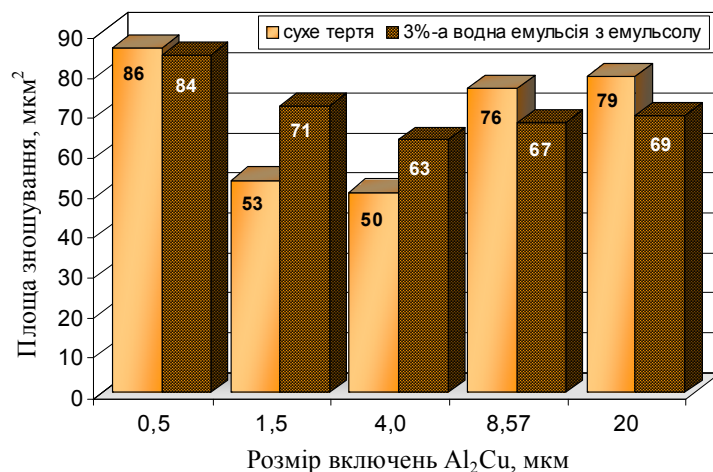


Рисунок 6 – Вплив розміру включень Al_2Cu в ЕДП на знос сталлюю кулькою в умовах осциляційного тертя ПЕО шару

За температури відпалу 300...400 °С (розмір Al_2Cu 1,5...4,0 мкм) зносотривкість ПЕО шару є найвищою, проте лише за сухого тертя. Температура відпалу при 200 °С (розмір Al_2Cu ~ 0,5 мкм) на 60 % погіршує показники зношування, можливо, через недостатню кількість інтерметалідних включень в ЕДП. Підвищення температури відпалу понад 400 °С спричиняє зміну морфології включень Al_2Cu , збільшення поруватості ПЕО шару і, як наслідок, зниження мікротвердості, зносостійкості як на повітрі так і в середовищі емульсолу.

Висновки:

1. Встановлено, що збільшення температури відпалу електродугового покриття призводить до збільшення розмірів інтерметалідних включень Al_2Cu , які діють як катодні включення і призводять до збільшення розмірів пор в оксиднокерамічному покритті. Результатом таких змін є значне збільшення корозійних струмів як електродугового покриття, так і оксиднокерамічного шару на ньому.

2. Виявлено, що розмір інтерметалідних включень Al_2Cu в ЕДП суттєво впливає на експлуатаційні характеристики ПЕО шару. Оптимальною температурою відпалу ЕДП перед осадженням оксиднокерамічних шарів є 300...400 °С. За такої температури утворюється інтерметаліди Al_2Cu розміром 1,5...4,0 мкм, що надають оксиднокерамічному шару високу корозійну тривкість, твердість та зносостійкість.

Список літератури

1. Plasma electrolytic oxidation of arc sprayed aluminium coatings. Pokhmurskii V., Nykyforchyn G., Student M., Klapkiv M., Pokhmurska H., Wielage B., Grund T., A. Wank. Proceedings of the 2007 International Thermal Spray Conference "Global Coating Solutions", May 14–16, 2007, Beijing, China. CD-Edition, published by ASM International, Materials Park, Ohio, USA, 2007, p. 1029-1034.
2. Klapkiv M.D., Nykyforchyn H.M., Posuvailo V.M. Properties of synthesised oxide-ceramic coatings in electrolyte plasma on aluminium alloys // Surface and Coatings Technology. – 1998. – 100-101 (1998). – P. 219-225.
3. Химическая энциклопедия. – В. 5. – Т. 1. – М.: Советская энциклопедия, 1988.
4. Пористість і корозія електролітичних плазових покриттів на магнієвих сплавах [Тест] / В. Діцель, М. Клапків, Г. Никифорчин, С. Бляверт // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – № 5. – С. 13-17.
5. Curran, J.A., Clyne T.W. Thermo-physical properties of plasma electrolytic oxide coatings on aluminium // Surface&Coatings Technology 199(2005) . – P. 168–176
6. Shatskyi, I.P., Ropyak L.Ya. and Makoviichuka M.V. Strength of Materials, 48, (2016) . – 276 p.

7. Похмурський В.В. Трибологічні властивості комбінованих метало-оксидокерамічних шарів на легких сплавах / Похмурський В.І., Студент М.М., Довгунік В.М., Клапків М.Д., Шмирко В.В., Киця А.Р., Базиляк Л.І. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2012. – № 2. – С. 55 – 64.
8. Микродуговое Оксидирование (обзор). И.В. Суминов, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, А.М. Борисов, Б.Л. Крит/ [https:// books.google.com.ua/books ? isbn=5457375013](https://books.google.com.ua/books?isbn=5457375013)
9. Dehnavi, Vahid, "Surface Modification of Aluminum Alloys by Plasma Electrolytic Oxidation" (2014). Electronic Thesis and Dissertation Repository. 2311.<http://ir.lib.uwo.ca/etd/2311>
10. Студент М.М. Оцінювання механічних властивостей комбінованих металооксидокерамічних шарів на алюмінієвих сплавах / Студент М.М., Шмирко В.В., Довгунік В.М., Клапків М.Д. // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2014. – № 2. – С. 116 – 121
11. Сулина Ольга Владимировна /Физические основы и способы формирования защитных покрытий на титановых деталях различной геометрии микродуговым оксидированием. //Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук 2013. 16с.
12. Шаталов В. К., Сулина О. В. Оснастка для МДО поверхностей крупно-габаритных конструкций // Научные технологии в приборо- и машино-строении и развитие инновационной деятельности в вузе: Материалы Региональной научно-технической конференции. М., – 2012. Т. 1. – С. 15-18.
13. Тихоненко, В.В. Упрочняющие технологии формирования износостойких поверхностных слоев [Текст] / В.В. Тихоненко, А.М. Шкилько // Фізична інженерія поверхні. – 2011.– Т. 9, № 3. – С. 237-243
14. Експрес-метод визначення дефектності поверхні оксидокерамічних покривів [Тест] / І. Б. Івасенко, В. М. Посувайло, М. Д. Клапків, В. А. Винар, С. І. Остап'юк // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – 45, № 3. – С. 123-127.
15. Вплив мікроструктури на корозійні пошкодження поверхні ЕДП з дроту Al-Mn у вихідному стані та з плазмо-електролітними покриттями [Тест] / І.Б. Івасенко, В.М. Посувайло, М.М. Студент, Г.Г. Веселівська та ін. // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк, 2016. – Вип. 54. – С. 141-145

Halyna Veselivska, PhD tech. sci., Yaryna Sirak, post-graduate, Volodymyr Gvozdeckii, PhD tech. sci., Khrystyna Zadorozhna, post-graduate, Volodymyr Posuvailo, Sen. Research

Karpenko Physics-Mechanical Institute of NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

Sergiy Marcovych, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Abrasion Resistance and Corrosion Resistance of PEO Layers on the D16 Coating

The paper presents the results of investigations of corrosion and mechanical durability of the D16 coating obtained by electro-arc metallization, with an oxide-ceramic layer. The influence of temperature of annealing of the coating on its corrosion resistance in the environment of synthetic weak acid rain is studied. It is shown that annealing temperature leads to an increase in the sizes of intermetallic inclusions Al_2Cu , which act as cathode inclusions and lead to an increase in the pore size in the oxide-ceramic layer. The result of such changes is a significant increase in the currents of corrosion as an electric arc coating, and oxide-ceramic layer on it. However, an electric arc coating without an oxide-ceramic layer has an order of magnitude higher corrosion currents.

It was found that the size of intermetallic inclusions Al_2Cu in electric arc coating (EAC) significantly affects the performance characteristics of PEO layer. The optimum temperature of annealing EAC before deposition of oxide-ceramic layers is 300...400 °C. At this temperature intermetallides Al_2Cu in the size of 1,5...4,0 microns are formed, giving the oxide-ceramic layer a high corrosion resistance, hardness and wear resistance.

annealing temperature, oxide-ceramic layers, intermetallides Al_2Cu hardness corrosion, wear, D16

Одержано 06.10.17

631.319.2

А.В. Войтік, доц., канд. техн. наук, А.А. Головатюк, канд. с.-г. наук, М.Г. Гнатюк
Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна,
E-mail: av.afex81@gmail.com

Дослідження складових опору ґрунту при роботі щіткових пристроїв

В статті розглянуто силову взаємодію прутка ворсу циліндричної щітки з ґрунтом в процесі видалення останнього з валків, що вкривають кореневу систему маточних рослин. Встановлено, що на енергоємність процесу будуть впливати сили в'язкості ґрунту, статичного опору його частинок та опору на відкидання ґрунту з валка. Також на опір впливають сили, що викликані переміщенням ущільненого ядра та сили тертя призми волочіння по поверхні прутка та ґрунтового валка.

опір, тертя, сила, прутки, щітка, деформація, в'язкість

А.В.Войтик, доц., канд. техн. наук, А.А.Головатюк, канд. с.-г. наук, М.Г.Гнатюк
Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина

Определение составляющих сопротивления почвы при работе щеточных устройств

В статье рассмотрено силовое взаимодействие прутка ворса цилиндрической щетки с ґрунтом в процессе удаления последнего из валков, покрывающих корневую систему маточных растений. Установлено, что на энергоёмкость процесса будут влиять силы вязкости ґрунта, статического сопротивления его частиц и сопротивления на отбрасывание ґрунта из валка. Также на сопротивление влияют силы, вызванные перемещением уплотнённого ядра и силы трения призмы волочения по поверхности прутка и почвенного валка.

сопротивление, трение, сила, прутки, щетка, деформация, вязкость

Постановка проблеми. Для розвитку садівництва в Україні потрібно забезпечити виробництво високоякісного посадкового матеріалу. Але через низький рівень механізації в розсадництві маємо високу собівартість продукції та низьку її якість. Застосування ручної праці для виконання багатьох технологічних процесів з вирощування посадкового матеріалу негативно впливає на якість робіт та агротехнічні строки їх проведення. Щоб покращити ситуацію в галузі розроблена та впроваджується у виробництво спеціальна машина для механізації технологічного процесу відкриття кореневої системи маточних рослин. Розгортальник РВМ-1 являє собою раму з механізмом навіски, на якій послідовно встановлені відгортачі у вигляді сферичних дисків та активні щіткові робочі органи з вертикальною віссю обертання, на яких закріплено еластичний ворс. Проте, затрати потужності на привід таких робочих органів невідомі. Для їх визначення потрібно знайти сили опору при роботі щіток з еластичним ворсом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розрахунок кінематичних та динамічних залежностей циліндричної щітки з горизонтальною віссю обертання, яка встановлена під кутом до напрямку руху машини, виконаний Л.М. Гусевим [1]. Результатом стала система рівнянь для визначення реакції поверхні на прутки ворсу відповідно до кута повороту щітки. Також Л.М. Гусев привів силовий аналіз роботи щіткових пристроїв як циліндричних з горизонтальною віссю обертання, так і конічних – з вертикальною. Була розглянута залежність сил тяги від способу закріплення щіток на рамі машини, приведені результати досліджень вібрації прутків ворсу, а також вплив на ці процеси способів кріплення ворсу на щітках та кінематичних режимів їх роботи.

Б.М. Долганін [2] дослідив жорсткість синтетичних матеріалів, що застосовуються в якості ворсу щіток, а також визначив як на неї впливають фізико-метеорологічні умови роботи щітки. На основі цих досліджень ним було встановлено, що ворс з полімерних матеріалів є більш стійким до злому та більш зносостійким, ніж металевий ворс. Полімерний ворс дешевший у виготовленні і дозволить економити кошти при застосуванні його замість металевого.

Об'єднавши результати своїх теоретичних та експериментальних досліджень в спільній роботі [3], Б.М. Долганін та Л.М. Гусев приводять метод розрахунку основних конструктивних параметрів щітки відповідно до умов її роботи.

Дані роботи були присвячені вивченню питання взаємодії ворсу щіток з твердою поверхнею, в основному – асфальтом. Питання взаємодії щіток з ґрунтом не досліджувалося.

Постановка завдання. Потрібно визначити залежності між фізико-механічними параметрами ґрунту та геометричними параметрами ворсу, що будуть впливати на енергозатрати при розкритті кореневої системи маточних рослин. Знайшовши сумарну силу опору ґрунту при роботі циліндричної щітки з еластичним ворсом знайдемо параметри роботи, при яких можна буде мінімізувати затрати енергії на видалення ґрунту з валка. Для цього потрібно визначити всі складові сили опору, які діють на прутки ворсу у процесі його роботи.

Виклад основного матеріалу. Пруток ворса циліндричної щітки, який має прямокутний поперечний переріз, в процесі його роботи по переміщенню частинок ґрунту можна розглядати як двогранний клин (рис. 1).

Ефективність роботи щітки залежить від того, під яким кутом до поверхні борозни, яка утворюється після проходження прутка, знаходиться передня робоча грань прутка ворсу у робочій фазі. При його значенні більше 90° ґрунт прутком не видаляється, а лише ущільнюється, що є неприпустимо для виконання технологічного процесу. Для підрізання і видалення частинок ґрунту цей кут повинен бути гострим і наближатися до значення, яке визначається нерівністю

$$90^\circ - \varphi \geq \nu, \quad (1)$$

де φ – кут тертя ґрунту по поверхні прутка.

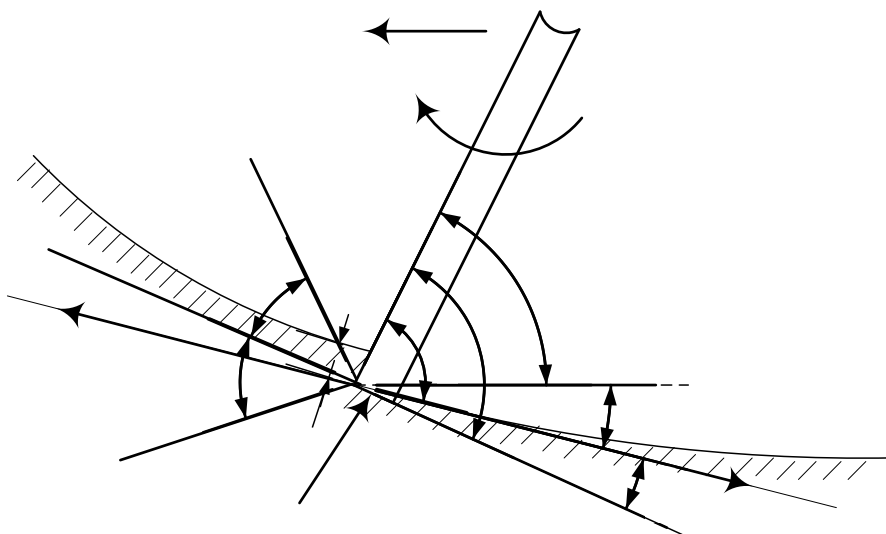


Рисунок 1 – Схема дії сил на прутки ворсу

При значеннях кута ν , близьких до 90° , відбувається сколювання або зсув частинок ґрунту. В цьому разі сила опору переміщенню передньої грані прутка ворсу буде направлена по вектору абсолютної швидкості v його кінця в протилежний бік. Сила збільшується від нуля з початку контакту прутка з ґрунтом і зростає по ходу обертання щітки.

Але, при куті $\nu = 90^\circ$ враховуючи, що кут внутрішнього тертя ґрунту $\varphi_m \approx 45^\circ$, частина ґрунту буде сколюватися і видалятися вздовж лінії ковзання, а інша частина – лише ущільнюватиметься.

З іншого боку при куті $\nu \approx 90^\circ$ прутки, зустрічаючись з рослиною, буде прогинатися і минати рослину при меншій реакції з її сторони чим при меншому значенні цього кута ν , тобто зменшується ймовірність механічного пошкодження рослин.

Одночасно задня грань, яка є нижнім обрізом прутка, утворює з дном борозни задній кут кришення ε_3 в горизонтальній площині (рис. 1). Цей кут в залежності від орієнтації прутка може бути від'ємним при умові $\nu < 90^\circ$.

У такому випадку задня грань ущільнює шар ґрунту товщиною

$$h_3 = b \sin \varepsilon_3, \quad (2)$$

де b – товщина прутка ворсу, мм.

Недоліком цього явища є виникнення реактивної сили R_3 , яка збільшує опір прутку та обумовлює його виштовхування з ґрунту, і дорівнює:

$$R_3 = \frac{k_3 h_3 b}{2 \sin \varepsilon_3 \cos \varphi}, \quad (3)$$

де k_3 – коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;

φ – кут тертя прутка по ґрунту.

Під час руху прутка ворсу в фазі холостого ходу (при відсутності контакту з ґрунтом) мають місце пружні коливання, що виникають внаслідок прогину ворсу в робочій фазі та різкого його випрямлення після її закінчення. Але враховуючи те, що, кріплення прутка ворсу в маточині щітки жорстке, деформації, які виникають у прутку ворса, не перевищують межу пружності матеріалу та ворс має постійну жорсткість по довжині прутка, знехтуємо силами інерції.

Розглянемо сили, дія яких суттєво впливає на роботу прутка ворсу циліндричної вертикальної щітки.

Сила F , що діє на прутки ворсу в процесі його роботи, викликана опором переміщенню (рис. 1). За точку прикладення сили візьмемо кінець прутка ворсу, що знаходиться в контакті з ґрунтом. Саме в цій точці відбувається сколювання частинок ґрунту. Як сказано вище, сила опору переміщенню F направлена по напрямку вектора абсолютної швидкості кінця прутка ворсу, але в протилежний йому бік. Тобто, сила F буде направлена по дотичній до поверхні ґрунту в точці контакту з прутком ворсу.

Загальний опір переміщенню прутка ворсу можна визначити, як суму опорів, що спричинені силою в'язкості ґрунту F_1 , силою статичного опору сипучих частинок ґрунту F_2 та силою опору відкидання частинок ґрунту F_3 [4, 5, 6].

$$F = F_1 + F_2 + F_3. \quad (4)$$

Складова F_1 залежить від в'язкості ґрунту на зсув та довжини ділянки зсуву. Остання, в свою чергу, залежить від подачі ґрунту на пруток, яка по аналогії подачі на ніж фрези визначається як

$$S = \frac{2\pi v_a}{\omega z}, \quad (5)$$

де v_a – швидкість руху агрегату, м/с;

ω – кутова швидкість щітки, рад/с;

z – кількість прутків ворсу в одному горизонтальному ряду щітки, шт.:

Враховуючи вищесказане та приймаючи значення кута ϕ_m внутрішнього тертя ґрунту рівним 45° , сила в'язкості ґрунту визначатиметься як:

$$F_1 = \frac{2\pi\eta v_a v}{\omega z} \sin \alpha_i. \quad (6)$$

Складова F_2 сили опору визначається з рівняння:

$$F_2 = \frac{([\tau] - c)2\pi a v_a}{\operatorname{tg} \phi_m \omega z} \sin \alpha_i, \quad (7)$$

де $([\tau] - c)$ – нормальний опір ґрунту зсуву, Н/м²;

α_i – кут повороту щітки відносно початкового положення, рад;

a – ширина шару ґрунту, що відокремлюється, прийнята рівною ширині прутка ворсу, м.

Для визначення опору відкидання ґрунту потрібно знати секундну потужність $N_{\text{від}}$ на відкидання ґрунту прутком, яка залежить від швидкості відкидання. На цей показник вагомий вплив буде мати форма робочого органу, яким ґрунт відкидається, та матеріал, з якого він виготовлений. Коефіцієнт тертя залежить від матеріалу прутка ворсу. Ми приймаємо за матеріал ворсу поліпропілен, який в даний час виробляється промисловістю, широко застосовується в комунальному господарстві і має позитивні якості для застосування в сільськогосподарському виробництві. Цей матеріал має достатній температурний діапазон використання $-40 \dots 150^\circ\text{C}$. Поліпропіленовий ворс має в 2,2 рази більшу зносостійкість, ніж ворс зі сталеної проволочки. Із властивостей самого ґрунту великий вплив на третю складову матиме щільність.

Враховуючи все, опір відкиданню ґрунту дорівнює

$$F_3 = \frac{N_{\text{від}}}{v} = \frac{\pi a v_a v h k_{\text{від}}^2 \mu}{z \arccos \left(1 - \frac{h}{R_{\text{щ}}} \right)}, \quad (8)$$

де v – швидкість відкидання ґрунту прутком ворсу, м/с.

Аналізуючи рівняння (8), можна зробити наступні висновки. При збільшенні ω зменшується подача ґрунту S , а тому і сила F теж зменшується. Подальше збільшення ω хоча і зменшує подачу, але значно збільшує абсолютну швидкість v кінця прутка ворсу, що збільшує опір ґрунту відкиданню шЗ, а також потребує більшого зусилля для подолання в'язкості ґрунту F_1 . Тому існує мінімум функції в межах $\omega = 17 \dots 25$ рад/с. Кутову швидкість в цих межах можна рахувати раціональною. Збільшення швидкості руху агрегату v_a лінійно збільшує силу F , а збільшення кількості прутків z прутків ворсу навпаки, лінійно зменшує F .

Одночасно на пруток ворсу можуть діяти й додаткові сили опору. Одна з них – це сила, викликана від переміщення ущільненого ядра, що налипає на поверхні робочої кромки (рис. 2). При цьому взаємодія прутка ворсу і ґрунту відбувається за посередництвом цього ущільненого ядра. Це явище може значно впливати на затрати енергії при роботі щітки.

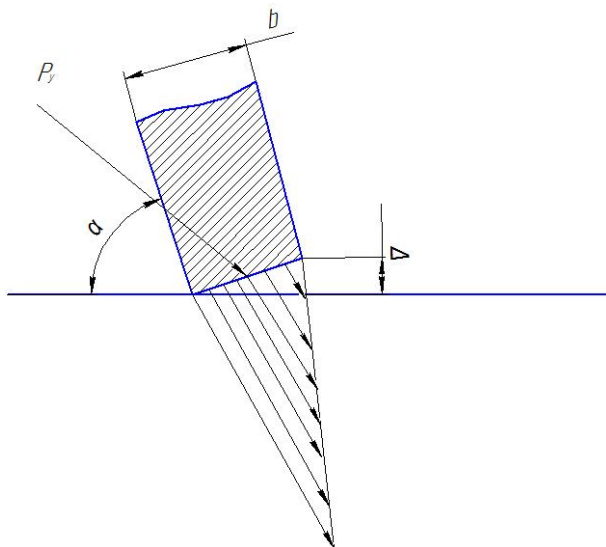


Рисунок 2 – Схема сил, що діють на робочу кромку з ядром ущільнення

Розглянемо випадок, коли пруток видаляє шар ґрунту товщиною Δ , при цьому він знаходиться до поверхні ґрунту під кутом α . У цьому разі внизу кромки затуплення виникне ядро ущільнення, яке буде вдавлюватися вниз і одночасно рухатиметься разом з прутком. Крім цього, між ядром ущільнення та поверхнею ґрунту виникатиме сила тертя, що намагатиметься зірвати ядро з кромки.

Горизонтальну складову сили опору від переміщення ядра ущільнення можна визначити з наступного рівняння [7]:

$$P_y^x = \frac{Kab \cos \alpha}{2 \tan(\alpha - \varphi_1)}, \quad (9)$$

де K – питома щільність ґрунту, Па;

φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту.

Повертаючись до сили тертя, можна відмітити такі її складові. Це опір при переміщенні ущільненого ядра або призми волочіння та опір при переміщенні ґрунту по поверхні прутка. Потрібно сказати, що розглядати взаємодію зрізаної стружки з ґрунтом, що залишився чи з призмою волочіння є не вірно. Тут потрібно розглянути лише взаємодію робочого органу і ґрунтової стружки.

А от при визначенні опору переміщення призми волочіння потрібно врахувати її взаємодію як з робочим органом, так і з ґрунтом [8]. В сумі ці взаємодії будуть викликати опір переміщенню прутка ворсу в робочій його фазі та їх можна виразити загальним значенням, як силу опору від тертя.

$$P_T = g\rho V_n f_n, \quad (10)$$

де ρ – об'ємна маса ґрунту, кг/м^3 ;

V_n – об'єм призми волочіння, м^3 ;

f_n – коефіцієнт опору переміщення призми волочіння по ґрунтовій і робочій поверхні.

Висновки. Визначена залежність сили опору F переміщенню прутка в ґрунті від основних параметрів щітки, як сума опорів, що спричинені силою в'язкості ґрунту, силою статичного опору частинок ґрунту та силою опору відкидання частинок ґрунту показала, що існує мінімум функції в межах зміни колової швидкості прутків ворсу від 3 до 6 м/с, коли F приймає мінімальні значення до 0,3 Н на один пруток. Перевірка у виробничих умовах показала похибку даного значення від 3 до 7 %. В більшій мірі дана похибка пояснюється присутністю сил опору переміщення ущільненого ядра ґрунту та сил тертя при русі призми волочіння по ґрунту та поверхні робочого органу.

Список літератури

1. Гусев, Л.М. Расчёт и конструкции подметально-уборочных машин [Текст] / Л.М. Гусев. – М.-Л.: Машгиз, 1963. – 271 с.
2. Долганин, Б.М. Применение синтетического ворса в щётках подметально-уборочных машин [Текст] / Б.М. Долганин // Механизация работ в коммунальном хозяйстве. – 1968. – Вып. 59, № 3. – С. 35–42.
3. Долганин, Б.М. Метод расчёта щёток подметально-уборочных машин / Б.М. Долганин, Л.М. Гусев // Механизация работ в коммунальном хозяйстве. – 1972. – Вып. 88. – С. 118–131.
4. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение, 1978. – 375 с.
5. Шукле, Л. Реологические проблемы механики грунтов [Текст] / Л. Шукле. – М.: Машиностроение, 1976. – 483 с.
6. Сагамонян, А.Я. Проникание [Текст] / А.Я. Сагамонян. – М.: Изд-во Московского университета, 1974. – 299 с.
7. Новые положения теории резания грунтов [Текст] / Г.Н. Карасев // Электронное издание. Строительные дорожные машины и техника. – МАДИ, 2011. Режим доступа: <http://sdm.str-t.ru/publics/73/>
8. Экспериментально-аналитическая модель копания грунта отвалом бульдозера [Текст] / Е.В. Курилов // Электронное издание Строительные дорожные машины и техника. – МАДИ, 2014. Режим доступа: <http://sdm.str-t.ru/publics/87/>
9. Артюхин, Ю.П. Произвольный изгиб консольного стержня консервативной силой / Казань. Физико-математические науки, 2013. – Т. 155. – кн.2. – С.144-157.
10. Гевко, Р.Б. Parameter justification for interworking relationship of elastic screw operating element with grain material / Р.Б.Гевко, Ю.В.Дзядикович, І.Г.Ткаченко, С.З.Залуцький // Вісник ТНТУ. – Т.: ТНТУ, 2016. – Т. 81. – № 1. – С. 77-87.

Andriy Voytik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Anatoliy Golovatyuk, PhD agr. sci., Mikhailo Gnatyuk
Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Investigation of the Components of Soil Resistance When Working With Brush Devices

The article is devoted to the problem of the disclosure of the root system of mother plants with brush working parts. When working brushes on their pile rods there are resistance forces that require certain energy costs. By selecting rational kinematic parameters, it is possible to minimize energy costs for work.

In this work the position of the pile rod in the working phase is analyzed and the forces acting on it are determined. The main resistance force is directed opposite to the absolute velocity vector and includes three components. Firstly, these forces of resistance are caused by the viscosity of the soil, taking into account its plasticity and deformation. The force of the static resistor of the displacement of particles takes into account the properties of the soil as a friable medium simultaneously with plastic properties. Also, the force to reject soil particles is determined. It has been established that in addition to these forces, resistance is caused by the displacement of the core of the seal under the working rod and the frictional forces when driving the prisms of drawing on the surfaces of both the rod itself and the ground roll.

The dependence of the resistance strength on the movement of the rod in the soil from the basic parameters of the brush has been determined, and it has been shown that there is a minimum of function within the limits of the change in the velocity of the pile rods from 3 to 6 m / s, when the force takes the minimum values up to 0.3 N per rod.

resistance, friction, force, rod, brush, deformation, viscosity

Одержано 03.11.17

УДК 631.354

Д.Г.Войтюк, проф., канд. техн.наук, С.В.Смолінський, доц., канд. техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна
E-mail: s_smolinsky@meta.ua

Ширина захвату жатки зернозбирального комбайна як параметр проектування

В статті розроблено технологічні принципи обґрунтування величини ширини захвату жатки зернозбирального комбайна на основі аналізу подачі хлібної маси та проаналізовано алгоритм вибору оптимальних режимів роботи комбайна із урахуванням умов збирання і показників технічної характеристики збирального агрегату. Отримано вираз для визначення параметра ширини захвату жатки, при якій досягатиметься оптимальна подача хлібної маси. Встановлено взаємозв'язок між шириною захвату жатки, потужністю двигуна та масою сучасних зернозбиральних комбайнів.

збирання зернових культур, жатка зернозбирального комбайна, ширина захвату, проектування

Д.Г.Войтюк, проф., канд. техн.наук, С.В.Смолинский, доц., канд. техн. наук
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна как параметр проектирования

В статье разработаны технологические принципы обоснования величины ширины захвата жатки зерноуборочного комбайна на основании анализа подачи хлебной массы и проанализирован алгоритм выбора оптимальных режимов работы комбайна с учетом условий работы и показателей технической характеристики уборочного агрегата. Получено выражение для определения параметра ширины захвата жатки, при котором будет достигнута оптимальная подача хлебной массы. Установлена взаимосвязь между шириной захвата жатки, мощностью двигателя и массой современных зерноуборочных комбайнов.

уборка зерновых культур, жатка зерноуборочного комбайна, ширина захвата, проектирование

Постановка проблеми. Основними технічними засобами, що використовуються для збирання зернових культур, є самохідні бункерні зернозбиральні комбайни, якими збирається близько 90% площ під зерновими культурами у світі. Серед основних показників технічних характеристик збиральних агрегатів, що визначають їх продуктивність, є ширина захвату жатки, яка на сучасних збиральних агрегатах варіюється в межах 5,0...13,7 м [1]. При збільшенні ширини захвату жатки спостерігаються зростання змінної продуктивності, зниження втрат зерна і покращення його якісних показників внаслідок роботи на нижчих швидкостях. Одночасно з цим, збільшується ціна жатки, а отже, і зростатиме величина капіталовкладень, збільшується потужність двигуна, об'єм зернового бункера та маса жатки [2], і як результат – ущільнення ґрунту та зростання затрат енергії на пересування агрегату.

Підвищення ефективності застосування жаток в агрегаті із самохідними зернозбиральними комбайнами можливе на основі системного вирішення задачі проектування величини ширини захвату жатки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі дослідження вітчизняних і закордонних вчених по аналізу конструктивно-технологічних схем та основних параметрів сучасних зернозбиральних комбайнів [2-10], в яких розглядається взаємозв'язок між основними параметрами комбайна, такими як пропускна здатність, маса машини, потужність двигуна, ширина захвату жатки, об'єм зернового бункера,

параметри молотильного апарату та системи очистки, а також вплив параметрів комбайна на показники ефективності роботи.

Питання оцінки параметра ширини захвату жатки зернозбирального комбайна і розробка методики оптимізації його величини на основі економіко-математичної моделі розглянуто в [11].

Постановка завдання. Мета статті – проаналізувати ширину захвату жатки зернозбирального комбайна як параметр проектування і вплив на її величину основних параметрів процесу збирання та збирального агрегату.

Виклад основного матеріалу. На ефективність роботи зернозбиральних комбайнів істотний вплив мають параметри (характеристики) умов збирання, показники технічної характеристики та режимів роботи комбайнів, на основі яких визначається оптимальна величина подачі хлібної маси в молотарку, що дозволить досягнути найбільш ефективного застосування збирального агрегату, і обґрунтовується відповідне значення робочої швидкості комбайна із урахуванням ширини захвату жатки (рис. 1).

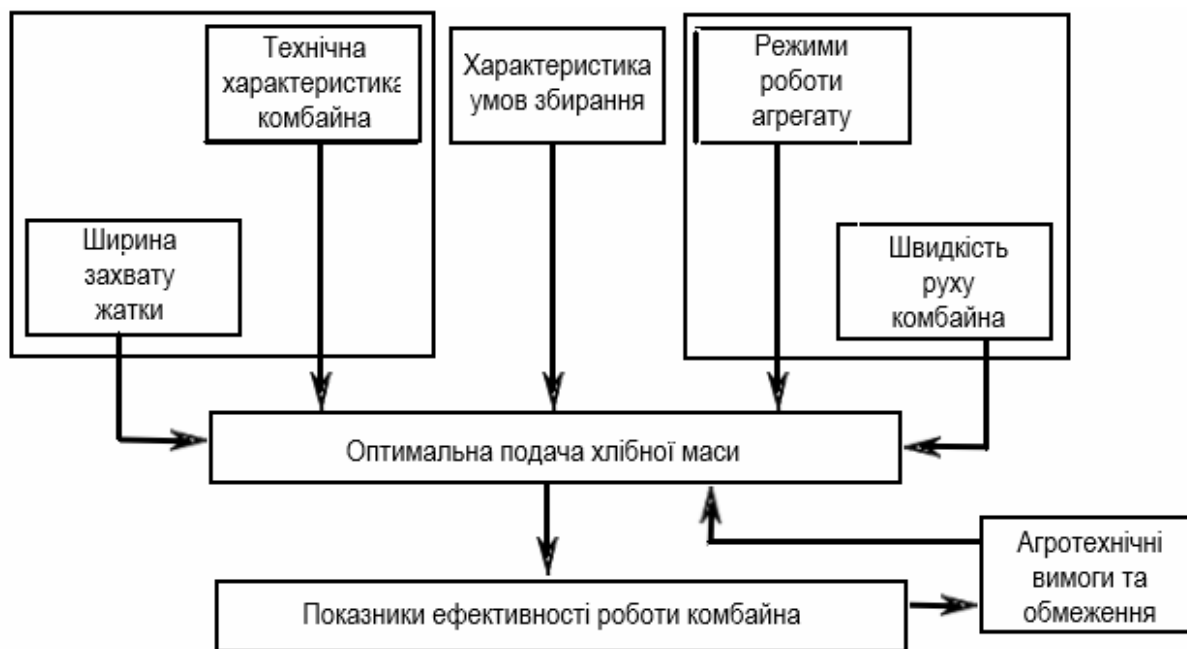


Рисунок 1 – Структурна схема вибору оптимальних режимів роботи зернозбирального комбайна

Проаналізуємо величину ширини захвату жатки як функцію подачі зерна в молотарку комбайна [10].

Подачу зерна виразимо через продуктивність комбайна і врожайність зерна

$$Q_1 = 0,278BV\tau U_1, \quad (1)$$

де B – ширина захвату жатки, м;

V – робоча швидкість зернозбирального комбайна, км/год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

U_1 – врожайність зерна, т/га.

Максимальну швидкість для більшості комбайнів із класичною схемою молотарки приймають 8,0 км/год, оскільки при більших значеннях швидкості різко зростатимуть втрати зерна (при збиранні пшениці вузькозахватними комбайнами при

швидкості до 8,0 км/год втрати зерна складають 1,7%, а широкозахватними в тих же умовах при швидкості 4,0 км/год – 3,0%), знижуватиметься ефективність очищення [11], а також існує складність забезпечення стабільності положення жатки.

Подачу зерна (кг/с) можливо записати також через пропускну здатність молотарки і соломистість хлібної маси

$$Q_1 = qk(1 - C), \quad (2)$$

де q – пропускну здатність молотарки комбайна, кг/с;

k – коефіцієнт завантаження молотарки комбайна хлібною масою;

C – соломистість зрізаної хлібної маси.

Коефіцієнт завантаження молотарки комбайна хлібною масою k визначає те, що при комбайновому збиранні зернових культур, у більшості випадків використовується лише 50...65% пропускну здатності молотарки комбайна ($k=0,50...0,65$), а при збиранні маловрожайних і малосоломистих культур – до 40% ($k=0,40$).

Прирівнявши праві частини виразів (1) і (2) та виконавши алгебраїчні перетворення, отримаємо

$$B = 3,6qk(1 - C)/V\tau U_1. \quad (3)$$

Соломистість зрізаної хлібної маси C є функцією довжини зрізаної частини стебла Δl і може апроксимуватися параболічною залежністю виду

$$C(\Delta l) = a_1 \Delta l^2 + a_2 \Delta l + a_3, \quad (4)$$

де a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти, які залежать від вологості стеблостою та сортових властивостей культури, у тому ж числі довжини та діаметра стебел. Дослідженнями Ш.С.Иксанова [12] встановлено $a_1 = 4,645$, $a_2 = -1,692$, $a_3 = 0,724$.

У виразі (3) пропускну здатність молотарки представимо як функцію потужності двигуна комбайна у вигляді кривої Гамперца [13]

$$q(N) = (N/G)e^{bB^{0,17}}, \quad (5)$$

де N – потужність двигуна;

G, a, b – коефіцієнти пропорційності.

Економіко-математичним моделюванням показників технічної характеристики зернозбиральних комбайнів [13] встановлено

$$q(N) = (N/33,5)e^{0,396B - 0,002616/V}. \quad (6)$$

Скориставшись виразом (3) із урахуванням (4) і (5) при підстановці номінального значення потужності двигуна стає можливим обґрунтування оптимальної величини ширини захвату жатки зернозбирального комбайна для визначених умов збирання.

Застосування повної конструктивної ширини захвату жатки (при прямому комбайнуванні та автоматичному управлінні робочим процесом – до 10 м, без автоматичного управління – до 7 м) обмежуються можливостями оператора. Більш

повне використання ширини захвату жатки досягається встановленням спеціальних систем керування рухом машини.

В результаті обробки даних технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів [1, 2] отримано кореляційну залежність між шириною захвату жатки (B , м) потужністю двигуна (N , кВт) та масою комбайна з жаткою (M , т) у вигляді

$$B = \frac{\sqrt{(73,2566 - 22,506M)^2 - 59,2908(6,6889M^2 + 4,294M - N - 159,1065)} - (73,2566 - 22,506M)}{29,6454}. \quad (7)$$

При застосуванні залежності (7) можна з досить високою точністю спрогнозувати раціональні значення ширини захвату жатки зернозбирального комбайна масою M , який обладнаний двигуном потужністю N . Враховуючи світові тенденції щодо розвитку зернозбиральної техніки, які пов'язані із зростанням пропускної здатності та продуктивності комбайнів, можна прийти до висновку щодо подальшого збільшення потужності двигунів і маси комбайнів, а отже, і ширини захвату жаток.

Для підвищення продуктивності зернозбиральних комбайнів і ефективності механізованого процесу збирання зернових культур на ринку сільськогосподарської техніки представлені широкозахватні жатки із шириною захвату до 13,2 м з жорстким ріжучим брусом MacDon D65 та із гнучким ріжучим брусом MacDon FD75, які обладнані стрічковим транспортером замість шнека, а також двосекційним мотовилом, що підвищує якість виконання процесу [1]. Але можливість застосування широкозахватних жаток обмежується мікрорельєфом поля і доцільно їх застосовувати на вирівняних полях великої площі.

Збільшення показників ефективності роботи комбайнів без істотного зростання енергомісткості процесу можливо за умови реалізації конструктивних та регульовальних заходів і застосування енергозберігаючих технологій збирання зернових культур.

Висновки. Одним із важливих параметрів зернозбирального комбайна, який істотно впливає на ефективність механізованого збирання зернових культур, є ширина захвату жатки. Для ефективного збирання зернових культур необхідно в агрегаті із зернозбиральним комбайном застосовувати жатки із шириною захвату, при якій досягатиметься оптимальна подача хлібної маси в молотарку комбайна із урахуванням умов збирання і технічної характеристики комбайна. В результаті проведеного аналізу показників технічної характеристики сучасних зернозбиральних комбайнів встановлено взаємозв'язок між шириною захвату жатки, потужністю двигуна та масою комбайна.

Список літератури

1. Перспективи фірм-виробників зернозбиральних комбайнів
2. Смолінський, С.В. Аналіз взаємозв'язку між базовими параметрами сучасних зернозбиральних комбайнів [Текст] / С.В. Смолінський. – Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. – Харків. – 2010. – Вип. 93, т.1. – С. 182-186.
3. Гольцяпин, В.Я. Современные самоходные зерноуборочные комбайны [Текст] / В.Я. Гольцяпин. – Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1997. – №3. – С. 35-40.
4. Gubsch, M. Zu einigen Aspekten in der Mahdrescherentwicklung [Text] / M.Gubsch. – Deutsche Agrartechnik. – 22. Jg. (1972). – Heft 3. – S.122-125.
5. Недовесов, В.І. Графічне і математичне моделювання показника „об'єм бункера зернозбирального комбайна” / В.І. Недовесов, М.Д. Занько. – Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2012. – Вип. 96. – С. 240-246.

6. Занько, М.Д. Удосконалення методів випробувань молотарки зернозбирального комбайна [Текст] : Автореферат дис. канд.техн.наук: / М.Д.Занько. – Глеваха, 2008. – 20 с.
7. Недовесов, В.И. Анализ экономичности технологического процесса зерноуборочного комбайна [Текст] / В.И.Недовесов, Г.А.Хайлис, Н.Д.Занько. – Тракторы и сельхозмашины. – 2011.. – №1 – С. 27-29.
8. Ерохин, Г.Н. Моделирование эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов [Текст] / Г.Н.Ерохин, А.С.Решетов, В.В.Коновский. – Тракторы и сельхозмашины 2011. – №1. – С. 30-31.
9. Демко, А. Метод визначення пропускної здатності молотильно- сепарувального пристрою зернозбиральних комбайнів з урахуванням змінитехніко-експлуатаційних характеристик [Текст] / А. Демко, О. Надточій, О. Демко. – Техніка і технології АПК. – 2012. – №2. – С. 32–35.
10. Чаплыгин, М.Е. Повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов путем обоснования оптимальной ширины захвата жатки для условий Юга России: автореферат дис. ... канд. техн. наук [Текст] / М.Е.Чаплыгин. – М., 2015. – 20 с.
11. Аблин, Л.К. К методике определения рабочей скорости движения самоходного зерноуборочного комбайна [Текст] / Л.К. Аблин, М.М. Константинов. – Труды ЧИМЭСХ. – Вып. 65, ч. II. Эксплуатация и техническое обслуживание МТП. – Челябинск, 1973. – С. 20-23.
12. Иксанов, Ш.С. Повышение эффективности прямого комбайнирования зерновых культур на примере комбайна РСМ-101 "Вектор-410" в условиях Челябинской области [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ш.С.Иксанов. – Оренбург, 2016. – 22 с.
13. Непочатенко, А.В. Економіко-математичне моделювання витрат під час збору врожаю залежно від потужності двигуна зернозбирального комбайна [Текст] / А.В. Непочатенко, В.А. Непочатенко. - Економіка та управління АПК, 2013. – Вип.11(106). – С. 130-136.

Dmytro Voityuk, Prof., PhD tech. sci., Stanislav Smolinskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Width of Harvester Header as Project Parameter

The aim of the article is the analysis of the harvester header width as project parameter and the influence the harvesting and harvester parameters on quantity of header width.

In the article there are grounded the technological principles for calculation of the harvester header width on the foundation of the mass serves analysis and analyzed the algorithm for the determination of optimal harvester parameters to take into account the harvesting conditions and the technical date of harvester.

There are got the equation for determination of the width header parameter to harvest with the optimal serve of grain-crops mass for the harvesting conditions and the technical date of harvester and the equation between header width, engine power and mass for modern combine harvesters.

grain-crops harvesting, harvester header, width, project

Одержано 30.10.17

УДК 631.361

Б.М. Гевко, проф., д-р техн. наук, В.М. Клендій, канд. техн. наук,

Л.М. Слободян, асп., О.П., Маруніч, асп.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, E:mail: oleglashuk@ukr.net

Дослідження резонансних коливань горизонтального робочого органу гвинтового завантажувача-змішувача

© Б.М. Гевко, В.М. Клендій, Л.М. Слободян, О.П. Маруніч, 2017

Приведена конструкція гвинтового завантажувача-змішувача і досліджено питання резонансних коливань горизонтального робочого органу цього завантажувача. Визначальним параметром динаміки робочого гвинта завантажувача-змішувача є амплітуда та частота його нелінійних коливань.

Закони зміни вказаних параметрів визначаються геометричними, фізико-механічними властивостями його матеріалу, швидкістю руху вздовж нього зернової суміші, кутовою швидкістю його обертання та зовнішніми чинниками (силами опору та зовнішніми періодичними силами). Виведено залежність резонансних коливань за різних значень швидкості руху зернової суміші, її погонної маси, різних кутових швидкостей обертання горизонтального робочого органу за різних частот зовнішнього збурення.

Встановлено, що якщо процес перемішування чи транспортування матеріалів проходить у дорезонансній зоні коливань, то шляхом зменшення кутової швидкості обертання ГРО короткочасно можна вийти на резонансну частоту.

амплітуда, гвинтова спіраль, гвинтовий завантажувач-змішувач, коливання, резонанс

Б.М. Гевко, проф., д-р техн. наук, В.М. Клендий, канд. техн. наук, Л.М. Слободян, асп., О.П. Марунич, асп.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина

Исследование резонансных колебаний горизонтального рабочего органа винтового загрузчика-смесителя

Приведена конструкция винтового загрузчика-смесителя и исследован вопрос резонансных колебаний горизонтального рабочего органа этого загрузчика. Определяющим параметром динамики рабочего винта загрузчика-смесителя является амплитуда и частота его нелинейных колебаний.

Законы изменения указанных параметров определяются геометрическими, физико-механическими свойствами его материала, скоростью движения вдоль него зерновой смеси, угловой скоростью его вращения и внешними факторами (силами сопротивления и внешними периодическими силами). Выведены зависимости резонансных колебаний при различных значениях скорости движения зерновой смеси, ее погонной массы, различных угловых скоростей вращения горизонтального рабочего органа при различных частотах внешнего волнения.

Установлено, что если процесс перемешивания или транспортировки материалов проходит в дорезонансной зоне колебаний, то путем уменьшения угловой скорости вращения ГРО кратковременно можно выйти на резонансную частоту.

амплитуда, винтовая спираль, винтовой загрузчик-смеситель, колебания, резонанс

Постановка проблеми. Технічні засоби неперервного транспортування сипких матеріалів є основою комплексної механізації завантажувально-розвантажувальних робіт, які підвищують продуктивність та ефективність виробничих процесів.

Питома вага гвинтових конвєсєрів у завантажувально-розвантажувальних роботах більшості будівельних, дорожніх, сільськогосподарських, переробних та інших машин складає близько 40-50%.

Відомо, що найбільш небезпечними режимами експлуатації машин та обладнання є резонансні коливання. Вони характеризуються значним ростом амплітуди коливань, а значить і динамічних навантажень. Тому вказані режими роботи значною мірою зменшують експлуатаційні терміни машини. Якщо в окремих випадках не вдається уникнути резонансних явищ, то намагаються за рахунок вибору параметрів системи забезпечити мінімальний ріст амплітуди під час переходу через резонанс. Тому питання дослідження резонансних коливань має актуальне значення для удосконалення їх конструкцій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Взаємодію шнекових механізмів з сільськогосподарськими матеріалами, а також вибір раціональних параметрів ГТТМ і режимів їх роботи, досліджували М.П. Василенко [4], Б.М. Гевко [5, 6], П.М. Заїка [12], Р.М. Рогатинський [29, 30], Ф.Г. Зуєв [16], В.Л. Куликівський [18] та інші. Проблемам визначення раціональних режимів роботи та конструктивних параметрів ГТТМ присвячені роботи Р.Л. Зєнкова [1, 13-15], А.М. Григорєва [8-10], Б.М. Гєвка [6],

К.В. Алферова [1], Г.А. Хайліса [31], В.І. Плавінського [20], Н.В. Остапчука [24, 25], О.Р. Рогатинської [28], І.М. Хорольського [32].

Питаннями обґрунтування параметрів коливань механічних систем присвячені праці І.М. Бабакова [2], О.А. Горошко [7], П.Д. Доценка [11], М.П. Мартинцева [19], М.А. Павловського [26], С.М. Нікіфорова [23], Ю.А. Митропольського [21], М.М. Боголюбова [3], та інші. Однак питання, які стосуються удосконалення конструкцій самих гвинтових механізмів і їх робочих органів, потребують подальшого дослідження.

Постановка завдання. Дослідити резонансні коливання горизонтального робочого органу завантажувача змішувача.

Виклад основного матеріалу. Нами розроблена конструкція гвинтового завантажувача-змішувача (рис.1) [27], який виконано у вигляді рами 1, на якій встановлено завантажувальний горизонтальний 2 і вертикальний 3 циліндричні кожухи з гвинтовими робочими органами горизонтальними 4 і вертикальними 5, приводами 6 з запобіжними муфтами. Причому горизонтальний кожух 2 встановлено під кутом 2-5° до горизонту в сторону подачі сипкого матеріалу, а нижній кінець вертикального кожуха 3 встановлено у вільну зону горизонтального кожуха 2. Горизонтальна завантажувальна секція гвинтового робочого органу виконана у вигляді гвинтових гофрів 7 для покращення процесу змішування сипких матеріалів. Вертикальний гвинтовий робочий орган 5 виконано Г-подібної форми, причому співвідношення горизонтальної полицки до вертикальної становить в межах 2-7 мм, при мінімальній величині вертикальної полицки 2-4мм.

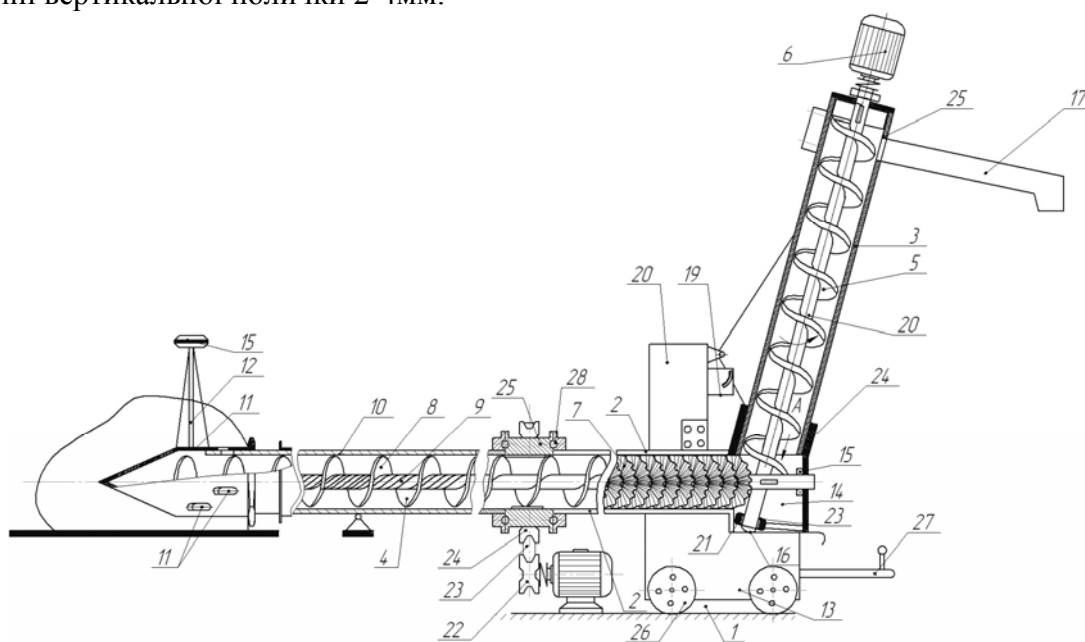


Рисунок 1 – Конструкція гвинтового завантажувача-змішувача [27]

До кінця горизонтального завантажувального робочого органу секції 4 жорстко приєднана гнучка гвинтова спіраль 8 з гнучким валом 9 та гнучким кожухом 10 для збільшення зони завантаження гвинтового конвеєра. На кінці гнучкого циліндричного кожуха 10 жорстко встановлено циліндричний наконечник 11 з конічним кінцем для зручності його введення в купу сипкого матеріалу. Наконечник 11 забезпечує не попадання великих кусків в зону транспортування, які можуть спричинити його поломку і сприяє кращому пересипанню сипких матеріалів в зону транспортування, який виконано у вигляді циліндричних елементів з осьовими пазами, шириною більшою у 2-6 разів найбільших зернин транспортних матеріалів.

Наконечник 11 жорстко прикріплений до рукоятки 12 з можливістю їх переустановлення в інше місце, коли з одного місця купи сипкого матеріалу вибрано певну кількість матеріалу, а зона вивантаження горизонтальної секції 2 розміщена в півкруглому корпусі підставки 14 і утворюють сприятливу об'ємну зону 15, в якій встановлено нижній кінець вертикальною гвинтового робочого органу 5 для вільного транспортування матеріалів вертикальним гвинтовим робочим органом. В зоні правого кінця горизонтального циліндричного кожуха 2 поза його зоною виконана опора циліндрична 14. Завантажувач-змішувач оснащений заслінкою 16 відомої конструкції для кінцевого його очищення після завершення технологічного процесу.

На виході вертикального кожуха 3 жорстко встановлено вивантажувальний лоток 17 для транспортування сипких матеріалів в ємність або кузов машини 18. Вертикальний кожух 3 жорстко встановлено в механізм регулювання кута його нахилу до горизонту 19 відомої конструкції, а до рами 1 жорстко закріплено пульт керування 20.

Вал вертикального гвинтового робочого органу 5 знизу встановлено в упорний сферичний підшипник 21 з можливістю кругового повертання в ємності 15 і зміни кута нахилу відомої конструкції, який по зовнішньому діаметру виконано циліндричної форми та є у жорсткій взаємодії з внутрішньою циліндричною поверхнею нижньої частини кожуха 3. Зверху підшипник закритий ущільнюючим диском. Крім цього, вертикальний вивантажувальний лоток 17 є у взаємодії з зовнішнім діаметром вертикального жолоба 3 в зоні вивантаження сипких матеріалів через гумову прокладку відомої конструкції, яка створює відповідне тертя і сприяє жорсткому утримуванню вивантажувального лотка 17.

Центральний привід механізму 22 встановлений на рамі 1 по середині довжини горизонтальної секції і за допомогою передачі 23 і зірочки 24 передається на корпус 25 і горизонтальний гвинтовий робочий орган 2. Плоскі гвинтові секції центрального приводу жорстко встановлені на валу і приварені до корпусу 25, а його вал є у взаємодії з основним валом 4 через шліци відомим способом і є його приводом. Крім цього завантажувач-змішувач встановлено на підставку 14 з опорними колесами 26 з гальмівними елементами і рукояткою його переміщення 27. Крім цього корпус 24 центрується кульками 28, а гвинтові гофровані елементи 7 жорстко встановлені на валу, який є у взаємодії з основним горизонтальним валом 2 через шліци відомим способом.

Робота завантажувача-змішувача гвинтового типу здійснюється наступним чином. Кінець гнучкої спіралі 8 з гнучким кожухом 10 з наконечником 11 вводять в купу сипкого матеріалу 29 разом з рукояткою 13. Після цього включають привід за допомогою пульта керування 20. За допомогою гнучкої спіралі 8 сипкий матеріал переміщується по горизонтальній трасі в жолобі 2 за допомогою плоских гвинтових елементів корпусу 25, де він інтенсивно змішується гвинтовим гофрованим робочим органом 7 і подається в зону вивантаження об'ємного збірника циліндричної форми і звідси вертикальним гвинтовим робочим органом 5 в зону вивантаження, вивантажувальний лоток 17 і в ємність для збору матеріалу (кузов машини) 18 або різного типу тари. В разі вибору сипкого матеріалу з даної зони, завантажувальну секцію за допомогою рукоятки 13 переставляють в нове місце.

Відомо [10], що найбільш небезпечними режимами експлуатації машин та обладнання є резонансні. Вони характеризуються значним ростом амплітуди коливань, а значить і динамічних навантажень. Тому вказані режими роботи значною мірою зменшують експлуатаційні терміни машин (мова не йде про спеціальні машини, принцип роботи котрих побудований на резонансних явищах). Якщо ж в окремих

випадках не вдається уникнути резонансних явищ, то намагаються за рахунок вибору параметрів системи забезпечити мінімальне значення (ріст) амплітуди під час переходу через резонанс. Звідки випливає, що дослідження резонансних явищ горизонтального робочого органу завантажувача-змішувача має не тільки теоретичне, але й практичне значення.

Із умови існування резонансних коливань, яку для випадку головних згинальних робочого органу можна записати у вигляді

$$\nu \approx \Omega - \frac{3\mu}{32} \frac{\pi^2}{l^2} \frac{a^2}{\Omega} + \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \frac{m}{m + \rho} \frac{u^2}{8\Omega}. \quad (1)$$

Таким чином, резонансне явище за різних значень швидкості руху зернової суміші, її погонної маси, різних кутових швидкостей обертання горизонтального робочого органу буде мати місце за різних частот зовнішнього збурення. Як було наголошено вище, реальний вплив малих амплітуд поперечних коливань горизонтальної вітки завантажувача-змішувача на власну частоту незначний. Із вказаного випливає, що домінуючу роль входження у резонанс відіграють: кутова швидкість обертання робочого органу, швидкість руху зернової суміші та її погонна маса. Таким чином, для різних значень вказаних параметрів амплітуда переходу через резонанс буде приймати різні значення. До того ж, як показано у [10], амплітуда проходження через резонанс залежить від різниці фаз власних та вимушених коливань, у нашому випадку $\varphi = \psi - \theta$. Перше резонансне наближення для сформульованої вище крайової задачі будемо шукати у вигляді асимптотичного подання, проте на відміну від нерезонансного випадку, амплітуда при переході через резонанс визначається співвідношенням вигляду

$$\frac{da}{dt} = \mu A_1(a, \varphi), \quad (2)$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \Omega - \nu + \mu B_1(a, \varphi), \quad \varphi = \psi - \theta.$$

Задача полягає у визначенні такого виду функцій $A_1(a, \varphi), B_1(a, \varphi)$ із урахуванням (1), (2), яке б для першого наближення задовольняло базовому рівнянню. Поступаючи подібним чином, як і для нерезонансного випадку із урахуванням (2), знаходимо

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial t} &= \mu A_1(a, \varphi) (\cos(\kappa x + \psi) - \cos(\kappa x - \psi)) - \\ &- a (\Omega + \mu B_1(a, \varphi)) (\sin(\kappa x + \psi) + \sin(\kappa x - \psi)) + \mu \frac{\partial y}{\partial \theta} \nu + \mu \frac{\partial y}{\partial \psi} \Omega \\ \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= \mu \frac{\partial A_1(a, \varphi)}{\partial \varphi} (\Omega - \nu) (\cos(\kappa x + \psi) - \cos(\kappa x - \psi)) - \\ &- 2\mu \Omega A_1(a, \varphi) (\sin(\kappa x + \psi) + \sin(\kappa x - \psi)) + \frac{\partial^2 y}{\partial \psi^2} \Omega^2 + \frac{\partial^2 y}{\partial \theta^2} \nu^2 + 2 \frac{\partial^2 y}{\partial \theta \partial \psi} \nu \Omega \end{aligned} \quad (3)$$

Отримані співвідношення дозволяють записати диференціальне рівняння, яке зв'язує шукані функції у вигляді

$$L \left(\frac{\partial^2 y_1}{\partial \psi^2}, \frac{\partial^2 y_1}{\partial \theta^2}, \dots, \frac{\partial^4 y_1}{\partial x^4} \right) = a V^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^2 \sin \frac{\pi}{l} x \cos \psi - \quad (4)$$

$$-2V \frac{\pi}{l} \cos \frac{\pi}{l} x \cos \psi + F(x, a, \psi, \theta) + \mu \sin \frac{\pi}{l} x \times \\ \times \left(\cos \psi \left(-\frac{\partial A(a, \phi)}{\partial \phi} (\Omega - \nu) + 2a\Omega B \right) + \sin \psi \left(a \frac{\partial B(a, \phi)}{\partial \phi} (\Omega - \nu) + 2A(a, \phi) \Omega \right) \right)$$

Таким чином, для резонансного випадку функція $y_1(x, t)$ повинна бути розв'язком рівняння та задовольняти однорідні крайові умови, якщо представити її у вигляді

$$y_1(x, a, \psi, \theta) = \sum \sin \frac{k\pi}{l} x Y_{1k}(a, \theta, \psi). \quad (5)$$

В такому разі коефіцієнти її розкладу $Y_{1k}(a, \theta, \psi)$ зв'язані диференціальними рівняннями

а) при $k=1$ -

$$\frac{\partial^2 Y_{11}}{\partial \psi^2} \omega^2 + 2 \frac{\partial Y_{11}}{\partial \psi \partial \theta} \nu \omega + \nu^2 \frac{\partial^2 Y_{11}}{\partial \theta^2} + (\alpha^2 \left(\frac{\pi}{l} \right)^4 + \omega^2) Y_{11} = \\ = aV^2 \left(\frac{\pi^2}{2l} \right) \cos \psi + \frac{1}{p} \int_0^l \sin \frac{\pi}{l} x F(a, x, \theta, \psi) dx + \\ + \left(\cos \psi \left(-\frac{\partial A(a, \phi)}{\partial \phi} (\Omega - \nu) + 2a\Omega B \right) + \sin \psi \left(a \frac{\partial B(a, \phi)}{\partial \phi} (\Omega - \nu) + 2A(a, \phi) \Omega \right) \right); \quad (6)$$

б) при $k \neq 1$ -

$$\frac{\partial^2 Y_{1k}}{\partial \psi^2} \omega^2 + 2 \frac{\partial Y_{1k}}{\partial \psi \partial \theta} \nu \omega + \nu^2 \frac{\partial^2 Y_{1k}}{\partial \theta^2} + (\alpha^2 \left(\frac{k\pi}{l} \right)^4 + \Omega^2) Y_{1k} = \\ = aV^2 \frac{(k\pi)^2}{2l} \cos \psi + \frac{1}{p} \int_0^l \sin \frac{k\pi}{l} x F(a, x, \theta, \psi) dx \quad (7)$$

Подібним чином, як і для нерезонансного випадку, умови відсутності у розкладах функції $y_1(a, x, \psi, \theta)$, а значить і у $Y_{1k}(a, \psi, \theta)$ ($k \neq 1$), перших гармонік ψ дозволяють отримати співвідношення, які визначають праві частини залежностей (6)

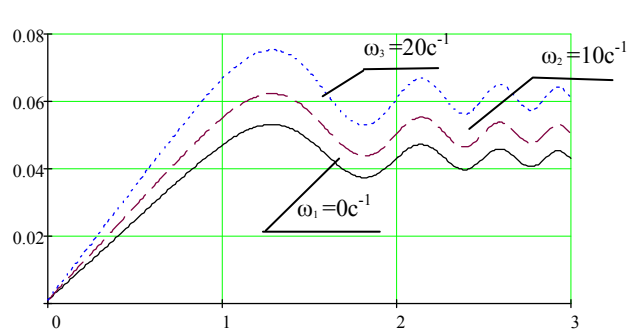
$$(\Omega - \nu) \frac{\partial A}{\partial \phi} - 2a\Omega B = \frac{1}{p} \frac{1}{4\pi^2} \sum_s e^{is\phi} \int_0^l \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a, x, \psi, \theta) \sin \frac{k\pi}{l} x e^{-is\phi} \cos \psi dx d\psi d\theta, \quad (8) \\ a \frac{\partial B}{\partial \phi} (\Omega - \nu) - 2A\Omega + V^2 \frac{\pi^2}{l^2} = \frac{1}{p} \frac{1}{4\pi^2} \sum_s e^{is\phi} \int_0^l \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} F(a, x, \psi, \theta) \sin \frac{k\pi}{l} x e^{-is\phi} \cos \psi dx d\psi d\theta.$$

Для випадку, коли на гвинтовий змішувач діє періодичне збурення, яке не залежить від його прогину, а малі нелінійні сили визначаються як і для випадку власних коливань, диференціальні рівняння у резонансній області можна привести їх до вигляду

$$\frac{da}{dt} = -\frac{\bar{\delta}}{m + \rho} (\Omega)^{s-1} a^s - \frac{2\mu H}{\pi(\Omega + \nu(t))} \cos \varphi, \quad (9)$$

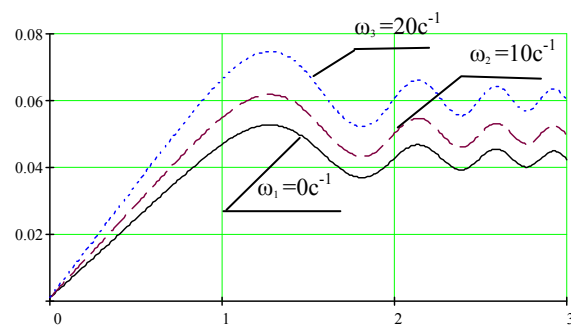
$$\frac{d\phi}{dt} = \Omega - \nu - \left(\frac{\pi}{l}\right)^2 \frac{mu^2}{8\Omega(m+\rho)} + \mu \left(\frac{2H}{\pi(\Omega + \nu(t))a} \sin \phi - \frac{3}{32} \frac{\pi^2}{l^2} \frac{a^2}{\omega} \right).$$

Відповідно до (9) на рис. 2 представлені резонансні криві амплітуд при швидкому та повільному переходах через резонанс ($s = 1$).



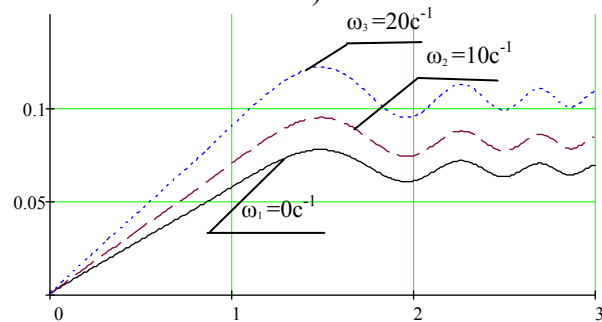
$\rho=10, m=10, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, H=0.005, u=4, l=6$

а)



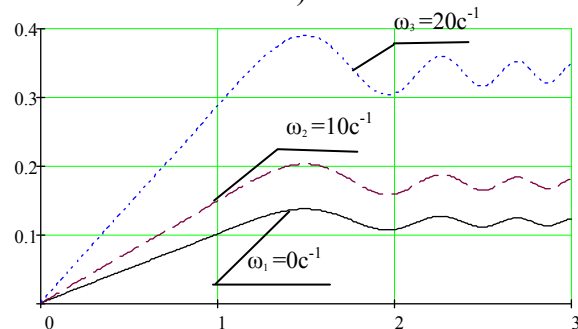
$\rho=10, m=10, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, H=0.005, u=10, l=6$

б)



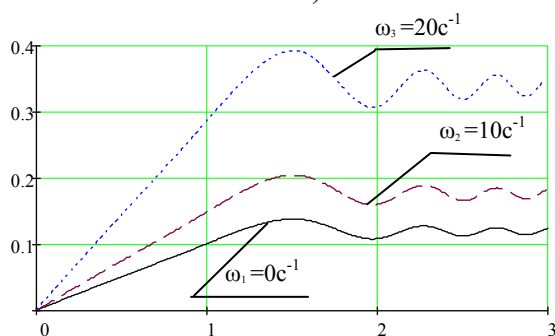
$\rho=10, m=20, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, H=0.005, u=10, l=6$

в)



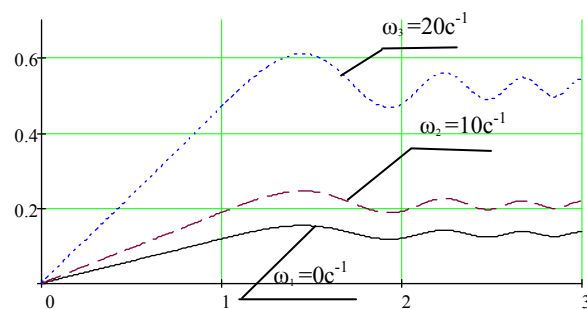
$\rho=10, m=20, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, H=0.005, u=10, l=8$

г)



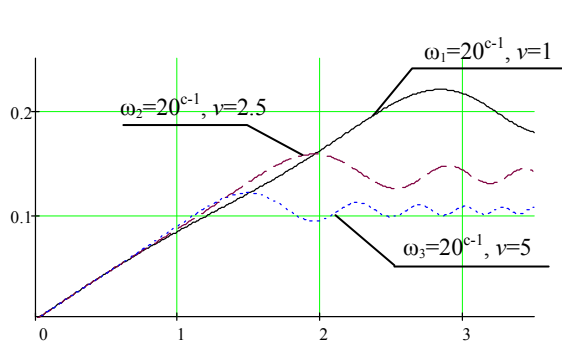
$\rho=10, m=20, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, H=0.005, u=4, l=8$

д)



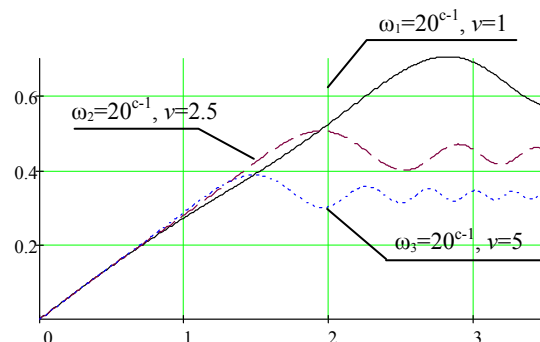
$\rho=10, m=30, I=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, v=5, H=0.005, u=10, l=8$

е)



$$\rho=10, m=20, l=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, \omega_{\alpha\alpha}^* = 34.831, H=0.005, u=8, l=6$$

е)



$$\rho=10, m=20, l=6 \cdot 10^{-6}, E=2,06 \cdot 10^{11}, \omega_{\alpha\alpha}^* = 10.8431, H=0.005, u=8, l=8$$

ж)

Рисунок 2 – Резонансні криві горизонтального робочого органу за різних його довжин, кутових швидкостей обертання та погонної маси зернової суміші

Висновки

Отримані теоретичні та побудовані на їх базі аналітичні залежності показують, що для:

- більших кутових швидкостей обертання робочого органу резонансне значення частоти є меншим, а амплітуда резонансу – більшою;
- для робочих органів більшої довжини резонансне значення амплітуди є більшим;
- із збільшенням кутової швидкості обертання резонансне значення амплітуди робочого органу зростає;
- для зернової суміші більшої погонної маси резонанс має місце за меншої частоти робочого органу, одночасно резонансна амплітуда є меншою;
- за більших значень відносної лінійної швидкості переміщення зернової суміші резонансна амплітуда є більшою
- за менших величин швидкості переходу через резонанс амплітуда резонансу є більшою;
- за менших величини різниці початкових фаз власних та вимушених коливань амплітуда резонансу є більшою.

Список літератури

1. Алферов, К. В. Бункерные установки [Текст] / К. В. Алферов, Р. Л. Зенков. – М. : Машиностроение, 1975. – 307 с.
2. Бабаков, И.М. Теория колебаний [Текст] / И.М. Бабаков. – М.: Наука, 1965. – 560с.
3. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний [Текст] / Боголюбов Николай Николаевич, Митропольский Юрий Алексеевич. - М.: Наука, 1974. – 501 с.
4. Василенко, П. М. Механизация и автоматизация процессов приготовления и дозирования кормов [Текст] / П. М. Василенко, И. И. Василенко. – М. : Агропромиздат, 1985. – 224 с.
5. Гевко, Б.М. Научные основы разработки винтовых транспортирующих механизмов сельскохозяйственных машин [Текст] : автореф. дис. на соискание наук. степени доктора техн. наук : спец. 05.20.04 «Сельскохозяйственные и мелиоративные машины» / Б. М. Гевко. – Ростов-на-Дону, 1987. – 45 с.
6. Гевко, Б. М. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин [Текст] / Б. М. Гевко, Р. М. Рогатынский. – Львов : Вища школа, 1989. – 176 с.
7. Горошко, О.А. О продольных колебаниях балки с подвижным экипажем [Текст] / Горошко О.А. // Прикладная механика. - 1978. - 14. - №8. – С.70-78.
8. Григор'єв, А. М. Комплексна механізація і автоматизація вантажорозвантажувальних і транспортних робіт в машинобудуванні і приладобудуванні [Текст] / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенський. – К. : Наукова думка, 1967. – 116 с.

9. Григорьев, А. М. Винтовые конвейеры [Текст] / А. М. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.
10. Григорьев, А. М. Гибкие шнеки [Текст] / А. М. Григор'єв, П. А. Преображенский. – К. : Знание, 1967. – 98 с.
11. Доценко, П.Д. О колебаниях и устойчивости прямолинейного трубопровода [Текст] / Доценко П.Д. // Прикладная механика. – 1971. – Вип. 3. – С.85- 91.
12. Заика, П. М. О выборе параметров винтовых транспортеров зерновых комбайнов [Текст] / П. М. Заика // Сельхозмашина, 1958. – № 2. – С. 22–24.
13. Зенков, Р. Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р. Л. Зенков. – М. : Машиностроение, 1973. – 220 с.
14. Зенков, Р. Л. Бункерные устройства [Текст] / Р. Л. Зенков. – М. : Машиностроение, 1972. – 182 с.
15. Зенков, Р. Л. Машины непрерывного транспорта [Текст] / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов. – М. : Машиностроение, 1987. – 320 с.
16. Зуев, И. М. Монтаж, эксплуатация и ремонт машин в животноводстве [Текст] / И. М. Зуев, Э. П. Сорокин, А. В. Шпыро. – М. : Агропромиздат, 1988. – 447 с.
17. Каудерер, Г. Нелинейная механика [Текст] / Каудерер Г.: [пер. с нем. Я.Г. Пановко]. – М.: ИЛ, 1961.-777 с.
18. Куликівський, В. Л. Розробка гвинтових транспортерів з підвищеним ресурсом для зерноочисних машин [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.11 «Машини і засоби сільськогосподарського виробництва» / В.Л. Куликівський. – Вінниця, 2012. – 20 с.
19. Мартинців, М.П. Одне узагальнення методу Д'Аламбера для систем, які характеризуються позовжнім рухом [Текст] / М.П. Мартинців, М.Б. Сокіл // Науковий вісник: Збірник науково-технічних праць. – Львів: УДЛТУ, 2003. - Вип. 13.4.- С. 64-67.
20. Машины непрерывного транспорта / Под ред. В. И. Плавинского. – М. : Машиностроение, 1969. – 719 с.
21. Митропольский, Ю.А. Асимптотические решения уравнений в частных производных [Текст] / Ю.А. Митропольский., Б.И. Мосеенков. - Киев: Вища школа, 1976.- 84 с.
22. Моисеев, Н.Н. Асимптотические методы нелинейной механики [Текст] : [Учеб. пособие для ун-тов] / Моисеев Н.Н. [2-е изд., перераб.]. – М.: Наука, 1981. – 400
23. Никифоров, С.Н. Сопротивление материалов [Текст] / Никифоров С.Н. - М.: Высшая школа, 1966. – 584 с.
24. Остапчук, Н. В. Оптимизация технологических процессов на землереперерабатывающих предприятиях [Текст] / Н. В. Остапчук. – М. : Колос, 1974. – 144 с.
25. Остапчук, Н. В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: учебн. пособие для вузов [Текст] / Н. В. Остапчук. – К. : Вища школа, 1981. – 304 с.
26. Павловский, М.А. Теоретическая механика: для студ. втузов [Текст] / М.А. Павловский, Т.В. Путья. – К.: Вища школа, 1985. - 328 с.
27. Патент №99245, Україна Завантажувач гвинтовий з пересипом Клендій В.М та інші. Бюл.№10,2015.
28. Рогатинська, О. Р. Обґрунтування параметрів навантаження і конструкцій гвинтових конвеєрів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.05.05 «Піднімально-транспортні машини» / О. Р. Рогатинська. – Тернопіль, 2006. – 20 с.
29. Рогатинський, Р. М. Моделювання роботи малогабаритного лопатево-гвинтового змішувача [Текст] / Р. М. Рогатинський, І. Б. Гевко, Д. В. Дмитрів // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк, 2000. – Вип. 6. – С. 129–135.
30. Рогатинський, Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів із сировиною сільськогосподарського виробництва [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.20.01 «Піднімально-транспортні машини», 05.05.05 «Механізація сільськогосподарського виробництва» / Р. М. Рогатинський. – Київ, 1997. – 52 с.
31. Хайлис, Г. А. Основы теории и расчета сельскохозяйственных машин [Текст] / Г. А. Хайлис. – К. : Изд-во УСХА, 1992. – 240 с.
32. Хорольський, І. М. Динаміка ланцюгових систем і замкнутих контурів машин неперервного транспорту [Текст] / І. М. Хорольський. – Львів : вид. ДУ «Львівська політехніка», 1999. – 194 с.

Bogdan Hevko, Prof. Dr.Sc. Eng., Volodymyr Klendiy, PhD tech. sci., Lyubomir Slobodian, post-graduate, Alexander Marunych, post-graduate

Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Research Resonant Oscillations of the Horizontal Working Body of the Screw Loader-mixer

The design of the screw loader-mixer is presented and resonance oscillations of the horizontal working body of this loader are investigated. The defining parameter of the dynamics of the worker screw of the mixer loader is the amplitude and frequency of its nonlinear oscillations.

The laws of changing these parameters are determined by the geometric, physical and mechanical properties of its material, the velocity along its grain mixture, the angular velocity of its rotation, and external factors (forces of resistance and external periodic forces). The dependence of the resonance oscillations on various values of the speed of the grain mixture, its linear mass, and the various angular velocities of the rotation of the horizontal working body for different frequencies of external perturbation is derived.

It is established that if the process of mixing or transporting materials takes place in the pre-resonant zone of oscillation, then by reducing the angular velocity of rotation of the GS can be obtained for a short time on the resonant frequency.

amplitude, screw spiral, screw loader mixer, oscillation, resonance

Одержано 04.12.17

УДК 681.513.5

Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук, О.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, М.А. Сич, асп.

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

E-mail: goncharenkobn@i.ua

Л.Г. Віхрова, проф. канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

Математичне моделювання процесу біологічного очищення забруднених вод як об'єкта автоматичного керування

Наведені та обґрунтовані прийняті припущення при складанні математичної моделі процесу. Представлена і розглянута структурно-параметрична схема технологічного процесу біологічного очищення забруднених вод. Наведена в диференціальному вигляді математична модель та дані роз'яснення складових. Вибрані вхідна (керувальна) та вихідна (керована) величини моделі за каналом керувального діяння. З метою подальшого полегшення розв'язку наводяться вираз математичної моделі у векторному вигляді та вираз керованої величини. Проведена лінеаризація моделі та наведений її лінеаризований вигляд. Наведені вирази дискретних операторів критерія якості керування процесом очищення, дробового $PI^{\lambda}D^{\mu}$ -регулятора та системи керування вцілому. Наведені результати чисельного моделювання системи керування процесом очищення води на основі розробленої моделі.

біологічне очищення води, математичне моделювання, оптимальне керування, чисельне моделювання, дробовий регулятор

Б.Н. Гончаренко, проф., д-р техн. наук, А.П. Лобок, канд. фіз.-мат. наук, М.А. Сыч, асп.

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина

Математическое моделирование процесса биологической очистки загрязненных вод как объекта автоматического управления

Приведены и обоснованы принятые допущения при составлении математической модели процесса. Представлена и рассмотрена структурно-параметрическая схема технологического процесса биологической очистки загрязненных вод. Приведена в дифференциальном виде математическая модель и даны разъяснения её составляющих. Избраны входная (управляющая) и выходная (управляемая) величины модели по каналу управляющего воздействия. Для дальнейшего облегчения решения приводятся в векторном виде выражения математической модели и управляемой величины. Проведена линеаризация модели и приведен ее линеаризованный вид. Приведены выражения дискретных операторов критерия качества управления процессом очистки, дробного $PI^{\lambda}D^{\mu}$ - регулятора и системы управления, а также результаты численного моделирования системы управления процессом очистки воды на основе разработанной модели.

биологическая очистка воды, математическое моделирование, оптимальное управление, численное моделирование, дробный регулятор

Вступ. Математичні моделі динаміки технологічних процесів в класичному вигляді передбачаються у формі системи диференціальних рівнянь. Але наразі застосування при синтезі автоматичних систем керування регуляторів дробових порядків в складі системи вимагає певного перетворення системи диференціальних рівнянь, оскільки дробове числення має одночасно справу з похідними і інтегралами довільного порядку (раціонального, дійсного і навіть комплексного). Тому приклад перетворення системи диференціальних рівнянь, а заодно і супутніх виразів дробового регулятора і критерія якості керування процесом очищення води уявляється досить актуальним.

Постановка проблеми. Традиційно теорія і практика автоматичного керування орієнтовані на застосування при синтезі автоматичного керування технологічними процесами математичних моделей у вигляді системи класичних диференціальних рівнянь. Навіть з розвитком дробового числення, що фактично об'єднує диференціальне з інтегральним численням, і з застосуванням дробових законів керування, побудови дробових регуляторів і систем керування на їх основі залишається потреба у складанні математичних моделей у класичному диференціальному, хоч і перетвореному вигляді для синтезу сучасних систем автоматичного керування різноманітними технологічними процесами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Початком розвитку теорії інтегро-диференціального числення дробового порядку [1] слід вважати її застосування в задачах керування технологічними процесами, що з'явилися близько 50 років тому [2]. Доведено, що дробове числення ефективно для опису численних динамічних систем та PID -регуляторів [3], що відтак стають дробового порядку і тому позначаються як $PI^{\lambda}D^{\mu}$, де λ і μ – порядки інтегрування і диференціювання сигналу похибки, які можуть бути як дійсними цілими, так і дробовими [4].

Постановка завдання. Метою статті є складання математичної моделі технологічного процесу на прикладі біологічного очищення забруднених вод та її відповідне перетворення до придатного при синтезі автоматичної системи керування вигляду.

Виклад основного матеріалу. У даній роботі розглянуто задачу математичного моделювання процесу біологічного очищення забруднених стічних вод активним мулом. Процес біоочищення як об'єкт керування будемо розглядати при наступних припущеннях:

- система працює в стаціонарному режимі, тобто вхідна і вихідна швидкості потоків постійні ($F_{in} = F_{out} = F$);

- швидкість подання рециркулюючого мулу пропорційна швидкості потоку процесу (F), тобто $F_r = r \cdot F$, де r – коефіцієнт (ступінь, частка) рециркуляції активного мулу;
- потік видаляемого мулу з біореактора (надлишковий мул) вважається також пропорційним швидкості потоку (F), тобто $F_\beta = \beta \cdot F$, где β – коефіцієнт видалення надлишкового мулу;
- в рециркуляційному потоці активного мулу в біореактор відсутні субстрат і розчинений кисень;
- вихідний потік з аеротенка дорівнює сумі вихідного потоку відстійника і потоку рециркулюючого мулу;
- концентрація розчиненого кисню змінюється швидше в порівнянні зі зміною інших параметрів очисної системи і може вважатися постійною;
- очисна система складається з реактора-аеротенка і відстійника (рис. 1).

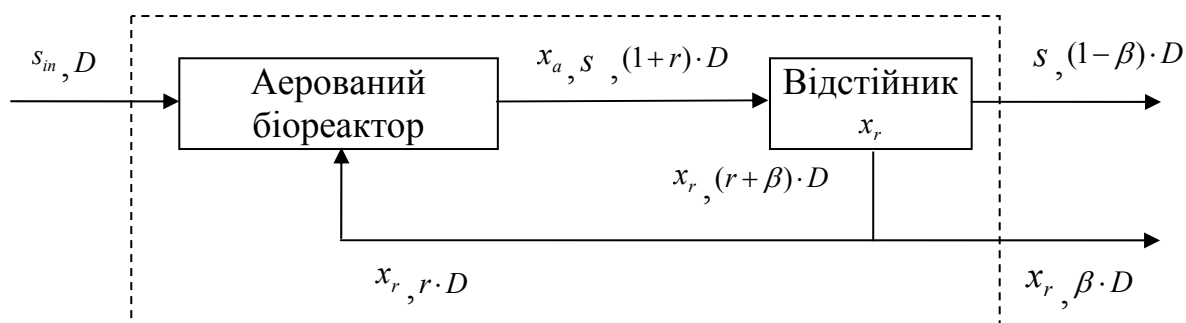


Рисунок 1 — Схема процесу очищення стічних вод

На рис. 1 зображений біореактор з сумішшю рідини і зважених твердих частинок. У біореакторі мікроорганізми розвиваються за рахунок органічних речовин субстрату. В результаті із забрудненої води видаляються органічні сполуки. Біореактором є перемішуваний аеротенк, в якому біологічно активні мікроорганізми (активний мул, біомаса) розчиняють (споживають) субстрат (органічні забруднюючі речовини). Зважені активні мікроорганізми відокремлюються в відстійнику (декантаторі). Частину концентрованої біомаси (мулу) повертають в біореактор, щоб підтримувати процес в системі. Для біосинтезу використовується кисень, що подається в біореактор. У відстійнику відбувається осадження твердих частинок біомаси, активний мул і очищена вода розділяються. Передбачається, що в відстійнику відсутня біореакція, а аеротенк є об'єктом ідеального змішування.

Математична модель, що описує очищення води за даною схемою, отримана на основі матеріального балансу для аератора і відстійника у вигляді наступної системи диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \frac{dx_a(t)}{dt} = \mu(t)x_a(t) - D(t)(1+r)x_a(t) + rD(t)x_r(t), \\ \frac{ds(t)}{dt} = -\frac{\mu(t)}{Y}x_a(t) - D(t)(1+r)s(t) + D(t)s_{in}(t), \\ \frac{dx_r(t)}{dt} = -D(t)(\beta+r)x_r(t) + D(t)(1+r)x_a(t), \end{cases} \quad (1)$$

де $x_a(t)$, $s(t)$ – відповідно концентрація біомаси і субстрату в біореакторі;

$x_r(t)$ – концентрація рециркуляційної біомаси;

$D(t)$ – ступінь розведення, який визначається як $D(t) = F(t)/V$, де $F(t)$ – об'ємна швидкість потоку, V – обсяг біореактора;

$s_{in}(t)$ – концентрація субстрату у вхідному потоці;

Y – фактор виходу (прибутковості) біомаси;

$\mu(t)$ – питома швидкість росту біомаси, яка визначається за формулою Моно [3],

$$\mu(t) = \mu_{\max} \frac{s(t)}{k_s + s(t)}, \quad (2)$$

де $\mu_{\max}$ – максимальна питома швидкість росту біомаси;

k_s – константа насичення, що визначається експериментальним шляхом;

r, β – коефіцієнти, що визначають відповідно відношення рециркуляційного потоку і потоку відходів біомаси до вхідного потоку;

x_{a0}, s_0, x_{r0} – відповідно концентрація біомаси, субстрату і рециркуляційної біомаси в початковий момент часу t_0 ;

$t_0 < t \leq T$, T – кінцевий момент часу керування процесом.

В якості керованого параметра (вихід моделі) виберемо величину $s(t)$ – концентрацію субстрату в біореакторі, яка визначає якість очищення води. В якості керовального впливу (дії) на систему виберемо функцію ступіню розведення $D(t)$.

Для зручності систему (1) запишемо у векторному вигляді [4]

$$\begin{cases} \frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)), & t_0 < t \leq T, \\ x(t_0) = x^0, \end{cases} \quad (3)$$

де

$$f(x(t), u(t)) = \begin{pmatrix} f_1(x(t), u(t)) \\ f_2(x(t), u(t)) \\ f_3(x(t), u(t)) \end{pmatrix}, \quad x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_a(t) \\ s(t) \\ x_r(t) \end{pmatrix}, \quad u(t) = D(t), \quad (4)$$

$$f_1(x(t), u(t)) = \mu(x(t))x_1(t) - (1+r)x_1(t)u(t) + rx_3(t)u(t),$$

$$f_2(x(t), u(t)) = -\frac{\mu(x(t))}{Y}x_1(t) - (1+r)x_2(t)u(t) + s_{in}(t)u(t),$$

$$f_3(x(t), u(t)) = -(\beta+r)x_3(t)u(t) + (1+r)x_1(t)u(t),$$

$$\mu(x(t)) = \mu_{\max} \frac{x_2(t)}{k_s + x_2(t)}.$$

Керований параметр при цьому запишеться так

$$s(t) = x_2(t) = c^T x(t), \quad (5)$$

$$\text{де } c = (0 \quad 1 \quad 0)^T.$$

Лінеаризуючи перетворену систему (3) в околі заданого номінального керування u^* і відповідного йому вектора рівноважного стану $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T$, при якому

$f(x^*, u^*) = 0$ і який визначається як розв'язок системи нелінійних рівнянь $f(x, u^*) = 0$ щодо вектора x , введемо позначення

$$\Delta x(t) = \begin{pmatrix} \Delta x_1(t) \\ \Delta x_2(t) \\ \Delta x_3(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1(t) - x_1^* \\ x_2(t) - x_2^* \\ x_3(t) - x_3^* \end{pmatrix} = x(t) - x^*, \quad \Delta u(t) = u(t) - u^*. \quad (6)$$

Тоді лінеаризована система рівнянь моделі (3) представляється у вигляді

$$\begin{cases} \frac{d\Delta x(t)}{dt} = A\Delta x(t) + b\Delta u(t), \\ \Delta x(t_0) = x^0 - x^*, \end{cases} \quad (7)$$

З огляду на співвідношення (3) і позначення (7), рівняння для керованої змінної (вихід моделі) запишеться у вигляді

$$\Delta s(t) = c^T \Delta x(t), \quad (8)$$

де $\Delta s(t) = s(t) - c^T x^*$.

Лінеаризована модель керування (7) процесу біоочищення має один вхід $\Delta u(t)$ і один вихід у вигляді оператора від стану $\Delta x(t)$. Відомим способом стабілізації потрібних (вихідних) параметрів об'єкта керування є застосування регуляторів у зворотному зв'язку об'єкта в складі контура автоматизованої системи керування. Використаємо дробовий $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор [1,2], який представимо у вигляді

$$\Delta u(t) = k_p (\Delta s(t)) + k_I \left({}_{t_0} D_t^{-\lambda} \Delta s(t) \right) + k_D \left({}_{t_0} D_t^\mu \Delta s(t) \right), \quad (9)$$

За критерій якості автоматичного керування функціонуванням системи біологічного очищення води доцільно прийняти наступний оператор, з урахуванням якого знайдеться оптимальний розв'язок задачі.

$$J_p = \int_{t_0}^T |\Delta s(t)|^p dt = \int_{t_0}^T |c^T \Delta x(t)|^p dt, \quad (10)$$

де $p > 0$ – параметр, який на практиці приймають рівним $p=1$ (модуль похибки) або $p=2$ (середньоквадратична похибка).

Для чисельної реалізації сформульованої задачі оптимального регулювання дискретизуємо систему (7), дробовий $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор (9) і критерій (10), розбивши часовий інтервал $[t_0, T]$ на n частин з кроком $h = (T - t_0) / n$ (h – період квантування). Точки розбиття в $[t_0, T]$ позначимо через t_k , а стан системи (7) в ці моменти часу t_k – через $z_k = \Delta x(t_k)$.

Апроксимувавши неперервний вхідний сигнал $\Delta u(t)$ кусочно постійною функцією: $\Delta u(t) = u_k$ при $t_k \leq t < t_{k+1}$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$ і, використовуючи матрицю лінійної неперервної системи (7), отримаємо наступний її дискретний аналог

$$\begin{cases} z_{k+1} = e^{Ah} z_k + A^{-1}(E - e^{-Ah}) b u_k, & k = 0, 1, 2, \dots, n-1, \\ z_0 = x^0 - x^*, \end{cases} \quad (11)$$

де E – одинична матриця; e^{Ah} – матрична експонента.

Далі дискретний дробовий $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор представимо у вигляді

$$u_k = c^T \left(k_p(z_k) + k_I \left(h^\lambda \sum_{j=0}^k w_j^{(-\lambda)} z_{k-j} \right) + k_D \left(h^{-\mu} \sum_{j=0}^k w_j^{(\mu)} z_{k-j} \right) \right). \quad (12)$$

Критерій якості (10) запишемо в дискретизованому вигляді

$$J_p = \frac{h}{2} \left(|c^T z_0|^p + 2 \sum_{j=1}^{n-1} |c^T z_j|^p + |c^T z_n|^p \right). \quad (13)$$

Чисельне моделювання керованої системи біоочищення і пошук оптимального регулятора здійснювалися при наступних вихідних даних: $s_{in} = 200$ [мг/л], $Y = 0.65$, $\mu_{\max} = 0.15$ [год⁻¹], $k_s = 100$ [мг/л], $r = 0.6$, $\beta = 0.2$, $u^* = 0.05$ [год⁻¹], $t_0 = 0$, $T = 1$ [год], вектор початкового стану системи (7) приймався рівним $x^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0)^T = (286, 17, 568)^T$ [мг/л].

Використовувався метод повного перебору з рівномірним кроком для розв'язання завдання мінімізації критерію

$$I_p(\lambda, \mu) = \min_{k_p, k_I, k_D} J_p(k_p, k_I, k_D, \lambda, \mu) \quad (14)$$

відносно параметрів λ і μ . Результати оптимізації методом повного перебору критерія (13) представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Оптимальні налаштування дробового $PI^\lambda D^\mu$ та класичного PID - регуляторів

p	λ	μ	k_p	k_I	k_D	$I_p(\lambda, \mu)$
1	1	1	-0.1381	-3.3019	-0.0016	0.0963
1	0.9750	0.750	-0.2231	0.0072	$-1.0847 \cdot 10^{-5}$	0.0854
2	1	1	-0.1294	-3.6445	-0.0015	0.1184
2	0.9875	0.600	-0.2234	0.0068	$-3.1249 \cdot 10^{-6}$	0.0855

В стовпчиках λ і μ наведені порядки похідних і інтегралів дробових регуляторів, в шпальтах k_p, k_I, k_D – оптимальні налаштування цих регуляторів, в останньому стовпчику – мінімальне значення критерію (13). Тут же для порівняння наведені результати оптимізації для класичного PID -регулятора при $\lambda = 1$ і $\mu = 1$.

Результати показують, що значення цільової функції $I_p(\lambda, \mu)$ ($p = 1, p = 2$) при оптимальному дробовому $PI^\lambda D^\mu$ - регуляторі менші, ніж при класичному PID - регуляторі.

Порівняльний аналіз динаміки перехідних процесів показує більш високу швидкість і якість загасання при оптимальному дробовому $PI^\lambda D^\mu$ - регуляторі ($\lambda = 0.965, \mu = 0.5375$) в порівнянні з оптимальним класичним PID - регулятором ($\lambda = 1, \mu = 1$). Видно, що оптимальні дробові регулятори з точним налаштуванням параметрів λ (порядок дробового інтеграла) і μ (порядок дробової похідної) є більш ефективними порівняно з класичним PID - регулятором.

Висновки. Ступінь ефективності дробових регуляторів при застосуванні в складі системи автоматичного керування на основі класичної математичної моделі технологічного процесу і причини високої чутливості критерію оптимальності та перехідних процесів щодо порядків дробових похідних і інтегралів вимагають подальших досліджень.

Список литературы

1. Авсиевич, А.В. Моделирование систем автоматического управления с дробным ПИД-регулятором [Текст] / А.В. Авсиевич, В.В. Авсиевич // Вестник Самарского государственного технического университета, сер. техническое науки. – 2010. – №1(26). – С. 6-59.
2. Бутковский, А.Г. Дробное интегро-дифференциальное исчисление и его приложения в теории управления. II. Дробные динамические системы: моделирование и аппаратная реализация [Текст] / А.Г. Бутковский, С.С. Постнов, Е.А. Постнова // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 5. – С. 3-34.
3. Васильев, В.В. Дробное исчисление и аппроксимационные методы в моделировании динамических систем. [Текст] / В.В. Васильев, Л.А. Симак // Научное издание – Киев, НАН Украины, 2008. – 256 с.
4. Нахушев, А.М. Дробное исчисление и его применение [Текст] / А.М. Нахушев // – М.: Физматлит, 2003. – 272 с.

Boris Goncharenko, Prof., PhD tech. sci., Oleksiy Lobok, Doctor of Phys&Math., Maryna Sych, post-graduate

National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine

Larysa Vihrova, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Mathematical Modeling of the Process of Biological Purification of Polluted Waters as an Object of Automatic Control

The assumptions made in the compilation of the mathematical model of the process are given and justified. The structural-parametric scheme of the technological process of biological treatment of polluted waters is presented and considered. A mathematical model is given in a differential form and explanations of its components are given. The input (control) and output (controlled) values of the model along the control action channel are selected. The expression of the mathematical model in vector form and the expression for the controlled quantity are given for further facilitating the solution. The linearization of the model is carried out and its linearized form is given. Expressions of discrete operators of the quality criterion for control of the cleaning process, fractional regulator and control system are given. The results of numerical simulation of the water treatment process control system based on the developed model are presented.

The degree of efficiency in the application of fractional regulators as part of the automatic control system based on classical mathematical model of the process and the reasons for the high sensitivity of optimality criterion and transients on the order of fractional derivatives and integrals require further research.

biological water purification, mathematical modeling, optimal control, numerical simulation, fractional regulator

Одержано 21.11.17

УДК 631.316.33

В.А. Дейкун, доц., канд. техн. наук, В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, С.В.Боцюн, магістрант

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: flora-84@mail.ru

Вплив параметрів туконапрямника на швидкість потоку часток добрив

© В.А. Дейкун, В.І. Носуленко, С.В.Боцюн, 2017

У статті приведені результати теоретичних досліджень впливу геометричних параметрів туконапрямника на характер руху часток добрив по ньому. Обґрунтовано раціональні параметри радіусу кривизни його нижньої частини при яких забезпечується необхідна, максимально можлива швидкість їх польоту до розподільника.

туконапрямник, радіус кривизни, рух часток добрив, траєкторія польоту

В.А. Дейкун, доц. канд. техн. наук, И.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, С.В. Боцун, магистрант

Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Влияние параметров туконаправителя на скорость потока гранул удобрений

В статье приведены результаты теоретических исследований влияния геометрических параметров туконаправителя на характер движения частиц удобрений по нему. Обосновано рациональные параметры радиуса кривизны его нижней части, при которых обеспечивается необходимая, максимально возможная скорость их полета к распределителю.

туконаправитель, радиус кривизны, движение частиц удобрений, траектория полета

Постановка проблеми. Вирощування високих врожаїв в рослинництві без відновлення вмісту поживних речовин в ґрунтах практично неможливо. Оптимально доступним шляхом вирішення даної задачі залишається внесення мінеральних добрив і особливо внутрішньогрунтове. Але, за будь яких умов, актуальним залишається питання їх рівномірного розподілу по площі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Даний показник залежить від ряду факторів, серед яких геометричні параметри туконапрямника, що заслуговуює на особливу увагу [2, 4, 5]. З одного боку, його форма має бути такою, щоб мінімально впливати на потік добрив і забезпечувати їх максимальну швидкість на виході, а з іншого боку, необхідно враховувати технологічні можливості виготовлення та можливість конструктивного поєднання з рештою елементів загортаючого робочого органу. Більшість технічних рішень зводиться до послідовного поєднання прямолінійних та криволінійних його ділянок. Найбільш доступним варіантом може бути той, в якому характер кривизни задається значенням радіусу.

Постановка цілей. Задача досліджень полягає у визначенні залежності швидкості потоку гранул мінеральних добрив від радіусу кривизни нижньої частини туконапрямника. При цьому бажаною умовою є наближення до нуля вертикальної складової швидкості в момент виходу матеріалу з туконапрямника.

Викладення основного матеріалу. На підставі приведених попередніх досліджень приймаємо тукопровід, який складається з прямолінійної ділянки, яка має нахил у вертикальній площині під кутом α та криволінійної ділянки радіусом R (рис. 1) [3].

Розглянемо характер переміщення частки гранул по даному туконапрямнику.

Оптимальну траєкторію руху частки по туконапрямнику можна наближено представити у вигляді двох ланок (рис. 1): перша – прямолінійна (відрізок) OA , друга – криволінійна AB (брахістохрона). Така форма туконапрямника є доступною для технічної реалізації при розробці, а головне, виготовленні даного елемента конструкції робочого органу.

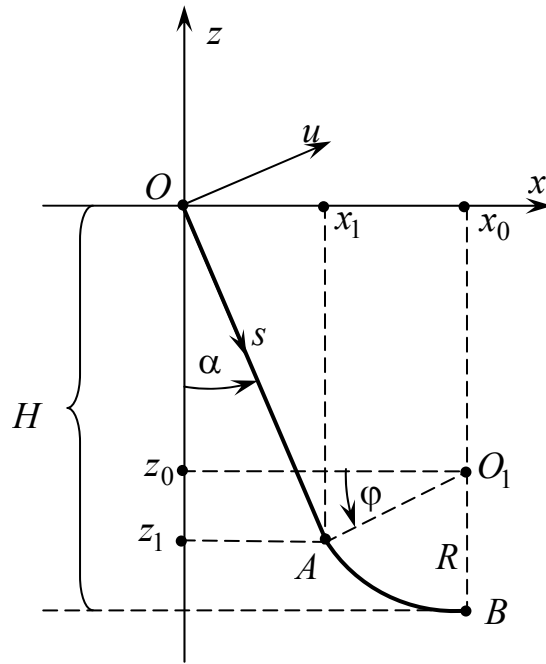


Рисунок 1 – Форма туконапрявника.

Опишемо рух частки по траєкторії OAB . На прямолінійній ланці OA в проекціях на осі Osu рух описується рівнянням (5, 6)

$$m\ddot{s} = mg \cos \alpha - fmg \sin \alpha - k\dot{s}$$

або

$$\ddot{s} + \frac{k}{m}\dot{s} = g(\cos \alpha - f \sin \alpha), \quad (1)$$

де k – коефіцієнт опору повітря;

f – коефіцієнт тертя.

Рівняння (1) – лінійне неоднорідне диференціальне рівняння другого порядку. Його загальний розв'язок має вигляд

$$s = C_1 + C_2 e^{-\frac{k}{m}t} + \frac{gm}{k}(\cos \alpha - f \sin \alpha)t, \quad (2)$$

де сталі інтегрування C_1, C_2 мають задовольняти граничним умовам:

$$s(0) = 0, \dot{s}(0) = V_0. \quad (3)$$

З (2), (3) знаходимо сталі

$$C_1 = -C_2 = -\frac{m}{k} \left(g \frac{m}{k} (\cos \alpha - f \sin \alpha) - V_0 \right). \quad (4)$$

Підставивши (3) в (4) і враховуючи, що з визначення сили опору повітря слідує

$$\frac{k}{m} = \frac{g}{V_b},$$

отримаємо закон руху частки на прямолінійній ланці

$$s = -\frac{V_b^2}{g} \left(\cos \alpha - f \sin \alpha - \frac{V_0}{V_b} \right) \left(1 - e^{-\frac{g}{V_b} t} \right) + V_b (\cos \alpha - f \sin \alpha) t. \quad (5)$$

На криволінійній (круговій) ланці рух частки описується рівнянням

$$m \frac{d^2 s}{dt^2} = mg \cos \alpha(s) - f \cdot \left[mg \sin \alpha(s) + \frac{m}{R} \left(\frac{ds}{dt} \right)^2 \right] - k \frac{ds}{dt},$$

де R – радіус кривизни. Перейшовши в останньому рівнянні до швидкості V , отримаємо

$$V \frac{dV}{ds} - g \frac{dy}{ds} + f \cdot \left(g \frac{dx}{ds} + \frac{V^2}{R} \right) + \frac{g}{V_b} V = 0 \quad (6)$$

Так як

$$V = R \frac{d\varphi}{dt} = R\dot{\varphi}, \quad \frac{dV}{dt} = R\ddot{\varphi}, \quad (7)$$

та зробивши заміну $\dot{\varphi} = q$, отримаємо рівняння

$$q \frac{dq}{d\varphi} + fq^2 + \frac{g}{V_b} q = \frac{g}{R} (\cos \varphi - f \sin \varphi), \quad (8)$$

яке описує рух частки по круговій ланці туконяпрямника. Розв'язок рівняння (8) повинен задовольняти граничним умовам

$$q(0) = \dot{\varphi}(0) = \frac{V_A}{R}, \quad \varphi(0) = \varphi_0 = \alpha, \quad (9)$$

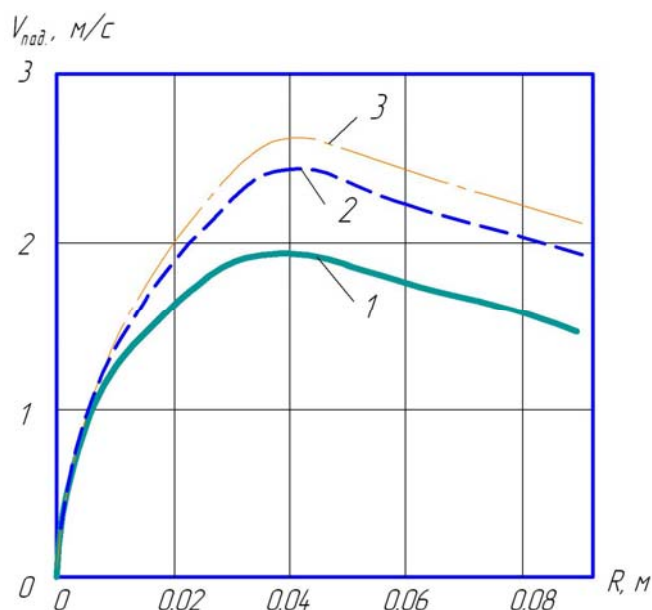
де V_A – швидкість частки в кінці прямолінійної ланки.

Зауважимо, що при заданих значеннях параметрів R, H, α координати x_0, z_0, x_1, z_1 мають вигляд

$$x_0 = \frac{R + (H - R) \sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad z_0 = R - H,$$

$$x_1 = [H - (1 - \sin \alpha)R] \operatorname{tg} \alpha, \quad z_1 = (1 - \sin \alpha)R - H. \quad (10)$$

Математичні моделі, які описують процес руху гранул по туконапрямнику і визначають його траєкторію, здатну забезпечити досягнення максимальної швидкості гранул на виході $V_{\text{над}}$ дозволяють проаналізувати залежність останньої від радіусу кривизни R нижньої частини туконапрямника та фізико-математичних властивостей добрив, представлених швидкістю витання гранул V_e . Так з рівнянь (5), (6), (8) і співвідношень (7), (9), (10) за допомогою програмного забезпечення Mathcad-15 отримано наступні графічні залежності (рис. 2).



$f=0,2$ – коефіцієнт тертя гранул об матеріал туконапрямника; $V_0=0,1$ – початкова швидкість входження гранул у тукопровід; $\alpha_m=5^\circ$ – кут нахилу прямолінійної ділянки туконапрямника до вертикальної площини; $H=0,5$ м – висота туконапрямника

Рисунок 2 – Залежність швидкості польоту гранул добрив на виході з туконапрямника $V_{\text{над}}$ від радіусу кривизни його нижньої частини R для різних швидкостей витання 1 – $V_e=7$ м/с; 2 – $V_e=12$ м/с; 3 – $V_e=17$ м/с та інших фіксованих вихідних параметрах

Висновки. Провівши аналіз графічної інтерпретації даних залежностей можна зробити висновок про те, що всі криві, які характеризують процес при різних швидкостях витання V_e мають екстремум, який приходить на діапазон значень радіуса в межах 0,03...0,05 м. Підтвердження достовірності даних значень потребує проведення експериментальних досліджень, але з певною імовірністю можна стверджувати, що обґрунтований діапазон є цілком доступним для його забезпечення в реальних виробничих умовах з урахуванням конструктивних параметрів лапового робочого органа.

Список літератури

1. Бутенин, Н.В. Курс теоретической механики, Т.2 Динамика [Текст] / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р.

- Меркин. – М.:Наука, 1985. – 496 с.
2. Дейкун, В. А. Анализ дальности полета частиц минеральных удобрений в подлаповом пространстве [Текст] / Дейкун В.А., Сало В.М., Гончаров В.В. // Motrol. Motorizacja i energetyka rolnictwa, Lublin, 2012, Tom 14 A. – P. 177-179.
3. Дейкун, В. А. Визначення початкової швидкості руху часток добрив в місці їх виходу з туконапрямника [Текст] / В.А. Дейкун // Розвиток наукових досліджень Матеріали восьмої міжнародної науково-практичної конференції. – Полтава: «ІнтерГрафіка». – 2012. – С. 30-33.
4. Дейкун, В. А. Вплив конструктивних параметрів тукопровода на швидкість потоку гранул добрив [Текст] / В. А. Дейкун, В. М. Сало, С. Я. Гончарова // Електронний збірник – К: Збірник праць НУБІП, 2012. – http://archive.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2012_7/12svm.pdf.
5. Дейкун, В. А. Обґрунтування параметрів робочого органа для внутрішньогрунтового внесення мінеральних добрив [Текст] : дис. канд. техн. наук: спец. 05.05.11. «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» [Текст] / В. А. Дейкун. – Кіровоград, 2013.
6. Домрачев В.А., Кем А.А., Михальцов Е.М. Исследование процесса распределения семян в подсошниковом пространстве // Информационные технологии, информационные измерительные системы и приборы в исследовании сельскохозяйственных процессов. Ч. 1. Матер. регион. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО'2000». (Новосибирск, 26-27 октября 200 г.). РАСИ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2000. – 338 с.
7. Ковбаса, В.П. Визначення траєкторії руху частинки за заданого кінематичного режиму [Текст] / Ковбаса В.П., Дейкун В.А. // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. Нац. Аграр. Ун-т, 2008. – №12(2) – С.539-551.
8. Ковбаса, В. П. Визначення умов розсіювання частинки мінеральних добрив у підлаповому просторі [Текст] / В.П. Ковбаса, В.А. Дейкун. // Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. ун-т, 2008. – №12(2). – С. 180-188/
9. Перетятко, А.В. Теоретическое обоснование геометрических параметров направляющего-распределителя семян лапового сошника [Текст] / С.А. Ивженко, А.Л. Брежнев, А.В. Перетятко // В кн. Актуальные проблемы сельскохозяйственной науки и образования. Сборник научных работ. – Самара: ФГОУ ВПО Самарская ГСХА, 2005. – С. 96-101.
10. Романюк, Г.С. К обоснованию параметров распределительно-высевающего устройства [Текст] / Г.С. Романюк // Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: Сб. н. тр. УСХА, 1988. – С. 48-53.
11. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление [Текст] / Л.Э. Эльсгольц. – М.: Наука, 1969. – 424 с.

Viktor Deykun, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Nosulenko, Prof., DSc., S. Bozun, magister

Central Ukrainian national Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Influence of Structural Parameters of Fertilizer Delivery Tube is on a Flowrate Granules of Fertilizers

The research objective is to determine the dependence of the flow velocity of mineral fertilizer granules on the radius of curvature of the lower part of the fertilizer guide.

In the article the resulted results of theoretical researches of influence of geometrical parameters of tukoprovodu are on character of motion of parts of fertilizers on him. Grounded rational parameters of radius of curvature of him underbody which the necessary is provided at, maximally possible speed of their flight to the distributor.

Having analyzed the graphical interpretation of these dependencies it is possible to conclude that all the curves that characterize the process at different velocities of the flow V_a have an extremum that falls within the range of radius values within the range of 0.03 ... 0.05 m.

fertilizer delivery tube, radius of curvature, motion of parts of fertilizers, trajectory of motion

Одержано 23.11.17

УДК 621.797:629.621.3:667.637.22

М.І. Денисенко, доц., канд.техн. наук, А.С. Опальчук, проф., д-р техн. наук
Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна
E-mail: denysenko.o.n@gmail.com

Перспективи створення спеціалізованої ділянки для відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин

У статті обґрунтовано створення спеціалізованої ділянки для відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин. Обґрунтовано та запропоновано технологічне обладнання вітчизняного виробництва для організації спеціалізованої ділянки. Дугові механізовані процеси зварювання та наплавлення, які реалізуються за допомогою напівавтоматів, дійсно залишаються одними з найбільш поширених технологічних засобів з'єднання, відновлення та зміцнення конструкційних матеріалів. Наплавлення без захисного середовища здійснюються порошковим дротом (плавким електродом) при відсутності подачі флюсу або захисного газу у зону дуги. Наплавлення відкритою дугою має наступні переваги: простота використання обладнання і технології, відсутність необхідності використання захисного газу і флюсу; можливість наплавлення у польових умовах, оскільки вітер практично не чинить впливу на процес наплавлення; порівняно просте введення легуючих елементів у наплавлений метал, склад якого можливо регулювати в широких межах.

дугове зварювання плавким електродом, точкове зварювання, леміш плугу, наплавлення по експоненті, коефіцієнт використання обладнання, випрямляч зварний, коливання дуги

Н.И. Денисенко, доц., канд. техн. наук, А.С. Опальчук, проф., д-р техн. наук
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев., Украина

Перспективы создания специализированного участка для восстановления и упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин

Обосновано создание специализированного участка для восстановления и упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин. Предложено и обосновано технологическое оборудование отечественного производства для организации специализированного участка. Дуговые механизированные процессы сварки и наплавки, которые реализуются с помощью полуавтоматов, действительно есть одними из наиболее распространенных технологических методов соединения, восстановления и упрочнения металлов. Наплавка без защитной среды осуществляется порошковой проволокой при отсутствии подачи флюса или защитного газа в зону дуги. Наплавка открытой дугой порошковой проволокой обладает следующими преимуществами: простота используемого оборудования и технологии, связанная с отсутствием необходимости применения защитного газа и флюса; возможность наплавки в полевых условиях, поскольку ветер практически не оказывает влияния на процесс наплавки; сравнительная простота введения легирующих элементов в наплавленный металл, состав которого можно регулировать в широких пределах.

дуговая сварка плавящимся электродом, точечная сварка, лемех плуга, наплавка по экспоненте, коэффициент использования оборудования, выпрямитель сварочный, колебание дуги

Постановка проблеми. Робочі органи ґрунтообробних машин (леміш плугу, лапа культиватора, диск борони) функціонують в умовах абразивного зношування, ударних навантажень та впливу агресивного середовища. Їх ремонт полягає у відновленні вихідних розмірів і зносостійкості робочих поверхонь. Так, наприклад, на характер та інтенсивність зношування лемеша плугу переважний вплив чинять механічний і агрегатний склад ґрунту у зоні контакту.

В теперішній час для відновлення спрацьованих деталей використовується в основному обладнання, що залишилося з часів УРСР. Це пояснюється, насамперед всього, зміною організації процесу ремонту машин і різким скороченням частки відновлювальних деталей. Внаслідок цього попит на обладнання для відновлення зношених деталей практично відсутній, а діюче обладнання в основному сконцентровано в таких закладах, як Інститут електрозварювання ім.Є.О.Патона НАН України, Національний авіаційний університет та інші. На перший погляд, технологічні процеси відновлення зношених деталей застарілі і не можуть конкурувати з торгівлею новими запасними частинами, але досвід роботи деяких науково-виробничих дільниць, показує, що відновлення дорого вартісних деталей вантажних автомобілів, дорожньо - будівельної техніки і машин агропромислового комплексу залишається економічно ефективним та конкурентоздатним за співвідношенням «ціна – якість».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективність використання зносостійкого покриття обумовлена відповідністю його хімічного та структурного складу умовам технічної експлуатації.

Товщина наплавленого шару $h_{ш}$ для досягнення найкращих агротехнічних показників повинна бути можливо малою. Однак, товщина ріжучого шару не може бути дуже малою за умовами щільності, можливості нанесення його без пропалу несучого шару, а також зносостійкості наплавленого шару по ширині [1]. На основі експериментальних даних встановлено, що для оранки твердих ґрунтів зносостійкий шар на лемеші повинен мати товщину не більш як 2 мм. Для культиваторних лап товщину наплавленого шару обирають з допустимої кількості не зрізаних бур'янів, які за агротехнічними вимогами не повинні перевищувати 5%.

Товщину основного матеріалу наплавленого леза h_a знаходять на основі вивчення характеру зносу одношарового лемеша за наступною залежністю:

$$h_{л} = h_{ш} = \frac{h_2 \varepsilon_{ш}}{h_1 \varepsilon_{л}},$$

де $h_{ш}$ – товщина наплавленого зносостійкого шару, мм;

h_2 – товщина верхнього шару зношеного леза, мм;

h_1 – товщина нижнього шару зношеного леза, мм;

$\varepsilon_{ш}$ – коефіцієнт зносостійкості вибраного матеріалу для зміцнення леза;

$\varepsilon_{л}$ – коефіцієнт зносостійкості основного матеріалу леза.

Величина h_1 і h_2 визначають по перерізам, перпендикулярним до леза і розташованим у середньої частині одношарового лемеша або крила культиваторної лапи. Розташування цих перерізів, наприклад, у лемеша приймають проти кріпильних отворів, у універсальної стрілкової лапи – на межах середньої частини крила.

При відновленні деталей ґрунтообробних машин використовують різні методи зміцнення: електродами Т – 590, порошковими дротами типу ПП – 125, ПП – АН170, ПП – АН170М, електроконтактне приварювання порошкових матеріалів, дроту і стрічки, електро - імпульсне нарощування та електроіскрове легування, хіміко-термічна обробка. На рівні експериментальних досліджень використовують процеси паяння та приклеювання твердих сплавів і металокераміки. Найбільш універсальною технологією для нанесення зносостійких покриттів є дугове точкове зварювання самозахисним порошковим дротом (плавким електроодом) марки ПП – АН170, ПП – АН170М (система легування С – Cr – Мо – В – V – Ti). Ефективність використання розробленої технології полягає у зменшенні швидкості зношування поверхні похилих граней за рахунок зростання ступені деформування і рихлення приповерхневого контактного шару ґрунту шляхом гальмування і зм'яття на товщину шару з наступним сколюванням частинок у напрямку переміщення при напруженнях, які перевищують межу міцності ґрунту [3, 4].

Постановка завдання. Метою дослідження обґрунтування технологічного обладнання для спеціалізованої дільниці та вдосконалення технології зміцнення дугового точкового зварення поверхні тертя робочого органу за експонентою з утворенням самогострювання леза.

Виклад основного матеріалу. Дугові механізовані процеси зварювання та наплавлення, що реалізуються за допомогою напівавтоматів, є одними з найбільш поширених технологічних засобів з'єднання, відновлення та зміцнення металів [1,2]. Технічні характеристики автоматичної лінії для точкового зміцнення наведені у табл. 1.

Таблиця 1–Технічні характеристики автоматичної лінії для точкового зміцнення

1.	Річна програма випуску деталей за двозмінної роботи, штук	500000
2.	Такт роботи лінії, с	22
3.	Коефіцієнт використання обладнання	0,8
4.	Режим роботи лінії	налагоджувальний, автоматичний
5.	Кількість основних робочих за зміну, людей	1
6.	Вид наплавлення	електродугова точкова
7.	Зварювальні матеріали	порошковий дріт ПП-АН-170 (ТУ14-4-800-77)
8.	Діаметр зварювального дроту, мм	2,0 -3,2
9.	Кількість зварювальних головок, штук	35
10.	Кількість одночасно зварювальних точок, штук	7
11.	Кількість випрямлячів зварювальних ВДУ-1201-УЗ, (ВС-650СР) штук	7
12.	Струм зварювальний, А, не більше	700
13.	Номинальна напруга живильної мережі за ГОСТ 13109-67, В	380^{+10%}_{-13%}
14.	Номинальна частота живильної мережі за ГОСТ 13109-67, Гц	50:20%
15.	Встановлена потужність, кВА, не більше	1000
16.	Витрати води, л/хв., не більше	100
17.	Тиск у пневмосистемі, МПа (кгс/см ²), у межах	0,4-0,6(4-6)
18.	Максимальні габарити наплавленого виробу, мм: довжина ширина	750 180

Установка (автоматична лінія) повинна бути оснащена комплектуючими виробами (редукторами, двигунами і т.інше), що серійно випускаються вітчизняною промисловістю. У процесі проведеної роботи була відпрацьована технологія точкового зміцнення на дослідних зразках: підібрані режими наплавлення (напруга і сила зварного струму, швидкість наплавлення), а також параметри режиму заварювання кратера. В табл. 2 додатковонаведені показники призначення для точкового зміцнення.

Таблиця 2–Показники призначення технології точкового зміцнення

1.	Продуктивність автоматичної установки, шт/с (шт/год)	0,05(180...200)
2.	Споживна потужність установки, кВт	
3.	Напруга живлення, В	380/220
4.	Вид струму, що живить мережі	змінний
5.	Частота струму, що живить мережу, Гц	50
6.	Витрата електроенергії, кВт/год	-
7.	Витрати води, м ³ /с (м ³ /год) орієнтовано	0,00005(0,18)
8.	Матеріал присадний	порошковий дріт ПП-АН-170 по ТУ 14-4-800-77 Ø2,0 - 3,2 мм
9.	Швидкість подачі порошкового дроту, м/с (м/год) 0,022-0,097	(80...350)
10.	Витрати дроту на наплавлення однієї точки, мм, не більше	80...140
11.	Маса установки, кг, (орієнтовно)	1800
12.	Габаритні розміри установки, мм, не більше довжина ширина висота	5000 1000 2000
13.	Деталь, що наплавляється (технічні вимоги, ТУУ)	лемеші долото подібні типу ПНЧС 01.702 і П 01.702
14.	Маса деталі, що оброблюється, кг	леміш ПНЧС 4,5 леміш П.01.702 4,3

Основними перевагами сучасного обладнання для зміцнення і відновлення деталей машин є забезпечення програмного управління і автоматизації процесів. У механізованому обладнанні для дугового точкового зварювання (ДВЗ) є технічні рішення, в яких певний вплив на процес зміцнення здійснюється за рахунок зміни в процесі характеристик систем, які забезпечують цикл зварювання. Це системи подавання електродного дроту, живлення дуги, створення захисного середовища. Склад автоматичної установки для зміцнення і відновлення деталей та робочих органів сільськогосподарських машин: маніпуляторів подавання деталей (леміш плуга, лапа культиватора та інші деталі) зі спеціальних касет (з конвеєра) на установку; зварного агрегату з зажимами і охолоджувальними нижніми мідними підкладками у місцях наплавлення лемеша плугу (лапи культиватора); зварних головок, маніпуляторів знімання і вкладання лемешів у спеціальні касети (на конвеєр); пультів управління; шафи автоматики, витяжної вентиляції.

Зварна установка на базі напівавтомату ПШ – 107 дискретної дії працює в режимі, обумовленого темпом наплавлення деталей машин, пристрій підпалу дуги УПД – 315, джерело живлення ВДУ – 506, ВС – 650СР, заточувальний верстат для загострювання лемеша після наплавлення деталі.

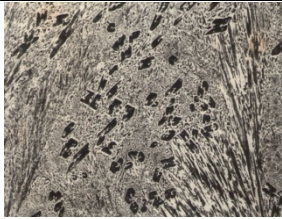
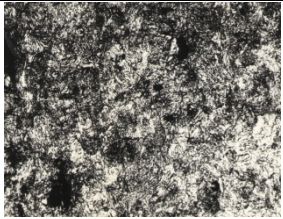
Випрямлячі для напівавтоматичного зварювання ВС – 450СР і ВС – 650СР з параметричним дроселем і жорсткою вольт амперною характеристикою призначені для зварювання і наплавлення в особливо важких експлуатаційних умовах, адаптовані до сурових кліматичних умов (високі і низькі температури, підвищена запиленість або вологість). Ці випрямлячі забезпечують живлення одного поста при напівавтоматичному зварюванні або наплавленні на струмах до 450А (ВС – 450СР) і до 650А (ВС – 650СР).

При ДТЗ – дуговому точковому зварюванні особливе значення набуває визначення моменту дійсного збурення дуги [10]. Пояснюється це тим, що при зварюванні плавким електродом дуга не завжди починає горіти з першого торкання, і це чинить суттєвий вплив на розміри точок шва, що виконуються на одному режимі. В залежності від етапу ДТЗ, товщини деталей і діаметру порошкового дроту параметри режиму дугового токового зварення можуть становити: швидкість подавання дроту 30...700 м/год, сила зварного струму 150...800 А, напруга на дузі 30...50 В, тривалість зміцнення 0,5...3,0 с [10].

Наплавлення порошковим дротом (плавким електродом) дозволяє в широких межах легувати наплавлений метал та усуває незручності, що поєднані з використанням спеціального захисного середовища (флюсів, газів, рідин і т. ін.). Крім того, цей вид наплавлення дає можливість отримати порівняно невелику глибину проплавлення основного металу та відрізняється іншими перевагами. Зварний струм чинить найбільший вплив на формоутворення точки зміцнення. Так, зі зростанням зварного струму з 400 до 650 А, діаметр точки зміцнення зростає від 14,5 до 31 мм, глибина проплавлення з 2,3 до 4,3 мм, а висота наплавлення зменшується з 3,5 до 1,2 мм [7].

За точкового наплавлення, одна із основних умов забезпечення стабільної якості зміцнення – узгодження зварного струму та напруги дуги. Наявність бризок від дугового точкового зварення (ДТЗ) на поверхні тертя деталей не впливає на її функціональні властивості.

Характеристика покриття, яке нанесене електродуговим наплавленням з використанням порошкового дроту (Fluxcoredwire), що отримані при ДТЗ (дуговому точковому зваренні) представлена нижче.

Мікроструктура покриття, яке досліджується (сталь 65Г + точкове зміцнення ППАН – 170)			
Характерні зони	Порошковий дріт ППАН - 170	Сталь 65Г	Точка зміцнення після зношування
Мікроструктура ділянок, х 320			
Твердість, HRC	60...65		
Зносостійкість	1,9...2,2	1.0	2,2...2,8

Мікроструктура точкового покриття складається з мартенситу, складної борідної евтектики, залишкового аустеніту і первинних карбідів. Спостерігається виділення великої кількості нітридів. Твердість наплавленого шару висока. Відчутне підвищення твердості отримано поблизу лінії сплавлення. На лінії сплавлення не утворюється кристалізаційних прошарків, а бачимо плавний перехід від металу наплавлення до основного металу. Мікроструктура основного металу – мартенсит з невеликою кількістю залишкового аустеніту. Твердість основного металу досить висока і складає 585...686Нц. В основному металі присутня велика кількість рядкових сульфідів.

В якості основи запропоновано якісну конструкційну сталь 20, 35 по ДСТУ 3684-98 (ТУУ 27.1 – 4 – 531 – 2002).

Висновки:

1. Дугове наплавлення вкритим електродом є найбільш розповсюдженим способом ремонту (відновлення форми і розмірів) деталей автомобілів, тракторів та інших машин агропромислового комплексу внаслідок простоти її здійснення і мобільності технологічного обладнання.

2. Можливість точкового зміцнення в польових умовах, оскільки вітер практично не чинить вплив на процес наплавлення.

3. Дугове точкове зварювання (точкове зміцнення) у порівнянні з індукційним наплавленням підвищує зносостійкість деталей та робочих органів машин агропромислового комплексу у 1,5-2 рази.

Список літератури

1. Сайфуллин, Р.Н. Перспективы создания специализированного наплавочного оборудования для восстановления изношенных деталей машин [Текст] / Р.Н. Сайфуллин, О.К. Валиева, И.Р. Гаскаров. – Уфа.: ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет», 2015. – 210-216 с.
2. Лебедев, В.А. Використання комбінованих впливів та суміщення процесів при вдосконаленні техніки і технології дугового зварювання та наплавлення (огляд і пропозиції) [Текст] / В.А. Лебедев. – К.: Вісті Академії інженерних Наук України, 2011. – №3 (37). – 3-11 с.
3. Василенко, М.О. Щодо створення дільниці з відновлення та зміцнення робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] / М.О. Василенко, Ю.А. Кононогов, О.Є. Калінін, В.В. Рязанцев.- Глеваха.: ННЦ «ІМЕСГ», Механізація та електрифікація сільського господарства, 2013. – Вип. 97. – 307-314.
4. Ельцов, В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин [Текст] / В.В.Ельцов. – Электронное учебное пособие. Тольятти.: Изд-во ТГУ, 2015. – 335 с.
5. Иванайский, В.В. Физико-химические и технологические основы управления структурой и свойствами износостойких покрытий из белых высоколегированных хромистых чугунов и псевдосплавов, сформированных индукционной наплавкой и углеродистые и низколегированные стали [Текст]: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.02.10 / В.В. Иванайский. – Алтайский государственный аграрный университет. – Барнаул, 2012. – 44 с.
6. Денисенко, Н.И. Инновационная технология точечного упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст]: / Сборник статей международной научно-практической конференции «Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники» ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный аграрный университет», 2013. – 183-187 с.
7. Клюенко, В.Н. Точечное упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / В.Н. Клюенко, В.П. Балан, – М.: Тракторы и сельскохозяйственные машины, 1989. – №11. – 54-57 с.
8. Черныш, А.П. Технологический ремонтный блок для восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / А.П. Черныш, Б.И. Коган.-Кемерово.: Научно-практический журнал «Вестник ИрГСХА», 2007. – Вып. 45. – 111-119 с.
9. Константинов, В.М. Техничко-экономическая эффективность упрочнения наплавкой рабочих органов почвообрабатывающих орудий [Текст] / В.М. Константинов, Ф.И. Пантелеенко, С.Н. Жабуренко, О.Г. Девоино, А.М. Авсиевич. – Минск.: Сварщик, 2003. – 5(33). – 12-13 с.

10. Терещенко, В.И. Особенности дуговой точечной сварки плавящимся электродом в углекислом газе [Текст] / В.И. Терещенко, А.Н. Шаровольский, К.А. Сидоренко, В.А. Трошин, Ю.И. Сапрыкин. Киев.: Автоматическая сварка, 1983. – №9 (366). – С. 51-53.

Mykola Denisenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Opalzuk, Prof., DSc.
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, Ukraine

Prospect Create Specialization Section of Restoration of Hardening Tool Element Agricultural Machine

This article ground specialization section of restoration and hardening tool element agricultural machine. Ground and propose adaptable to streamlined production of native produce and organization specialization section.

Arc mechanization process welding of facing, what realized of assistance semi-automatic arc welding machine have of the greatest spreading a dap table to streamlined production methods of connection, restoration hardening metal. Facing arc deposition of shielding medium is carried out flux-cored electrode in an atmosphere of shielding gas of zone arc.

Arc deposition opening arc flux-cored electrode have to next preference simplicity make use of plant of technology connect need make use of in an atmosphere of shielding gas of flux, possibility facing of field condition, so long as wind practical not make in fluency of on process facing, compared simple introduction of alloying element of built-up metal, composition what sort of maybe regular of broad boundary.

consumable-electrode is welding, resistance spot welding, and ploughshare, hard facing of exponential curve, coefficient equipment factor, welding rectifier, and oscillation arc

Одержано 01.11.17

УДК 637.116:621.51

В.Ю. Дудін, доц., канд. техн. наук, О.І. Чухліб, магістрант

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна
E-mail: vladudin@i.ua

Дослідження фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса

В статті приведено результати теоретичних та експериментальних досліджень динаміки зміни вакууметричного тиску в робочій камері ротаційного пластинчатого вакуумного насоса з похилим розміщенням пластин. Отримані дані дають змогу уточнити методику вибору фаз розподілу повітря для вказаного типу насосів.

вакуум, ротаційний пластинчатий насос, фази розподілу повітря

В.Ю. Дудин, доц., канд. техн. наук, А.І. Чухлиб, магистрант

Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина

Исследования фаз распределения воздуха ротационного пластинчатого вакуумного насоса

В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики изменения вакууметрического давления в рабочей камере ротационного пластинчатого вакуумного насоса с наклонным расположением пластин. Полученные данные дают возможность уточнить методику выбора фаз распределения воздуха для указанного типа насосов.

вакуум, ротационный пластинчатый насос, фазы распределения воздуха

Постановка проблеми. Завдяки простоті конструкції та обслуговування ротаційні пластинчаті вакуумні насоси знайшли широке застосування в доїльних установках різної потужності – від промислових до індивідуальних, призначених для малих приватних ферм. При цьому питомі показники ефективності роботи ротаційних вакуумних машин – коефіцієнт відкачування та питома енергоємність залишаються на досить низькому рівні. На вказані показники найбільш суттєво впливає такий конструкційний параметр як фази розподілу повітря – форма та розташування всмоктувального та нагнітального вікон.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки досконалості конструкції ротаційних машин рядом авторів [1, 2] використовуються поняття дійсного, теоретичного та ідеального ротаційних компресорів. У дійсних ротаційних машинах робочий процес залежить від витікань, теплообміну, гідравлічних втрат, защемлень газу і т. п. Теоретичним вважають компресор, повністю ідентичний з дійсним, але відмінний від останнього відсутністю зазорів між основними робочими частинами. Ідеальним називають компресор без защемлених об'ємів, без витікань, без втрат тиску в органах розподілу при всмоктуванні і нагнітанні. З урахуванням цих понять розглянемо робочий процес ротаційного пластинчастого вакуумного насоса. На сьогодні в більшості своїй в доїльних установках застосовуються ротаційні вакуумні насоси, які виконують із невеликою кількістю пластин (до чотирьох). У цих конструкціях, внаслідок значного перепаду тисків в суміжних робочих камерах, виникають великі втрати від перетікань газу, особливо для насосів, які працюють без змащення. Перетікання збільшуються, якщо дійсний режим вакуумного насоса не відповідає розрахунковому, тобто високий коефіцієнт відкачування та низька енергоємність забезпечуються лише тоді, коли дійсна індикаторна діаграма наближена до розрахункової, що в свою чергу залежить від правильного визначення фаз розподілу повітря. Таким чином, дійсна індикаторна діаграма ротаційного вакуумного насоса визначає ступінь досконалості його конструкції. В роботах [3, 4] також не приводяться дійсні індикаторні діаграми ротаційних вакуумних насосів.

Постановка завдання. Метою роботи були теоретичні та експериментальні дослідження фаз розподілу повітря дійсного вакуумного насоса і зняття його індикаторної діаграми.

Виклад основного матеріалу. Згідно [3, 4] початок фаз всмоктування та нагнітання визначається з умови рівності тисків в робочій камері та відповідному вікні в момент їх з'єднання. Закінчення зазначених фаз повинно відбуватися в момент, коли об'єм робочої камери набуває максимального (всмоктування) та мінімального (нагнітання) значень. Виходячи з цього, правильний вибір положення кромки всмоктувального та нагнітального вікон, в першу чергу, залежить від правильного визначення динаміки зміни об'єму робочої камери насоса та тиску в ній в залежності від кута повороту ротора.

Використовуючи методику визначення зміни площі перерізу робочої камери, викладену в [5, 6] та враховуючи дані [7], які свідчать про те, що:

$$P_{\varphi} = P_{\text{ст}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\varphi}} \right)^{\gamma}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ст}}$ – тиск газу на початку стиску, приймається рівним тиску всмоктування, кПа;

S_{max} – максимальна площа перерізу робочої камери, м²;

S_{φ} – площа перерізу робочої камери при куті повороту φ , м²;

γ – показник політропи, для насоса індивідуальної доїльної установки з діаметром статора $D = 0,105$ м та розмірами інших формуючих елементів робочої

камери: діаметр ротора $d = 0,088$ м, ширина пластини $L = 0,085$ м та кутом нахилу пластин 45° [6] було побудовано залежність $P = P(\varphi)$, або розгорнуту по куту повороту теоретичну індикаторну діаграму робочої камери насоса (рис. 1) з розрахунку створення ним вакуумметричного тиску 70 кПа.

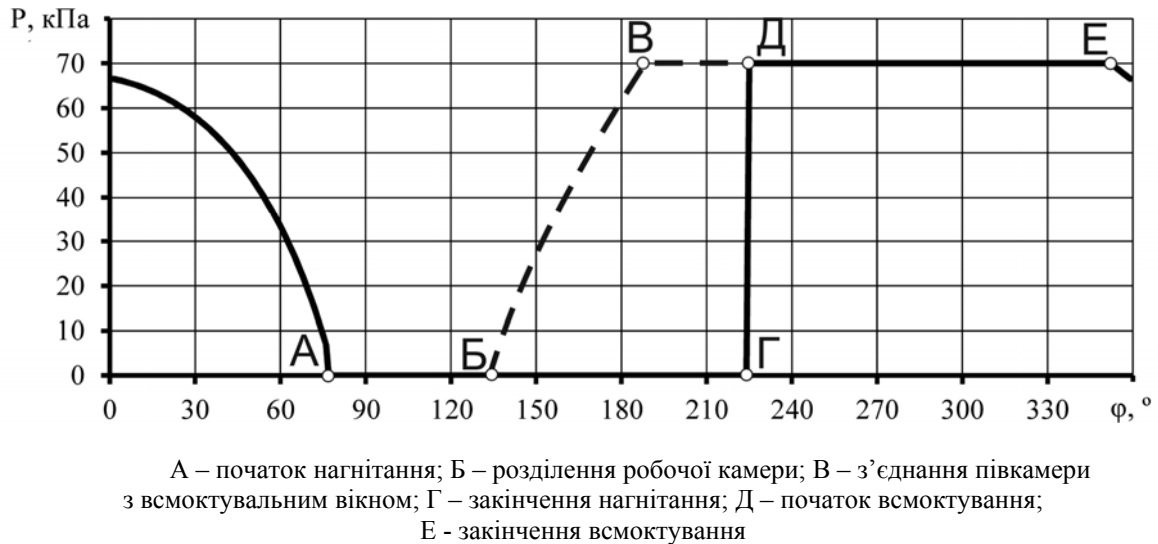


Рисунок 1 – Розгорнута по куту повороту теоретична індикаторна діаграма робочої камери насоса

Приведена на рисунку 1 залежність зміни тиску в робочій камері дозволяє стверджувати, що її з'єднання з нагнітаючим вікном (точка А) повинно відбуватися при значенні кута 76° , а початок всмоктування – $187,4^\circ$ (точка В). Момент роз'єднання робочої камери з нагнітаючим вікном буде відповідати куту повороту ротора $222,5^\circ$, при якому відбувається повний перехід робочої камери з боку стиску на бік всмоктування (точка Г на рис. 1). Точка Б характеризує момент переходу першої по ходу обертання пластини зі сторони нагнітання на сторону всмоктування (проходження точки найменшого радіального зазору між ротором і статором), тобто розділення робочої камери на дві частини. При цьому в першій половині камери (відрізок Б-В-Д) вакууметричний тиск збільшується, а в другій тиск рівний тиску нагнітання (відрізок Б-Г). Точка Е відповідає куту повороту ротора $347,3^\circ$, при якому об'єм робочої камери набуває найбільшого значення і відбувається її від'єднання від всмоктувального вікна.

Експериментальні дослідження вакуумного насоса проводили за допомогою стенду, принципова схема та загальний вигляд якого приведено на рис. 2.

Частоту обертання ротора насоса n змінювали за допомогою частотного регулятора Danfos; величину вакууму P встановлювали за допомогою витратоміра КИ-4840М. Значення вакуумметричного тиску знімали за допомогою датчика MPX5100, встановленого згідно схеми, приведеної на рис. 3. Отриманий сигнал фіксували осцилографом Rigol DS1022C з наступним записом отриманих даних на ПЕОМ (програме забезпечення Ultrascope for DS1000).

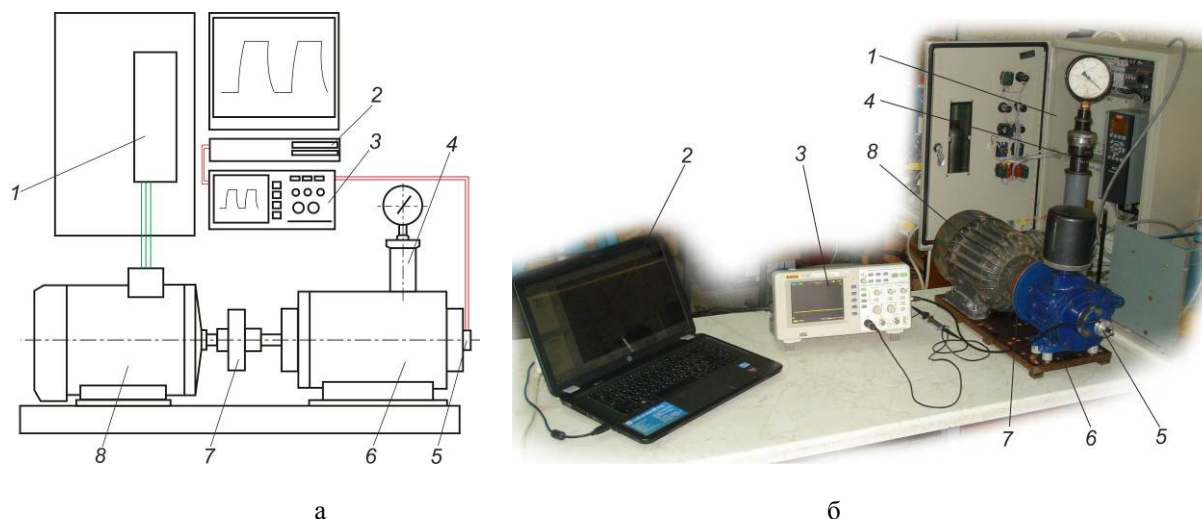


Рисунок 2 - Принципова схема (а) та загальний вигляд (б) стану для досліджень фаз розподілу повітря експериментального вакуумного насоса: 1 - частотний регулятор Danfos; 2 - системний блок ПЕОМ; 3 – цифровий осцилограф Rigol DS1022C; 4 - витратомір КИ-4840М; 5 – датчик тиску MPX5100; 6 - експериментальний вакуумнасос; 8 - електродвигун 4Д71В2СУ1

Порожнина робочої камери насоса з'єднувалась з датчиком тиску за допомогою каналів в тілі ротора.

В результаті експериментальних досліджень фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса були отримані динамічні залежності (рис. 4), що характеризують зміну вакууметричного тиску в робочій камері від кута повороту ротора (розгорнуті по куту повороту дійсні індикаторні діаграми) вакуумного насоса при різних частотах обертання ротора та значеннях вакууметричного тиску у всмоктувальному вікні.

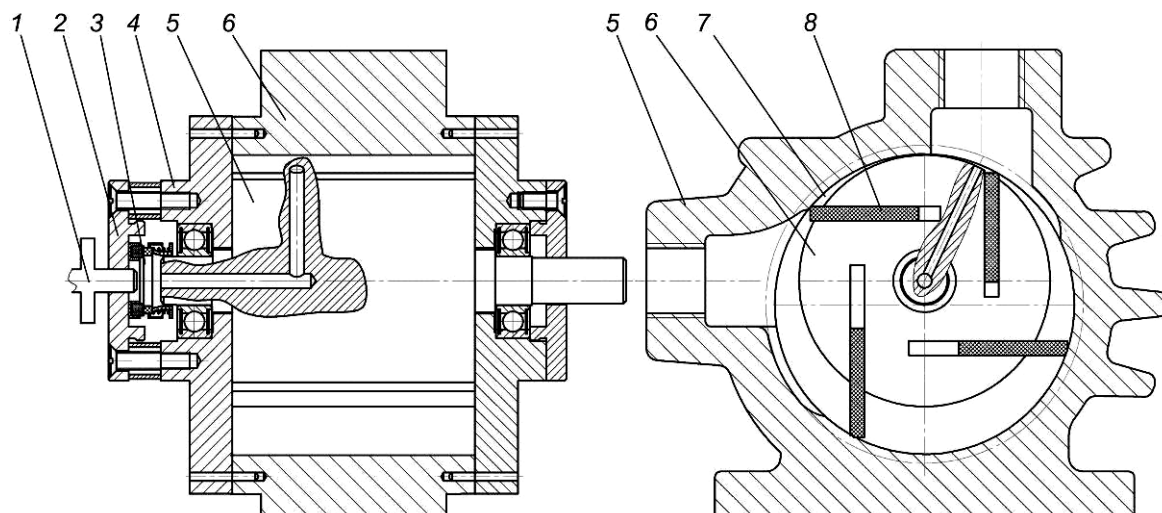
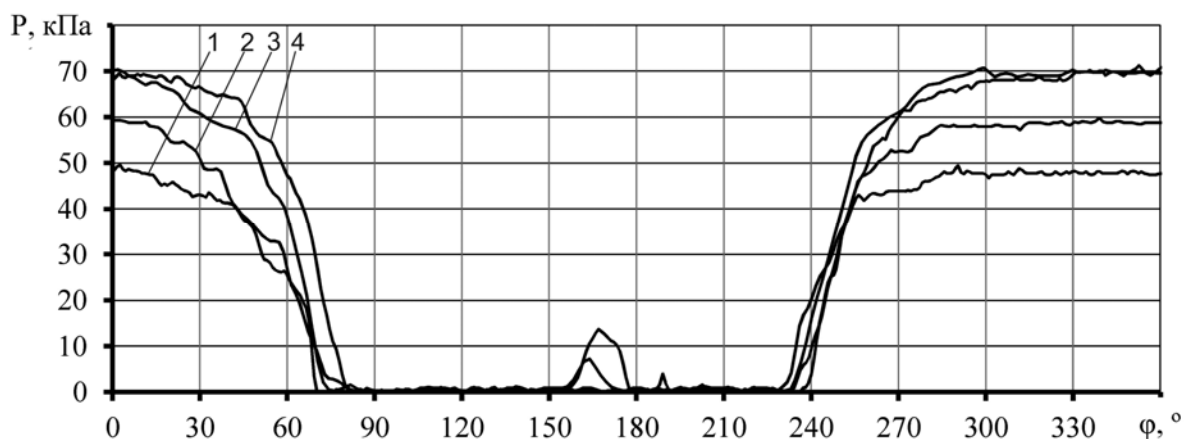


Рисунок 3 – Схема встановлення датчика тиску в експериментальному насосі: 1 - датчик тиску MPX5100; 2 – кришка підшипника; 3 – торцеве ущільнення; 4 – кришка насоса; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – робоча камера; 8 - пластина

Аналіз експериментальних даних показує, що характер динамічного розподілу вакууметричного тиску однаковий при будь-якій частоті обертання ротору та змінюється з однаковою періодичністю. Дане спостереження свідчить про стабільність

роботи експериментального ротаційного пластинчатого вакуумного насоса на різних режимах.



1 - $n=1000$ об/хв., $P=52,4$ кПа; 2 - $n=1500$ об/хв., $P=61,2$ кПа; 3 - $n=2000$ об/хв., $P=71,3$ кПа;
4 - $n=2200$ об/хв., $P=71,3$ кПа

Рисунок 4 – Залежність зміни вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора при різних частотах його обертання n та значеннях вакуумметричного тиску у всмоктувальному вікні P

Для ідентифікації теоретичної моделі фаз розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса побудовані експериментальні і теоретичні графіки розподілу вакуумметричного тиску, в робочій камері насоса від кута повороту ротора (рис. 5). При цьому експериментальні дані відповідали рівню вакуумметричного тиску прийнятому при розрахунках.

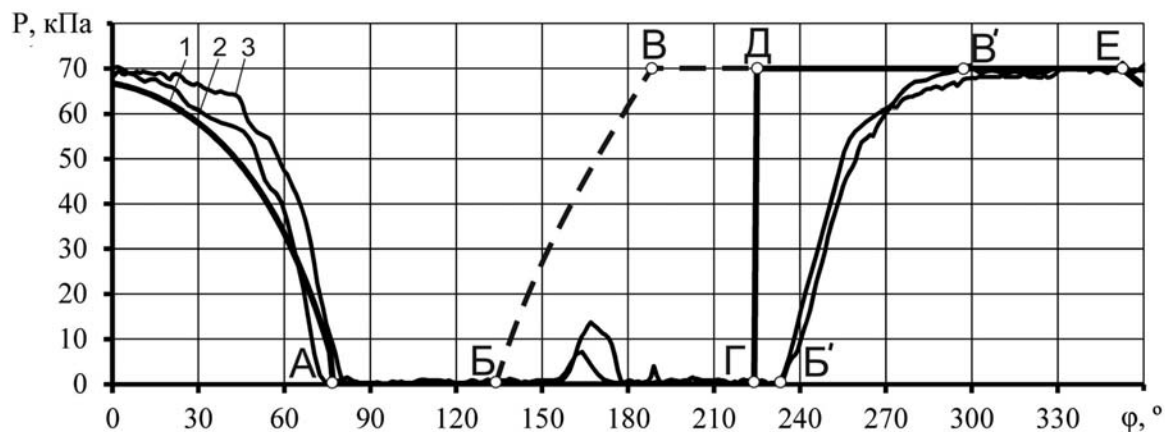


Рисунок 5 – Результати співставлення теоретичних (1) та експериментальних (2, 3) даних залежності зміни вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора

Аналізуючи графіки, приведені на рис. 5, можна стверджувати, що на стороні стиску та нагнітання (відрізок Е-А-Б) відхилення експериментальних даних від отриманих теоретично досить не значне. На стороні всмоктування, яке починається після розділення камери (точка Б), спостерігається відхилення теоретичних та

експериментальних даних, відрізок Б-В хоча за характером і відповідає відрітку Б'-В', але має зсув по куту φ . Це пояснюється тим, що канал датчика тиску (рис. 3) розміщено в задній, по ходу обертання ротора, частині камери, через це була відсутня можливість фіксування зміни вакууметричного тиску в першій півкамері. Що стосується сплеску тиску на експериментальних кривих в діапазоні значень кута φ 160-180°, то його можна пояснити перетіканням повітря між півкамерами при збільшенні різниці тисків в них. Загалом з отриманих даних можна стверджувати, що розрахований теоретично вакууметричний тиск знаходиться у довірчому коридорі експериментальних досліджень. Кореляція теоретичних та експериментальних даних складає 0,89. Це дає змогу стверджувати, що теоретичне рівняння розподілу вакууметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора є справедливим при будь-якому значенні частоти обертання ротора для заданого значення вакууметричного тиску.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса були отримані динамічні залежності, що характеризують зміну вакууметричного тиску від кута повороту ротора насоса при різних його частотах обертання. Згідно розрахованого коефіцієнту кореляції між теоретичними та експериментальними даними (0,89) підтверджено теоретичну модель фаз розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса.

Список літератури

1. Головинцов, А.Г. Ротационные компрессоры [Текст] / А.Г. Головинцов, В.А. Румянцев, В.И. Ардашев – М.: Машиностроение, 1964. – С. 63-71.
2. Розанов, Л.Н. Вакуумная техника [Текст] / Л.Н. Розанов. – М.: Высшая школа, 1982. – 204 с.
3. Механические вакуумные насосы [Текст] / Е. С. Фролов, И. В. Автономова, В.И. Васильев и [др.] – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
4. Мжельский, Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок [Текст] / Н.И. Мжельский – М.: Машиностроение, 1974. – 151 с.
5. Павленко, С.И. К вопросу определения фаз распределения воздуха ротационного вакуумного насоса с тангенциальным расположением лопаток [Текст] / С.И. Павленко, Н.Н. Науменко, В.Ю. Дудин // Матер. Межд. науч.-практич. конф. «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». – Минск, 2010. – Т. 2. – С. 107 – 112.
6. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів [Текст] / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, М.В. Колончук, Д.Ф. Кольга // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 75. – С. 258 – 268.
7. Хамев, В. М. Термодинамические процессы и параметрические характеристики вакуумных насосов [Текст] / В. М. Хамеев – Новосибирск: Наука, 1986. – 75 с.

Volodymyr Dudin, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Oleksandra Chukhlib, magistrate

Dnipro state agrarian and economic university, Dnipro, Ukraine

Investigations of the Air Distribution Phases of a Rotary Vane Vacuum Pump

The purpose of work was theoretical and experimental research of the phases of air distribution valid vacuum pump and removal of the indicator chart.

For individual milking machine pump built deployed angle to the theoretical indicator diagram of the working chamber. Implemented the design of the experimental stand and received with its using the dependence of change of vacuum pressure in the working chamber pump turning angle of the rotor on the different modes.

The comparison of theoretical and experimental data confirms the proposed theoretical model of the phases of air distribution rotary vacuum pump.

vacuum, rotary vane pump, air distribution phases

Одержано 02.11.17

УДК 62-503.56

О.А. Жученко, доц., канд. техн. наук, М.Г. Хібеба, асп.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна, E-mail: azhuch@ukr.net*

Постановка задачі керування процесом формування у виробництві вуглецевих виробів

Виконано порівняльний аналіз техніко-економічних показників як критеріїв оптимального керування процесом формування. Визначено, що використання розглянутих показників має недоліки, пов'язані з особливостями виробництва. Запропоновано використання модифікованого показника питомої собівартості експлуатаційних витрат як такого, що дозволяє найбільш повно оцінити ефективність процесу формування вуглецевих виробів. Проведено постановку задачі керування процесом формування у виробництві вуглецевих виробів. Математично сформульована постановка задачі керування включає обраний критерій оптимальності та обмеження. Критерій оптимальності базується на питомій собівартості експлуатаційних витрат і враховує витрати, що залежать від технологічного режиму та дійсної продуктивності гідравлічного пресу. До витрат відносяться матеріальні витрати сировини, енерговитрати на привід пресового інструменту, що безпосередньо впливають на тиск пресування та на нагрів внутрішньої поверхні пресу за допомогою індукторів масового циліндру, формувальної та калібрувальної зони мундштука, а також свічок для додаткового нагрівання кутів калібрувальної зони. Дійсна продуктивність гідравлічного пресу визначається як доля продукції належної якості в усій виробленій продукції. В результаті аналізу окремих етапів процесу формування було сформовано обмеження на тиск та час підпресування електродної маси, обмеження на тиск безпосередньо пресування та обмеження на напругу, що подається на нагрівачі. Використання даних обмежень під час розробки системи керування дозволить дотримувати якість продукції на заданому рівні та враховувати конструктивні особливості апарату, особливості електродної маси та процесу формування вуглецевих виробів. Розв'язання задачі керування повинно забезпечити функціонування технологічного процесу формування у виробництві вуглецевих виробів в оптимальному з точки зору ресурсо- та енергозбереження режимі та, як результат, підвищенню ефективності виробництва вуглецевих виробів в цілому.

виробництво вуглецевих виробів, критерій оптимального керування, гідравлічний прес, електродна маса, екструзія

А.А. Жученко, доц., канд.техн. наук, Н.Г. Хібеба, асп.*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна*

Постановка задачі управління процесом формования в производстве углеродных изделий

Выполнен сравнительный анализ технико-экономических показателей как критериев оптимального управления процессом формования. Определено, что использование рассмотренных показателей имеет недостатки, связанные с особенностями производства. Предложено использование модифицированного показателя удельной себестоимости эксплуатационных расходов как такового, что позволяет наиболее полно оценить эффективность процесса формования углеродных изделий. Проведено постановку задачи управления процессом формирования в производстве углеродных изделий. Математически сформулирована постановка задачи управления включает выбранный критерий оптимальности и ограничения. Критерий оптимальности базируется на удельной себестоимости эксплуатационных расходов и учитывает расходы, зависящие от технологического режима и действительную производительность гидравлического пресса. К расходам относятся материальные затраты сырья, энергозатраты на привод прессового инструмента, непосредственно влияющие на давление прессования и на нагрев внутренней поверхности пресса с помощью индукторов массового

цилиндра, формовочной и калибровочной зоны мундштука, а также свечей для дополнительного нагрева углов калибровочной зоны. Настоящая производительность гидравлического пресса определяется как доля продукции надлежащего качества во всей производимой продукции. В результате анализа отдельных этапов процесса формирования были сформированы ограничения на давление и время подпрессовки электродной массы, ограничения на давление непосредственно прессования и ограничения на напряжение, подаваемое на нагреватели. Использование данных ограничений при разработке системы управления позволит придерживаться заданного качества продукции и учитывать конструктивные особенности аппарата, особенности электродной массы и процесса формования углеродных изделий. Решение задачи управления должно обеспечить функционирование технологического процесса формования в производстве углеродных изделий в оптимальном с точки зрения ресурсо- и энергосбережения режиме и, как результат, повышению эффективности производства углеродных изделий в целом.

производство углеродных изделий, критерий оптимального управления, гидравлический пресс, электродная масса, экстремизм

Постановка задачі. Споживачами вуглецевих виробів є різні галузі промисловості, в яких виробництво пов'язане з необхідністю використання електротермічних технологічних процесів. Зокрема, до таких виробництв відносяться підприємства чорної та кольорової металургії, машинобудування, хімічної промисловості та інші [1].

Виробництво вуглецевих виробів характеризується значною ресурсо- та енергоємністю [2, 3]. Окрім того існує необхідність суворого дотримання великої кількості технологічних параметрів, тому актуальною є задача підвищення ефективності даного виробництва шляхом впровадження оптимальних режимів роботи на ключових етапах виробництва.

Одним з основних технологічних процесів виробництва вуглецевих виробів є формування останніх шляхом продавлювання електродної маси через мундштук відповідної форми у гідравлічному пресі, бо саме на етапі пресування електродних заготовок закладаються в основному всі спадкові властивості, що визначають якість готових виробів [2, 3]. Зокрема, пресування в значній мірі визначає форму заготовки, її довжину, пористість та механічну міцність.

Виходячи з вищеназваних обставин нагальною є задача створення такої системи керування процесом формування вуглецевих виробів, що призведе до підвищення ефективності як даної технологічної стадії, так і, як результат, всього виробництва вуглецевих виробів у цілому.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день у процесі формування вуглецевих виробів визначальними факторами є температурний режим та тиск пресування, на контроль та керування якими направлені майже всі існуючі автоматичні системи.

Автори праці [3] пропонують як контрольований параметр використовувати інтенсивність випресовування (зусилля для видавлювання одиничного об'єму маси за 1 с). Недоліком даного методу є неможливість безпосереднього вимірювання даного параметру, що призводить до, по-перше, ускладнення системи керування за рахунок його обчислення і, по-друге, можливих похибок керування, обумовлених неточністю проведених розрахунків.

Дослідження впливу різних параметрів на якість випресованих заготовок показали [4], що для отримання бездефектної продукції необхідно, щоб під час пресування були дотримані умови нерозривності середовища. Виконання цих умов може бути досягнуто за допомогою регулювання температур у «контрольних» точках поверхні пресового інструменту [4]. Така система керування в залежності від температур в «контрольних» точках та температури розм'якшення пеку $T_{\text{розм}}$ вмикає

або вимикає нагрівальні елементи. Суттєвим недоліком даної системи керування є її релейна природа, що значно погіршує якість керування.

Вагомим недоліком згаданих вище та інших [3–5] відомих систем керування процесом формування вуглецевих виробів є та обставина, що вони не забезпечують оптимальних техніко-економічних показників [6] даної технологічної стадії виробництва, що, як правило, призводить до зниження ефективності її функціонування.

Загальна задача оптимізації виробництва вуглецевих виробів сформульована у праці [7]. Задача керування процесом формування вуглецевих виробів повинна формуватись у відповідності до поставленої загальної задачі. Постановка задачі керування процесом формування повинна включати формулювання критерію оптимального керування та обмежень на технологічні параметри процесу та показники його якості.

Постановка завдання. Таким чином, метою даної статті є формулювання постановки задачі керування процесом формування вуглецевих виробів.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо та проаналізуємо техніко-економічні показники, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом формування вуглецевих виробів.

Найбільш загальним показником ефективності процесу формування є його рентабельність за нормативний час (тиждень, місяць, рік)

$$R_B = \frac{Q_B}{C_B}, \quad (1)$$

де Q_B – прибуток від реалізації продукції, C_B – собівартість продукції.

Прибуток від реалізації продукції розраховується таким чином

$$Q_B = \sum_{i=1}^N a_i F_i - \sum_{j=1}^M b_j S_j - Q_E, \quad (2)$$

де a_i, F_i – ціна одиниці та кількість одиниць i -го виду реалізованої продукції відповідно;

b_j, S_j – відповідно ціна одиниці та кількість одиниць j -го виду сировини, що використовувалась у виробництві;

N, M – кількість видів реалізованої продукції та сировини відповідно;

Q_E – експлуатаційні витрати на виробництво.

Собівартість продукції складається із вартості експлуатаційних витрат і сировини

$$C_B = Q_E + \sum_{j=1}^M b_j S_j. \quad (3)$$

Використання рентабельності як критерію оптимального керування процесом формування має ряд недоліків. По-перше, процес формування не є початковим у виробництві вуглецевих виробів. Це означає, що у ціні маси, що поступає до гідравлічного пресу, містяться витрати на попередніх технологічних стадіях, що ускладнює розрахунки за цим критерієм особливо в умовах зміни ціни на початкову сировину та енергоносії.

По-друге, процес формування не є завершальним в процесі виробництва вуглецевих виробів. Тому для даного етапу фактично неможливо говорити про ціну готової продукції, яка підлягає реалізації.

Названі вище причини вказують на недоцільність використання рентабельності процесу формування вуглецевих виробів як критерію оптимального керування.

Прибуток від реалізації продукції та собівартість готової продукції можуть слугувати самостійними критеріями оптимального керування.

Прибуток від реалізації продукції згідно формули (2) містить у собі вартість експлуатаційних витрат, сировини та готової продукції.

Використання даного показника як критерію оптимального керування процесом формування вуглецевих виробів має ті ж вади, які згадувалися при аналізі критерію рентабельності.

Характерною особливістю собівартості готової продукції (3) як критерію оптимального керування є штучне зменшення складової, що визначається експлуатаційними показниками, тобто безпосередньо технологічними режимами виробництва. Це відбувається тоді, коли сировина стала або її зміна не пов'язана із зміною експлуатаційних показників і технологічних режимів виробництва. До недоліків використання даного показника можна віднести те, що він не враховує зміну продуктивності процесу, а отже мінімізація цього критерію може призвести до зменшення продуктивності.

Продуктивність процесу формування може вимірюватись кількісно (у штуках виробленої продукції)

$$K_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n k_i ,$$

де k_i – кількість виробленого i -го виду продукції, штук;
або масово (кг, тон)

$$G_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n k_i q_i ,$$

де q_i – вага i -го виду продукції, кг.

При виборі одиниці вимірювання продуктивності процесу пресування очевидно, що більш об'єктивним є оцінювання продуктивності кількісним методом (штук).

Як самостійний критерій оптимального керування продуктивність зазвичай застосовують у таких випадках:

- якщо з метою оптимізації планують використовувати способи, за яких продуктивність процесу формування вуглецевих виробів зростає, а решта техніко-економічних показників (якість готового продукту, енерговитрати тощо) не погіршуються;
- якщо процес формування, що входить до складу технологічного комплексу виробництва вуглецевих виробів, є «вузьким місцем» і тому з метою підвищення ефективності роботи всього комплексу ставиться однозначна задача отримання максимальної продуктивності процесу незалежно від зміни інших її економічних показників або за їх обмежень.

Недоліком використання даного критерію є те, що він не враховує затрати на виробництво, а отже збільшення продуктивності може призвести до збільшення енерго- та ресурсовитрат.

В якості критеріїв оптимальності керування процесом формування вуглецевих виробів можуть використовуватись й показники якості проходження даного процесу. Якість проходження даного процесу визначається в першу чергу за наявністю чи відсутністю деформацій в сформованій заготовці. Також важливим є рівномірний розподіл фізико-хімічних властивостей заготовки.

Питома собівартість експлуатаційних витрат $P_{\text{пр}}$ визначається як

$$P_{np} = \frac{TC_{opt}}{G_{np}}, \quad (4)$$

де P_{np} – питома собівартість експлуатаційних витрат;

TC_{opt} – загальні витрати;

G_{np} – дійсна продуктивність роботи гідравлічного пресу.

Використання даного показника як критерія оптимального керування дозволяє у процесі оптимізації врахувати як собівартість продукції так і продуктивність процесу, тому даний критерій найбільш доцільно використовувати для оцінювання ефективності процесу формування вуглецевих виробів.

Проведений вище аналіз техніко-економічних показників, які можуть бути використані як критерії оптимального керування процесом формування вуглецевих виробів показує, що у найбільшій мірі ефективність ведення даного технологічного процесу можна оцінити за допомогою критерію, що базується на питомій собівартості експлуатаційних витрат (4).

До загальних витрат на виробництво віднесемо ті, що тісно пов'язані з умовами проходження технологічного процесу, а саме енерго- та матеріальні витрати. Матеріальні витрати визначаються наступним чином:

$$C_m = P_m G_m, \quad (5)$$

де C_m – матеріальні витрати;

P_m, G_m – ціна та витрата сировини відповідно.

Розглянемо фактори, які формують енерговитрати. До C_e віднесемо енерговитрати на привід пресового інструменту, що безпосередньо впливають на тиск пресування, W_{II} та на нагрів внутрішньої поверхні пресу за допомогою індукторів масового циліндру, формувальної та калібрувальної зони мундштука, а також свічок для додаткового нагрівання кутів калібрувальної зони W_T :

$$C_e = P_e W_e = P_e (W_{II} + W_T), \quad (6)$$

де P_e – тариф на електроенергію; W_e – витрати електроенергії.

Тоді загальні витрати визначатимуться так:

$$TC_{opt} = P_e (W_{II} + W_T) + P_m G_m. \quad (7)$$

Отже, критерій оптимального керування, що впливає з (4), буде мати вигляд:

$$K_{opt} = \frac{(P_e (W_{II} + W_T) + P_m G_m)}{G_{np}}. \quad (8)$$

Математично загальна задача оптимального керування процесом формування вуглецевих виробів може бути сформульована наступним чином:

$$K_{opt} \rightarrow \min$$

$$\Omega_n \leq \Omega \leq \Omega_g, \quad (9)$$

де $\Omega, \Omega_n, \Omega_g$ – вектор поточних значень технологічних змінних, вектор нижніх та верхніх припустимих значень цих змінних відповідно.

Мінімізація критерію оптимальності можлива за рахунок як зменшення енерговитрат так і збільшення дійсної продуктивності роботи гідравлічного пресу.

Дійсна продуктивність пресу визначається як

$$G_{np} = K_{np} G_{zag}, \quad (10)$$

де $K_{пр}$ – коефіцієнт, що характеризує частку продукції належної якості в усій виробленій продукції;

$G_{заг}$ – загальна продуктивність пресу. Для збільшення $G_{пр}$ потрібно максимізувати $K_{пр}$, тобто забезпечити такі умови, при яких усі сформовані заготовки будуть задовольняти поставленим вимогам. Під поставленими вимогами розуміємо дотримання показників якості, розглянутих вище. Їх безпосереднє врахування в постановці задачі керування неможливе, оскільки дані показники неможливо виміряти. Тому пропонується врахувати їх опосередковано, введенням обмежень на технологічні параметри, що впливають на наявність деформацій та ізотропність властивостей в заготовці.

Технологічний процес формування вуглецевих виробів складається з декількох етапів, кожен з яких доцільно розглядати окремо.

На першому етапі електродна маса завантажується в зону ущільнення пресового інструменту. Далі в дослідженні даний етап не розглядається, тому що він передуює безпосередньо етапу пресування і тому не впливає ні на якість вихідного продукту ні на зменшення енерго- чи ресурсо витрат.

Наступний етап – підпресування завантаженого матеріалу у зоні ущільнення. У ході даного процесу з електродної маси видаляється повітря, а простір між частинками наповнювача заповнюється в'язким. Основна мета даного процесу – усереднити фізико-хімічні властивості [3] та привести матеріал до компактного (безпористого) стану, при якому мінімізується ефект пружної післядії і збільшується міцність, а отже і зменшується вірогідність розтріскування випресованої заготовки під час її релаксації [8] та на подальших етапах виробництва.

Технологічними змінними даного етапу є тиск та час підпресування. Виходячи з того, що даний процес впливає на показники якості продукції виникає необхідність введення обмежень на його технологічні змінні. Збільшення тиску та часу підпресування збільшує ступінь переорієнтації анізотричних зерен наповнювача в об'ємі контейнера пресу, призводить до нерівномірного розподілу фізико-хімічних властивостей випресованих виробів. З іншого боку недостатній час та тиск підпресування призводить до нерівномірного розподілу наповнювача, що в свою чергу спричинює зменшення міцності та нерівномірний розподіл фізико-хімічних властивостей заготовки [3,8].

Отже маємо наступні обмеження:

$$P_{пд.н} \leq P_{пд} \leq P_{пд.в}, \quad (11)$$

де $P_{пд}$, $P_{пд.н}$, $P_{пд.в}$ – відповідно дійсне значення тиску підпресування, його нижнє та верхнє допустиме значення;

$$\tau_{пд.н} \leq \tau_{пд} \leq \tau_{пд.в}, \quad (12)$$

де $\tau_{пд}$, $\tau_{пд.н}$, $\tau_{пд.в}$ – відповідно дійсне значення часу підпресування, його нижнє та верхнє допустиме значення;

Третій етап – пресування, що включає видавлювання підпресованої електродної маси через мунштук та відрізання заготовок заданої довжини. Це основний етап процесу формування, адже тут проходить безпосередньо формування заготовок заданої геометрії. Оптимальна швидкість видавлювання залежить від типу виготовлюваної продукції і контролюється тиском пресування, що залежить від енерговитрат на гідравлічний привід пресового інструменту. Обмеження на тиск пресування визначається конструкційними особливостями апарату та, в першу чергу, властивостями електродної маси, що також впливають на швидкість пресування.

$$0 \leq P_{\Pi} \leq P_{\Pi.B} \quad (13)$$

Для отримання бездефектної продукції необхідно, щоб під час процесу пресування були дотримані умови нерозривності середовища, а це в свою чергу можливо у разі, коли між заготовкою та поверхнею мундштука існуватиме тонкий ламінарний шар з умовами проковзування на поверхні контакту «мундштук – електродна маса». Цей шар формується з кам'яновугільного пеку, який під дією температур, вищих температури розм'якшення, витісняється на поверхню електродної маси. Одночасно з цим потрібно сформувати в електродній масі ядро, що матиме структурний режим руху, а для цього його температура має бути нижча за температуру формування ламінарного шару. Для нагрівання пресового інструменту та електродної маси використовуються індуктори масового циліндру, формувальної та калібрувальної зони мундштука, а також свічки для додаткового нагрівання кутів калібрувальної зони. Вищенаведені дані формують обмеження на напругу, що подається на нагрівачі пресового інструменту. Також на обмеження по напрузі впливає максимально допустима напруга, що може бути подана на нагрівач.

$$u_{\Pi.H} \leq u_{\Pi} \leq u_{\Pi.B}, \quad (14)$$

де u_{Π} , $u_{\Pi.H}$, $u_{\Pi.B}$ – вектори відповідно дійсного значення напруг, що подаються на нагрівачі, їх нижнє та верхнє допустиме значення.

Отже, об'єднуючи критерій (8) та обмеження (11-14), отримаємо математичне формулювання задачі керування процесом формування вуглецевих виробів у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{opt} = \frac{(P_e(W_{\Pi} + W_T) + P_m G_m)}{G_{np}} \rightarrow \min \\ P_{\Pi.H} \leq P_{\Pi} \leq P_{\Pi.B} \\ \tau_{\Pi.H} \leq \tau_{\Pi} \leq \tau_{\Pi.B} \\ 0 \leq P_{\Pi} \leq P_{\Pi.B} \\ u_{\Pi.H} \leq u_{\Pi} \leq u_{\Pi.B} \end{array} \right. \quad (15)$$

Висновки. На основі проведеного аналізу техніко-економічних показників, що можуть бути використані як критерії оптимальності у системі керування процесом формування вуглецевих виробів, обґрунтовано вибір найбільш доцільного показника - питомої собівартості експлуатаційних витрат.

Сформульовано у математичному вигляді задачу керування даним процесом, яка включає у себе критерій оптимальності та обмеження, що накладаються на технологічні змінні процесу з урахуванням вимог до якості продукції, що виробляється.

Для розв'язання поставленої задачі керування у подальших дослідженнях потрібно розробити математичну модель процесу формування вуглецевих виробів.

Список літератури

1. Офіційний сайт ПрАТ «Український графіт»: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrgrafit.zp.ua/priminienie>.
2. Чалых, А.Ф. Графитация углеродистых материалов [Текст] / А.Ф. Чалых, В.П. Соседов – М.: Металлургия, 1987. – 176 с.
3. Санников, А. К. Производство электродной продукции [Текст] / А. К. Санников, А. Б. Сомов, В. В. Ключников и др.]. – М.: Металлургия, 1985. – 129 с.
4. Лазарев, Т. В. Математическая модель процесса экструзии вязко-пластичной углеродной массы [Текст] / Т. В. Лазарев, А. Я. Карвацкий, С. В. Лелека, А. Ю. Педченко // Весник НТУ «ХПІ», Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 31-37.

5. Завальнюк, И. П. Управление высокопроизводительной экструзией неоднородных материалов / И. П. Завальнюк // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы та системи. – 2010 – №1(25). – С. 141– 147.
6. Бельков, В. Н. Автоматизированное проектирование технических систем [Текст] / В. Н. Бельков, В. Л. Ланшаков. – М.: Академия естествознания, 2009. – 143 с.
7. Жученко, О.А. Statement of the optimization problem of carbon products production ем [Текст] / О. А. Жученко // Міжнародний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» Vol. 8, issue 2/2016. – С. 39-44
8. Пятов, В. В. Теоретические и технологические основы холодной экструзии порошковых материалов [Текст] / В. В. Пятов. – Витебск: УО «ВГТУ», 2002. – 237 с.

Olexsiy Zhuchenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Mykola Khibeba, post-graduate

National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic institute", Kyiv, Ukraine

Formation Process in the Production of Carbon Products Control Task Setting

A comparative analysis of technical and economic indicators as criteria for optimal formation process control has been done. It is shown that the use of discussed indicators has disadvantages associated with production peculiarities. The use of modified specific operating costs as such, that allows to fully evaluate carbon products formation process efficiency has been proposed. Formation process in the production of carbon products control task setting has been done.

Mathematically formulated control task setting includes selected optimality criterion and limitations. Optimality criterion based on the specific operating costs and takes into account costs that depend on technological mode and actual hydraulic press performance. The specific operating costs includes material costs of raw materials, energy costs for pressing tool actuator, that directly affects the pressing pressure and for press inner surface heating by mass cylinder inductor, molding and calibration die zones inductors and also candles for calibration zone corners additional heating. Actual hydraulic press performance defined as the part of all produced products that has good quality. Limitations on prepressing duration and pressure, pressing pressure and voltage applied to the heaters were formed as a result of forming process separate stages analysis.

Using these limitations when creating control system allows to keep product quality specified value and take into account device design features, electrode mass and formation process features. Control task solving should provide optimally formation process in the production of carbon products functioning in terms of resource and energy saving mode and as a result, improve production of carbon products efficiency in general.

production of carbon products, optimal control criterion, hydraulic press, electrode mass, extrusion

Одержано 03.10.17

УДК 631.33.02

М.Л. Засць, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна

E-mail: mzaec81@gmail.com

Оптимізація конструкційних параметрів сошника для підґрунтового-розкидної сівби зернових культур

Розглядається визначення оптимальної форми розподільника та процес розподілу насіння комбінованим розподільником у виді криволінійної призми. Від форми розподільника залежить якість розподілення насіння по ширині смуги, що засівається. Рівномірність розташування насіння по ширині захвату сошника буде характеризуватися швидкістю надходження насіння на похилу ділянку розподільника.

швидкість, сівба, розподільник, твірна, рівномірність

© М.Л. Засць, 2017

М.Л. Заяц, доц., канд. техн. наук

Житомирський національний агрозоологічний університет, Житомир, Україна

Оптимизация конструктивных параметров сошника для подпочвенно-разбросного посева зерновых культур

Рассматривается определение оптимальной формы распределителя и процесс распределения семян комбинированным распределителем в виде криволинейной призмы. От формы распределителя зависит качество распределения семян по ширине засеваемой полосы. Равномерность расположения семян по ширине захвата сошника будет характеризоваться скоростью поступления семян на наклонный участок распределителя.

скорость, сев, распределитель, образующая, равномерность

Постановка проблеми. Одержання високих і стабільних врожаїв залишається актуальною задачею сільськогосподарського виробництва. При вирощуванні сільськогосподарських культур, зокрема і зернових, особливу увагу необхідно звертати на сівбу, оскільки допущені при її виконанні огріхи неможливо виправити, а однією з основних характеристик сівби є рівномірність розподілу рослин за площею живлення.

В ідеальному випадку площа живлення рослини має форму кола, однак у більшості способів сівби форма площі живлення представлена умовним витягнутим прямокутником. Така форма площі живлення призводить до недовикористання частини родючого ґрунту і загущення рослин, що знижує врожайність зернових культур. Найбільш раціональну площу живлення рослини одержують при підґрунтового-розкидного способі сівби.

Одним з основних недоліків існуючих сошників для підґрунтового-розкидної сівби є недостатня дальність розсіву насіння по ширині захвату сошника, що призводить до збільшення ширини міжрядь, а відтак і незасіяної площі поля, що знижує рівномірність розподілу рослин. В зв'язку з цим, підвищення врожайності зернових культур за рахунок удосконалення технологічного процесу підґрунтового розподілу насіння є актуальною науково-технічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженнями [1, 2, 3, 4] доведена перевага розподільників із криволінійними утворюючими, на робочій поверхні яких насіння плавно змінюють напрямок свого руху і з мінімальними втратами кінетичної енергії надходять у підсошниковий простір та висівається на дно борозни. Для того, щоб швидкість руху насіння досягла максимальних значень у точці сходу з кривої, крива повинна задовольняти умовам найшвидшого переміщення часток за деякий проміжок часу. Такою кривою по визначенню є брахистохрона.

Теоретичним і експериментальним дослідженням руху насіння по криволінійній твірній присвячена робота Василенка П. М., Кірова А. А. та інш. Вони розглядають брахистохрону як сукупність прямолінійної ділянки й кола постійного радіуса r , а рух насіння по криволінійній твірній розглядає як рух насіння по такому колу.

Постановка завдання. Враховуючи те, що процес розподілу насіння при підґрунтового-розкидному способі сівби носить випадковий характер, оскільки визначається великою кількістю факторів, які неможливо повністю врахувати, то його можна розглядати у відповідності із законами теорії ймовірностей [2]. У зв'язку з цим, пропонуються різні типи технологічних схем розподільних пристроїв сошників з метою проектування та виготовлення їх для подальшого дослідження.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до розробленої методики експериментальних досліджень були реалізовані пошуковий багатофакторний експеримент 2^4 і два двохфакторних експерименти. Повторність дослідів – триразова. При проведенні експериментів використовувалося насіння пшениці. У всіх експериментах над розподільником встановлювався циліндричний направляч насіння із внутрішнім діаметром 20 мм.

При проведенні пошукового багатофакторного експерименту розглядалися наступні фактори: h – відстань від нижнього зрізу направляча до вершини розподільника, ε – ексцентриситет установки розподільника щодо осі насіннепроводу, L_H – довжина похилої ділянки, α – кут встановлення похилої ділянки до горизонту.

Інтервали і рівні варіювання факторів пошукового експерименту 2^4 представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Інтервали і рівні варіювання факторів пошукового експерименту 2^4

Показники	Кодовані значення	Фактори			
		h , мм	ε , мм	L_H , мм	α , °
Верхній рівень	+1	12	10	70	25
Основний рівень	0	6	5	50	22,5
Нижній рівень	-1	0	0	30	20
Інтервал варіювання	ΔX_i	6	5	20	2,5

У табл. 2. приведені план пошукового експерименту в кодовому масштабі та результати отриманих коефіцієнтів варіації у всіх дослідках експерименту. Для кожного дослідку розрахована порядкова дисперсія S^2_{yi} . Розрахункова величина критерію Кохрена склала $G_{розр.}=0,17$. Табличне значення критерію $G_{табл.}=0,32$ [5].

Таблиця 2 – Матриця планування пошукового багатофакторного експерименту 2^4

№ дослідку п/п	Кодові позначення				у
	X_1	X_2	X_3	X_4	
1	+1	+1	+1	+1	-
2	-1	+1	+1	+1	-
3	+1	-1	+1	+1	-
4	-1	-1	+1	+1	-
5	+1	+1	-1	+1	-
6	-1	+1	-1	+1	-
7	+1	-1	-1	+1	-
8	-1	-1	-1	+1	-
9	+1	+1	+1	-1	-
10	-1	+1	+1	-1	-
11	+1	-1	+1	-1	-
12	-1	-1	+1	-1	-
13	+1	+1	-1	-1	-
14	-1	+1	-1	-1	-
15	+1	-1	-1	-1	-
16	-1	-1	-1	-1	-

Оскільки виконується умова $G_{розр} < G_{табл.}$, ряди дисперсій експерименту можна вважати однорідними. Дисперсія досліду пошукового експерименту $S_y^2=8,54$.

За результатами експериментів модель виразиться наступним рівнянням:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4 + b_{123}x_1x_2x_3 + b_{124}x_1x_2x_4 + b_{134}x_1x_3x_4 + b_{234}x_2x_3x_4 + b_{1234}x_1x_2x_3x_4$$

де x_1 – кодоване значення відстані від нижнього зрізу направляча до вершини розподільника h ;

x_2 – кодоване значення ексцентриситету установки розподільника відносно осі насіннєпроводу ϵ ;

x_3 – кодоване значення довжини похилої ділянки L_H ;

x_4 – кодоване значення кута постановки похилої ділянки до горизонту α .

Для розрахунку коефіцієнтів моделі в табл. 3 приведена розширена матриця планування і результати дослідів (середнє з трьох).

Таблиця 3– Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

Номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_1x_2x_4$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	y
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	68,1
2	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-	79,2
3	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	+	-	-	44,2
4	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	+	43,7
5	+	+	+	-	+	+	-	+	-	+	-	-	+	-	-	-	95,5
6	+	-	+	-	+	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	83,6,
7	+	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	+	-	-	+	+	44,9
8	+	-	-	-	+	+	+	-	+	-	-	-	+	+	+	-	44,3
9	+	+	+	+	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	+	44,1
10	+	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	-	56,7
11	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	+	-	45,5
12	+	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	58,6
13	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	-	-	+	+	-	80,6
14	+	-	+	-	-	-	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	78,8
15	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	45,5
16	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	47,2

Чисельні значення коефіцієнтів регресії вийшли рівними:

$B_0=66,18$; $b_1=3,90$; $b_2=19,44$; $b_3=-11,17$; $b_4=1,38$; $b_{12}=-2,17$; $b_{13}=-0,64$; $b_{14}=-0,48$; $b_{23}=-12,43$; $b_{24}=3,81$; $b_{34}=2,43$; $b_{123}=0,78$; $b_{124}=-2,47$; $b_{134}=2,36$; $b_{234}=3,99$; $b_{1234}=0,95$.

Дисперсія оцінок коефіцієнтів і середньоквадратична помилка відповідно рівні:

$$S^2_{b_i} = 0,18; S_{b_i} = 0,42.$$

Довірчий інтервал коефіцієнтів регресії дорівнює $\Delta b_i = 0,86$.

Після порівняння абсолютних значень коефіцієнтів регресії з абсолютною величиною їхнього довірчого інтервалу незначущі коефіцієнти регресії в подальших розрахунках виключаємо.

За результатами пошукового багатofакторного експерименту модель виразиться наступним рівнянням:

$$y = 66,18 - 3,9x_1 + 19,44x_2 - 11,17x_3 + 1,38x_4 - 2,17x_1x_2 - 12,43x_2x_3 + 3,81x_2x_4 + 2,43x_3x_4 - 2,47x_1x_2x_4 + 2,36x_1x_2x_3 + 0,95x_1x_2x_3x_4. \quad (1)$$

Для перевірки адекватності отриманої моделі визначали за допомогою отриманих рівнянь регресії розрахункові значення відзиву (табл. 3.). Далі визначали дисперсію неадекватності і розрахункове значення F – критерію Фішера. Гіпотеза адекватності приймається, тому що розрахункове значення критерію $F=0,55$ менше значення $F_{таб.}=2,1$ при 5%-ом рівні значимості, і, отже, отримане аналітичне вираження з точністю 95% описує характер впливу обраних факторів на параметр оптимізації.

Вплив факторів визначимо за даними діаграми (рис 1.).

Аналізуючи діаграму, можна відзначити, що найбільше коефіцієнт варіації залежить від ексцентриситету установки розподільника відносно осі насіннепроводу (x_2) і довжини похилої ділянки (x_3). Помітний вплив співвідношення ексцентриситету установки розподільника і довжини похилої ділянки ($x_2 x_3$).

Таблиця 4 – Зіставлення експериментальних і розрахункових даних

Номер досліду	y_i експер.	y_i розр.	$ \Delta y $	Δy^2
1	68,06	68,40	-0,34	0,11
2	79,20	78,86	0,35	0,12
3	44,23	46,15	-1,91	3,67
4	43,75	41,84	1,90	3,62
5	95,53	96,14	-0,61	0,38
6	120,44	119,82	0,63	0,39
7	44,89	43,95	0,94	0,89
8	44,33	45,28	-0,95	0,91
9	44,12	43,50	0,62	0,38
10	56,67	57,30	-0,63	0,39
11	45,45	46,39	-0,94	0,89
12	58,56	57,61	0,95	0,91
13	110,51	110,18	0,34	0,11
14	110,40	110,75	-0,35	0,12
15	45,47	43,56	1,91	3,66
16	47,23	49,14	-1,90	3,63

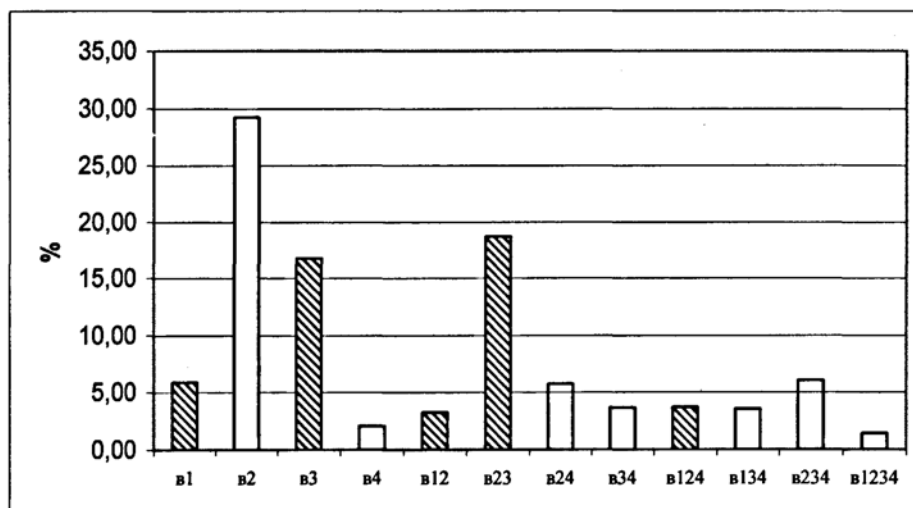


Рисунок 1 – Відносна сила впливу факторів і їхніх взаємодій (заштриховано для негативних коефіцієнтів, не заштриховано – для позитивних)

Вплив інших факторів на параметр оптимізації слабкий. Тому для подальшого вивчення доцільно відібрати два найбільш значимі фактори – ексцентриситет установки розподільника відносно осі насіннепроводу і довжину похилої ділянки.

Для визначення значення факторів, що забезпечують оптимальне значення коефіцієнта варіації, вирішували систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dy}{dx_1} = -3,9 - 2,17x_2 - 2,47x_2x_4 + 2,36x_3x_4 + 0,95x_2x_3x_4 \\ \frac{dy}{dx_2} = 19,44 - 2,166x_1 - 12,43x_3 + 3,81x_4 - 2,47x_1x_4 + 0,95x_1x_3x_4 \\ \frac{dy}{dx_3} = -11,17 - 12,43x_2 + 2,43x_4 + 2,36x_1x_4 + 0,95x_1x_2x_4 \\ \frac{dy}{dx_4} = 1,38 + 3,81x_2 + 2,43x_3 - 2,47x_1x_2 + 2,36x_1x_3 + 0,95x_1x_2x_3 \end{cases} \quad (2)$$

Вирішуючи систему рівнянь, визначили, що оптимальні значення параметрів після розкодування рівні: відстань від нижнього зрізу направляча до вершини розподільника $h=2,9$ мм; ексцентриситет установки розподільника відносно осі насіннепроводу $\varepsilon=0,8$ мм; довжина похилої ділянки $L_H=58,8$ мм; кут встановлення похилої ділянки до горизонталі $\alpha=23,6^\circ$.

Для подальших досліджень на підставі попередніх дослідів і пошукового багатофакторного експерименту методом ранжирування відібрали найбільш значимі фактори. Ними виявилися: форма розподільника насіння; ε – ексцентриситет установки розподільника відносно осі насіннепроводу, L_H – довжина похилої ділянки.

Через те, що форма розподільника насіння – якісний фактор, проводили два двофакторних експерименти. У першому експерименті (варіант 1) розподільник виконаний у виді тіла обертання з твірною у вигляді брахистохрони. В другому експерименті (варіант 2) розподільник виконаний у виді двосторонньої криволінійної призми. Діаметр твірного кола обох розподільників – постійна величина, що складає 20 мм. Інтервали і рівні варіювання факторів представлені в табл. 5.

Таблиця 5 – Інтервали і рівні варіювання

Показники	Кодоване значення	фактори	
		Довжина похилої ділянки розподільника, L_H , мм	Ексцентриситет установки розподільника відносно осі насіннепроводу, ε , мм
Верхній рівень	+1	60	10
Основний рівень	0	50	5
Нижній рівень	-1	40	0
Інтервал варіювання	Δx_i	10	5

Для кожного дослідів розрахована порядкова дисперсія S_{yi}^2 .

Розрахована величина критерію Кохрена для першого експерименту склала $G_{розр.1}=0,6481$, для другого $G_{розр.2}=0,4667$. Табличне значення критерію $G_{табл.}=0,768$ [7].

Дисперсія оцінок коефіцієнтів і середньоквадратична помилка відповідно рівні:

для першого експерименту $S_{bi}^2=0,011$; $S_{bi}=0,106$;

для другого експерименту $S_{bi}^2=0,845$; $S_{bi}=0,919$.

Довірчий інтервал коефіцієнтів регресії

для першого експерименту $\Delta b_i=0,244$;

для другого експерименту $\Delta b_i=2,123$.

Після порівняння абсолютних значень коефіцієнтів регресії з абсолютною величиною їхнього довірчого інтервалу незначущі коефіцієнти регресії в подальших розрахунках виключаємо. Таким чином, одержали рівняння регресії, що описує залежність коефіцієнта варіації від параметрів розподільника в закодованому вигляді:

для експерименту з роздільником у виді тіла обертання (1 -ий експеримент):

$$y=72,66-8,24x_1+22,46x_2-7,94x_1x_2; \quad (3)$$

для експерименту з роздільником у виді двосторонньої криволінійної призми (2-ий експеримент):

$$y=54,82-5,26x_1-8,40x_2. \quad (4)$$

Таблиця 6 – Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

Номер дослідів	x_0	x_1	x_2	x_1x_2	y
Експеримент 1					
1	+	+	+	+	78,94
2	+	-	+	-	83,57
3	+	+	-	-	49,89
4	+	-	-	+	50,49
Експеримент 2					
1	+	+	+	+	40,42
2	+	-	+	-	52,42
3	+	+	-	-	58,70
4	+	-	-	+	67,75

Для перевірки адекватності отриманої моделі визначали за допомогою отриманих рівнянь регресії розрахункові значення відзиву. Для першої моделі дисперсія неадекватності практично дорівнює нулю, модель адекватно описує характер впливу обраних факторів на параметр оптимізації. Гіпотеза адекватності для другої моделі також приймається, тому що розрахункове значення критерію $F=0,64$ менше значення $F_{табл.}=5,32$ при 5%-ому рівні значимості, і, отже, отримане аналітичне вираження з точністю 95% описує характер впливу обраних факторів на параметр оптимізації.

Рівняння регресії (3) і (4) вводили в ПЕОМ і за допомогою програми MathCAD визначали значення факторів, що забезпечують оптимальне значення коефіцієнта варіації. Мінімальне значення коефіцієнта варіації для першої моделі буде в тому випадку, коли фактори будуть мати значення $x_1=+1$ $x_2=-1$; у розкодованому виді $x_1=60\text{мм}$, $x_2=0\text{мм}$. Значення коефіцієнта варіації при цьому значенні факторів дорівнює 41,19%.

Таблиця 7 – Зіставлення експериментальних і розрахованих даних

Номер досліда	y_i експ.	y_i розр.	$ \Delta y $	Δy^2
Експеримент 1				
1	78,94	78,943	0,003	0,000009
2	111,3	111,305	0,005	0,000025
3	49,89	49,891	0,001	0,000001
4	50,49	50,498	0,008	0,000064
Експеримент 2				
1	40,42	41,161	0,741	0,549
2	52,42	51,684	0,766	0,587
3	58,7	57,966	0,734	0,539
4	67,75	68,490	0,740	0,548

Мінімальному значенню параметра оптимізації другої моделі відповідають значення факторів на рівні $x_1=+1$, $x_2=+1$; у розкодованому виді $x_1=60\text{мм}$, $x_2=10\text{мм}$. Значення коефіцієнта варіації в даному випадку дорівнює 41,16%.

Для використання рівнянь (3; 4) в інженерних розрахунках, представимо їх у розкодованому виді:

$$V = 51,7 - 0,03 \cdot L_H + 12,432 \cdot \varepsilon - 0,159 \cdot L_H \cdot \varepsilon, \quad (5)$$

$$V = 89,52 - 0,526 \cdot L_H - 1,68 \cdot \varepsilon. \quad (6)$$

Графічні залежності рівномірності розподілу насіння по ширині захвату сошника від довжини похилої ділянки й ексцентриситету установки представлені на рис. 2. і рис.3.

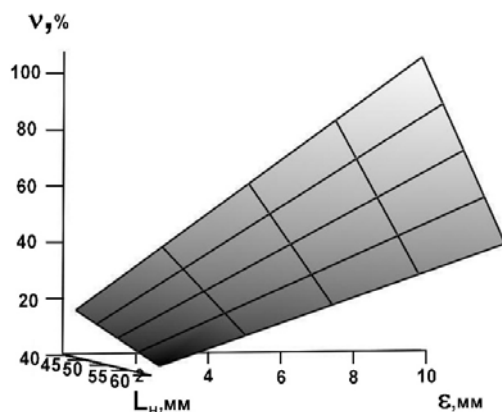


Рисунок 2 – Залежність рівномірності розподілу насіння по ширині захвату сошника V від довжини похилої ділянки – L_H і ексцентриситету установки дільника – ε . Розподільник у вигляді тіла обертання (варіант 1)

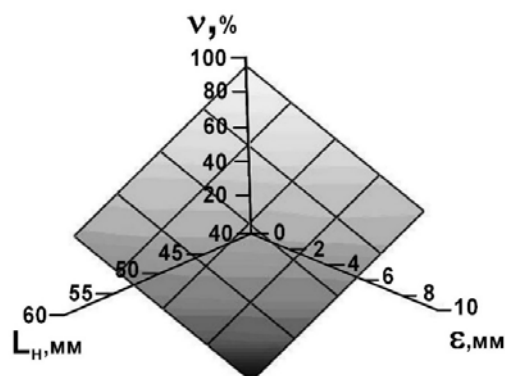


Рисунок 3 – Залежність рівномірності розподілу. Розподільник у вигляді тіла обертання (варіант 2)

Для аналізу отриманих моделей, представимо графічні залежності у виді проекцій поверхні на площину (рис. 4; рис. 5).

Провівши аналіз отриманих графічних залежностей, можна зробити наступні висновки.

Зі збільшенням довжини похилої ділянки нерівномірність розподілу насіння по ширині захвату сошника знижується, як для 1-го експерименту з розподільником, виконаним у вигляді тіла обертання з криволінійною твірною, так і для 2-го експерименту з розподільником, виконаним у виді двосторонньої криволінійної призми.

Коефіцієнт варіації знижується в першій моделі зі зменшенням ексцентриситету установки розподільника щодо осі насіннепроводу, для другої – зі збільшенням ексцентриситету установки.

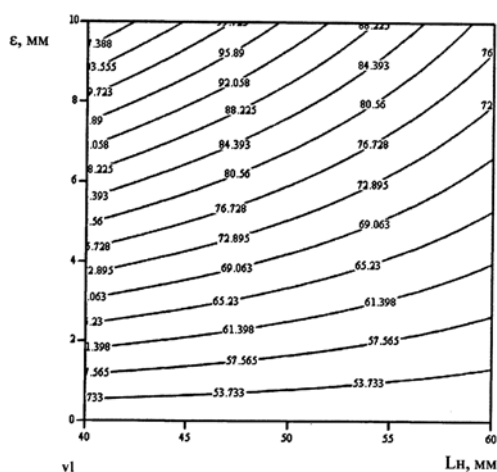


Рисунок 4 – Контурний графік 1-ої моделі

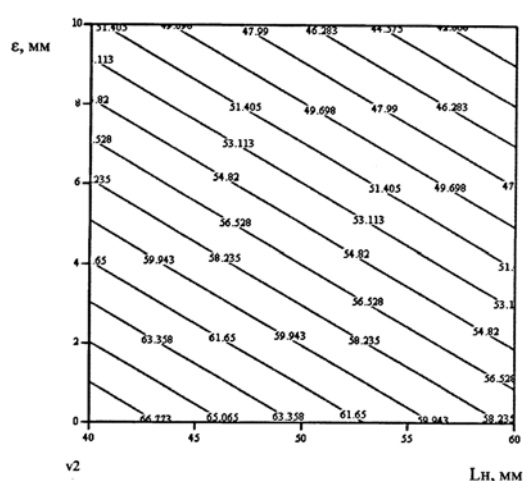
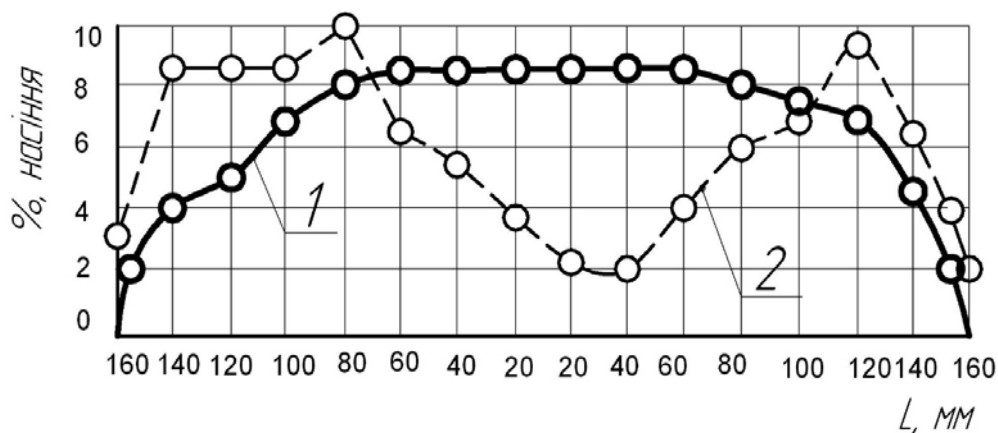


Рисунок 5 – Контурний графік 2-ої моделі

Порівнюючи значення коефіцієнта варіації в точках мінімуму отриманих аналітичних виразів, можна відзначити, що більш рівномірно насіння розподіляє розподільник, виконаний у виді двосторонньої криволінійної призми. Оптимальні значення досліджуваних факторів для другого експерименту знаходяться в інтервалах: $L=58...60$ мм, $\varepsilon=9...10$ мм, при цьому параметр оптимізації (V) буде складати 41...42%.

Розподіл насіння по ширині захвату сошника при обґрунтованому ексцентриситеті і без ексцентриситету представлений на рис. 6, з якого видно, що дійсно в середині смуги забезпечується рівномірний посів насіння при установці розподільника зі зсувом вперед (в напрямку руху сошника) відносно осі направляча.



1- з ексцентриситетом; 2- без ексцентриситетом

Рисунок 6 – Розподіл насіння експериментальним розподільником, який встановлено з ексцентриситетом і без ексцентриситету



Рисунок 7 – Експериментальний сошник

Лабораторні дослідження показали, що при ширині засівання сошником смуги 95...100 мм коефіцієнт варіації дорівнює:

- для насіння пшениці $V=31,88$.

Гістограми розподілу насіння зернових культур представлені на рис. 8. Таким чином, для польових досліджень вибираємо описаний вище сошник з комбінованим розподільником насіння і роздільником у виді двосторонньої криволінійної призми.

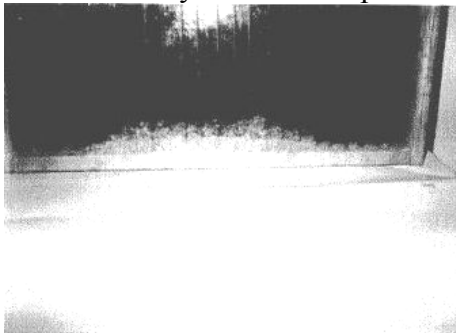


Рисунок 8 – Гістограма розподілу насіння пшениці експериментальним розподільником

Для підтвердження і перевірки правильності результатів експериментальних досліджень були проведені випробування сівалки у виробничих умовах на полях СТОВ «Старокотельнянське» Андрушівського району Житомирської області. Культура, що висівається – яра пшениця сорту "Миронівська 95", попередник – картопля. Норма висіву 200 кг/га або 3,5 млн. насінин/га.

Висновки. Значення довжини похилої ділянки вибране на підставі дальності і рівномірності розподілу насіння і складає 60 мм. Комбінований розподільник може розподіляти насіння зернових культур по ширині 95-100 мм. При проведенні двофакторних експериментів, встановлено, що кращими показниками розподілу насіння володіє комбінований розподільник виконаний у вигляді двосторонньої криволінійної призми. Розроблена конструкція сошника для підґрунтового-розкидного сівби насіння зернових культур з комбінованим розподільником насіння. У ході попередніх дослідів і пошукового багатофакторного експерименту уточнено рівняння лінійної регресії і визначені найбільш значимі фактори, що впливають на параметр оптимізації. При проведенні двофакторних експериментів, отримані рівняння лінійної регресії параметра оптимізації комбінованих розподільників від довжини похилої ділянки і величини ексцентриситету установки розподільника. На основі аналізу рівняння лінійної регресії рівнянь визначені раціональні конструктивні параметри комбінованих розподільників 1-го і 2-го варіантів. відстань від нижнього зрізу направляча до вершини розподільника $h=2,9$ мм; ексцентриситет установки розподільника відносно осі насіннєпроводу $\epsilon=0,8$ мм; довжина похилої ділянки $L_H=58,8$ мм; кут встановлення похилої ділянки до горизонталі $\alpha=23,6^\circ$. Встановлено, що кращою рівномірністю розподілу насіння володіє сошник з розподільником у вигляді двосторонньої криволінійної призми (варіант 2).

Список літератури

1. Герук, С. М. Не ігноруймо експериментальні сошники з комбінованим розподілювачем посівного матеріалу [Текст] / С. М. Герук, М. Л. Заєць // Журнал «Зерно і хліб». – 2013. – Вип. 2 (70). – С. 36–39.
2. Заєць, М. Л. Обґрунтування оптимальної величини ексцентриситету установки розподільника сошника для розкидного способу сівби сільськогосподарських культур [Текст] / М. Л. Заєць // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин Кіровоградського нац. тех. ун-ту. – 2008. – Вип. 38. – С. 87–91.
3. Заєць, М. Л. Обґрунтування швидкості надходження насіння в сошник для підґрунтового-розкидного способу посіву [Текст] / М. Л. Заєць // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Луцького держ. тех. ун-ту. – 2007. – Вип. 16. – С. 81–89.
4. Заєць, М. Л. Результати експериментальних досліджень сошника для розкидного способу сівби [Текст] / М. Л. Заєць // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : зб. тез. II Всеукраїнської наук.-практ. конф., 7-8 квітня 2016 р. : Житомир : ЖАТК, 2016 – С. 195–197.
5. Заєць, М. Л. Визначення швидкості руху насіння по розподільнику сошника для підґрунтового-розкидного способу сівби [Текст] / М. Л. Заєць, М. М. Живега // Збірник наукових праць. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К., 2015. – Вип. 226. – С. 307–315.
6. Заєць, М. Л. Удосконалення способу сівби зернових колосових культур [Текст] / М. Л. Заєць // Наукові читання – 2013 : наук.-теорет. зб. / ЖНАЕУ. – Житомир : ЖНАЕУ, 2013. – Т. 1. – С. 312–319.

Maxim Zaets, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

Parameters Optimization of Combined Valve for Seeds Coulter Sowing Subsoil, Variation Grain Crops

Receiving high and stable yields remains an urgent task of agricultural production. When cultivating crops, in particular grains, special attention should be paid to sowing, because the flaws allowed in its implementation can not be corrected, and one of the main characteristics of the sowing is the uniform distribution of plants in terms of feeding area.

We consider the determination of optimal shape of the distributor and the process of distribution of seeds combined distributor in the form of curved prisms. From the distributor form depends on the quality of seed distribution across the width of the strip that sown. The uniformity of seeds on the location Shovel width will be characterized by the speed of flow of seeds on a sloping plot distributor.

The value of the length of the slope is selected based on the range and uniformity of the distribution of the seed and is 60 mm. The combined distributor can distribute seeds of grain crops at a width of 95-100 mm. When conducting two-factor experiments, it was established that the best distribution index of seeds has a combined distributor made in the form of a two-way curvilinear prism. The design of the coulter for subsoil and spreading of seed of grain crops with a combined seed distributor is developed. During the previous experiments and the search multivariate experiment, the linear regression equations were specified and the most significant factors influencing the optimization parameter were determined.

speed, sowing, distributor, generators uniformity

Одержано 30.10.17

УДК 621.86.

В.М. Клендїй, канд. техн. наук, В.В. Гупка, асист., М.Д. Радик, асист., Н.М. Марчук, асп., Р.І. Котик, асп.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна, E-mail: oleglashuk@ukr.net

Обґрунтування параметрів запобіжних елементів технологічного оснащення для механічного оброблення

Приведена конструкція запобіжної муфти для захисту елементів приводів машин і технологічного оснащення від перевантаження та захисту інструментів від поломки. Виведені аналітичні залежності для визначення величини крутного моменту від різних факторів. Виражено осьовий момент інерції перерізу витка спіралі через його конструктивні параметри. Виведено залежність між коловою силою і силою пружини для пружинно-кулькових запобіжних пристроїв, яким являється розроблений патрон. Приведено розрахункову схему для визначення силових параметрів пари контакту кулька-лунка. Зображено залежність зміни крутного моменту від діаметра лунки при змінних значеннях радіуса кульки. **пружинно-кулькові запобіжні пристрої, силові параметри, механічна обробка деталей, технологічне обладнання, розрахункова схема, навантажувальна здатність**

В.М. Клендїй, канд. техн. наук, В.В. Гупка, асист., М.Д. Радик, асист., Н.М. Марчук, асп., Р.І. Котик, асп.

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина

Обоснование параметров предохранительных элементов технологической оснастки для механической обработки

Наведенная конструкция предохранительной муфты для защиты элементов приводов машин и технологической оснастки от перегрузки и защиты инструментов от поломки. Выведены аналитические зависимости для определения величины крутящего момента от различных факторов. Выражено осевой момент инерции сечения витка спирали через его конструктивные параметры. Выведена зависимость между круговой силой и силой пружины для пружинно-шариковых предохранительных устройств, которым является разработан патрон. Приведена расчетная схема для определения силовых параметров пары контакта шарик-лунка. Изображена зависимость изменения крутящего момента от диаметра лунки при переменных значениях радиуса шарика.

пружинно-шариковые предохранительные устройства, силовые параметры, механическая обработка деталей, технологическое оборудование, расчетная схема, нагрузочная способность

Постановка проблеми. Запобіжні пристрої служать для захисту елементів приводів машин та механізмів від дії перевантажень, а також інструментів від поломок. В небезпечний момент, при збільшенні величини крутного моменту вище допустимого значення, вони роз'єднують кінематичний ланцюг привода машини, запобігаючи таким чином руйнуванню робочих органів чи поломці привода. Відповідно, використання запобіжних пристроїв має важливе значення для сучасного верстатобудування. Затискні пристрої типу патронів мають значну сферу застосування у сучасному машинобудуванні в процесах механічного оброблення деталей, а саме у свердлильних та різьбонарізних операціях та інших. Як правило, для цього застосовують стандартні пристрої без підвищених вимог щодо точності обробки. Проте при розробленні нових затискних пристроїв доцільно забезпечувати розширення їх технологічних можливостей і підвищення чутливості системи спрацюванням.

На даний час розроблено безліч конструкцій запобіжних патронів, але кожен наступну конструкцію розробляють з метою підвищення технологічності, надійності, точності спрацювання або ж виконання певних обмежуючих функцій, що й було втілено у запропонованій конструкції кулькового запобіжного патрона.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями захисту ріжучих верстатів і технологічного обладнання від перевантаження і поломки ріжучих інструментів присвячені праці Полякова В.С. [1], Ряховського О.А. [2], Малашина В.О. [3], Павлище В.Т. [4], Решетова Д.Н. [5], Тепинкичєва В.К. [6], Іванова І.А. [7], Еліха Л.Б. [8], Анурьєва В.И [9], Рогатинського Р.М. [10] та багатьох інших. Однак цілий ряд питань захисту від перевантажень як верстатів, так і ріжучих інструментів потребують свого дослідження.

Для більшості обладнання, його механізмів, деталей і ріжучих інструментів характерна робота в умовах змінних режимів навантаження. Система діючих навантажень має різну структуру залежно від послідовності, порядку і кількості різних технологічних операцій, переходів, робочих і холостих ходів, форми поверхні оброблюваної деталі, різноманітних силових дій, тобто формується під дією періодичних і випадкових факторів.

Виклад основного матеріалу. Розроблена конструкція кулькового запобіжного патрона (рис.1) виконана у вигляді пустотілого циліндра 1 з хвостовиком 2 до якого він жорстко прикріплений. З правого кінця пустотілого циліндра виконана циліндрична виточка 3, яка є у взаємодії з верхньою циліндричною втулкою 4 з можливістю кругового провертання і осьового переміщення на величину радіуса кульок 5, які встановлені в радіусні виїмки 6 правого торця верхньої циліндричної втулки.

У верхній циліндричній втулці 4 з правого торця виконано 3...4 сферичні виїмки 7, які розміщені рівномірно по колу і в які встановлені кульки 5, які з другої сторони є у взаємодії з відповідними сферичними виїмками 7, які виконані в циліндричній частині 8 хвостовика 2.

Всередині циліндричного пустотілого корпусу 1 по центру торця хвостовика 2 встановлено циліндричний вал 9 на якому встановлена квадратна пружина 10, верхній кінець якої є у жорсткій взаємодії з верхньою циліндричною втулкою 4, а нижній відігнутий кінець 11 квадратної пружини 10 є паралельним до осі патрона і є у взаємодії з боковим квадратним отвором 12 нижньої циліндричної втулки 13. Крім цього між лівим торцем кришки 14 циліндричного корпусу 1 і нижньою циліндричною втулкою 13 встановлена регулювальна гайка 14, яка є у взаємодії з внутрішнім різьбовим отвором, крім цього знизу гайки виконані осьові отвори для взаємодії з регулювальною гайкою 14.

Запобіжний патрон ріжучих інструментів виконано з циліндричного корпусу, хвостовика, пружини кручення, елементів базування і закріплення різальних інструментів, ведучих і ведених елементів, які підпружинені між собою для передачі крутного моменту і механізму його регулювання, він відрізняється тим, що внутріциліндричного пустотілого корпусу з лівого торця встановлено верхню циліндричну втулку з можливістю кругового і осьового переміщення на величину радіуса кульки, яка є у взаємодії з циліндричною виточкою циліндричної втулки, при цьому з правого торця верхньої циліндричної втулки виконано, наприклад, чотири сферичних виїмки, які розміщені рівномірно по колу і які є у взаємодії з кульками, які з другого торця є у взаємодії з аналогічними сферичними втулками, які розміщені на циліндричному виступі знизу хвостовика, на якому по центрі лівого торця жорстко встановлено циліндричний вал, в пустотілому циліндричному корпусі і по довжині якого встановлена регулювальна квадратна пружина, верхній кінець якої жорстко закріплено до верхньої циліндричної втулки, а нижній відігнутий кінець пружини є паралельним до осі патрона і є у взаємодії з боковим осьовим квадратним отвором нижньої циліндричної втулки, крім цього між лівим торцем кришки циліндричного корпусу і нижньою циліндричною втулкою встановлена регулювальна гайка, яка є у взаємодії з внутрішнім різьбовим отвором, крім цього знизу гайки виконані осьові отвори для взаємодії з регулювальною пружиною відомої конструкції (на кресленні не показано).

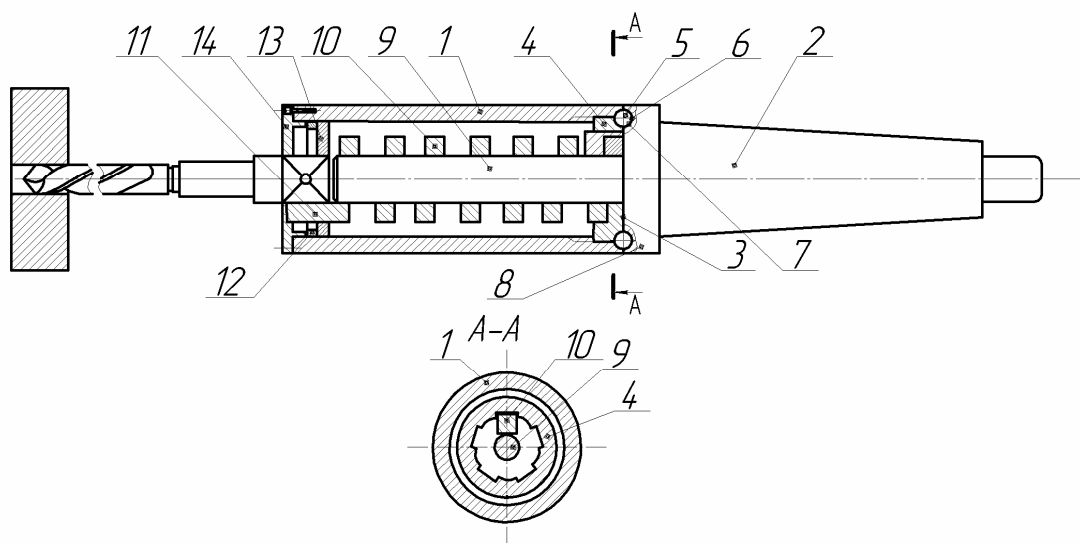


Рисунок 1 – Загальний вигляд запобіжного патрона

У загальному випадку залежність між жорсткістю та моментом, що сприймає пружина, можна виразити через кут її закручення [1]

$$T = C\varphi. \quad (1)$$

Для пружин, що працюють на кручення (як у нашому випадку), кут закручування під дією моменту визначають за формулою [1]

$$\varphi = \frac{T\pi d_c i}{EI_o}, \quad (2)$$

де d_c – середній діаметр пружини;

i – кількість витків пружини;

E – модуль пружності матеріалу пружини;

I_o – осьовий момент інерції перерізу витка.

Прирівнявши отримані залежності, отримаємо формулу для визначення діаметра спіралі після деформації

Визначити осьовий момент інерції перерізу витка спіралі через його конструктивні параметри можемо:

$$\varphi = \frac{12T\pi d_c i}{Eb h^3}, \quad (3)$$

де b , h – відповідно ширина і висота січення пружини, які визначають її жорсткість.

Залежність між коловою силою і силою пружини, згідно [2], для пружинно-кулькових запобіжних пристроїв, яким являється розроблений патрон, є наступною

$$P_{np} = P_k (tg(\alpha - \rho) - Df/d), \quad (4)$$

де α – кут між напрямком дії колової сили і нормаллю від точки контакту кульки з поверхнею лунки;

ρ – зведений кут тертя в парі контакту кулька-лунка;

D – діаметр кола на якому розміщенні кульки;

d – діаметр вала на якому розміщена циліндрична втулка із кульками

f – коефіцієнт тертя між поверхнями вала і циліндричної втулки.

Навантаження крутним моментом на пару контакту пружина-кулька-лунка буде рівне

$$T = P_k R, \quad (5)$$

де P_k – колова сила;

R – відстань від центра патрона до точки контакту кульки з лункою.

Силу дії пружини можна представити залежністю

$$P_{np} = C(\Delta'_o + \Delta_n), \quad (6)$$

де Δ'_o – попередня деформація (підтиск) пружини;

Δ_n – поточна деформація пружини.

Тоді з урахуванням залежності (4) значення колової сили можна визначити з рівності

$$P_k = \frac{C(\Delta'_o + \Delta_n)}{tg(\alpha - \rho) - Df/d}. \quad (7)$$

Після відповідної заміни, з урахуванням залежності (7), формулу (5) можна представити у наступному вигляді

$$T = \frac{RC(\Delta'_o + \Delta_n)}{tg(\alpha - \rho) - Df/d}. \quad (8)$$

З розрахункової схеми (рис.2) видно, що в процесі спрацювання патрона в запобіжному режимі відбувається зміна кута між напрямком дії колової сили і нормаллю від точки контакту тіла кочення з півкруглою поверхнею лунки.

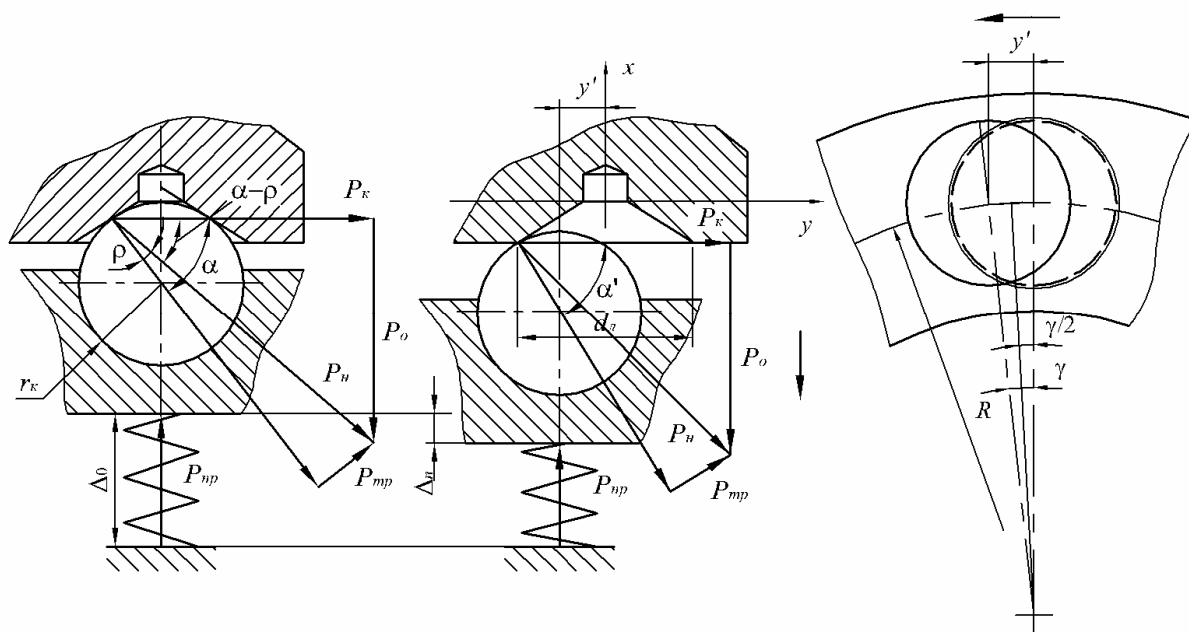


Рисунок 2 – Розрахункова схема для визначення силових параметрів пари контакту кулька-лунки

Зміщення кульки відносно лунки на кут γ , на який повертається хвостовик патрона відносно іншої його частини, у якій закріплено інструмент (при перевантаженні), можна визначити згідно схеми (рис.2)

$$y' = 2R \sin \gamma/2. \quad (9)$$

Згідно розрахункової схеми зміну кута α можна представити наступною залежністю

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{d_l - y'}{r_k}\right), \quad (10)$$

де d_l – діаметр лунки;

r_k – радіус кульки.

З врахування рівності (9) залежність (10) можна представити у вигляді

$$\alpha' = \arccos\left(\frac{d_l - 2R \sin \gamma/2}{r_k}\right), \quad (11)$$

Відповідно навантаження крутним моментом на пару контакту кулька-лунка можна знайти за наступною залежністю

$$T = \frac{C(\Delta'_o + \Delta_n)}{\operatorname{tg}\left(\arccos\left(\frac{d_l - 2R \sin \gamma/2}{r_k}\right) - \rho\right) - Df/d}. \quad (12)$$

Для проведення аналізу впливу конструктивних параметрів на характер і зміни крутного моменту T , при змінних значеннях діаметра лунки, було проведено розрахунок залежності (12). На основі результатів розрахунків побудовані графічні залежності крутного моменту $T=f(d_l)$ при змінних значеннях радіуса кульки r_k (рис.3).

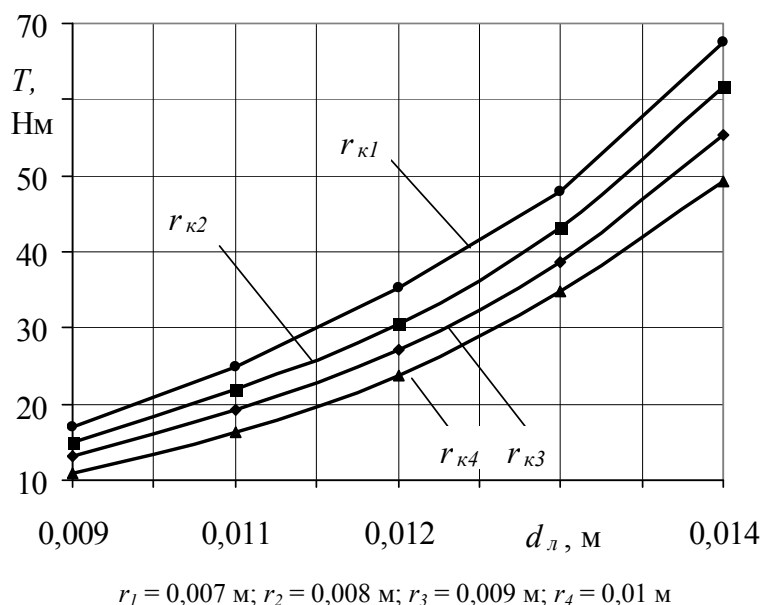


Рисунок 3 – Залежність зміни крутного моменту від діаметра лунки при змінних значеннях радіуса кульки

З даних графічних залежностей можна зробити висновок, що при збільшенні діаметра лунок крутний момент T зростає. Проте збільшення радіуса кульок r_k призводить до зменшення навантажувальної здатності. Дане припущення досліджувалось статично, але очевидно це пояснюється зменшенням глибини зачеплення кульки з лункою, що й спричинятиме спрацювання патрону у запобіжному режимі при менших значеннях крутного моменту.

З метою забезпечення стабільної передачі крутного моменту доцільно підбирати конструктивні значення радіуса кульки і діаметра лунки у співвідношенні $r_k/d_{л} = 0,6 \dots 0,8$. Відхилення від даного співвідношення спричинить зменшення навантажувальної здатності пристрою або ж унеможливить його спрацювання у запобіжному режимі. Однак вибір його раціональних значень можна провести лише після серії експериментальних досліджень.

Висновки. На основі проведених теоретичних досліджень можна зробити наступні висновки:

- розроблений запобіжний патрон може мати застосування у процесах механічного оброблення деталей, а саме у свердлильних, різьбонарізних та інших операціях;
- виведені аналітичні залежності для визначення зміни величини крутного моменту від конструктивно-силових параметрів пар контакту, які можна використати при проектуванні аналогічних запобіжних пристроїв із різною навантажувальною здатністю.

Список літератури

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3^х томах [Текст] / В.И. Анурьев. – М.: Машиностроение, 1979-1982. – 728 с.
2. Иванов, Е.А. Муфты приводов [Текст] / Е.А. Иванов. – М.: Машгиз, 1959.
3. Малащенко, В.О. Муфты приводів. Конструкції та приклади розрахунку. Навчальний посібник [Текст] / В.О. Малащенко. – Львів: «Львівська політехніка», 2006. – 196 с.
4. Павлище, В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] / В.Т. Павлище. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с.

5. Поляков, В.С. Справочник по муфтах [Текст] / В.С. Поляков, И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
6. Решетов, Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков [Текст] / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1972.
7. Рогатинський, Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ, 2014.
8. Ряховский, О.А. Справочник по муфтах [Текст] / О.А. Ряховский, С.С. Иванов. – Л.: Политехника, 1991. – 383 с.
9. Тепинкичев, В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков [Текст] / В.К. Тепинкичев. – М.: Машиностроение, 1968. – 109 с.
10. Эрмих, Л.Б. Справочник машиностроителя. Том 4. Предохранители от перегрузки [Текст] / Л.Б. Эрмих. – М.: Машгиз, 1955.

Volodymyr Klendii, PhD tech. sci., Vasyl Gupka, assist., Maria Radyk, assist., Nazar Marchuk, post-graduate, Roman Kotyk, post-graduate

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Justification Parameters Safety Elements of Technological Equipment to the Machining

The design of a safety coupling for protection of elements of drives of cars and technological equipment from an overload and protection of tools from a breakage is resulted.

The analytical dependences for determination of torque value from different factors are deduced. The axial moment of inertia of the spiral circle is expressed due to its design parameters. The relationship between the force of the knee and the force of the spring for the spring-ball precautions, which is the developed cartridge, is derived.

The calculation scheme for determining the power parameters of the pair of ball-hole contact is given. The dependence of the torque variation on the diameter of the hole is shown with variable values of the radius of the ball.

spring-ball safety device, power parameters, mechanical processing of parts, technological equipment, calculation scheme, loading capacity

Отримано 30.10.17

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

Ю.О. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, І.О. Лісовий, канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

E-mail: temp@eml.ua

Особенности застосування поверхневої лазерної обробки деталей сільськогосподарських машин з чавуну

Проаналізовано внутрішні процеси в результаті впливу лазерного випромінювання на поверхню деталей сільськогосподарської техніки з чавуну. Визначено залежність мікротвердості досліджуваних зразків від потужності лазерного випромінювання. Відмічено, що збільшення швидкості обробки призводить до помітного зниження середніх значень мікротвердості чавуну. Досліджено, що поєднання лазерної обробки із подальшим поверхневим пластичним деформуванням може забезпечити значне підвищення зносостійкості деталей із чавуну.

метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, чавун, зносостійкість, деталі сільськогосподарської техніки

© Ю.О. Ковальчук, І.О. Лісовий, 2017

Ю.А. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, И.А. Лисовый, канд. техн. наук

Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина

Особенности применения поверхностной лазерной обработки деталей сельскохозяйственных машин из чугуна

Проанализированы внутренние процессы в результате влияния лазерного излучения на поверхность деталей сельскохозяйственной техники из чугуна. Определена зависимость микротвердости исследуемых образцов от мощности лазерного излучения. Отмечено, что увеличение скорости обработки приводит к заметному снижению средних значений микротвердости чугуна. Исследовано, что объединение лазерной обработки с дальнейшим поверхностным пластическим деформированием может обеспечить значительное повышение износостойчивости деталей из чугуна.

метод поверхностной лазерной обработки, лазерное упрочнение, закаливание, чугун, износостойкость, детали сельскохозяйственной техники

Постановка проблеми. Нині питання покращення механічних властивостей та збільшення ресурсу виробітку деталей сільськогосподарської техніки не втрачає своєї актуальності перед виробниками сільськогосподарських машин.

Значна частина деталей даної техніки виготовляється з чавуну. Зокрема, з даного сплаву можуть виготовлятися такі елементи двигунів, як блоки циліндрів та їх головки і гільзи, втулки та днища кришок циліндрів, поршні та поршневі кільця, шатуни, випускні колектори та інші. Також з чавуну можуть виготовлятися колінчасті й розподільні вали, різноманітні махові та зубчасті колеса, шків, корпуси редукторів, насосів та підшипників, опорні ролики, тормозні диски, корпуси електродвигунів, кронштейни, шестерні та інші деталі.

Поверхнева лазерна обробка є одним із методів покращення характеристик деталей сільськогосподарської техніки із чавуну, що характеризується високим вмістом вуглецю, не менше 2,14%, що може забезпечити значне підвищення міцності, а при правильному виборі марки чавуна, режимів застосування лазерного випромінювання та подальшій обробці зміцнених зразків – ще й підвищення пластичності, ударної в'язкості та зносостійкості матеріалу.

В результаті одних досліджень робляться висновки про незначне підвищення міцності та зносостійкості зміцнюваних лазерним випромінюванням сплавів, в інших дослідженнях наводяться результати про значне підвищення міцності матеріалу, але незадовільні показники його зносостійкості. Але мають місце численні, на жаль, також несистемні дослідження, що вказують як на значне підвищення міцності, так і на значне підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин.

Це пояснюється тим, що різні дослідження виконуються за різних умов лазерної обробки. Не відбувається їх узагальнення і систематизації.

Тому системне дослідження впливу лазерного випромінювання на зміцнювану поверхню матеріалу на даний момент є актуальним та важливим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуючі дослідження лазерної обробки різноманітних деталей сільськогосподарської техніки [1-5] у нас в державі носять локальний характер, оскільки потребують теоретичних та експериментальних досліджень як на відповідних лазерних установках та комплексах, так і практичного визначення результатів і на спеціальних стендах та обладнанні, і в полі. Все це вимагає чималого фінансування, яке, фактично, відсутнє. Сучасні спроби теоретичних та практичних досліджень даного питання лазерної обробки проводились також вченими за кордоном [6-10], але в недостатній мірі.

Найбільш широкі дослідження впливу лазерного випромінювання на характеристики чавуну було здійснено, зокрема, А.Г. Григорьянцем в праці [6], де розкривались особливості внутрішніх перетворень в даному сплаві під дією лазерного

променю та вплив деяких параметрів процесу лазерної обробки на отримувані характеристики чавунів.

Останнім часом питання впливу лазерного зміцнюючого випромінювання на чавун розглядались, зокрема, П.А. Огіним, що досліджував структуру й властивості зон перекриття під час лазерної обробки [7] та підвищення експлуатаційних характеристик деталей із чавуна шляхом застосування оптоволоконного лазера [10]. Дослідженням різних аспектів лазерного зміцнення колінчатих валів із чавуну активно займався О.С. Завойко [5].

Вказані вище та багато інших досліджень в абсолютній більшості носять несистемний характер. Питання узагальнення та систематизації різноманітних окремих досліджень залишається до кінця невирішеним. Також недостатньо досліджений вплив окремих параметрів процесу лазерного зміцнення на міцність та, що особливо важливо, зносостійкість чавунів. Невирішеним залишається питання дослідження можливих комбінованих методів зміцнення чавуну із застосуванням лазерної обробки.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення впливу лазерної зміцнюючої обробки на структуру і властивості чавунів для покращення експлуатаційних характеристик відповідних деталей сільськогосподарської техніки.

Виклад основного матеріалу. Чавун характеризується всіма традиційними для нього якостями, зокрема має високі показники міцності, гарні ливарні властивості та піддається механічній обробці.

Для ефективного застосування лазерного зміцнення зразків із чавуну потрібно мати знання всіх тих механізмів, що забезпечують досягнення певного рівня властивостей при зміні структурних параметрів. Розуміння механізму зміцнення чавуну дозволяє отримати необхідний рівень міцності і зносостійкості та, у той же час, одержувати оптимальне поєднання механічних властивостей чавуну з погляду економічної ефективності процесу зміцнення.

Відомо, що якість лазерної обробки сильно залежить від режимів, в яких відбувається зміцнення відповідних поверхонь. Їх вплив, зокрема, на середні значення мікротвердості поверхневих шарів чавуну може бути різним.

Важливу роль відіграє правильний підбір марки чавуну. Більш технологічними є чавуни із дрібними вклученнями пластинчастого графіту, оскільки графіт у них при оплавленні розчиняється в більшій мірі, чим в чавунах з компактною формою графіту (високоміцних і ковких). Особливо це помітно при обробці з оплавленням імпульсним випромінюванням, а також безперервним випромінюванням невеликої потужності.

Чавун у порівнянні зі сталлю в результаті лазерної обробки має значно вищі показники міцності та, за умови подальшої спеціальної обробки, може мати гарні показники зносостійкості.

Як і при лазерному зміцненні сталей, в чавунах можна виділити зону оплавлення і зону гартування з твердої фази. Третій шар – перехідна зона, або зона відпуску, – в чавунах виявляється рідко; в цьому випадку зона термічного впливу (ЗТВ) складається лише із зони гартування з твердої фази.

При обробці з оплавленням графіт розчиняється в розплаві і після охолодження в зоні оплавлення формується структура білого чавуну, тобто затвердіння відбувається за метастабільною діаграмою залізо – вуглець без виділення вільного графіту. При високій швидкості охолодження загальна закономірність кристалізації білих чавунів може змінюватися.

У доєвтектичному чавуні кристалізація починається із виділення первинних зерен аустеніту, потім при температурі 1147°C відбувається утворення евтектики – ледебуриту. Як видно на рис. 1, а [6], в структурі зони оплавлення важко виділити надлишкові кристали аустеніту; в ній міститься дрібнодисперсна суміш аустеніту і

цементиту, що має дендритну будову. Очевидно, через високу швидкість охолодження кристалізація надлишкового аустеніту пригнічується і весь розплав твердне квазіевтектично з утворенням квазіледебуриту. Квазіевтектичній кристалізації доевтектичних чавунів сприяє вирівнювання концентрації кремнію в зоні оплавлення, що призводить до зміщення евтектичної точки на діаграмі вліво.

Після обробки безперервним CO₂-лазером сірого чавуну кількість аустеніту в зоні оплавлення коливається в межах 25...65%, цементиту – 10...45%, а α -Fe – 5...50%. При цьому зі збільшенням швидкості обробки кількість α -Fe збільшується, а γ -Fe – зменшується. Наявність в ЗЛВ α -Fe пов'язано з частковим перетворенням аустеніту в процесі гартування в мартенсит. Присутність графіту в зоні оплавлення обумовлено його неповним розчиненням, а також надходженням з нижніх шарів розплаву при спливанні графітових включень. Це призводить не тільки до деякого зниження мікротвердості, а й до утворення включень і пор біля самої поверхні. Найбільша кількість пор утворюється при високих швидкості обробки і щільності потужності випромінювання.

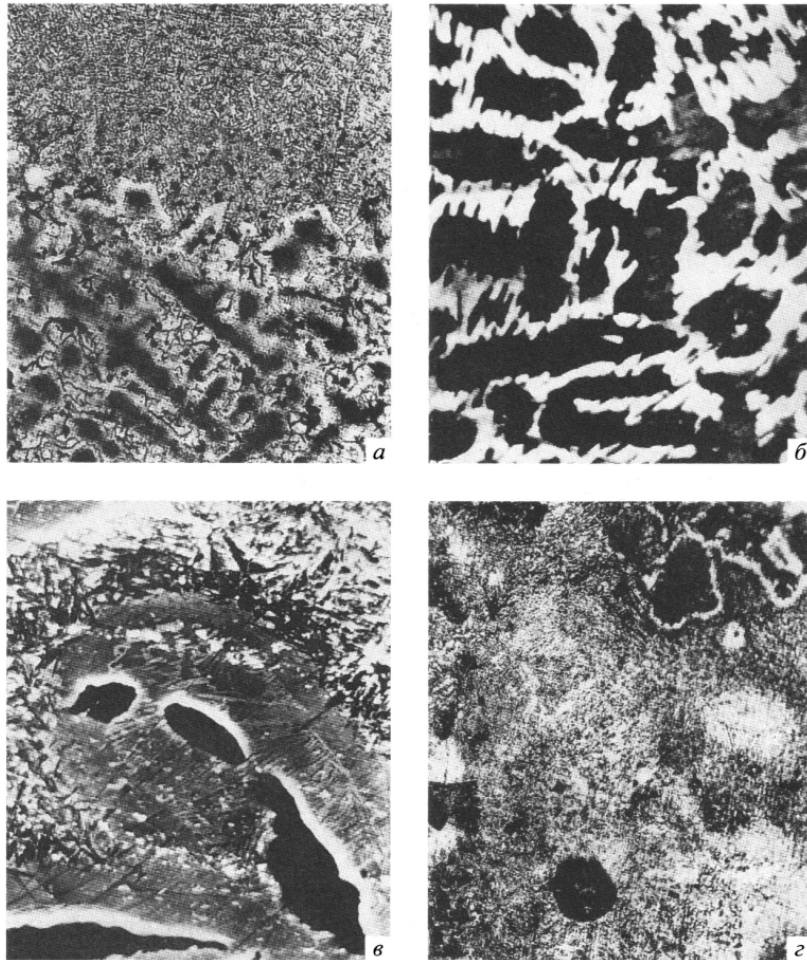
Для зменшення пороутворення в ряді випадків перед лазерною обробкою рекомендується попереднє вакуумування деталей, в результаті чого кількість газу, сорбованого графітом, зменшується. Однак це значно ускладнює процес. Більш простим прийомом для зменшення кількості пор в зоні оплавлення є зниження щільності потужності випромінювання і швидкості обробки. У цьому випадку небезпека утворення тріщин, які є поширеним видом дефектів при обробці з оплавленням, також зменшується. Однак при глибині оплавленого шару більше 0,5 мм навіть при малій швидкості обробки утворення тріщин в чавунах знову може посилитися.

Мікротвердість в зоні оплавлення чавуну марки ВЧ60-2 становить 8000...11000 МПа, СЧ24-44 – 7400...10000 МПа, сірого низьколегованого – 6500...8500 МПа, а КЧ35-10 – 6000...8000 МПа.

Зона гарту з твердої фази відрізняється дуже неоднорідною структурою. Нижче лінії оплавлення знаходиться світла смуга шириною 10...20 мкм, що свідчить про те, що тут мало місце значне насичення матриці вуглецем з графітних включень. Через ефект «контактного плавлення» межа між зоною оплавлення і ЗТВ в чавунах дуже нерівна. Ефект полягає в тому, що металева або феритна матриця близько графітних включень насичується вуглецем, в результаті чого температура її плавлення знижується. З цієї ж причини у верхній частині ЗТВ матриця навколо графіту оплавляється і насичується вуглецем. Ступінь насичення на різній відстані від графіту різний, тому в міру віддалення від графітних включень спостерігається гамма структур (рис. 1, в). Близько графіту утворюється світлий шар ледебуриту, далі – шар аустеніту, і, нарешті, – аустенітно-мартенситна голчата структура. При малих розмірах пластин графіт може повністю розчинитися і ледебуритна структура може бути відсутня.

У середній і нижній частинах ЗТВ насичення вуглецем до аустенітної і аустенітно-мартенситної структури може відбуватися і без оплавлення (рис. 1, г). Мікротвердість цих ділянок також різня: з аустенітною і аустенітно-мартенситною структурою – 6400...6770 МПа, а з цементитною і ледебуритною структурою – 10000...12000 МПа. Утворення цементитних прошарків може бути причиною окрихчування.

У нижній частині ЗТВ, де насичення матриці з графіту дуже незначне, в структуру входять мартенсит і залишковий аустеніт. Біля границі з вихідним металом процес аустенітизації перліту при нагріванні не встигає завершитися, тому там є нерозчинені частинки цементиту. Оскільки твердий розчин ненасичений вуглецем, мікротвердість знижується до 6700 МПа і навіть до 3500...4100 МПа.



а – зона оплавлення і ЗТВ сірого чавуну (х300); *б* – зона оплавлення (х3600);
в – верхня частина ЗТВ (х630); *г* – нижня частина ЗТВ чавуну ВЧ50-1,5 (х250)

Рисунок 1 – Мікроструктура ЗЛВ сірих чавунів

Вплив режимів обробки на середні значення мікротвердості в зоні оплавлення може бути різним. Як видно з рис. 2, при збільшенні потужності випромінювання від 0,5 до 1,5 кВт мікротвердість значно зростає [6]. Відбувається це внаслідок прискорення розчинення графіту, зменшення кількості мікропор і збільшення кількості ледеburиту. Подальше підвищення потужності призводить до певного зниження мікротвердості, так як в цьому випадку графіт майже повністю розчиняється, відбувається насичення аустеніту вуглецем, зменшення частки мартенситу і збільшення частки залишкового аустеніту внаслідок зменшення швидкості охолодження. Також зменшується вміст цементиту внаслідок знеуглецьовування.

Крім цього, необхідно враховувати, що збільшення швидкості обробки призводить до помітного зниження середніх значень мікротвердості чавуну [4].

Зміцнювати чавуни слід при невисокій щільності потужності і невеликій швидкості обробки.

В даній роботі відмічалось, що лазерна обробка може забезпечити високий рівень міцності деталей із чавуну, а за умови подальшої обробки можна досягти ще й, що є головним в даному процесі, гарних показників опору втомі та зносостійкості оброблювальних зразків.

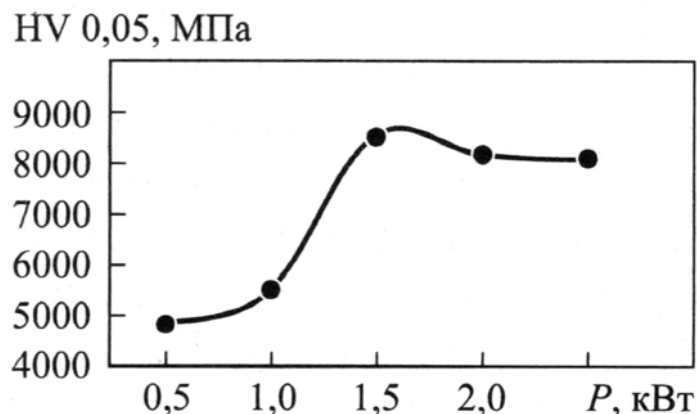


Рисунок 2 – Залежність мікротвердості на поверхні зони оплавлення сірого чавуну від потужності лазерного випромінювання

Одним із варіантів подальшої обробки виробів із чавуну, зміцнених лазерним випромінюванням, є поверхневе пластичне деформування (ППД). Наприклад, поєднання лазерної обробки з ППД обкочуванням роликми забезпечує суттєве (в рази) підвищення зносостійкості при достатньому рівні опору втомі чавунних колінчастих валів потужних дизельних двигунів [3].

Після лазерного зміцнення ППД створює високий рівень стискувальних залишкових напружень у зразках, приводить до більш рівномірного розподілу їх по довжині зміцненої поверхні та забезпечує внаслідок цього значне підвищення опору втомі відповідних зразків.

Досліди показують, що зміцнення валів шляхом поєднання ППД із попередньою лазерною обробкою, порівняно, наприклад, із попереднім гартуванням струмами високої частоти чи електроіскровим легуванням, є найбільш ефективним способом обробки, що забезпечує високу зносостійкість поверхні деталей при одночасному підвищенні опору втомі [3].

Висновки. Отже, чавун, що використовується вітчизняними виробниками деталей сільськогосподарської техніки, може ефективно оброблятися лазерним випромінюванням, що, в свою чергу, може забезпечити значне підвищення експлуатаційних характеристик відповідних виробів та надасть змогу у певних випадках зручно замінити чавуном значно дорожчі сталі.

У випадку визначення впливу лазерного випромінювання CO_2 -лазера на зразки із чавуну для ефективного дослідження доцільно в експериментах застосовувати потужність лазерного випромінювання, зокрема, на рівні 1,5 кВт.

Поєднання лазерної обробки із подальшим поверхневим пластичним деформуванням може забезпечити значне підвищення зносостійкості та опору втомі зразків із чавуну.

Підтримка даних досліджень з боку держави дозволить забезпечити розробку та активне впровадження у виробництво широкої номенклатури технологій лазерного зміцнення деталей сільськогосподарських машин, виготовлених, зокрема, із чавуну.

Список літератури

1. Черненко, В.С. Променеві методи обробки [Текст] : Навч. посібник / В.С. Черненко, М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка. – К.: Кондор, 2008. – 166 с.

2. Бобрицький, В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
3. Пашкова, Г.І. Підвищення працездатності чавунних колінчастих валів потужних транспортних дизелів комбінованими методами зміцнення [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / Г.І. Пашкова. – Х., 2008. – 24 с.
4. Ковальчук, Ю.О. Лазерна обробка деталей сільськогосподарської техніки з чавуну [Текст] / Ю.О. Ковальчук, В.В. Кравченко, Р.В. Оляднічук // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2017. – Вип. 5. – С. 92–99.
5. Завойко О.С. Дослідження лазерного зміцнення колінчастих валів та механіко-термічної обробки при руйнуванні на втому та знос [Текст] / О. С. Завойко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 4. – С. 846–855.
6. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] : Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. ; под ред. А.Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
7. Огин, П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов [Текст] / П.А. Огин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 2 (32-2). – С. 130–135.
8. Бирюков, В.П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой [Текст] / В.П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 256–264.
9. Буханова, И.Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения [Текст] / И.Ф. Буханова, В.В. Дивинский, В.М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 264–270.
10. Огин, П.А. Повышение эксплуатационных характеристик деталей из чугунов с применением закалки оптоволоконным лазером [Текст] / П.А. Огин // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. Серия «Технические науки». – 2015. – № 12 (55). – С. 55–58.

Yuriy Kovalchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Lisoviy, PhD tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Features of the Using the Surface Laser Treatment of Agricultural Machinery Parts From Cast Iron

Determine the effect of laser treatment on the structure and properties of cast iron for improving the operational characteristics of the relevant agricultural machinery parts is the goal of the work.

Internal processes as a result of the effect of laser radiation on the surface of samples from cast iron are analyzed. The dependence of the microhardness of the investigated samples on the laser radiation power is determined. Increasing the processing speed leads to a noticeable decrease in the average values of the microhardness of the cast iron. Combining laser treatment with further surface plastic deformation can provide a significant increase in wear resistance of parts from cast iron.

Cast iron can be effectively processed by laser radiation, which will ensure high performance characteristics of the relevant agricultural machinery parts.

method of surface laser treatment, laser hardening, tempering, cast iron, wear resistance, agricultural machinery parts

Одержано 09.11.17

УДК 631.354

І. О. Леженкін, канд. техн. наук

*Таврійський державний агротехнологічний університет, м. Мелітополь, Україна,
E-mail: energo@tsatu.edu.ua*

Теоретичний аналіз умов проходження зернівки крізь шар обчісаного вороху зернових

У статті розглянуто побудову математичної моделі ймовірності проходження зернівки крізь шар обчісаного вороху зернових, а також проведено аналіз отриманої моделі.

математична модель, ймовірність просіювання, обчісаний ворох, зернівка, сепарація, сегрегація

И. А. Леженкин, канд. техн. наук

Таврический государственный агротехнологический университет, г. Мелитополь, Украина

Теоретические анализ условий прохождения зерновки через слой очесанного вороха зерновых

В статье рассмотрено построение математической модели вероятности прохождения зерновки через слой очесанного вороха зерновых, а также проведен анализ полученной модели.

математическая модель, вероятность просеивания, очесанный ворох, зерновка, сепарация, сегрегация

Постановка проблеми. Як відомо, найбільш ефективним методом збирання зернових культур є обчісування їх на корені та доробка обчісаного вороху на стаціонарі [1, 2, 3].

Це дозволяє зменшити втрати зерна при збиранні [4] та знизити енерговитрати на збиральний процес [5]. Однак впровадження цієї технології стримується відсутністю технічних засобів сепарації обчісаного вороху.

Такий стан речей створює народногосподарську проблему, сутність якої полягає в низькій техніко-економічній ефективності виконання технологічного процесу сепарації обчісаного вороху зернових колосових існуючими технічними засобами.

Для обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючого робочого органу необхідно провести теоретичні дослідження процесу сепарації обчісаного вороху зернових.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метод обчісування рослин на корені розглянуто у фундаментальній роботі проф. Шабанова П. А. [6]. Обчісуючі робочі органи обґрунтовані у роботах [7, 8, 9]. Але питання сепарації розглянуті не в достатній мірі.

Постановка завдання. Побудувати математичну модель просіювання зернівки крізь шар обчісаного вороху зернових та провести її аналіз.

Виклад основної частини. Для теоретичної бази побудови математичної моделі було використано задачу Бюфона [10, 11].

Розглянемо перший випадок, коли відстань між соломинками більше суми довжини зернівки і діаметра соломини.

$$2\rho \geq 2l + 2r_c \rightarrow a \geq l, \quad (1)$$

де 2ρ – відстань між осями соломінок;

$2l$ – довжина соломини;

$2r_c$ – діаметр соломини.

Введемо позначення $a = \rho - r_c$, тоді виходячи з нерівності (1) випливає, що $a \geq l$. Зобразимо графічно схему просіювання зерна при паралельному розташуванні соломини (рис. 1).

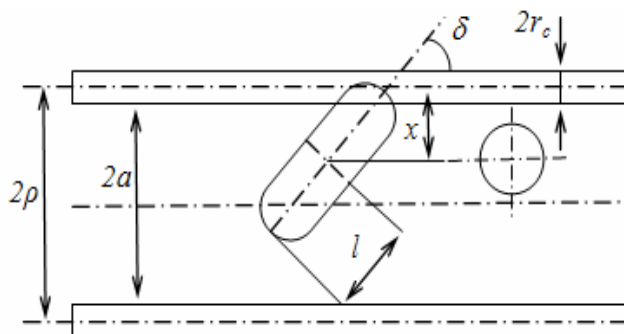


Рисунок 1 – Схема просіювання зернівки крізь дві паралельні соломини, для першого випадку

Припустимо, що

$$0 \leq x \leq r_c, \quad (2)$$

де x – відстань від центра ваги зернівки до осі соломини.

Таким чином, при таких значення x зерно після удару або залишається на поверхні соломини, або відскочить і просіється. При зміні δ від 0 до π або x від 0, положення зерна щодо соломин змінюється таким чином, що ймовірність просіювання стає 100%. Доброю нагодою для непросіювання зерна є, виходячи з нерівності (2), значення відповідних величин, що дорівнює π і r_c .

Тоді, використовуючи визначення геометричної ймовірності, ймовірність непросіювання зерна при його горизонтальному розташуванні:

$$p_1^I = \frac{\pi \cdot r_c}{\pi \cdot \rho} = \frac{r_c}{\rho}, \quad (3)$$

де p_1^I – ймовірність непросіювання зерна при горизонтальному його положенні для першого випадку.

При вертикальному розташуванні зерна, ймовірність непросіювання, виходячи з рис. 1, буде ідентичною:

$$p_2^I = \frac{r_c}{\rho}, \quad (4)$$

де p_2^I – ймовірність непросіювання зерна, при вертикальному його положенні для першого випадку.

Загальна ймовірність непросіювання зерна для першого випадку $a \geq l$ при горизонтальному і вертикальному розташуванні зернівки складе:

$$p^I = \frac{p_1^I + p_2^I}{2} = \frac{r_c}{\rho}. \quad (5)$$

Побудуємо графік залежності ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку, коли $a \geq l$.

При побудові графіка використовувалася ймовірність просіювання зернівки для отримання її значень від одиниці, враховуючи результат (5).

На рис. 2 показаний випадок, коли соломини розташовані паралельно одна одній, проте в реальній дійсності можливі різні випадки взаємного розташування соломин. Розглянемо кілька найбільш часто зустрічаємих випадків, а саме, коли одна соломину перебуває під нахилом до іншої (рис. 3), або коли соломини знаходяться під нахилом по відношенню одна до одної (рис. 4) і, нарешті, коли соломини перетинаються (рис. 5).

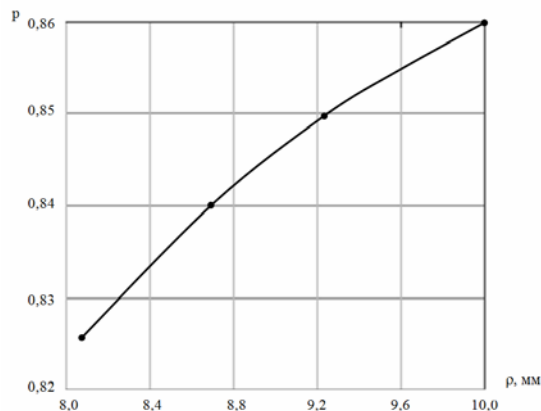


Рисунок 2 – Залежність ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломини для першого випадку – при паралельному розташуванні соломин

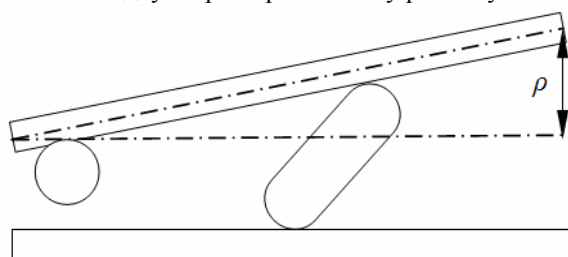


Рисунок 3 – Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли одна з соломин знаходиться під нахилом до іншої

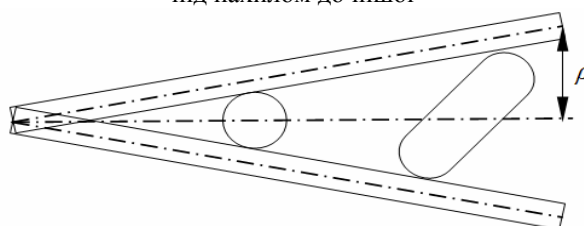


Рисунок 4 – Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли обидві соломини знаходяться під нахилом по відношенню одна до одної

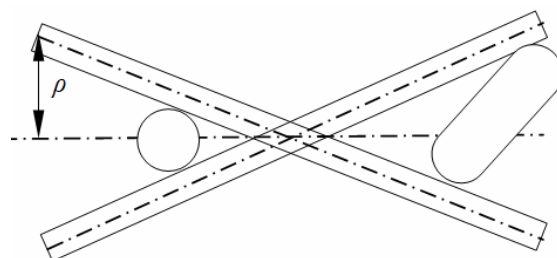


Рисунок 5 – Схема просіювання зернівки крізь дві соломини, коли соломини перетинаються

У всіх представлених випадках відбувається зміна міжцентрової відстані між соломинами.

Для подальших досліджень введемо параметр $\tau \in [0; 1]$, який характеризує зміну ρ . При використанні параметра τ , ймовірність буде представляти із себе середнє арифметичне ймовірностей, в тих формулах, в яких будуть використовуватися різні значення параметра τ . Точність такого розрахунку буде прямо пропорційною до кроку параметра τ на всій області його визначення. Тобто, якщо $\tau \in [0; 1]$, то крок 0,1 і 10 значень параметра τ , при розрахунку, дадуть менш точний результат, ніж крок 0,01 і 100 значень параметра. Тому, при обчисленні ймовірності з використанням формул, в яких застосовується параметр τ , слід використовувати обчислювальні потужності ПК через значний обсяг оброблюваних даних.

Для випадку, коли одна з соломин знаходиться під нахилом по відношенню до іншої (рис. 3) – відстань між соломинами змінюється від ρ до 2ρ , а τ відповідно – від 0,5 до 1. Отже, ймовірність непросіювання для цього випадку буде виглядати:

$$p_{\tau_1}^I = \frac{r_c}{\tau\rho}, \quad (6)$$

де $\tau \in [0,5; 1]$, а $\rho \in [\rho; 2\rho]$.

Побудуємо графік залежності ймовірності просіювання зернівки крізь дві соломини від відстані між ними в разі, коли одна соломину знаходиться під нахилом до іншої (рис. 6).

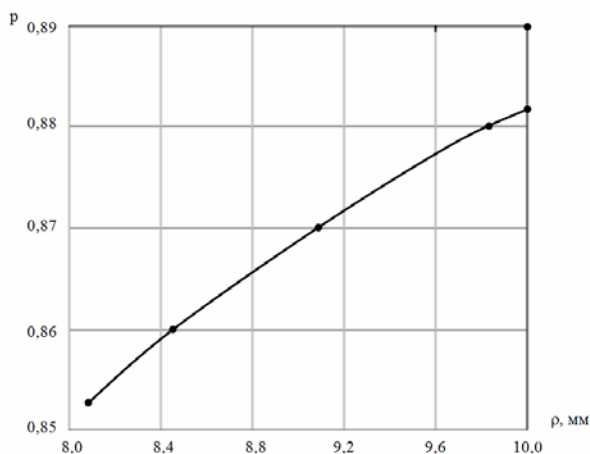


Рисунок 6 – Залежність ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку, коли одна соломину знаходиться під нахилом до іншої

Як видно з рис. 6, зі збільшенням міжцентральної відстані ρ ймовірність просіювання зернівки збільшується.

Розглянемо випадок, коли соломини знаходяться під нахилом одна до одної (рис. 4).

Відстань між соломинами змінюється від 0 до 2ρ , а τ від 0 до 1.

У точці перетину соломин ймовірність непросіювання 100%. Отже, загальна ймовірність непросіювання для цього випадку буде виглядати:

$$p_{\tau_2}^I = \frac{r_c}{\tau\rho}, \quad (7)$$

де $\tau \in [0; 1]$, а $\rho \in [0; 2\rho]$.

І для останнього випадку, коли соломини перетинаються (рис. 5), параметр τ буде зменшуватися від 1 до 0 на половині розглянутої ділянки і збільшуватися від 0 до 1 на іншій половині, тобто $T = 0,5\tau [1; 0) + 0,5\tau (0; 1]$.

Складові рівні між собою, отже:

$$p_{\tau_3}^I = \frac{r_c}{\tau \rho}, \quad (8)$$

де $\tau \in (0; 1]$, а $\rho \in [0; 2\rho]$.

Для випадку, коли соломини перетинаються, побудуємо графік залежності ймовірності просіювання від відстані між соломинами (рис. 7).

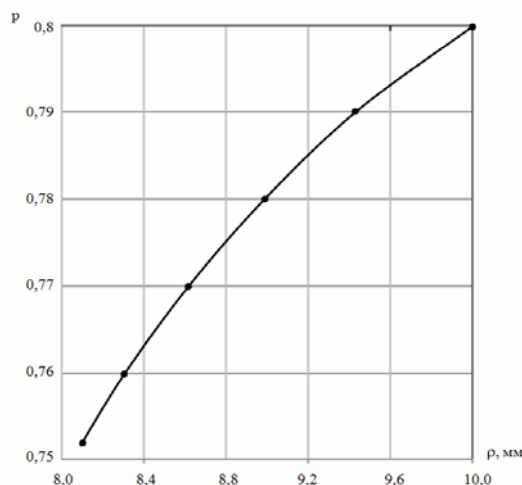


Рисунок 7 – Залежність ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку, коли соломини перетинаються між собою

Графік показує, що так само, як в попередньому випадку, зі збільшенням відстані між соломинами збільшується ймовірність проходження зернівки між ними.

Таким чином, ми отримали значення ймовірностей для всіх розглянутих випадків взаємного розташування соломин, а саме: коли соломини паралельні одна одній (рис. 1), коли одна з соломин знаходиться під кутом до іншої (рис. 3), коли обидві соломини знаходяться під кутом одна до одної (рис. 4) і, нарешті, при перетині соломин (рис. 5). Загальна ймовірність, виходячи з виразів (5), (6), (7) і (8), буде виглядати наступним чином:

$$p^I = \left(\frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0,5;1]} \rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]} \rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]} \rho} \right) / 4 = \frac{r_c (\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0,5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0,5;1]} \tau_{(0;1]} \rho}. \quad (9)$$

Проведемо розрахунок згідно виразів (9) і визначимо ймовірність непросіювання, потім за виразом визначаємо ймовірність просіювання, і будемо графік залежності повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами (рис. 8).

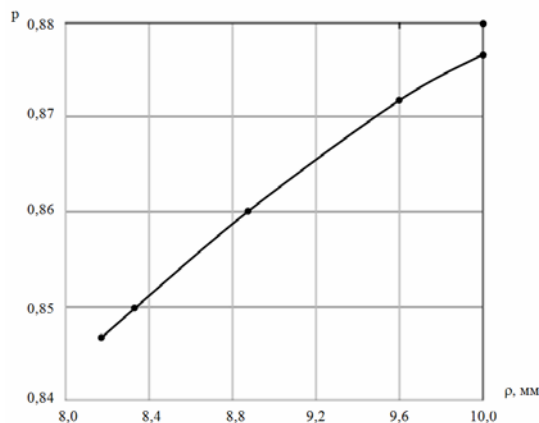


Рисунок 8 – Залежність повної ймовірності просіювання від відстані між соломинами для першого випадку

З рис. 8 видно, що повна ймовірність прокидання збільшується зі збільшенням відстані між соломинами.

II випадок. Відстані між соломинами менше суми діаметра соломи і довжини зернівки та більше суми діаметра соломи і ширини зернівки (рис. 9).

$$2r_c + 2r_z \leq 2\rho \leq 2l + 2r_c \rightarrow r_z \leq a \leq l. \quad (10)$$

де r_c – радіус соломини;

$2r_z$ – ширина зернівки;

$2l$ – довжина зернівки;

2ρ – відстань між осями соломи.

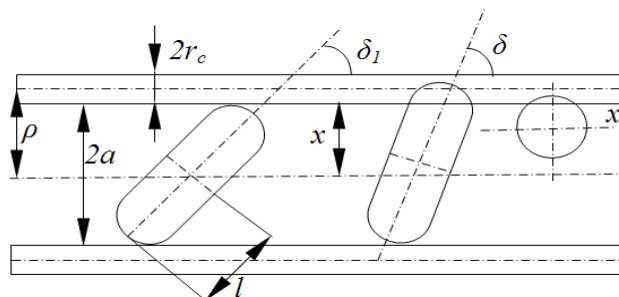


Рисунок 9 – Схема просіювання зернівки крізь дві паралельні соломини для другого випадку

Розглянемо випадки, сприятливі непросіюванню зернівки. На рис. 10 показана заштрихована площа, що ілюструє сприятливі випадки непросіювання зерна. Залежно від співвідношень r_c , r_z , l або ρ , можна розглянути два підвипадки.

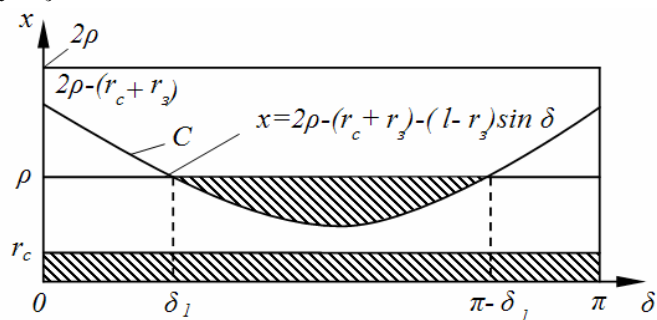


Рисунок 10 – Схема до розрахунку ймовірності непросіювання зернівки, якщо крива C не перетинає пряму $x = r_c$

1. Крива розподілу ймовірності непросіювання (крива С) не перетинає пряму $x = r_c$, тобто:

$$a < r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \leq \rho - r_c \text{ або } \frac{1}{2} \leq a \leq l, (\text{при } \frac{l}{2} > r_3) \text{ та } \frac{1}{2} \leq a \leq l, (\text{при } \frac{l}{2} \leq r_3).$$

З рис. 10 випливає, що ймовірність непросіювання при горизонтальному розташуванні зернівки буде:

$$p_1'' = \frac{\pi r_c + \int_{\delta_1}^{\pi - \delta_1} [\rho - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi \rho}. \quad (11)$$

Якщо прийняти, що $\delta_1 = \arcsin \frac{a - r_3}{l - r_3}$, а $\frac{a - r_3}{l - r_3} = \frac{\rho - r_c - r_3}{l - r_3} = \lambda^I$, то вираз (11) приймає вид:

$$p_1'' = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l - r_3)}{\pi \rho} \left[\sqrt{1 - (\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \quad (12)$$

При $a = l$ або $\lambda^I = 1$ вираз (11) переходить у вираз (3) тобто $p_1'' = \frac{r_c}{\rho} = p_1^I$.

2. Крива С перетинає в точках δ_2 або $\pi - \delta_2$ (рис. 11) пряму $x = r_c$:

$$r_c + r_3 + (l - r_3) - \rho \geq \rho - r_c,$$

або

$$r_3 \leq a \leq \frac{l}{2}. \quad (13)$$

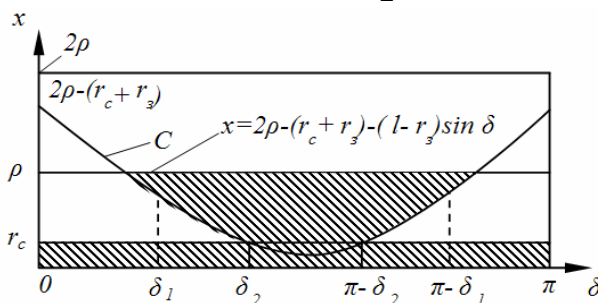


Рисунок 11 – Схема до розрахунку ймовірності непросіювання зернівки, якщо крива С перетинає пряму $x = r_c$

Як видно з рис. 11, з'являється область перетину ймовірностей непросіювання зерна. Тоді формула ймовірності непросіювання матиме такий вигляд:

$$p_1''' = \frac{\pi r_c + \int_{\delta_1}^{\pi - \delta_1} [\rho - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi \rho} - \frac{\int_{\delta_2}^{\pi - \delta_2} [r_c - 2\rho + r_c + r_3 + (l - r_3) \sin \delta] d\delta}{\pi \rho}, \quad (14)$$

де p_1''' – ймовірність непросіювання зернівки для другого випадку, за умови, що крива С перетинає пряму $x = r_c$, якщо зернівка розташована горизонтально.

$$\delta_1 = \arcsin \frac{a-r_3}{l-r_3} \qquad \delta_1 = \arcsin \frac{2a-r_3}{l-r_3}$$

Зробимо в виразі (14) заміни, ідентичні замінам в залежності (12):

$$p_1^{III} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l-r_3)}{\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] \quad (15)$$

$$\text{де } \lambda^{II} = \frac{2a-r_3}{l-r_3}.$$

При $2a=l$ або $\lambda^{II}=1$, отримаємо $p_1^{III} = p_1^{II}$.

Імовірність непросіювання при вертикальному розташуванні зернівки для обох підвипадків другого випадку буде:

$$p_2^{III} = p_2^{II} = \frac{r_c}{\rho}. \quad (16)$$

Загальна ймовірність непросіювання p^{II} для другого випадку, коли крива С не перетинає пряму $x=r_3$ буде визначатися зі співвідношення:

$$p^{II} = \frac{p_1^{II} + p_2^{II}}{2} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \quad (17)$$

Загальна ймовірність непросіювання p^{III} для другого випадку, за умови, що крива С перетинає пряму $x=r_3$ знаходимо з виразу:

$$p^{III} = \frac{p_1^{III} + p_2^{III}}{2} = \frac{r_c}{\rho} + \frac{2(l-r_3)}{\pi\rho} \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] \quad (18)$$

Розглянемо методику обчислення ймовірності непросіювання зернівки в разі паралельного розташування соломин між собою, для чого використовуємо рис. 3-6 і формули 5-7. Зміна величини ρ буде аналогічна першому випадку. Запишемо формулу (16), виходячи зі змінної відстані між соломинами:

$$\begin{aligned} p^{II} &= \left(\frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]}\rho} \right) / 4 + \\ &+ \left(\frac{l-r_3}{\pi\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1]}\rho} \right) \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] / 4 = \\ &= \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \\ &+ \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right] \end{aligned} \quad (19)$$

Аналогічним чином формула (19) після відповідних підстановок набирає вигляду:

$$\begin{aligned}
p^{III} = & \left(\frac{r_c}{\rho} + \frac{r_c}{\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]}\rho} + \frac{r_c}{\tau_{(0;1]}\rho} \right) / 4 + \\
& + \left(\frac{l-r_3}{\pi\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{[0.5;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1]}\rho} + \frac{l-r_3}{\pi\tau_{(0;1]}\rho} \right) \times \\
& \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right] / 4 = \\
= & \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \times \\
& \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right]
\end{aligned} \tag{20}$$

Побудуємо графіки залежності ймовірності просіювання від відстані між соломками для другого випадку за умови, що крива розподілу ймовірності непросіювання (крива С) не перетинає пряму $x=r_c$ (рис. 12), і коли крива С перетинає пряму $x=r_c$ (рис. 13).

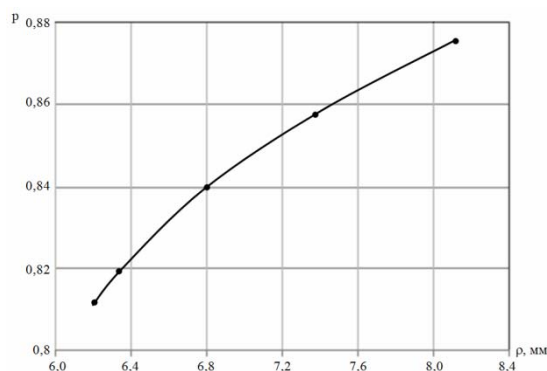


Рисунок 12 – Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломками для другого випадку при умові, що крива С не перетинає пряму $x=r_c$

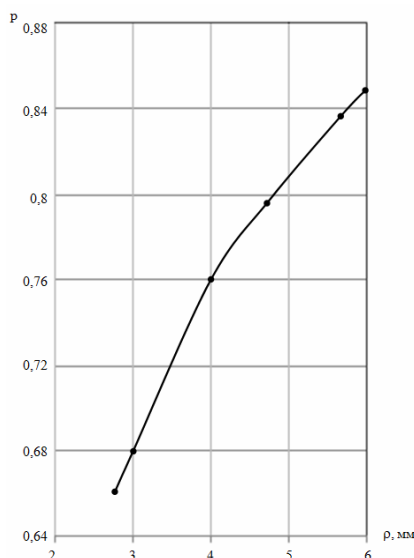


Рисунок 13 – Графік залежності ймовірності просіювання зернівки від відстані між соломками для другого випадку при умові, що крива С перетинає пряму $x=r_c$

III випадок. Відстань між соломинами менше суми діаметра соломини і ширини зернівки:

$$2\rho < 2r_c + 2r_z \rightarrow a < r_z. \quad (21)$$

У цьому випадку, як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному, ймовірність непросіювання дорівнює 1:

$$p_1^{IV} = p_2^{IV} = 1, \text{ а } p^{IV} = \frac{p_1^{IV} + p_2^{IV}}{2} = 1. \quad (22)$$

де p_1^{IV} – ймовірність непросіювання для третього випадку при горизонтальному розташуванні зернівки;

p_2^{IV} – ймовірність непросіювання для третього випадку при вертикальному розташуванні зернівки;

p^{IV} – загальна ймовірність непросіювання для третього випадку.

Виходячи з отриманих результатів можна обчислити загальну ймовірність непросіювання зерна крізь один шар соломи. Вона буде являти собою систему з чотирьох рівнянь.

$$p_e = \begin{cases} p^I = \frac{r_c(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} \rho}; \\ p^{II} = p^I + \frac{(l-r_z)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} \pi \rho} \times \\ \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I \right]; \\ p^{III} = p^I + \frac{(l-r_z)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} \pi \rho} \times \\ \times \left[\sqrt{1-(\lambda^I)^2} - \lambda^I \arccos \lambda^I - \sqrt{1-(\lambda^{II})^2} - \lambda^{II} \arccos \lambda^{II} \right]; \\ p^{IV} = 1. \end{cases}, \quad (23)$$

$$\text{де } \lambda^I = \frac{a-r_z}{l-r_z}, \lambda^{II} = \frac{2a-r_z}{l-r_z}.$$

Підсумкова ймовірність непросіювання буде залежати від ймовірності появи того чи іншого випадку і підвипадку взаємного розташування соломин. Якщо прийняти, що ймовірність появи цих випадків взаємного розташування соломин однакова, то загальна ймовірність непросіювання буде представляти із себе середнє арифметичне всіх ймовірностей з системи (23).

$$\begin{aligned}
p_e = & \left(\frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \right. \\
& + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \left[\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' \right] + \\
& \frac{r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \times \\
& \times \left[\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] + 1) / 4 = \\
= & \left(\frac{3r_c (\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\rho} + \frac{(l-r_3)(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{4\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \times \right. \\
& \times \left[2\sqrt{1-(\lambda')^2} - 2\lambda' \arccos \lambda' - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right] + 1) / 4 = \\
& = \frac{(\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]} + 2\tau_{[0.5;1]} + \tau_{(0;1]})}{16\tau_{[0.5;1]} \tau_{(0;1]}\pi\rho} \times \\
& \times (3\pi r_c + (l-r_3) \left[2(\sqrt{1-(\lambda')^2} - \lambda' \arccos \lambda') - \sqrt{1-(\lambda'')^2} - \lambda'' \arccos \lambda'' \right]) + 0,25.
\end{aligned} \tag{24}$$

Висновки:

1. Побудовано математичну модель просіювання зерна крізь шар обчисаного вороху, яка встановлює залежність між імовірністю проходження зерна крізь соломку і відстанню між соломками з урахуванням взаємного розташування соломки і відношенням розмірів зернівки до відстані між соломками.

2. В результаті проведеного моделювання виявлено:

– в разі, коли відстань між соломками більше довжини зернівки і діаметра соломки, ймовірність просіювання зернівки становить 0,875 за умови, що відстань між соломками дорівнює 10 мм;

– якщо відстань між соломками менше суми діаметра соломки і довжини зернівки і одночасно більше суми діаметра соломки і ширини зернівки, то ймовірність проходження зернівки крізь соломку знаходиться в межах 0,85 ... 0,877 при відстані між соломками 6,0 ... 8,05 мм;

– за умови, що відстань між соломками менше суми діаметра соломки і ширини зернівки, ймовірність просіювання як при горизонтальному розташуванні зернівки, так і при вертикальному дорівнює нулю.

3. Для забезпечення необхідних умов, що дозволяють зернівці проходити крізь шари соломи необхідний робочий орган, який має можливість механічного впливу на ворох.

Список літератури

1. Леженкин, А. Н. Формирование стационарной технологии уборки зерновых культур в условиях фермерских хозяйств Украины [Текст] / А. Н. Леженкин // Праці Таврійської державної агротехнічної академії : наук. фах. видання / ТДАТА. – Мелітополь, 2006. – Вип. 40. – С. 195-205
2. Леженкин, А.Н. Уборка зерновых методом очесывания [Текст] / А.Н. Леженкин // Сельский механизатор. – 2004. – №11. – С. 27.
3. Леженкин, А.Н. Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств Юга Украины [Текст] //Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: Международ. науч. конф. Сб. научн. тр. – Ярославль, 2003. – Ч.III. – С. 28-29.
4. Разработать и внедрить перспективную технологию уборки зерновых культур в хозяйствах Приазовского района, обеспечивающую повышение производительности в 1,5...2,0 раза,

- снижение потерь зерна в 2...3 раза. Отчет о НИР/МИМСХ. Рук. П.А.Шабанов. – Тема 0270-Х; №ГР01860043979. – Мелитополь, 1988. – 44 с.
5. Леженкин А.Н. Энергетическая оценка стационарной технологии уборки зерновой части урожая [Текст] / А.Н. Леженкин // Механизация и электриф. сел. х-ва. – 2007. – №2. – С.5-7.
 6. Шабанов, П.А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню [Текст] : дис... докт. техн. наук / П.А. Шабанов. – Мелитополь – 1988. – 336 с.
 7. Данченко, Н.Н. Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню [Текст] : автореф. дис... канд. техн. наук. – Челябинск, 1983. – 15 с.
 8. Гончаров, Б.И. Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна [Текст] : дис... канд. техн. наук / Б.И. Гончаров. – М., 1982. – 217 с.
 9. Голубев, И.К. Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню [Текст] : дис... канд. техн. наук / ВСХИЗО. – М., 1989. – 201 с.
 11. Кендол, М. Геометрические вероятности: Пер. с англ. [Текст] / М. Кендол, П. Моран. – М.: Мир, 1972. – 273 с.
 12. Buffon, G. Essai d'arithmétique morale. Supplement «l'histoire Naturelle», Vol. 4, 1977.

Ivan Lezhenkin, PhD tech. sci.

Taurian State Agrotechnological University, Melitopol, Ukraine

Theoretical Analysis of Grain Passing Conditions Through a Layer of Combed Heap of Cereals

The article deals with the construction of a mathematical model for the probability of grain passing through a layer of combed heap of cereals, and an analysis of the model obtained.

As a result of the modelling it has been revealed that:

- in the case when the distance between the straws is bigger than the length of the grain and the diameter of the straw, the probability of sifting the grain is 0.875, under the condition that the distance between the straws is 10 mm;

- if the distance between the straw is less than the sum of the diameter of the straw and the grain length, and at the same time more than the sum of the diameter of the straw and the width of the grains, then the probability of passing the grains through the straw is within the range of 0.85 ... 0.877 at the distance between straws of 6.0 ... 8, 05 mm;

- if the distance between the straws is less than the sum of the straw diameter and the width of the grains, the probability of sifting both in the horizontal arrangement of the grains and in the vertical one is equal to zero.

In order to provide the necessary conditions for the grains to pass through layers of straw there should be used the operating element that has the potential of mechanical impact on the bundle.

mathematical model, probability of sifting, combed heap, grain, separation, segregation

Одержано 05.12.17

УДК 677.11.021

А.Ю. Лисих, канд. техн. наук

Первомайський політехнічний інститут НУК ім. адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна, E-mail: snezanad256@gmail.com

Механічний процес підготовки сировини для одержання короткого лляного волокна

Стаття присвячена процесу підготовки сировини з застосуванням кілкового живильника, запропонована конструкція якого забезпечує більш ефективне розпрямлення й паралелізацію волокон, полегшує їх подальшу механічну обробку, а отже сприяє підвищенню якості короткого волокна.

короткі лляні волокна, витяжний пристрій, коефіцієнт потоншення

© А.Ю. Лисих, 2017

А.Ю. Лысых, канд. техн. наук

Первомайский политехнический институт НУК им. адмирала Макарова, г. Первомайск, Украина

Механический процесс подготовки сырья для получения короткого льняного волокна

Статья посвящена процессу подготовки сырья с применением колкового питателя, предложенная конструкция которого обеспечивает более эффективное распрямление и параллелизацию волокон, облегчает их дальнейшую механическую обработку, а следовательно способствует повышению качества короткого волокна.

короткие льняные волокна, вытяжное устройство, коэффициент утонения

Постановка проблеми. Виробництво коротких лляних волокон пов'язано з обробкою сплутаних, тобто неорієнтованих волокнистих відходів тіпання з великою кількістю костриці. Облагороджування відходів тіпання та перетворення їх у придатне до прядіння коротке волокно полягає, в основному, у видаленні костриці та зміні структури продукту – роз'єднанні нерозщеплених волокон, розпрямленні та паралелізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуюча технологія одержання короткого лляного волокна з відходів тіпання включає такі операції: збагачення відходів тіпання на тіпальних машинах; підсушування збагачених відходів на сушильній машині; обробку на куделеприготувальному агрегаті, яка складається з операцій формування шару волокна, м'яття, тіпання, трясіння; сортування короткого лляного волокна з наданням йому товарного вигляду [4]. Основним недоліком існуючих способів механічної обробки лляної сировини є погана підготовка напівфабрикатів до подальшої переробки, недостатнє розпушування і паралелізація волокон та значна енерго- і матеріалоємність існуючих куделеприготувальних агрегатів. У складі застосовуваних технологічних ланцюжків відсутнє обладнання, яке дозволило б максимально роздробити й очистити лляне волокно, максимально скоротити кількість волокон пухової групи, забезпечити вкорочення волокон, довжина яких перевищує 40-50 мм.

Основна технологічна операція підготовки шару волокна з відходів тіпання є обробка його на кілковому живильнику марки ПКМ, який входить до складу куделеприготувального агрегату. Він здійснює потоншення шару та часткову паралелізацію коротких волокон за рахунок проходження їх через колкові барабани, але рівень їх параметрів дуже низький, що ускладнює подальшу якісну їх переробку [1].

Одним з останніх досліджень, які проводились з метою усунення недоліків процесу підготовки та переробки відходів тіпання – це застосування дезінтегратора.

Порівняльний аналіз параметрів лляного волокна, отриманого з перележаної сланкої трести при наведених технологічних характеристиках роботи дезінтегратора, свідчить, що в ньому міститься найбільша кількість волокон завдовжки 0-10 мм – 35,34%. Вміст волокон з довжиною 10-50 мм коливається в межах від 10,81% до 13,02%, а волокна завдовжки 50-100 мм становлять 1,07-5,12% від загальної кількості. Вміст волокон з довжиною понад 100 мм не перевищує 1% [2].

Другий напрямок удосконалення вище вказаного технологічного процесу здійснюється таким чином, що попередньо пром'ята луб'яна сировина за допомогою живильного транспортера надходить до тіпального барабана. У кожух барабана за допомогою завиткового живильника завантажуються молотильні кулі. При обертанні барабану за допомогою рівнобіжних бильних лопатей та молотильних куль відбуваються наступні процеси.

Злам в результаті згину, який утворюється за рахунок зрізу та скобління шару сирцю між молотильними кулями та внутрішньою футерівкою тіпальної секції забезпечує

зсув між волокнистою та деревинною частинами стебла, за рахунок чого здійснюється процес м'яття. Тиск повітря, який створюється у барабані за рахунок додаткового вентилятора, сприяє інтенсифікації процесу сепарації костриці.

Потоншення та штабелювання волокна здійснюється в другій тіпальній секції за рахунок процесу стирання, який відбувається завдяки внутрішній ковзкій робочій поверхні барабану, при якому зовнішні елементарні волокна піддаються деформації зсуву з подальшим відділенням-відокремленням внаслідок переходу дотичних напружень за межі міцності [3].

В останніх наукових дослідженнях пропонують у модернізованій м'яльній частині КПАЛ-М змінити умови диференціації м'яття в останній м'яльній парі вальців за рахунок зубчастого зчеплення, що дає можливість змодельовати процес тіпання й штапелювання на м'яльному обладнанні та забезпечити кероване дроблення відходів тіпання внаслідок збільшення інтенсивності оброблення, вводячи до процесу м'яття додаткові сили, які характеризують процес тіпання [4].

Аналіз існуючих теоретичних основ розроблених вітчизняними та закордонними вченими, щодо отримання модифікованого льняного волокна з відходів тіпання виявив, що всі вони направлені на застосування теорії механічної модифікації з використанням додаткових хіміко-механічних процесів, які призводять до здороження продукції.

Основним недоліком пропонованих способів механічної обробки лляної сировини є погана підготовка напівфабрикатів до подальшої переробки, недостатнє розпушування і паралелізація волокон та значна енерго- і матеріалоемність існуючих куделеприготувальних агрегатів. У складі застосовуваних технологічних ланцюжків відсутнє обладнання, яке дозволило б максимально роздробити й очистити лляне волокно, максимально скоротити кількість волокон пухової групи, забезпечити вкорочення волокон, довжина яких перевищує 40-50 мм.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення шляхом експериментальних досліджень оптимальних параметрів роботи механізмів, які переробляють відходи тіпання та одержання короткого лляного волокна підвищеної якості за новою енерго- та ресурсозберігаючою технологією.

Розроблювана технологія одержання високоякісного короткого волокна з відходів тіпання і низькосортної трести повинна забезпечувати максимальне видалення костриці, збереження міцності та досягнення високого ступеня паралелізації волокон, оскільки саме такі вихідні характеристики короткого волокна обумовлюють його придатність до подальшої переробки в прядінні, целюлозно-паперовій і медичній промисловості.

Крім того, під час розробки прийомів удосконалення існуючих технологічних процесів необхідно здійснювати кількісну оцінку впливу того або іншого технологічного фактора на показники якості волокна. Тільки за цих умов нову технологію можна рекомендувати льонопереробним підприємствам для широкого впровадження.

Виклад основного матеріалу. Відходи тіпання збираються від м'яльно-тіпального агрегату і пневмотранспортом подаються на трясильну машину, від якої збагачений матеріал подається в живильник транспортером. Кілки в живильній парі завдяки їх підвищеній глибині заходження розділяють шар волокна на окремі жмути. Жмути волокон, які містять короткі волокна з довжиною до 40 мм та пухову групу завдовжки до 15 мм, ущільнюються між кілками завдяки площинності конусних кілків. При цьому, чим глибше кілки пронизують шар волокна, тим більше ущільнюються жмути волокон. В процесі ущільнення жмутів виникає сила тиску на волокно і, завдяки збільшенню сили тертя між волокнами, коротке волокно пухової групи зчіплюється з

довшим волокном і отримує примусовий рух до витяжної пари при взаємному заходженні кілків на визначену величину. При цьому конструктивно передбачено, що крок між кілками на барабанах, який є розрахунковою величиною, може змінюватися від 4 до 15 мм. Це перешкоджає випадінню короткого волокна на відрізку вільної зони і сприяє розпрямленню й паралелізації волокна.

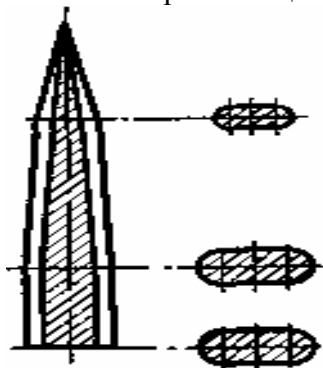


Рисунок 1 – Загальний вигляд кілків

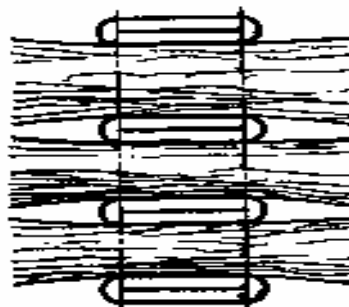


Рисунок 2 – Принципова схема розділення жмутів волокон

При русі шару волокна через комплект кілкових барабанів максимальна початкова висота шару становить 250 мм. Для входження в м'яльну пару шар сировини, згідно з попередніми розрахунками, необхідно потоншити до висоти $h=5$ мм, що відповідає щільності завантаження $\rho = 0,4$ кг/м². Щільність завантаження визначаємо за формулою:

$$g = \rho \cdot h, \quad (1)$$

де ρ – щільність волокна у вільному стані, $\rho = 80$ кг/м³ [5];
 h – висота шару волокна.

Потоншення шару волокна до заданої величини здійснюється рифленими витяжними парами, що забезпечують потоншення на кожному технологічному переході. Це обумовлено тим, що в шарі, потоншеному до необхідної щільності, відбувається розпрямлення волокон, вони орієнтуються в напрямку руху, перпендикулярному осі рифлених вальців.

Виходячи з вищевикладеного, на початковій стадії розволокнення і видалення костриці згідно з вибраною нами схемою, дотримуючись умови потоншення шару волокна до висоти 5 мм, необхідно використовувати комплект з трьох кілкових барабанів з витяжними парами для потоншення шару. Аналіз результатів попередніх розрахунків з визначення впливу м'яльних рифлених вальців на процес формування шару свідчить, що операція проминання відходів тіпання в м'яльних вальцях з дрібним кроком рифлів при висоті шару 5 мм є ефективною й сприяє вирівнюванню волокон у шарі та усуненню їх сплутаності [6].

Кількість ступенів витягування, а отже, і габарити механізму залежать від прийнятого загального коефіцієнта потоншення $\tilde{\gamma}_{\text{заг}}$. Чим більше витягування на переходах, тим менше можливість сплутування волокон у процесі витягування, менше габарити витяжних механізмів.

Для розгляду процесу витягування шару введемо певні терміни й поняття, що характеризують його. Полем витягування R називаємо простір, на якому відбувається розщеплення волокон відносно одне одного. Довжина поля витягування може:

- дорівнювати відстані між сусідніми робочими органами L , що здійснюють витягування, якщо ця відстань перевищує максимальну довжину волокна $\ell_{\max}$;

$$R = L, \text{ якщо } L > \ell_{\max}; \quad (2)$$

- перевищувати відстань між сусідніми робочими органами, якщо ця відстань менше максимальної довжини волокна;

$$R > L, \text{ якщо } L < \ell_{\max}. \quad (3)$$

Сусідні робочі органи витяжного приладу назовемо витяжними вальцями. Витяжна пара має більш високу швидкість обертання порівняно з живильною, $V_2 > V_1$. Волокна рухаються від живильної до витяжної пари, яка задає їм велику швидкість V_2 , внаслідок чого вони зміщуються вперед щодо волокон, які ще не досягли витяжної пари, і тому рухаються з меншою швидкістю живильної пари. Таким чином, волокна розташовуються на більшій довжині – шар потоншується, витягується.

Мірою потоншення шару є величина його витягування E :

$$E = \frac{V_2}{V_1}. \quad (4)$$

Визначимо зміну деяких характеристик шару при його витягуванні. Нехай за час t живильна пара вводить у витяжний прилад шар волокна довжиною $L_1 = V_1 \cdot t$, а витяжна пара виводить шар волокна довжиною $L_2 = V_2 \cdot t$. Помноживши чисельник і знаменник на t , отримаємо:

$$E = \frac{V_2 t}{V_1 t} = \frac{L_2}{L_1}, \quad (5)$$

тобто в результаті витягування довжина шару збільшується в кількість разів, яка дорівнює витягці.

При витягуванні у витяжних парах волокна розпрямляються й орієнтуються уздовж шару. Нерозпрямлене волокно, що має довжину ℓ , рухається із шаром волокон, що входять у витяжні пари зі швидкістю V_1 живильної пари. Передній кінець волокна з цією швидкістю просувається в зону, де частина волокон рухається зі швидкістю витяжної пари. В міру просування волокна, що швидко рухаються, здійснюють на передній кінець усе більший вплив, тому він розпрямляється й у такому вигляді надходить в зону дії витяжної пари і змінює свою швидкість на V_2 .

Оскільки висота шару відходів тіпання, який потрапляє в живильно-потоншувальний механізм, становить 250 мм, а висота шару, який подається в експериментальну м'яльну машину – 5 мм, то ступінь потоншення шару в даному комплекті повинен дорівнювати 50.

Таким чином, загальний коефіцієнт потоншення запропонованого нами пристрою дорівнює:

$$\tilde{\iota}_{\text{заг}} = \tilde{\iota}_1 \cdot \tilde{\iota}_2 \dots \cdot \tilde{\iota}_n, \quad (6)$$

де $\tilde{\iota}_1$ – коефіцієнт потоншення першої пари;

$\tilde{\tau}_n$ – коефіцієнт потоншення останньої пари.

Для забезпечення заданого загального коефіцієнта потоншення в живильно-потоншувальному механізмі встановлено п'ять витяжних пар, при цьому вони приймаються рівними. Таким чином:

$$\tilde{\tau}_{заг} = (\tilde{\tau}_n)^5 = 50,$$

звідси

$$\tilde{\tau}_n = \sqrt[5]{50} = 2,19.$$

Вибираючи часткові коефіцієнти потоншення, необхідно дотримуватися умови:

$$\tilde{\tau}_1 = \tilde{\tau}_2 = \tilde{\tau}_3 = \dots = \tilde{\tau}_n. \quad (7)$$

Таким чином, деякий час передній та задній кінці нерозпрямленого волокна рухаються з різною швидкістю і волокно розпрямляється. При цьому всі волокна, які захоплені живильною парою, рухаються перпендикулярно осі витяжного вальця, а отже розпрямляються.

Технологічними параметрами кілкових барабанів є їх діаметр і кількість кілків, а також кут нахилу кілка. При взаємодії кілків із шаром матеріалу виникають сили, величини і напрямки дії яких залежать від відносного розташування кілків двох взаємодіючих робочих органів, швидкості й напрямку їх руху, а також кута нахилу і кроку кілка. Згідно із запропонованою схемою обробки відходів тіпання кілки нижнього барабана розташовані між кілками верхнього барабана.

Розглянемо взаємодію двох робочих поверхонь. Для простоти аналізу припустимо, що кожний із взаємодіючих барабанів представлений одним кілком (рис. 3).

Барабани А і В обертаються назустріч один одному, при цьому барабан В обертається швидше, ніж барабан А, тобто $V_B > V_A$.

Кілок барабана А вносить у зону взаємодії двох барабанів жмут волокон. При проходженні кілка барабана В, внаслідок різниці у швидкостях обертання обох барабанів, кілки розволокнюють шар волокна. При цьому на обидва кілки діють рівні й протилежно направлені сили опору шару розтаскуванню P . Силу P можна розкласти на дві складові. Одна з них S спрямована уздовж передньої грані кілка у бік основи відповідного барабана, друга складова N спрямована перпендикулярно кілку.

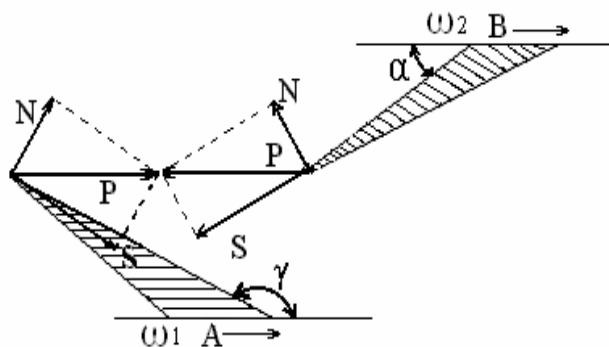


Рисунок 3 – Схема взаємодії двох робочих поверхонь

Сила S заглиблює жмут волокон до поверхні барабана, а сила N притискає його до кілка, утворюючи силу тертя F , що діє в протилежному напрямку, ніж сила S . Для кілка барабана В сила S спрямована в протилежний бік, завдяки чому шар волокна зісковзує з кілка барабана В. Очевидно, що найбільш ефективно розволокнення відбувається, коли шар волокна розташований на вершинах кілків. Це можливо, якщо

$$F = S. \quad (8)$$

Згідно зі схемою, наведеною на рис. 3, сили S і N можна виразити через опір шару розтаскуванню P .

$$S = P \cdot \cos \alpha; \quad N = P \cdot \sin \alpha, \quad (9)$$

де α – кут нахилу кілка до основи барабана.

Сила тертя F дорівнює добутковій силі N , що притискає жмут волокон до кілка, і коефіцієнта тертя f між жмутом і кілком.

$$F = f \cdot N = f \cdot P \cdot \sin \alpha; \quad \cos \alpha = \frac{S}{P}. \quad (10)$$

Коефіцієнт тертя f для лляного волокна становить 0,2 – 0,6.

Підставивши значення F і S у наведену вище рівність (10), отримаємо:

$$f \cdot P \cdot \sin \alpha = P \cdot \cos \alpha, \quad (11)$$

звідси

$$f = \frac{P \cdot \cos \alpha}{P \cdot \sin \alpha} = \operatorname{ctg} \alpha. \quad (12)$$

$$\text{Тоді} \quad \beta = \arccos \frac{F}{P} = \arccos \frac{f \cdot P \cdot \sin \alpha}{P} = \arccos(f \cdot \sin \alpha); \quad \gamma = 90 - \beta.$$

Користуючись цією рівністю і знаючи величину коефіцієнта тертя f , визначаємо кут нахилу кілка γ . Оскільки кут нахилу кілка визначається за формулою (7), будь-яка зміна цього кута призводить до порушення рівності цих сил. При зменшенні кута γ сила S збільшується, а сили N і F зменшуються. У результаті цього інтенсивність розволокнення жмутів волокон знижується. Другим фактором, який впливає на характер взаємодії двох робочих поверхонь, є швидкість живлення. Підвищення швидкості обертання барабана А призводить до того, що повз кожний кілок барабана А за одиницю часу проходить більша кількість кілків барабана В, що спричиняє подрібнення шару і збільшення кількості волокон пухової групи. При зменшенні відносних швидкостей руху обох барабанів інтенсивність розволокнення знижується, а при рівності цих швидкостей розволокнення припиняється.

Для дотримання всіх умов розволокнення матеріалу за запропонованою схемою співвідношення швидкостей обертання кілкових барабанів має становити 1:2. Знаючи величину коефіцієнта тертя $f = 0,3$, визначаємо, що кут нахилу кілка повинен дорівнювати 68° .

Діаметри кілкових барабанів обрані, виходячи з технологічних міркувань. При збільшенні діаметра барабана і кількості кілків зростає кількість кілків, які одночасно знаходяться в зоні обробки, збільшується натяг волокна.

Висновки. Таким чином, застосування кілкового живильника запропонованої конструкції забезпечує більш ефективне розпрямлення й паралелізацію волокон, полегшує їх подальшу механічну обробку, а отже сприяє підвищенню якості короткого волокна. При цьому переобладнання барабанів новими кілками не потребує значних затрат і не призводить до зростання матеріалоємності обладнання.

Список літератури

1. Справочник по заводской первичной обработке льна [Текст] / [под ред. В.Н. Храмцова]. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, 1984. – 510 с.
2. Соболев, О.А. Доцільність використання дезінтегратора для переробки відходів тіпання [Текст] / О.А. Соболев, К.М. Клевцов // Праці Таврійського державного агротехнічного університету. – 2013. – Т.1, №10. – С. 153-156.
3. Клевцов, К.М. Визначення оптимальних технологічних параметрів декортикації луб'яної сировини [Текст] / К.М. Клевцов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 5. – С. 97-100.
4. Круглий, Д.Г. Модель процесу дроблення технічних комплексів луб'яного волокна при механічних впливах [Текст] / Д.Г. Круглий // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2017. – № 60 (1). – С.113-119.
5. Пат. України № 14280, МПК D01B 1/32. Живильник куделеприготовувальних машин. С.М. Коб'яков, Ю.Є. Мешков, Заявл. 21.10.2005; Опубл. 15.05.2006. Бюл. № 5. – 2 с.
6. Пат. України № 14379, МПК D01D1/00. Спосіб одержання короткого волокна з відходів тіпання і низькосортної лляної трести. С.М. Коб'яков, Ю.Є. Мешков, Заявл. 14.11.2005; Опубл. 15.05.2006. Бюл. № 5. – 2 с.

Alla Lisikh, PhD. tech. sci.

Pervomasky polytechnic institute of the Mykolaiv university of shipbuilding of the name of admiral Makarov, Pervomaysk, Ukraine

Mechanicprocess of Preparation of Raw Material for the Receipt of Short Linen Fibre

Article is devoted to process of preparation of raw material with application peg a feeder which provides more effective straightening and parallelizing of fibres.

Thinning a layer of a fibre up to the set size it is carried out by the corrugated exhaust pairs, providing thinning on each technological transition. It is caused by that in a layer, thinning up to necessary density, there is a straightening fibres, they are guided in a direction of movement, perpendicular axes of corrugated rollers. Quantity of steps drawing out and consequently, and dimensions of the mechanism depend on the accepted common factor of thinning. The more drawing out on transitions, the probability confusing there is less than fibres in process drawing out, it is less dimensions of exhaust mechanisms.

It is established, that at an initial stage division of fibres it is necessary to use the complete set from three peg drums with exhaust pairs for thinning a layer.

short linen fibres, the exhaust device, factor of thinning

Одержано 09.11.17

УДК 677.051.3:677.31

В. В. Лиходід, канд. техн. наук*Хортицька національна навчально-реабілітаційна академія, м. Запоріжжя, Україна,
E-mail: lihoded.v@gmail.com*

Аналіз конструкцій вовномийних агрегатів і машин для рідинної обробки вовни

Виконано огляд конструкцій та аналіз особливостей роботи існуючих вовномийних агрегатів і машин для рідинної обробки вовни. За результатами аналізу розроблено конструктивно-технологічну схему й створено експериментальний зразок малогабаритної мийно-віджимної машини для рідинної обробки вовни в умовах сільськогосподарських формувань. Стверджується, що запропонована конструкція машини має покращені технічні дані, порівняно з аналогами, й забезпечує високу якість рідинної обробки вовни в межах норм технологічних вимог.

вівчарство, механізація, вовна, рідинна обробка, агрегати, машини, конструкція, аналіз**В. В. Лиходед, канд. техн. наук***Хортицкая национальная учебно-реабилитационная академия, г. Запорожье, Украина*

Анализ конструкций шерстомойных агрегатов и машин для жидкостной обработки шерсти

Выполнен обзор конструкций и анализ особенностей работы существующих шерстомойных агрегатов и машин для жидкой обработки шерсти. По результатам анализа разработано конструктивно-технологическую схему и создано экспериментальный образец моюще-отжимной машины для жидкостной обработки шерсти в условиях сельскохозяйственных формирований. Утверждается, что предлагаемая конструкция машины имеет улучшенные технические данные, по сравнению с аналогами, и обеспечивает высокое качество жидкостной обработки шерсти в пределах норм технологических требований.

овцеводство, механизация, шерсть, жидкостная обработка, агрегаты, машины, конструкция, анализ

Постановка проблеми. Існуючі в даний час конструкції вовномийних агрегатів і машин не в повній мірі відповідають вимогам стосовно свого функціонального призначення, а саме: не забезпечують необхідну якість промивання вовни при високих питомих показниках енергоємності та матеріаломісткості робочого процесу за базовими технологіями; потребують значних затрат води (100-120 л/кг) й мийних засобів (20-40 г/л) на промивання 1 кг вовни [1].

З огляду на це, дослідження, які спрямовані на пошук шляхів підвищення якості й ефективності рідинної обробки вовни на основі потенційно перспективних вовномийних машин з активною механічною дією робочого органу на вологонасичену вовну, мають народногосподарське значення і є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх публікацій С.Ф. Кострова, Л.І. Захарова (2000), М.В. Горбачової, М.П. Підлесних і Ю.В. Логінова (2000), К.Є. Розумєєва (2003), М.К. Тимошенко і М.В. Рогачова (2004), В.М. Туринського (2005), О.М. Дубініна і А.І. Нестерової (2007), В.О. Сухарльова (2008) щодо первинної обробки вовни за різними технологіями вказують саме на необхідність проведення подальших досліджень в напрямку підвищення якості рідинної обробки

вовни, а саме, якості виконання ряду технологічних процесів: замочування, промивання, полоскання та віджимання вовни. Зокрема, як стверджує більшість дослідників, вирішення цієї проблеми можливе за умови організації більш інтенсивної механічної дії на забруднену вовну в процесі її рідинної обробки [2-4].

Постановка завдання. Розроблення малозатратних технологічних процесів рідинної обробки вовни та створення малогабаритної мийно-віджимної машини з більш інтенсивною механічною дією робочого органу на вологонасичену вовну в процесі її рідинної обробки з урахуванням вимог галузі вівчарства щодо створення й виробництва компактних та багатофункціональних машин з покращеними характеристиками, які б забезпечували високу якість та надійність в роботі.

Виклад основного матеріалу. Одним із перспективних напрямів первинної обробки вовни, як зазначає М.К. Тимошенко (2007), є спосіб її промивання й отримання екологічно чистої товарної продукції у вигляді сухої митої вовни [5].

Цей спосіб покладено в основу базових технологій первинної обробки вовни (рис. 1), які реалізуються Харківською та Чернігівською фабриками (ПОВ) при обробленні тонкої й напівтонкої (рис. 1а) та напівгрубої й грубої (рис. 1б) вовни.

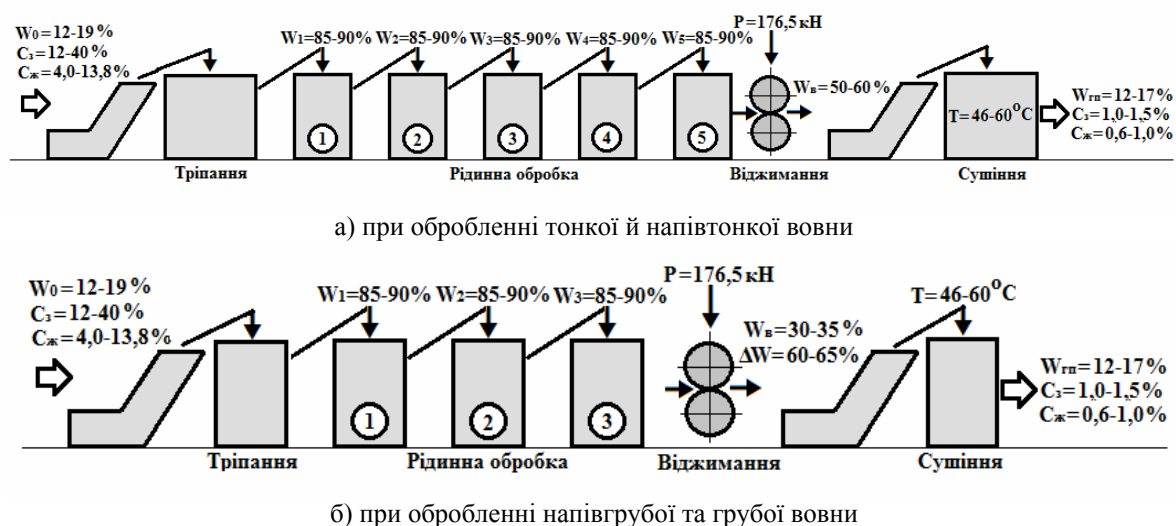


Рисунок 1 – Базові технології первинної обробки вовни на Харківській та Чернігівській фабриках ПОВ

Для реалізації базових технологій первинної обробки вовни та переробки її у вовняні вироби до сьогодні випускалися відповідні серійні машини і обладнання, які представляють собою великогабаритні технічні засоби (агрегати) і технологічні лінії. Такими були вимоги соціалістичного великотоварного промислового виробництва.

Так, для промивання вовни на фабриках первинної обробки вовни використовуються різноманітні вовномийні агрегати як вітчизняних заводів, так і зарубіжних фірм: Івтекмаш (СРСР), МП-5Ш (Росія), «Шерпантьє» (Бельгія), «Петрі Макнот» (Англія), «Тексіма» (Германія), BS-2A (Польща) та ін. (табл. 1).

Принциповий склад вовномийних агрегатів і технологічний процес промивання вовни – однакові для всіх агрегатів. Але в їх конструкціях є відмінні особливості, які суттєво впливають на якість промивання вовни. Особливо суттєва різниця в конструкціях вовномийних машин, до складу яких входить від 3 до 6 барок. Для миття тонкої й напівтонкої вовни до складу вовномийного агрегату включають не менше 5 барок, а напівгрубої та грубої – 3-4. Для переміщення вовни по ходу технологічного процесу й перевантаження вологонасиченої вовни з однієї барки в іншу останні

забезпечені грабельними та барабанними механізмами. Віджимається вовна в основному після завершення рідинної обробки віджимними валами із зусиллям стискання в 176,5 кН. Сушиться віджата вовна в спеціальних «сушарках» при температурі 45-60 °С. З відпрацьованого брудного розчину відбирається цінна сировина для парфумерії – ланолін жиропоту овець [6].

До недоліків цих вовномийних агрегатів слід віднести наступне: великі габарити, обмежені функціональні можливості, низька якість промивання вовни через її пасивне переміщення у ваннах-барках грабельними робочими органами крізь зустрічний потік миючого розчину; висока питома матеріаломісткість й енергоємність робочого процесу.

Таблиця 1 – Техніко-технологічні характеристики вовномийних агрегатів

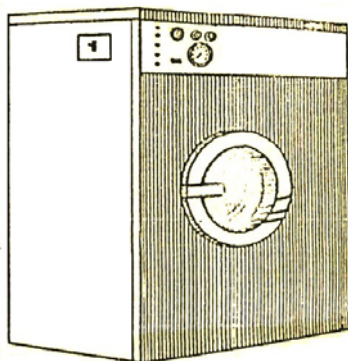
Показник	Вовномийні агрегати				
	МП-5Ш (Росія)	«Шарпантьє» (Бельгія)	«Петрі Макнот» (Англія)	«Тексіма» (Германія)	BS-2A (Польща)
Продуктивність, кг/год:					
- тонкої, напівтонкої	400-500	400	500-550	400	350-400
- грубої, напівгрубої	600-700	600	600-650	600	500-600
Потужність, кВт	38,8	41,7	30,5	30,3	121,7
Ширина барки, мм	1800	1700	1880	1800	1800
Довжина барки, мм:					
- першої	6630	8740	9150	-	6640
- другої	6630	8740	7320	-	6640
- третьої	5530	6540	6400	-	4840
- четвертої	4610	4440	5490	-	4840
- п'ятої	4610	440	5490	-	4840
Місткість барки, м ³ :					
- першої	8,0	13,7	13,7	9,1	8,5
- другої	8,0	13,7	10,7	8,0	8,5
- третьої	6,8	8,7	9,7	6,8	7,8
- четвертої	5,0	7,0	8,7	4,9	6,0
- п'ятої	5,0	7,0	8,7	4,3	6,0
Тиск на віджимні вали, кН	176,5	176,5	176,5	176,5	176,5

Зважаючи на ситуацію, яка сьогодні змінилася на протилежне, ряд авторів [5,7,8] вважає, що одним із шляхів виходу галузі з економічної кризи є розроблення альтернативних механізованих ресурсозберігаючих технологій первинної обробки вовни безпосередньо на місцях її виробництва, а саме в умовах сільськогосподарських підприємств. Але технічні засоби для їх реалізації на сьогодні в Україні відсутні.

Першою спробою первинної обробки вовни на місцях її виробництва було розроблення технології й створення АТ «Костромське СК БТМ», Кострома (Росія) комплексу малогабаритного обладнання для випуску пряжі [9]. Однією із основних машин цього комплексу є апарат для промивання вовни СМ-16Ш (рис. 2), який призначений для промивання й віджимання вовни шляхом її центрифугування.

Означений апарат представляє собою роторний робочий орган з обертовим перфорованим барабаном й торцевим завантаженням вовни, який активно впливає на завантажену в робочу камеру вовну.

Використання в комплекті машин для випуску пряжі вказаної конструкції активного робочого органу забезпечує багатофункціональність машини за рахунок виконання двох технологічних процесів: промивання та віджимання вовни центрифугуванням, високу надійність в роботі та універсальність щодо оброблюваної сировини.



Технічні дані:

Разове завантаження, кг/цикл	18-20
Робочий об'єм бака, м ³ :	
- підготовчого	0,3
- промивального	0,18
Встановлена потужність, кВт	2,4
Маса, кг	570
Робоча температура, °С	65
Витрати води на 1 цикл, л	900
Тривалість робочого циклу, хв.	35-40
Займана робоча площа, м ²	3,57

Рисунок 2 – Апарат для промивання вовни СМ-16Ш

Однак, наряду із вказаними перевагами, конструкція апарату має свої суттєві недоліки, зокрема: низьку якість промивання вовни; скручування вовни при її центрифугуванні; значні витрати води (до 900 л/цикл) й миючих засобів (20-30 г/л) на промивання 1кг вовни; високу питому матеріаломісткість та енергоємність процесу рідинної обробки вовни.

Черговим кроком зі створення малогабаритних технічних засобів для первинної обробки вовни на місцях її виробництва було розроблення ІТСР «Асканія-Нова» НААН, пгт Асканія-Нова спільно з ІМТ НААН, м. Запоріжжя вдосконаленої технології [10] й створення для її реалізації комплексу малогабаритного обладнання [11] у вигляді експериментальної лінії (рис.3).



Рисунок 3 – Експериментальна лінія ІТСР «Асканія-Нова» НААН для первинної обробки вовни

Однією із основних машин цього комплексу є касетна мийна машина КММ-4 (рис. 4), яка призначена для миття завантаженої в касети вовни водними струменями миючого розчину під високим тиском і яка представляє собою чотирьохкасетний робочий орган з нерухомою перфорованою мундштуковою насадкою всередині кожної касети. В цьому робочому органі миючий розчин подається під високим тиском через отвори мундштукових насадок від центру до периферії касет і забезпечує активну пронизуючу дію на завантажену в касети вовну.

Проте і ця конструкція має як свої переваги: компактність; простоту конструкції

та високу надійність в роботі; універсальність щодо оброблюваної сировини, так і певні недоліки: обмежені функціональні можливості машини за рахунок виконання робочим органом лише одного технологічного процесу: промивання вовни; низьку якість промивання вовни; значні витрати води (500-750 л/цикл) на промивання 1кг вовни; значну тривалість робочого процесу та великі затрати праці на його реалізацію.



Технічні дані:

Разове завантаження, кг/цикл	3,0-3,5
Об'єм робочої камери, м ³	0,45
Робочий об'єм касети, м ³	0,05
Встановлена потужність, кВт	7,5
Маса, кг	150
Робоча температура, °С	60-65
Витрати води на 1 цикл, л	500-750
Тривалість робочого циклу, хв.	10-15
Займана робоча площа, м ²	0,65

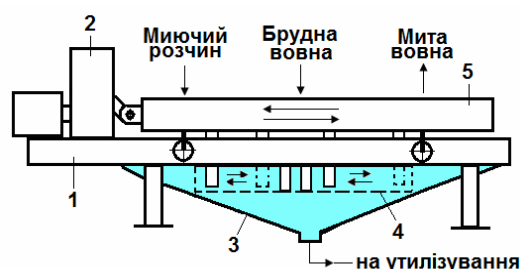
Рисунок 4 – Касетна мийна машина КММ-4

Наступним кроком створення малогабаритних технічних засобів для первинної обробки вовни на місцях її виробництва було розроблення ІМТ НААН, м. Запоріжжя механізованої ресурсозберігаючої технології первинної обробки вовни [12] та створення для її реалізації комплекту малогабаритного обладнання [13,14] у вигляді технологічного модуля ТМ ПОВ -8,0 (рис. 5), основою якого є мийно-віджимна машина циклічної дії.



Рисунок 5 – Технологічний модуль ТМ ПОВ-8,0 для первинної обробки вовни

Враховуючи, що галузь вівчарства сьогодні потребує розроблення малозатратних технологічних процесів обробки вовни та створення й виробництва компактних та багатофункціональних машин з покращеними характеристиками, які б забезпечували високу якість та надійність в роботі, автором на основі аналізу відомих конструкцій вовномийних агрегатів і машин [8-11] та результатів попередніх досліджень [15] розроблено конструктивно-технологічну схему (рис. 6а) та створено експериментальний зразок малогабаритної мийно-віджимної машини МВМ-0,24 з активним робочим органом (рис. 6б), яка позбавлена вказаних раніше недоліків і за результатами попередніх випробувань [16] показує покращені технічні характеристики порівняно з аналогами (табл. 2).



а) конструктивно-технологічна схема



б) загальний вигляд

1 – рама; 2 – привод; 3 – промивальна ємкість; 4 – робоча камера;
5 – мийно-віджимний механізм

Рисунок 6 – Мийно-віджимна машина МВМ-0,24 для рідинної обробки вовни

Таблиця 2 – Порівняльний аналіз малогабаритних вовномийних машин

Показник	Вовномийні машини		
	запропонована мийно-віджимна машина МВМ-0,24	аналоги	
		КММ-4 (Україна)	СМ-16Ш (Росія)
Продуктивність, кг/год. (по митій вовні)	40-55	15-20	25-30
Потужність, кВт	2,2	7,5	2,4
Обслуговуючий персонал, чол.	1	1	1
Габарити, мм:			
- довжина	2920	750	1850
- ширина	900	750	1250
- висота	1180	850	1650
Маса, кг	720	150	570
Витрати води на 1 кг митої вовни, кг	25-30	60-80	40-50
Питома енергоємність, кВт·год/кг	0,04-0,055	0,375-0,5	0,08-0,096
Питома матеріаломісткість, кг·год/кг	13,1-18,0	7,5-10,0	19,0-22,8

Аналізуючи техніко-технологічні дані відомих малогабаритних вовномийних машин (табл. 2) при реалізації технологій розробників можна стверджувати, що запропонована конструкція малогабаритної мийно-віджимної машини має ряд суттєвих переваг: вона універсальна щодо оброблюваної сировини; має багатфункціональний активний рухомий робочий орган у вигляді мийно-віджимного механізму з двома перфорованими клапанами, які здійснюють направлений зворотно-поступальний рух у горизонтальній площині на завантажену в секції перфорованої робочої камери й занурену в миючий розчин вовну, який при середній тривалості робочих циклів від 5 до 7 хв. й низьких показниках питомої енергоємності (0,04-0,055 кВт·год/кг) та матеріаломісткості (13,1-18,0 кг·год/кг) робочого процесу та незначних витратах води (25-30 л/кг) та миючих засобів (0,4-0,6 г/л) на промивання 1кг вовни забезпечує високу якість виконання ряду технологічних процесів: миття, полоскання та віджимання вовни за рахунок більш інтенсивної механічної дії на вологонасичену вовну в процесі її рідинної обробки.

Створений експериментальний зразок малогабаритної мийно-віджимної машини має покращені технічні дані, які забезпечують високу якість рідинної обробки вовни в межах норм технологічних вимог, високу надійність в роботі і, до того ж, має суттєві переваги: простоту конструкції та універсальність, компактність та

багатофункціональність.

Висновки:

1 Виконано огляд конструкцій та аналіз особливостей роботи відомих малогабаритних вовномийних машин.

2 На основі аналізу встановлено, що основним чинником, обмежуючим ефективність роботи вовномийних машин у складі ліній первинної обробки вовни, є низька якість промивання вовни через недостатньо інтенсивну механічну дію робочого органу на вологонасичену вовну в процесі її рідинної обробки.

3 За результатами порівняльного аналізу розроблено конструктивно - технологічну схему та створено експериментальний зразок малогабаритної мийно-віджимної машини, яка порівняно з аналогами має покращені технічні дані й забезпечує високу якість рідинної обробки вовни в межах норм технологічних вимог.

4 Подальші дослідження будуть зосереджені на практичному втіленні отриманих результатів у виробництво.

Список літератури

1. Тимошенко, Н. К. Новые - старые проблемы промывки овечьей шерсти [Текст] / Н. К. Тимошенко, Н. В. Рогачев // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2004. – № 2. – С. 18-20.
2. Иванов, М. Ф. Классификация шерсти в зависимости от способа мойки. Овцеводство [Текст] / М. Ф. Иванов // Сельхозиздат, 1935. – 385 с.
3. Канарский, Н. Я. Учение о шерсти и ее первичной обработке [Текст] / Н. Я. Канарский, Я. Я. Липенков, В. А. Горбовцев. Гизлегпром, 1939. – 356 с.
4. Дубинин, А. Н. Малогабаритная моечно-сушильная линия для производства мытой шерсти [Текст] / А. Н. Дубинин, Ю. В. Логинов, А. И. Нестерова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2002. – № 1. – С. 54-55.
5. Тимошенко, Н. К. Состояние и перспективы развития первичной обработки шерсти [Текст] / Н. К. Тимошенко // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2007. – № 4. – С. 46-50.
6. Марков, В. В. Первичная обработка лубяных волокон [Текст] / В. В. Марков, Н. Н. Суслов, В. М. Картовенко. – М.: Ростехиздат, 1961. – 360 с.
7. Наумов, О. Б. Організація виробництва та первинної обробки вовни у місцях сировинної бази [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 08.06.01 / О. Б. Наумов. – К.: НАУ, 2000. – 22 с.
8. Туринський, В. М. Обґрунтування і розробка системи технологічних рішень та способів виробництва продукції вівчарства [Текст] : дис. ... доктора с.-г. наук: 06.02.04 / Туринський Василь Михайлович. – Асканія-Нова, 2005. – 416 с.
9. Комплект малогабаритного обладнання для випуску пряжі [Текст] / АО «Костромское СКБТМ». – Кострома, 1993. – 9 с
10. Ванькевич, В. В. Нова ресурсозберігаюча технологія первинної обробки вовни [Електронний ресурс]: Міністерство аграрної політики України / В. В. Ванькевич, О. Д. Горлова, В. С. Пличко, Ю. Ф. Свергун, В. М. Туринський, О. Д. Черепов // Урядовий портал. – 2005. – Режим доступу: <http://www.minagro.gov.ua/page/8?2224>. – Назва з екрана.
11. Розробити ресурсощадні технології скорочення втрат продукції вівчарства в процесах її виробництва і переробки: Звіт про НДР (заключний)/ Ін-т тв-ва «Асканія-Нова» НААН; № ДР 0106U005674; Інв. № 0211U006045. – Асканія-Нова, 2010. – С. 130-145.
12. Пат. 55426 Україна, МПК (2009) D01B3/00. Спосіб первинного оброблення вовни/ Шевченко І. А., Лиходід В. В., Сухарльов В. О.; заявник і патенто-власник Ін-т мех. тв.-ва УААН. – u2010 07775; заявл. 21.06.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. №23.
13. Пат. 36408 Україна, МПК (2006) D01B3/00. Технологічний модуль первинного оброблення вовни / Лиходід В. В., Забудченко В. М.; заявник і патенто-власник Ін-т мех. тв.-ва УААН. – u2008 06340; заявл. 13.05.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.
14. Лиходід, В. В. Технологічний модуль для первинного оброблення вовни ТМ ПОВ-8,0 в умовах господарств [Текст] / В. В. Лиходід, В. М. Забудченко, І. С. Цис // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету «Сучасні проблеми землеробської механіки». – Спец. вип. № 2. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2009. – С. 157-161.
15. Виготовити дослідний зразок лінії первинної обробки вовни та виділення жиру і провести випробування: Звіт про НДР (заключний). Ін-т мех. тв.-ва УААН; № ДР0197U001015; Інв. № 0201U005772. – Запоріжжя, 2001. – С. 9–17.

16. Розробити ресурсоощадні технології скорочення втрат продукції вівчарства в процесах її виробництва і перероблення: Звіт про НДР (заключний). Ін-т мех. тв.-ва УААН; № ДР 0109U008889; Інв. № 0210U007168.– Запоріжжя, 2009. – С. 9–16.

Viktor Lykhodid, PhD tech. sci.

Khortytsia National Academy of Education and Rehabilitation, Zaporizhzhia, Ukraine

Analysis of Design of Wool Washing Units and Wool liquid Processing Machines

Improvement of quality of wool washing through the development and construction of a small-size washing and squeezing machine with an intensive mechanical action of a working element towards the moisture-saturated wool in the process of its liquid processing.

The article offers a description of design and operating features of renowned wool washing units and small-size wool liquid processing machines. On the basis of the analysis it is found that the key factor constraining an operational efficiency of wool washing units and machines is a low quality of washing caused by poor intensity of a mechanical action of a working element towards the moisture-saturated wool in the process of its liquid processing. Following the results of a comparative analysis a design and process scheme is developed and a developmental prototype of a small-size washing and squeezing machine for a liquid processing of wool in conditions of agricultural formations is constructed.

The proposed design of a small-size washing and squeezing machine is stated to have a range of essential advantages when compared to its counterparts: it is universal as for the processable raw material; it has a multifunctional working element, which ensures a high quality of a range of processes, such as washing, rinsing and squeezing of wool due to a more intensive mechanical action towards a moisture-saturated wool in the process of its liquid processing.

sheep breeding, mechanization, wool, liquid processing, units, machines, design, analysis

Одержано 04.11.17

УДК 631.3(075.8)

М.І. Черновол, проф., д-р техн. наук, чл.-кор. НААН України, М.О. Свірень, проф., д-р техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

В.В. Адамчук, проф., д-р техн. наук, академік НААН України

ННЦ “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” НААН України, смт Глеваха, Київська обл., Україна

В.М. Булгаков, проф., д-р техн. наук, академік НААН України

*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м.Київ, Україна
E-mail: vbulgakov@meta.ua*

Наукові та освітні проблеми сучасної агроінженерії

Розвиток аграрно-промислового комплексу держави вимагає забезпечення високого рівня освіти, організації виробництва, його гнучкого управління, дисципліни та відповідальності. У статті критично проаналізовано сучасний стан підготовки в Україні агроінженерних кадрів, наукових кадрів вищої кваліфікації, в цілому агроінженерної науки та сучасного сільськогосподарського машинобудування. Окреслено перспективи виходу з кризи у напрямках підготовки кадрів, проведення фундаментальних та прикладних наукових досліджень сучасного рівня, проектних і конструкторських розробок зі створення сільськогосподарської техніки, яка б відповідала кращим світовим аналогам.

агроінженерія, кадри, кваліфікація, вища освіта, машинобудування

© М.І. Черновол, М.О. Свірень, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, 2017

М.И.Черновол, проф., д-р техн. наук, чл.-кор. НААН України, Н.А. Свирень, проф., д-р техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна

В.В. Адамчук, проф., д-р техн. наук, академик НААН України

ННЦ “Институт механизации и электрификации сельского хозяйства” НААНУ, сгт Глеваха, Киевская обл., Украина

В.М. Булгаков, проф., д-р техн. наук, академик НААН України

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Кие, Украина

Научные и образовательные проблемы современной агроинженерии

Развитие аграрно-промышленного комплекса государства требует обеспечения высокого уровня образования, организации производства, его гибкого управления, дисциплины и ответственности. В статье критически проанализированы современное состояние подготовки в Украине агроинженерный кадров, научных кадров высшей квалификации, в целом агроинженерной науки и современного сельскохозяйственного машиностроения. Определены перспективы выхода из кризиса в направлениях подготовки кадров, проведение фундаментальных и прикладных научных исследований современного уровня, проектных и конструкторских разработок по созданию сельскохозяйственной техники, соответствующей лучшим мировым аналогам.

агроинженерия, кадры, квалификация, высшее образование, машиностроение

Постановка проблеми. Розвиток аграрно-промислового комплексу (АПК) нашої країни був і залишається загальнодержавним пріоритетом. У сучасних умовах більшості високорозвинених країн світу АПК – це багатофункціональна, високотехнологічна, енерговитратна галузь господарювання, проблеми розвитку якої мають комплексний характер, пов'язаний з природою, великими людськими й матеріально-технічними ресурсами та значним за обсягами оборотом коштів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як відомо, зараз все наполегливіше пропонуються гасла, за якими нібито наша країна поступово стає “годувальницею світу”, оскільки ринкові імпорتنі можливості сільськогосподарської сировини у нас невпинно зростають [1]. Однак при цьому неможливо не враховувати загальновідомі твердження економістів про те, що зараз у світі вже сформовані глобальні світові ринки майже замкнутого типу (це, насамперед, ЄС, США, Китай тощо), на які доступ для інших держав взагалі закритий. Крім того, визначальним фактором прогресу в АПК є так зване технологічне лідерство, за яким майже всі країни світу розподіляються на три великі групи [2]:

- швидко прогресуючі, які мають найвищі показники продуктивності праці;
- країни із середнім технологічним розвитком і, відповідно, з середньою продуктивністю праці;
- країни технологічно відсталі, які мають не тільки низький науково-технічний розвиток, а й найменшу продуктивність праці.

Загальновідомо, що капітали, здебільшого, концентруються у високорозвинених країнах світу з найвищою продуктивністю праці в сільському господарстві. Технологічно відсталі країни фактично виступають сировинними придатками економічно розвинених країн (звідси перекачуються фінансові капітали, їх природні та трудові ресурси). Таким чином, внаслідок неконкурентоспроможності такі країни випадають не тільки з перспектив лідерства, а навіть з регіональних світових ринків кінцевих продуктів споживання, відстаючи, як кажуть, “назавжди” від країн-лідерів [3].

Однак перебування у стані технологічно відсталих держав не фатальне, якщо сама держава подбає про зростання в галузі АПК високої продуктивності праці, що, безумовно, вимагатиме величезних інвестицій формування власного високоінтелектуального потенціалу [4]. На розвиток сучасних та перспективних високотехнологічних виробництв у сільському господарстві можна претендувати лише за умови забезпечення високого рівня освіти, організації виробництва, його гнучкого управління (сучасного менеджменту), дисципліни та відповідальності.

Постановка завдання. Проаналізувати сучасний стан вітчизняної галузі агроінженерії та знайти шляхи для подальшого розвитку галузі агроінженерії.

Виклад основного матеріалу. Так, до якої ж групи держав світу за вказаною ознакою можна сьогодні віднести Україну?

Перехід освіти України на так званий Болонський процес [5, 6], тобто на структурну реформу вищої освіти, єдиної на європейському просторі, призвело до деяких непередбачуваних наслідків. Так, впровадження і перехід до багатоступеневої підготовки освіти, в цілому, багаторічно й успішно апробований у багатьох високорозвинених країнах світу, передбачає підготовку з базової освіти на факультетах механізації сільського господарства, тобто бакалаврів, протягом усього 4-х років навчання. Та це призвело до того, що 5-річний курс дисциплін, необхідних для підготовки повноцінного інженера-механіка сільськогосподарського виробництва, фактично “втиснутий” тепер у чотири роки. При цьому, на жаль, це здійснено за рахунок скорочення природничо-наукових, фундаментальних дисциплін – математики, фізики, теоретичної механіки, теорії механізмів та машин. Небажання керівництва багатьох факультетів скорочувати загальноорієнтовані професійні дисципліни (на кафедрах яких вони самі у переважній більшості й працюють), призводить до того, що всупереч украї необхідному початковому фундаментальному навчанню ґрунтовним основам майбутньої інженерної справи, тобто математики, фізики і механіки, студенти вже з першого курсу починають вивчати спеціальні дисципліни – сільськогосподарські машини і трактори.

Обмежене вивчення основ фундаментальних дисциплін на інженерних факультетах в аграрних університетах – дуже загрозливе для всієї системи агроінженерної освіти (підготовка інженерів-механіків, інженерів-конструкторів, інженерів-електриків, інженерів-біотехнологів), оскільки нездатність майбутнього інженера до сприйняття фундаментальних понять математики та механіки ніяк не призведе до розуміння й успішного вивчення ним у подальшому теорії сільськогосподарських машин, теорії трактора, теорії двигуна. Тобто, в аграрних університетах готуються тепер спеціалісти нібито не для справжньої інженерної діяльності в сільському господарстві, а майбутні технологи-спостерігачі за механізованими процесами в сільському господарстві.

Ніяким чином не принижуючи значення і вагомість підготовки з основ сучасної технології виробництва продукції рослинництва і тваринництва (яка, до речі, і в минулі часи дуже ґрунтовно вивчалася на факультетах механізації сільського господарства під час викладання дисциплін з експлуатації машинно-тракторного парку, механізації тваринницьких ферм, економіки і організації виробництва в колгоспах та радгоспах тощо), особливо при різних формах господарювання на селі, слід зазначити, що основна діяльність інженера-механіка сільськогосподарського виробництва – це проектування та розрахунки для конкретних умов виробництва, забезпечення вимог і якості механізованих процесів, високоефективна експлуатація техніки, її налагодження на різні умови використання, регулювання і взагалі підтримання у працездатному стані, а, мабуть, і у зовсім недалекому майбутньому комп’ютеризоване та автоматизоване управління сільськогосподарською технікою.

У такому разі й вищий кваліфікаційний рівень освіти – магістерська підготовка при відсутній ґрунтовній початковій підготовці з фундаментальних дисциплін (яка здійснюється на 1-2 курсах аграрних університетів) навряд чи може готувати (після такої занадто обмеженої “базової освіти”) висококваліфікованих дослідників, конструкторів або випробувачів сільськогосподарської техніки.

Здатність до плідного продовження магістерського навчання має дуже обмежена (мізерна за чисельністю і обдарована) частина студентів бакалаврату. В цілому,

навчання в магістратурі, написання і захист магістерської роботи (це повинна бути невелика, але все ж таки наукова праця, тобто, фактично скорочена за обсягом кандидатська дисертація) перетворено на просту формальність, багаторазове переписування одних і тих же магістерських робіт, без усякого рецензування, справжнього, дещо спрощеного захисту. Хоча деякі наукові керівники магістерських робіт й докладають чимало зусиль для видання в наукових журналах статей своїх підопічних (або подачі заявок на отримання патентів України на винаходи або на корисні моделі), це, у переважній більшості, є їхні власні думки та розробки, а не ті, що повинен висловлювати на цьому відповідальному етапі навчання майбутній фахівець в галузі агроінженерії.

Сподівання на те, що у процесі підготовки магістрів можна успішно викладати фундаментальні дисципліни, на так званих “спецкурсах” (наприклад, курси з теорії стійкості руху, теорії нелінійних коливань, динаміки машин та міцності) не більш ніж ілюзії, оскільки, не маючи фундаментальних основ з математики та теоретичної механіки, яку, як і у всьому світі викладають на інженерних факультетах аграрних вишів три і більше семестри, а у нас – усього один семестр, ці “спецкурси” будуть для багатьох безрезультатними.

Необхідно зазначити, що переведення значної кількості годин навчання на використання так званої “самостійної” роботи студентів, яка, до речі, також широко розповсюджена в освітньому просторі високорозвинених країн світу і має дуже високий ступінь ефективності (там студенти “не з-під палки”, а добровільно, самостійно за допомогою комп’ютерної мережі самі цілодобово наполегливо вивчають значну частину навчального матеріалу, майже до “дірок” зачитують підручники і навчальні посібники, які можна отримати в бібліотеці, навіть сплативши за це власні гроші), призводить до того, що, здебільшого, наші студенти мають, як кажуть, “офіційний” дозвіл не відвідувати і без того напівпорожні аудиторії і навчальні лабораторії.

Є наявним той факт, що зараз й дипломне проектування на освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавра, яке раніше базувалося на виконання більш-менш реальних проектів, що розроблялися для існуючих господарств (за конкретними вихідними даними, які дипломник отримував у конкретних колгоспах, радгоспах та ремонтних підприємствах) тепер також перетворене у просту формальність, оскільки й таких господарств вже немає в країні, й техніка на полях і фермах працює виключно іноземна, яка не потребує ні дослідження, ні налагодження, ні вдосконалення.

Якщо поглиблювати аналіз стану даного питання, то проблеми підготовки високоякісних спеціалістів в галузі агроінженерії виникають ще й до виконання дипломних проектів та магістерських робіт. Так, ще до недавнього часу у вишах застосовувалася ґрунтовно відпрацьована й дуже ефективна робота студентів під час виконання домашніх “Розрахунково-графічних робіт” з фундаментальних дисциплін, яка зараз повністю відмінена. Невідомо з яких причин сьогодні “Курсові проекти”, намагаються залишити усього в кількості одного на весь курс (фактично на 1 рік навчання студента), замість 1 проекту на курс навчальної дисципліни, що вивчається. Однак виконання і захист студентами декількох курсових проектів за рік навчання, які передбачалися навчальними планами аграрних навчальних закладів раніше, значною мірою спонукали студентів до глибокого вивчення предметів, навчали їх ритмічній, самостійній (домашній) роботі, фактично надавали можливість доцільно застосовувати теоретичні знання на практиці. Сьогодні, така форма і можливість набуття студентами бакалаврату ґрунтовних знань майже втрачається.

Слід відверто констатувати, що підготовка майбутніх дослідників, конструкторів і випробувальників сільськогосподарської техніки, яка здійснюється нині на існуючих і

нещодавно створених факультетах конструювання аграрних університетів також, на нашу думку, не відповідає сучасним вимогам, оскільки тут студенти мають обмежені курси навчання фундаментальних дисциплін на 1-2 курсах, навчальні плани в основному дублюють програми підготовки звичайних інженерів-механіків, майбутні фахівці у переважній більшості позбавлені практичного навчання за фахом на машинобудівних заводах, у конструкторських бюро, на машино-випробувальних станціях. Сучасна профпідготовка мало нагадує підготовку в минулому аналогічних фахівців у колишніх політехнічних інститутах на факультетах тракторного та сільськогосподарського машинобудування й механіко-машинобудівних факультетах, де, до речі, в цілому фундаментальне навчання продовжувалося протягом усього навчання.

Відсутність відповідних умов та фінансування на здійснення практичної підготовки майбутніх фахівців, яка раніше здійснювалась шляхом проходження численних навчальних та виробничих практик (на машинобудівних заводах, районних сільгосптехніках, ремонтних майстернях, великих тваринницьких комплексах, птахофабриках, а також у звичайних колективних господарствах) зараз зведена до мінімуму. А помічена в останні роки тенденція “примусового банкрутства” учбових господарств і дослідних станцій, що належать аграрним вишам, і “переведення” їх в іншу власність, взагалі позбавляє студентів факультетів механізації сільського господарства навіть побачити працюючий у полі трактор, не те, що самим бути за його кермом і виконувати якийсь механізований технологічний процес. Широко розповсюджена в минулі роки серед студентів факультетів механізації сільського господарства аграрних вишів щорічна робота на цілинних землях, яка була потужною школою трудового виховання майбутніх інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва, зараз також на жаль відсутня. Внаслідок цього в країні фактично немає умов для ґрунтовної практичної підготовки майбутніх фахівців сільського господарства, які б мали не тільки якісне університетське навчання, але й можливості для набуття навичок його конкретного вмілого застосування й реалізації.

Крім того, широко розповсюджена зараз практика направлення на навчання (стажування) за кордон у провідні аграрні країни найбільш обдарованих студентів факультетів механізації аграрних університетів теж ніяк не вирішує проблем поповнення сільського господарства нашої країни інженерними кадрами високої кваліфікації, оскільки переважна більшість таких “стажерів” взагалі в Україну не повертається. Короткострокові ж (до півроку або на рік) направлення на роботу наших студентів у західні країни для ручного збирання там суниці, салатів, капусти тощо взагалі ніякого відношення до підготовки справжніх інженерних кадрів для вітчизняного сільськогосподарського виробництва не мають. Навіть і в цьому випадку студенти, тимчасово потрапивши закордон, інтенсивно шукають можливість взагалі додому не повертатись.

Негативна тенденція до обвального зниження обсягів та вимог до вивчення перше: фундаментальних дисциплін на інженерних факультетах аграрних університетів, а по-друге: тенденції зниження вимог і в цілому загального рівня освіти і практичного навчання призведе, на нашу думку, до випуску неконкурентно-спроможних фахівців, порівняно з високорозвиненими країнами світу. Високотехнологічне товарне виробництво сільськогосподарської продукції з використанням новітніх сучасних технологій і найсучаснішої техніки, незважаючи на різні форми власності на селі, буде в майбутньому в нашій країні просто неможливим. А якщо враховувати те, що переважна більшість випускників інженерних факультетів аграрних університетів нашої країни взагалі не може (часто і не бажає) знайти роботу за обраним фахом, тобто безпосередньо у сільському господарстві, то в цілому стан

справи виходить навіть за межі загрозливого. Купувати разом з іноземною сільськогосподарською технікою ще й іноземного фахівця, який зможе її високоефективно використовувати у нас – це вже ніяким чином не жарт!

Не кращою, на нашу думку, є і підготовка кадрів вищої кваліфікації в галузі механізації сільського господарства. Вседозволеність у вказаному напрямку наукової діяльності призвела до того, що спеціалізовані вчені ради (навіть докторські) почали створюватись у вищих навчальних закладах, де взагалі немає відповідних факультетів і кафедр механізації сільського господарства, відповідних власних наукових кадрів і фундаментальних наукових шкіл в цьому науковому напрямі. Чомусь так вважалось, що підготовка кандидатів та докторів наук в галузі агроінженерії, а найголовне легкий захист та затвердження дисертаційних робіт, призвів до того що сюди “хлинув” потік вчених, які не тільки самі не мають відповідної механізаторської базової освіти, але й широким загалом “випускають” учнів, які ледве бачили ріллю та плуга, не те що коли-небудь їх вивчали, працювали на них, а потім з розумінням досліджували і отримували нові наукові результати. Ця обставина не була б такою загрозливою, якби у нас справжні вчені механіки і математики дійсно готували учнів і дисертаційні роботи, що збагачують галузь механізації сільського господарства новітніми дослідженнями сучасного рівня, а не навпаки вкрай низький рівень численних дисертаційних робіт, які зараз захищаються у цьому напрямку. Наведені в більшості дисертаційних робіт (особливо докторських) “три- чотириповерхові” диференціальні рівняння не перевірені (і ніколи, у більшості випадків, взагалі не можуть бути навіть перевіреними) в експериментальних умовах і ніяким чином не відображають реальних технологічних процесів, для яких вони сформовані. До того ж у деяких докторських дисертаційних роботах найчастіше зустрічаються загальновідомі, навіть майже “примітивні” твердження, які здобувачі високого наукового рівня підносять як власні наукові надбання. Для чого ж вони їх досліджували, а потім захищали? Цілком зрозуміло – тільки для отримання диплому кандидата чи доктора наук.

Не менш “цікавим” залишається питання, а як же відбуваються зараз захисти тих дисертаційних робіт, що виконали аспіранти та докторанти нашої країни. По-перше, складається також дивна ситуація, що під час формування спеціалізованих вчених рад, у їх складах докторів наук, що не мають ніякого відношення до механізації сільського господарства та сільськогосподарського машинобудування більше, ніж тих, хто має докторський ступінь саме в цій потрібній галузі науки. Як таке може бути? А кажуть, а у нас є доктори наук, які хоча і працюють в інших галузях наук (і мають докторські ступені зовсім з інших спеціальностей), але вони мають праці в галузі механізації сільського господарства. Це що? А це все цілком нагадує так званий “театр абсурду”. Ну як учений, який (майже все життя) працює в іншій галузі науки, може мати наукові праці саме в нашій, агроінженерній галузі? Звичайно ж, його швидко й безсоромно включили як “міфічного” співавтора в наукові статті з механізації сільського господарства, і так робиться у нас всюди. Раніше обов’язково необхідно було залучати до складів спеціалізованих вчених рад в галузі агроінженерії докторів наук з рослинництва, тваринництва та економіки, але тих, хто активно працює в актуальних напрямках саме аграрної науки. Саме вони раніше сприяли тому, що робота, яка захищається в галузі агроінженерії має всебічну й об’єктивну оцінку, і вона насправді корисна для сільського господарства України. Нині таких фахівців, на жаль, не залучають, а навпаки, залучають тих, хто до сільського господарства не має ніякого відношення: металообробників, будівельників тощо. А як вони оцінять дисертацію чужої їм галузі? Ніяк, просто проголосують “За”. А як може бути інакше, оскільки ці вчені є близькими друзями голови захисної ради? Скажіть, будь ласка, а в якій більш-менш достойній країні таке можливе?

Далі, а про які ж дослідження сучасного наукового рівня може йти мова, якщо зараз нібито заборонено окремим ученим відстоювати власну думку на захистах дисертацій і висловлювати негативні відгуки тоді, коли всі дружно “За”! А навіть і несподівано висловлена негативна думка відразу ж потоне у дружному хорі загальної підтримки: сьогодні я критикую, а завтра мого аспіранта “з’їдять”, а може, і не зможуть з’їсти, але “нерви при цьому значно поспують”. Захищаючи здобувача, який працює в організації, де діє спеціалізована вчена рада, деякі її члени, а то й ціла група, всупереч істині здатна не тільки на фальсифікацію справжньої науки, а й при навіть беззаперечних доказах відразу переходити на гостру критику того члена ради, який в цьому питанні має сумнів. В українській практиці це явище дуже й дуже розповсюджене. А то ще й на захистах деяких “грунтовних” докторських досліджень (у це навіть складно повірити) між самими членами спеціалізованої вченої ради іноді виникають гострі суперечки, пов’язані з такими загальновідомими поняттями, як “сила інерції Коріоліса – її значення, напрям дії”, чим відрізняється “момент сили” від “моменту пари сил”, яка насправді розмірність “у кутовій швидкості обертання” тощо. А в врешті-решт у висновку робиться такий остаточний наголос: “нехай там воно так, а у нас сила інерції Коріоліса має вигляд, який наведений у дисертації нашого здобувача”! Хто дасть пояснення – що це таке? Захисти багатьох кандидатських і деяких докторських дисертаційних робіт іноді перетворюються у звичайний фарс. А то ще у зміст докторської дисертації “впихаються” розділи із зовсім інших наукових спеціальностей без усякого обґрунтування, стикування, доказів користі від такого “поєднання”. Після наведення нібито ґрунтовної частини теоретичного надбання, викладеного на чисельних сторінках, фактично наводиться “ґрунтовний” кінцевий результат цього дослідження: “швидкість дорівнює – шлях поділений на час”! Хіба ж це наука вищого ґатунку?

Підготувати здобувача і його дисертацію, а потім передати (розуміється не безкорисно) його іншому керівникові (навіть кандидату наук, навіть з іншого міста, бо тому вкрай потрібно терміново отримати атестат «ваківського» професора, на що в нього немає підстав) – це явище в нашій країні нікого вже не дивує, оскільки стало доволі розповсюдженим. Такий стан речей теж немає нічого спільного із справжньою наукою. Відверті негативні висловлювання останніх років про так званих “нових докторів наук” та порівняння їх із справжніми докторами наук минулих часів зараз, як ніколи, мають під собою дуже міцне підґрунтя.

Підсумовуючи сказане і, насамперед, жодним чином не ставлячи перед собою завдання когось образити, у нас є всі підстави стверджувати те, що сьогодні у наших вищих агроінженерна наука, яка створюється й успішно захищається, відверто робиться «на полицю».

Як не дивно, саме у вітчизняних вишах йде вже багато років суцільний великий вал захистів кандидатських і докторських дисертацій в галузі механізації і електрифікації сільського господарства, що жодним чином не мають нічого спільного зі справжньою наукою в галузі агроінженерії, яка може принести хоч якусь користь виробництву, державі, і вона нікому не потрібна. Але тут ще, на превеликий жаль спостерігається дивна ситуація, коли більшість здобувачів цих високих наукових звань дійсно взагалі ніколи не бачити ні ріллі, ні ферми, ні току, ні теплиці. Звідки ж буде, в такому разі, справжня актуальна агроінженерна наука?

Якщо ретельно розібратися в причинах такого ганебного стану, то цілком зрозуміло, що раніше тематика наукових досліджень на факультетах механізації сільського господарства, яка хоча й формувалася стихійно, але у переважній більшості виходила з актуальних проблем тієї сільськогосподарської техніки, яка в країні виготовлялась, і яка обов’язково вивчалася на інженерних факультетах вишів. Тоді,

скажімо відверто, наша сільськогосподарська техніка була, в цілому, не зовсім досконала та високонадійна, а тому наукові дослідження було на що спрямовувати. І це було цілком логічно і сприятливо в науковому середовищі, оскільки були міцні зв'язки науковців із заводами-виробниками та сільськогосподарськими підприємствами. Маємо всі підстави стверджувати, що тоді виробники сільськогосподарської техніки і виробники сільськогосподарської продукції самі інтенсивно шукали шляхи співпраці з науковцями щодо вдосконалення техніки, яка виготовлялася та експлуатувалася на наших ланах і фермах.

А тепер? Коли аспіранти та докторанти, в цілому молоді люди, які взагалі ніколи не бачили нашої, вітчизняної, сільськогосподарської техніки, а скажімо, бачили виключно сільськогосподарську техніку іноземного виробництва, відпрацьовану, вдосконалену і високонадійну, то що ж вони повинні тоді досліджувати? Робочі органи та технології іноземного виробництва? Ні! Там вже і без нас майже все науково обґрунтовано, вдосконалено, і це для наших дослідників буде марна втрата часу та коштів. Шукати щось особливе і неповторне? Але це дуже й дуже рідко спостерігається, і жодним чином не гарантує стовідсоткове доведення такого дослідження до масового виробництва (окрім наукового опрацювання, для цього у подальшому ще й потрібні конструкторські роботи сучасного рівня, виготовлення дослідного зразку, величезна праця технологів, виробничників, дизайнерів, застосування найсучаснішого виробничого обладнання). Тож, якщо в нашій державі найближчим часом не буде створено на високому рівні цього ланцюга – “наука – виробництво”, то заздалегідь можна стверджувати, що й всі ці наукові розробки вітчизняних учених будуть гіршими за іноземні або, якщо казати дуже відверто, вся наукова продукція (навіть та, що має світовий пріоритет) не знайде вітчизняного споживача і, фактично, нікому не буде потрібна.

А що ж тоді пропонують досліджувати зараз керівники своїм аспірантам та докторантам у вишах? Наберемося сміливості стверджувати – те, що майже нікому не потрібно. Для того, щоб запропонувати і в подальшому вдало дослідити щось принципово нове і актуальне, необхідно не тільки як кажуть “вийти на світовий рівень”, а зробити ще й крок вперед. Для цього потрібно хоч раз керівникові та аспіранту чи докторанту поїхати та відвідати щорічні виставки сільськогосподарської техніки в Ганновері, Парижі, Брно. Якщо уважно проаналізувати, то неважко побачити, що весь ринок вже заповнений різним типорозміром усіляких зразків сільськогосподарської техніки для будь-яких технологій, умов експлуатації. Але шукати нам “свою нішу” все ж таки вкрай потрібно!

Слід ретельно вивчати англomовні наукові статті в галузі агроінженерії, мати глибокий матеріал зарубіжного патентного пошуку. Іноземні вчені ж не все, що отримали, друкують, тому ми нібито приречені весь час когось наздоганяти.

Не можемо обійти ще одне гостре питання. Ось, наприклад, десь у вищому навчальному закладі або в науково-дослідному інституті нашої країни було здійснено наукове дослідження високого рівня. Власного споживача цієї наукової продукції, на жаль, немає, і вона, як нікому не потрібна, “лягає на полицю”. А втім, упродовж десятиліть ми представляли ґрунтовні праці з результатами цих досліджень у різних виданнях, подали і отримали патенти України. Виходить, що будь-хто зацікавлений в цих дослідженнях може їх привласнити без усіляких труднощів, не повідомляючи про це нас, авторів. Сучасні комп'ютерні технології дозволяють не виходячи з дому опрацьовувати монографії, наукові журнали й переписувати результати. Все є в комп'ютері: і статті, і патенти, і наукові звіти. Ось і виникає закономірне питання: “А що ж робити в цьому випадку”? А нічого! Якщо мова йде про фундаментальні

дослідження, то хоча б можна стверджувати про якийсь пріоритет. В іншому разі, нічого з цього не буде варто.

Тепер поглянемо, а як же працюють сьогодні в Україні заводи та підприємства, які випускають сільськогосподарську техніку. На жаль, вони здебільшого, не зацікавлені придбати та застосовувати будь-які наукові дослідження, зроблені саме в Україні, оскільки для своїх зразків, найчастіше, купують робочі органи та комплектуючі вироби провідних світових фірм, ретельно відпрацьовані, високонадійні конструктивні елементи, які теж нашою промисловістю не виготовляються. А, оскільки, українські промисловці купують закордонні комплектуючі та готові робочі органи, то, насамперед, вони разом з імпортом готової продукції фактично імпортують й інтелектуальну її складову. А саме в цій складовій з великою ймовірністю може бути й частка української наукової думки, оскільки, як уже зазначали вище, все зараз доступно без жодних обмежень: і наші наукові праці, і наші технічні розробки. Таким чином, коло замкнулося!

Правда, може виникнути закономірне питання – а є взагалі зараз у нас такий високий рівень наукових досліджень та конструкторських напрацювань, який би цілком реально зацікавив виробників у світі й відповідав би сучасному рівню застосування у високотехнологічному сільському господарстві? Так, він є. Навіть тепер, коли грошей катастрофічно бракує, замовників немає, мотивації у проведенні наукових досліджень майже відсутні, все одно такі ідеї, такі результати, такі конструкції, такі науково-обґрунтовані технічні рішення, робочі органи, пристрої та вдосконалені технології у нас все ж таки є.

Що стосується спільної роботи вчених науково-дослідних інститутів і викладачів вишів, то з цього приводу поки що можна з сумнівом стверджувати наступне. Керівництво академічного Національного наукового центру “ІМЕСГ” багато разів зверталось до керівників багатьох факультетів механізації сільського господарства і до ректорів провідних вишів агротехнологічного спрямування з проханням більш тісного контакту і проведенні деяких сумісних актуальних і вкрай важливих наукових досліджень, які б дали безсумнівну обоюдну користь. Це торкалось, наприклад, співпраці в галузях автоматизації, енергетики, сучасних технологій рослинництва тощо. Однак, на жаль, такої тісної співпраці поки що немає.

А що в такому випадку трапляється? Де ж криються коріння цієї відмови? Здається, що в НДІ мають бажання мати від вузівських вчених не теорії, рівняння, формули, графіки, а конкретні актуальні нові проекти на рівні хоча б технічного завдання або конкретно розробленого сучасного нового науково-технічного проекту. А тому, так здається, що вузівські вчені не поспішають втілювати свої результати досліджень у конкретні пристрої, робочі органи, знаряддя, оскільки рівняння та формули можуть не відображати реальних процесів, що відбуваються у виробництві. Ось і маємо зараз в агроінженерній галузі науки дуже багато теоретичних досліджень, а конкурентоспроможних машин та обладнання – дуже мало.

Таким чином, підсумовуючи вищесказане, визначимо першочергові термінові заходи, які, на нашу думку, треба здійснити у процесі підготовки кадрів у даній галузі сільського господарства. По-перше, в освітньому просторі під час підготовки бакалаврів повністю відновити викладання фундаментальних дисциплін на 1 – 2 курсах інженерних факультетів аграрних університетів у обсягах, які були 20 – 25 років тому. По-друге, знайти умови і забезпечити ґрунтовне практичне навчання студентів інженерних факультетів в учгоспах і господарствах, які належать саме аграрним університетам. Забезпечити, за рахунок державної підтримки, ці господарства найсучаснішими зразками сільськогосподарської техніки, для її ґрунтового вивчення майбутніми інженерами під час виконання технологічних практик. Підготовку

інженерів-конструкторів сільськогосподарської техніки проводити за обсягами навчання не нижчими, ніж ті, які були у колишніх політехнічних інститутах на відповідних факультетах. На державному рівні забезпечити умови (перш за все матеріально-фінансові), за якими значна частина випускників інженерних факультетів аграрних університетів буде залучатися безпосередньо у сферу матеріального виробництва. Необхідно відмовитись, навіть на державному рівні, від помилкового ствердження про те, що нібито для різних форм господарювання сучасного сільського господарства країни на селі потрібні тільки інженери-технологи. Хто ж тоді буде успішно готувати, налагоджувати, регулювати, ремонтувати найсучаснішу вже зараз складну і комп'ютеризовану сільськогосподарську техніку та енергетичні засоби безпосередньо у процесі їх роботи, в полі, під час щозмінного технічного сервісу, хто буде розраховувати і комплектувати машино-тракторні агрегати для конкретних умов виробництва, хто буде проектувати, розраховувати і забезпечувати працездатність механізованих процесів, машин і механізмів у тваринництві – так звані інженери-технологи? Ні! Це прямі обов'язки і безпосередні задачі саме інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва. Їхню підготовку необхідно проводити в країні на дуже високому, фундаментальному рівні. Підготовку інженерів-конструкторів та інженерів-дослідників здійснювати за поглибленими навчальними програмами, заздалегідь передбачивши вивчення студентами базових фундаментальних дисциплін протягом усього періоду навчання. Передбачити проведення навчальних практик та стажування в наукових лабораторіях НДІ та на підприємствах, які виробляють сільськогосподарську техніку в Україні.

Що торкається проведення наукових досліджень (фундаментальних та прикладних), то майже в усьому високорозвиненому світі справжня наука завжди робиться на замовлення. Безсумнівно, так само повинно бути і в нас. Навіть фундаментальні дослідження, які не приносять миттєвої користі, повинна замовляти держава, якщо вона, по-перше, зацікавлена в отриманні їх результатів, а по-друге, спрмагається сама мати (як своє надбання і свій науковий потенціал) високотехнологічні, конкурентоспроможні галузі виробництва.

Нам можуть заперечити ствердженням, що технологічне і технічне переоснащення АПК в Україні можна успішно здійснювати за рахунок щорічного імпорту сільськогосподарської техніки. Однак цей шлях прямо веде до того, що ми можемо опинитися на узбіччі науково-технічного і соціального розвитку, потрапляючи в повну, навіть кабальну, залежність від економічно і технологічно розвинених держав світу. Саме вони будуть диктувати свої умови, підштовхуючи бути лише сировинним придатком Європи і світу.

Ми розуміємо, що лише емоційними закликами цієї занадто складної проблеми не вирішити, і по-справжньому прогресивних перетворень в аграрно-інженерній галузі науки забезпечити неможливо, але починати все ж таки потрібно!

Нам усім необхідно невпинно та наполегливо, крок за кроком, піднімати рівень власних наукових досліджень, який би був, насамперед, конкурентоспроможним у світі. А тому, виконуючи власні дослідження, варто всім відштовхуватися від уже досягнутого світового рівня розвитку тієї чи іншої галузі науки (механізації, електрифікації, автоматизації, навіть роботизації), а не від досягнень учених, які будуть їх виконувати.

Цілком ймовірно, що дехто скаже, що у світовому науковому просторі більшість актуальних питань в галузі агроінженерії вже вважаються виконаними і достатньо відпрацьованими, то чого ж ми беремося за їх розв'язування, знаючи про це? Але все одно треба наполегливо шукати своє бачення розв'язування тієї чи іншої актуальній науково-технічної задачі в галузі агроінженерії, мати свої, більш ефективні шляхи їх розв'язання, вміти підходити нестандартно (а головне – далекоглядно) до проведення

нових теоретичних та експериментальних досліджень.

Керівництву вишів та НДІ, на наш погляд, потрібно відшукати такі важелі щодо виконавців наукових досліджень, щоб була реальна користь від отримання нових наукових результатів, користь від їх впровадження, від перспектив подальшого руху в правильному напрямку, словом, щоб, подальше невикористання таких розробок в нашій країні було б просто економічно не вигідним!

Потрібно спрямовувати наукові дослідження на отримання принципово нових, різнобічних професійних знань в кожній із зазначених галузей таким чином, щоб ступінь наукового дослідження того чи іншого технічного та технологічного питання був би максимально глибоким, а його обсяг – достатньо великим. Тоді це й буде поштовхом до подальшого створення принципово нових механізованих технологій за обов'язковою умовою їх енергоощадності, ресурсощадності та екологічної безпеки. А це вже повинен бути початок так званої “ланцюгової реакції” в напрямі глибокого науково-технічного прориву в тій чи іншій галузі агроінженерії.

Ще раз хочемо підкреслити, що зараз потрібно робити глибокі, комплексні фундаментальні та прикладні розробки, наукова місткість яких була б найбільш вагома. Саме під такі розробки заздалегідь потрібно оголошувати конкурси, а для їх виконання – обов'язково залучати вчених на контрактній основі. Так робиться в усьому світі. А вже в контракті конкретно зазначається, що вчений повинен зробити, і яку суму отримати. Керівництво вузівської та академічної науки в цьому питанні має бути дуже вимогливим. Цілком зрозуміло, що потрібно залучати для виконання наукових досліджень сучасного рівня учених, які б могли ефективно виконати замовлення! Іншого шляху зараз просто немає!

Не можна оминати найголовнішу проблему сучасного сільського господарства України – виробництво сільськогосподарської сировини. Бажання багатьох політиків і державних діячів стверджувати, що в Україні зараз рішення продовольчої проблеми суттєво не відрізняється від загальноновідомих світових тенденцій, особливо коли в країні наприкінці року підводяться підсумки зібраних врожаїв, суперечить дійсності. Тому, на нашу думку, теза про те, що Україна вже зараз впевнено і поступово займає провідне місце серед країн світу в глобальному постачанні продовольчих ресурсів на світовий ринок, вимагає ретельного глибокого осмислення та критичного аналізу. Навіть популярні сьогодні твердження про нібито дуже перспективне і майже реальне щорічне виробництво в Україні зерна на рівні 100 млн. тон і вище – науково необґрунтовані.

Слід відразу підкреслити, що теоретично це, мабуть, цілком можливо, але для реалізації даної тези наявні сьогодні організаційні, технологічні, технічні можливості потужностей сучасного сільського господарства України навряд чи зроблять більш-менш реальним досягнення такої мети. А, насамперед, екологічні та соціальні наслідки цієї перспективи можуть бути для країни непередбачуваними.

Тільки фундаментальні та ґрунтовні конкретні наукові дослідження можуть дати відповідь на це питання. В цілому зрозуміло, що без суттєвої державної підтримки, без проведення конкретних досить глобальних агробіологічних, технічних, екологічних й економічних досліджень та значних комплексних, принципово нових технічних, технологічних та організаційних перетворень на державному рівні в аграрній сфері країни, реалізація цієї пропозиції, на що є ґрунтовні підтвердження, в найближчій перспективі навряд чи можлива.

А найголовнішим є те, що не тільки виробництво й продаж за кордон сировини, а й глибока промислова переробка сільськогосподарських продуктів і сировини, при обов'язковому використанні сучасних технологій, з широким асортиментом і високою якістю кінцевих продуктів споживання, які саме й треба Україні постачати на світовий

ринку. І це буде економічно вигідно для нашої держави і тільки це дозволить їй бути конкурентоспроможною в системі світової глобалізації економіки і продовольчих ринків, які зараз досить бурхливо розвиваються.

Висновки. Розгалужена, високотехнологічна, економічно обґрунтована, а найголовніше, високоприбуткова галузь саме для її виробників – ось реальна перспектива, ключова задача подальшого еволюційного розвитку сільського господарства України, що була накреслена донедавна видатними вченими-аграріями нашої держави. Оскільки здавна відомо, що держави з переважним експортом сировини й матеріалів і імпортом кінцевих товарів якраз й належать до категорії залежних!

Тільки за умови подолання вказаних негараздів наукова й освітня галузі агроінженерії будуть мати суттєві поштовхи для подальшого розвитку й великих перспектив.

Список літератури

1. Зубець, М.В., Безуглий М.Д. Економічні аспекти реформування аграрно-промислового комплексу України [Текст] / М.В. Зубець, М.Д. Безуглий. – К.: Аграрна наука, 2010. – 31 с.
2. Корилук, С. Аграрна освіта в Україні та за кордоном : компаративний аналіз [Електронний варіант] / С. Корилук // Педагогіка вищої школи: особливості підготовки молодших спеціалістів в Україні та за кордоном. – жовтень. – 2014. – Режим доступу : <http://acup.poltava.ua/files/Koriliuk.pdf>.
3. Безуглий, М.Д. Сучасний стан реформування аграрно-промислового комплексу України [Текст] / М.Д. Безуглий, М.В. Присяжнюк. – К.: Аграрна наука, 2012. – 47 с.
4. Калетнік, Г.М. Сучасний стан та перспективи кадрового і наукового забезпечення галузі механізації сільського господарства [Текст] / Г.М. Калетнік, В.М. Булгаков. – Механізація та електрифікація сільського господарства : Міжвідомчий тематичний наук. зб. – Нац. наук. центр "ІМЕСІ" НААН України. – Глеваха, 2013. – Вип. 97. Т.1. – С. 24-36.
5. Про затвердження переліку галузей знань і спеціальностей, за якими здійснюється підготовка здобувачів вищої освіти [Електронний варіант] : постанова Кабінету Міністрів України від 29 квіт. 2015 р. № 266. – Режим доступу : <http://www.kmu.gov.ua/control/ru/cardnpd?docid=248149695>.
6. Основні засади розвитку вищої освіти України в контексті Болонського процесу (документи і матеріали 2003-2004 років) [Текст] / За редакцією В. Г. Кременя. – К., 2003.

Mykhailo Chernovol, Prof., DSc., Mykola Sviren, Prof., DSc.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Valery Adamchuk, Prof., DSc.

NSC "Institute of mechanization and electrification of agriculture", town Glevaha, Kiev region, Ukraine

Vladimir Bulgakov, Prof., DSc.

National University of Bio-resources and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Scientific and Educational Problems of Modern Agro-engineering

To analyze the current state of the national branch of agro-engineering and to find ways for further development of the agro-engineering industry.

The development of the agro-industrial complex of the state requires the support of a high level of education, organization of production, its flexible management, discipline and responsibility. The article deals with the critical analysis of the current state of training of agro-engineering personnel in Ukraine, highly skilled scientific personnel, in general agro-engineering science and modern agricultural machine-building. The prospects of coming over the crisis in training, carrying out of fundamental and applied scientific research at the modern level, design and engineering developments for the creation of agricultural machinery that corresponds to the best world analogues were outlined.

Extensive, high-tech, economically grounded, and most importantly highly profitable industry for the producers is the real prospect, the key task of further evolutionary development of Ukrainian agriculture which was recently outlined by prominent scientists-agrarians of our country.

agro-engineering, personnel, qualifications, higher education, machine engineering

Одержано 12.10.17

UCD 681.513.5

Oleksij Lobok, Doctor of Physics and Mathematics, Boris Goncharenko, PhD tech. sci.

National University of Food Technologies, Kiev, Ukraine

E-mail: goncharenkobn@i.ua

Larisa Vihrova, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Isolation of the D -domain of Stability of Linear Dynamical Systems with Fractional Order Regulators

In the article the solution of the problem of the selection of the region of stability of linear dynamical systems with $PI^\lambda D^\mu$ -regulators a factor of fractional order is given. Using the D -split method, we obtain analytical formulas that determine the limits of the region of stable stabilization of the "object" + "fractional-regulator" system. The results obtained relate to the control system for biological purification of contaminated water by active sludge. Some results of computational experiments are given, an estimation of fractional-regulator efficiency is given. Further development of these results may be related to the search for both optimal adjustment parameters and fractional orders of the diperegenerators included in the regulator, according to some chosen optimality criterion.

stabilization region, fractional derivatives, fractional integrals, $PI^\lambda D^\mu$ -regulator of fractional order, PI -regulator, D -split method, Laplace transform for differintegrator

А.П. Лобок, доц., канд.т физ.-мат. наук, Б. Гончаренко, проф., д-р техн. наук

Национальный университет пищевых технологий, г.Киев, Украина

Л.Г. Вихрова, проф., канд. техн.х наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина

Выделение d -области устойчивости линейных динамических систем с $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторами дробного порядка

В статье дается решение задачи выделения области устойчивой стабилизации (устойчивости) линейных динамических систем с $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторами дробного порядка. Используя метод D -разбиения, получены аналитические формулы, определяющие пределы области устойчивой стабилизации системы "объект" + "дробный $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор". Полученные результаты касаются системы автоматического управления биологической очисткой загрязненных вод активным илом. Приводятся некоторые результаты вычислительных экспериментов, дается оценка эффективности дробного $PI^\lambda D^\mu$ -регулятора.

область стабилизации, дробные производные, дробные интегралы, $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор дробного порядка, PI -регулятор, метод D -разбиения, преобразование Лапласа для дифференциатора

Introduction. From the beginning of the development of the theory of integro-differential calculus of fractional order [1], its first applications in control problems appeared only about 50 years ago [2]. It has been shown that fractional calculus becomes an effective tool for describing numerous dynamic systems. The classical results of the PID control theory have spread to the fractional order controllers, which denote how $PI^\lambda D^\mu$, where λ and μ are the orders of integration and differentiation of the error signal, with orders λ and μ may have valid non-integer (fractional) values [3,4].

Statement of the problem.. The well-known problem of the allocation of the global region of stability (D -split method) required the distribution of fractional dynamic systems in the space of the parameters of the adjustment $PI^\lambda D^\mu$ -regulator, depending on the value of the orders of powers λ and μ .

Research methods. Analytical studies and computational experiment in the MATLAB environment have been conducted.

Statement of the objective. The purpose of the article is to study the possibility of applying the D -split method to automatic control systems for process control with fractional controllers.

The main material. A fundamental operator ${}_a D_t^\gamma$ is often referred to as a differintegrator.

$${}_a D_t^\gamma = \begin{cases} d^\gamma / dt^\gamma, & \gamma > 0, \\ 1, & \gamma = 0, \\ \int_a^t (d\tau)^{-\gamma}, & \gamma < 0, \end{cases} \quad (1)$$

where γ – fractional order;

a – constant associated with the initial conditions.

More fundamental is the definition of Grunwald-Letnikov for the order γ according to which

$${}_a D_t^\gamma f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\gamma} \sum_{j=0}^{[(t-a)/h]} (-1)^j \binom{\gamma}{j} f(t - jh), \quad (2)$$

where $\binom{\gamma}{j} = \frac{\Gamma(\gamma+1)}{\Gamma(j+1)\Gamma(\gamma-j+1)}$, $\Gamma(x)$ – gamma Euler's function, $h > 0$ – gain of the

time coordinate, $f(x)$ – the function to which the operator of the differential integration is used, $[\cdot]$ – means an integer part of the number. This definition shows that integer derivatives require the use of finite series, and fractional derivatives – an infinite number of members of a series.

It can be proved [5] that the Laplace transform, which is the basis of the definition of the concept of a transfer function, for the differintegrator has the form

$$L\{ {}_0 D_t^\gamma f(t) \} = \int_0^\infty e^{-st} {}_0 D_t^\gamma f(t) dt = s^\gamma F(s) - \sum_{j=0}^{n-1} s^j (-1)^j {}_0 D_t^{\gamma-j-1} f(t) \Big|_{t=0}, \quad (3)$$

where $F(s) = L\{f(t)\}$ – ordinary Laplace transform function $f(x)$, n – an integer that satisfies the condition $n-1 < \gamma \leq n$. Note that if ${}_0 D_t^{\gamma-j-1} f(t) \Big|_{t=0} = 0$, $j = 0, 1, 2, \dots, n-1$, then from (3) it follows that $L\{ {}_0 D_t^\gamma f(t) \} = s^\gamma F(s)$. Systems with fractional orders have transfer functions of arbitrary real order.

Consider the transfer function of fractional order, which is given by the following expression

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{b_n s^{\beta_n} + b_{n-1} s^{\beta_{n-1}} + \dots + b_1 s^{\beta_1} + b_0 s^{\beta_0}}{a_n s^{\alpha_n} + a_{n-1} s^{\alpha_{n-1}} + \dots + a_1 s^{\alpha_1} + a_0 s^{\alpha_0}} = \frac{\sum_{i=0}^n b_i s^{\beta_i}}{\sum_{i=0}^n a_i s^{\alpha_i}}, \quad (4)$$

where $a_i, b_i, \beta_n > \beta_{n-1} > \dots > \beta_1 > \beta_0 \geq 0, \alpha_n > \alpha_{n-1} > \dots > \alpha_1 > \alpha_0 \geq 0$ – arbitrary valid numbers.

In the time domain, the transfer function corresponds to an inhomogeneous differential equation of the fractional order of the form

$$\sum_{i=0}^n a_i D^{\alpha_i} y(t) = \sum_{i=0}^n b_i D^{\beta_i} u(t), \quad (5)$$

where $y(t)$ – exit, and $u(t)$ – input of the control object, ${}_a D_t^\gamma$ – differintegrator.

In the general structure of the closed control system of fractional order with one input and one output is presented $y(t)$ – output, $r(t)$ – input request signal, $e(t)$ – error (mismatch), $u(t)$ – control signal, $G(s)$ – transfer function of the control object, $C(s)$ – transfer function of the fractional order controller.

Transmission function of the fractional $PI^\lambda D^\mu$ controller has the form

$$C(s) = k_p + k_i s^{-\lambda} + k_d s^\mu, \quad (6)$$

where λ и μ – fractional orders whose values belong to the region $(0, 2)$, k_p, k_i, k_d – adjusting parameters of the regulator.

In the time domain, the transfer function (6) corresponds to the type control

$$u(t) = k_p \cdot e(t) + k_i \cdot ({}_0 D_t^{-\lambda} e(t)) + k_d \cdot ({}_0 D_t^\mu e(t)), \quad (7)$$

where ${}_0 D_t^\gamma$ differintegrator.

The task is to find the area of stability with allowable values of the settings k_p, k_i, k_d fractional $PI^\lambda D^\mu$ – controller, which stabilize the control object. This is important when designing $PI^\lambda D^\mu$ – controllers, and then in the future and to find optimal regulators on the found parametric area of stabilization by the chosen criterion.

Transmission function of the system "object + regulator" in Fig. 1 has the form

$$W(s) = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} = \frac{Q(s)}{P(s)}, \quad (8)$$

where

$$Q(s) = \sum_{j=0}^n [k_p b_j s^{\lambda+\beta_j} + k_i b_j s^{\beta_j} + k_d b_j s^{\lambda+\mu+\beta_j}], \quad (9)$$

$$P(s) = \sum_{j=0}^n [a_j s^{\lambda+\alpha_j} + k_p b_j s^{\lambda+\beta_j} + k_i b_j s^{\beta_j} + k_d b_j s^{\lambda+\mu+\beta_j}]. \quad (10)$$

The area of stable stabilization, which we denote through S , in the space of parameters is subject to belonging to the left half-plane of the complex s - plane all real parts of the roots of the characteristic quasipolynomial $P(s)$, which for convenience will be presented in the form

$$P(s) = \sum_{j=0}^n p_j s^{q_j} = p_n s^{q_n} + p_{n-1} s^{q_{n-1}} + \dots + p_1 s^{q_1} + p_0 s^{q_0}, \quad (11)$$

where q_j – ordered fractional orders of powers, and moreover $q_n > q_{n-1} > \dots > q_0$, p_j – coefficients determined by the factors of the transfer function of the control object and the parameters of the settings k_p, k_i, k_d fractional $PI^\lambda D^\mu$ - regulator.

To select the region of stable system stabilization (control object with the controller) we use the D -split method, the parameters space [6].

Recall that according to this method, the boundary between the areas of stability and instability in the space of the configuration parameters is three parts: $\Gamma = \Gamma_0 + \Gamma_\omega + \Gamma_\infty$. Constituent Γ_0 is determined from the condition of intersection of the real root of the characteristic equation of the imaginary axis s -plane with $s = 0$. That is, the component Γ_0 is found by way of substitution $s = 0$ in the equation $P(s) = 0$, where $P(s)$ which is determined by the equation (11). It follows that Γ_0 can be determined from the condition $p_0 = 0$, if the value of the smallest order q_0 equals 0, i.e. with $s^{q_0} = 1$. If $q_0 \neq 0$, i.e. $s^{q_0} \neq 1$, then the boundaries Γ_0 does not exist.

Constituent Γ_ω is determined from the condition of intersection of a pair of complex conjugate roots of the imaginary axis at $s = j\omega$, where $j = \sqrt{-1}$ – imaginary unit. So, in this case, quasipoline (11) becomes an unstable and valid and imaginary part of the equation $P(j\omega) = 0$ begin to equal zero at the same time.

Constituent Γ_∞ is determined by intersection of the real roots of the quasi-polynomial (11) imaginary axis at $s = 0$ and can be determined from the condition $p_n = 0$.

Applying these preconditions to the investigated system "object + regulator" and analyzing the characteristic quasipolin (10), we come to the conclusion that the components Γ_0 and Γ_∞ the boundaries of the stability zone are straight lines:

$$\Gamma_0 - \text{line: } \begin{cases} k_i = 0, & \text{при } s^{\beta_0} = 1, \\ \text{не існує,} & \text{при } s^{\beta_0} \neq 1, \end{cases}$$

$$\Gamma_\infty - \text{line: } \begin{cases} k_d = 0, & \text{при } (\alpha_n = \beta_n) \text{ або } (\alpha_n > \beta_n \text{ і } \mu > \alpha_n - \beta_n), \\ k_d = -a_n / b_n, & \text{при } (\alpha_n > \beta_n \text{ і } \mu = \alpha_n - \beta_n), \\ \text{не існує,} & \text{при } (\alpha_n > \beta_n \text{ і } \mu < \alpha_n - \beta_n). \end{cases}$$

To build a component Γ_ω substitute $s = j\omega$ into the equation $P(s) = 0$, where $P(s)$ – quasipolin (10). Then we will get

$$P(j\omega) = \sum_{j=0}^n \left[a_j (j\omega)^{\lambda+\alpha_j} + k_p b_j (j\omega)^{\lambda+\beta_j} + k_i b_j (j\omega)^{\beta_j} + k_d b_j (j\omega)^{\lambda+\mu+\beta_j} \right] = \quad (12)$$

$$= \text{Re}\{P(j\omega)\} + j \cdot \text{Im}\{P(j\omega)\} = 0,$$

where $\text{Re}\{P(j\omega)\}$ and $\text{Im}\{P(j\omega)\}$ mean respectively the actual and imaginary parts of the quasipolin $P(j\omega)$.

For further transformation of the expression (12) we recall that this is not an integer degree of complex number $(\sigma + j\omega)^\gamma$ can be calculated by the formula Muavr-Laplace

$$(\sigma + j\omega)^\gamma = (\sigma^2 + \omega^2)^{\gamma/2} [\cos(\gamma\varphi) + j \sin(\gamma\varphi)], \quad (13)$$

where $\varphi = \arctan(\omega / \sigma)$, σ – real part, ω – imaginary part and γ – fractional order of a complex number.

Expression j^γ , which is present in the equation (12), can be presented according to the formula (13), so

$$j^\gamma = \cos\left(\frac{\pi}{2}\gamma\right) + j \sin\left(\frac{\pi}{2}\gamma\right). \quad (14)$$

Further, equating to zero the real and imaginary part of the equation (12), taking into account the formula (14), we will get

$$\begin{cases} \operatorname{Re}\{P(j\omega)\} = k_p R_{1p}(\omega) + k_i R_{1i}(\omega) + k_d R_{1d}(\omega) + H_1(\omega) = 0, \\ \operatorname{Im}\{P(j\omega)\} = k_p R_{2p}(\omega) + k_i R_{2i}(\omega) + k_d R_{2d}(\omega) + H_2(\omega) = 0, \end{cases} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \text{where } R_{1p}(\omega) &= \sum_{j=0}^n b_j \omega^{\lambda+\beta_j} \cos\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\beta_j)\right), \\ R_{1d}(\omega) &= \sum_{j=0}^n b_j \omega^{\lambda+\mu+\beta_j} \cos\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\mu+\beta_j)\right), \quad H_1(\omega) = \sum_{j=0}^n a_j \omega^{\lambda+\alpha_j} \cos\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\alpha_j)\right), \\ R_{2p}(\omega) &= \sum_{j=0}^n b_j \omega^{\lambda+\beta_j} \sin\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\beta_j)\right), \quad R_{2i}(\omega) = \sum_{j=0}^n b_j \omega^{\beta_j} \sin\left(\frac{\pi}{2}\beta_j\right), \\ R_{2d}(\omega) &= \sum_{j=0}^n b_j \omega^{\lambda+\mu+\beta_j} \sin\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\mu+\beta_j)\right), \quad H_2(\omega) = \sum_{j=0}^n a_j \omega^{\lambda+\alpha_j} \sin\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\alpha_j)\right). \end{aligned}$$

The system of linear equations (15) contains more unknowns (k_p, k_i, k_d), than the number of equations, one of the parameters of the system can be arbitrarily chosen for its unambiguous solution. If as a parameter, choose a coefficient k_p , then the system (15) becomes a system of linear algebraic equations of the second order with respect to unknowns k_i and k_d , the solution of which has the form

$$k_i = \frac{\Delta_i(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad k_d = \frac{\Delta_d(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \Delta_i(\omega) &= R_{1d}(\omega)H_2(\omega) - R_{2d}(\omega)H_1(\omega) + k_p (R_{1d}(\omega)R_{2p}(\omega) - R_{1p}(\omega)R_{2d}(\omega)), \\ \Delta_d(\omega) &= R_{2i}(\omega)H_1(\omega) - R_{1i}(\omega)H_2(\omega) + k_p (R_{1p}(\omega)R_{2i}(\omega) - R_{1i}(\omega)R_{2p}(\omega)), \\ \Delta(\omega) &= R_{1i}(\omega)R_{2d}(\omega) - R_{1d}(\omega)R_{2i}(\omega) = \omega^{\lambda+\mu} \sin\left(\frac{\pi}{2}(\lambda+\mu)\right) (R_{1i}^2(\omega) + R_{2i}^2(\omega)). \end{aligned} \quad (17)$$

Note that for fractional PI^λ - regulator ($k_d=0$) system (15) has a single solution

$$k_p = \frac{\Delta_p(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad k_i = \frac{\Delta_i(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} \Delta_p(\omega) &= H_2(\omega)R_{1i}(\omega) - H_1(\omega)R_{2i}(\omega), \quad \Delta_i(\omega) = H_1(\omega)R_{2p}(\omega) - H_2(\omega)R_{1p}(\omega), \\ \Delta(\omega) &= R_{1p}(\omega)R_{2i}(\omega) - R_{1i}(\omega)R_{2p}(\omega) = -\omega^\lambda \sin\left(\frac{\pi}{2}\lambda\right) (R_{1i}^2(\omega) + R_{2i}^2(\omega)). \end{aligned} \quad (19)$$

We now apply these results to highlight the stability of the biological control system for contaminated water by active sludge with fractional $PI^\lambda D^\mu$ - regulator. By the assumption that the kinetics of the growth process of biomass is described by the Mono equation [7], in work [8] the linearized model of the bioelectric system "aerotank + sedimentation tank" was obtained in the form of a model with one input and one output.

$$\frac{d\mathbf{x}(t)}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{b}u(t), \quad y(t) = x_2(t) = \mathbf{c}^T \mathbf{x}(t), \quad (20)$$

where $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t))^T$ – state vector in which $x_1(t), x_2(t)$ – respectively, the concentration of biomass and substrate in aerotanks, $x_3(t)$ – the concentration of recirculating biomass from the settling tank to the aerosol bioreactor, $u(t)$ – single-speed control function-speed of dilution (analogue of volume flow rate), $y(t)$ – the observed output of the system is the concentration of the substrate.

System matrix A and vectors b and c are defined as follows

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{c} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \text{where}$$

$$a_{1,1} = \mu_{\max} \frac{x_2^*}{k_s + x_2^*} - (1+r)u^*, \quad a_{1,2} = \mu_{\max} k_s \frac{x_1^*}{(k_s + x_2^*)^2}, \quad a_{1,3} = ru^*,$$

$$a_{2,1} = -\frac{\mu_{\max}}{Y} \frac{x_2^*}{k_s + x_2^*}, \quad a_{2,2} = -\frac{\mu_{\max} k_s}{Y} \frac{x_1^*}{(k_s + x_2^*)^2} - (1+r)u^*, \quad a_{2,3} = 0,$$

$$a_{3,1} = (1+r)u^*, \quad a_{3,2} = 0, \quad a_{3,3} = -(\beta+r)u^*,$$

$$b_1 = -(1+r)x_1^* + rx_3^*, \quad b_2 = -(1+r)x_2^* + s_{in}, \quad b_3 = -(\beta+r)x_3^* + (1+r)x_1^*.$$

It is marked here: u^* – nominal control given, $x^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T$ – the corresponding equilibrium state vector calculated for it; $\mu_{\max}$ – maximum specific growth rate of biomass; k_s – saturation constant, determined experimentally; s_{in} – concentration of the substrate in the inlet stream; Y – the factor of output (profitability) of biomass; r, β – coefficients that determine respectively the ratio of the recirculation flow and biomass waste stream to the input stream.

Numerical simulation of a controlled biocleaning system was carried out at the following output data: $s_{in} = 200$ [mg / l], $Y = 0.65$, $\mu_{\max} = 0.15$ [h^{-1}], $k_s = 100$ [mg / l], $r = 0.6$, $\beta = 0.2$, $u^* = 0.05$ [h^{-1}], $t_0 = 0$, $T = 1$ [h], vector of the initial state of the system (20) relied on equal $\mathbf{x}^0 = (x_1^0, x_2^0, x_3^0)^T = (286, 17, 568)^T$ [mg / l].

Note that the vector of the equilibrium state of the system (20) with this data was calculated as the solution of the corresponding system of nonlinear equations of the third order and equaled $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)^T = (285, 15.38, 570)^T$.

In frequency domain model (20) can be presented in the form

$$Y(s) = G(s)U(s),$$

where $U(s)$, $Y(s)$ – Laplace transforms according to input and output;

$G(s)$ – transfer function of the control object.

$$G(s) = \mathbf{c}^T (s\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{b} = \frac{\mathbf{c}^T \text{adj}(s\mathbf{E} - \mathbf{A}) \mathbf{b}}{\det(s\mathbf{E} - \mathbf{A})} = \frac{p_2 s^2 + p_1 s + p_0}{s^3 + q_2 s^2 + q_1 s + q_0}. \quad (21)$$

Here through $\text{adj}(s\mathbf{E} - \mathbf{A})$ the matrix attached to the matrix is indicated $s\mathbf{E} - \mathbf{A}$, and the coefficients p_i, q_i polynomial numerator and denominator are calculated by the formulas

$$p_0 = b_2 a_{11} a_{33} - b_1 a_{21} a_{33} - b_2 a_{13} a_{31}, \quad q_0 = a_{12} a_{21} a_{33} + a_{13} a_{31} a_{22} - a_{11} a_{22} a_{33},$$

$$p_1 = b_1 a_{21} - b_2 a_{11} - b_2 a_{33}, \quad q_1 = a_{11} a_{22} + a_{11} a_{33} + a_{22} a_{33} - a_{13} a_{31} - a_{12} a_{21}, \quad (22)$$

$$p_2 = b_2, \quad q_2 = -a_{11} - a_{22} - a_{33}.$$

If control $u(t)$ in the time domain construct in a fractional class $PI^\lambda D^\mu$ - regulators of the form (6)

$$u(t) = -\left(k_p \cdot y(t) + k_i \cdot \left({}_0 D_t^{-\lambda} y(t)\right) + k_d \cdot \left({}_0 D_t^\mu y(t)\right)\right), \quad (23)$$

then the transfer function of the "biocleaning" + "regulator" system will be determined by the expression $W(s) = Q(s)/P(s)$, where $Q(s) = C(s)G(s)$, $P(s) = 1 + C(s)G(s)$, $C(s)$ –

transfer function of the fractional controller, determined by the formula (6), $G(s)$ – transfer function of the control object, calculated by the formulas (21), (22).

To determine the range of valid values for the configuration parameters k_p, k_i, k_d fractional $PI^\lambda D^\mu$ - regulator, which stabilizes the work of the bio-treatment system, uses the calculated formulas (16), (17) i (18), (19), that describe the boundaries of the stability regions of the system with a fractional controller. Computational experiments were carried out in the MATLAB mathematical system environment. Below are some results from computational experiments.

At fig. 1 in the parameter space $Z = \{k_p, k_i\}$ the global region of stability (shaded area) of a bio-waste fractional system is presented PI^λ - regulator at $\lambda = 1$, that is when using the classic PI - regulator (Γ_ω, Γ_0 – the boundaries of the area of stability).

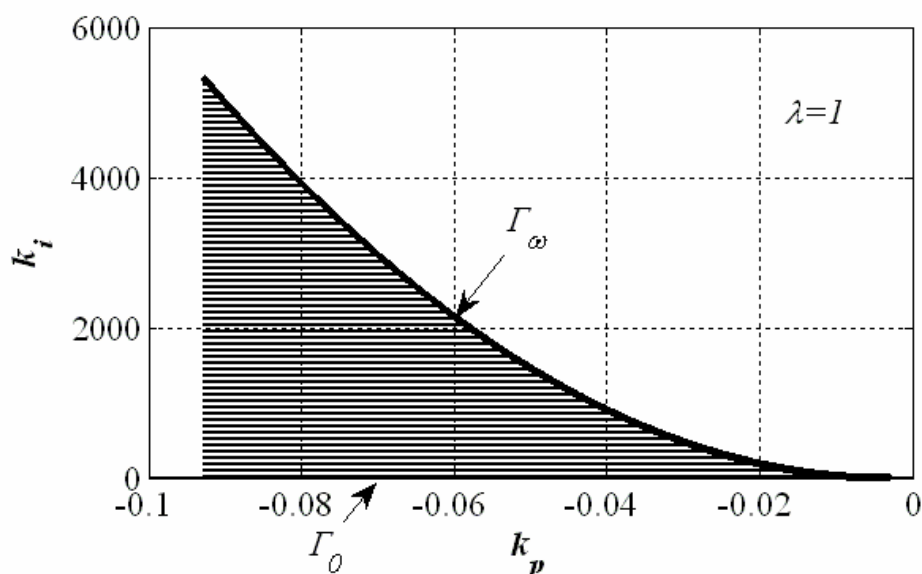


Figure 1 – Global region of system stability with PI^λ - regulator at $\lambda = 1$

In fig.2. the areas of stability of the system of bio-purification with fractionation PI^λ - regulator are constructed at different values of the order of the differintegrator. Here, the areas of stability are limited to the bottom of the abscissa, and on the top – the curve that matches the value of the order of the parameter. From the graphs it can be seen that with increasing order, the region of stability of the system also increases.

Then studied areas of stability of the system with fractional $PI^\lambda D^\mu$ -regulator. In fig. 3 in the parameter space $Z = \{k_p, k_i, k_d\}$ The system stability zone is depicted with $PI^\lambda D^\mu$ -regulator for fractional orders $\lambda = 0.7, \mu = 0.1$. In this figure, the sections of the stability region are represented by planes perpendicular to the coordinate axis. The cross sections are closed shapes whose areas increase as the setting parameter increases.

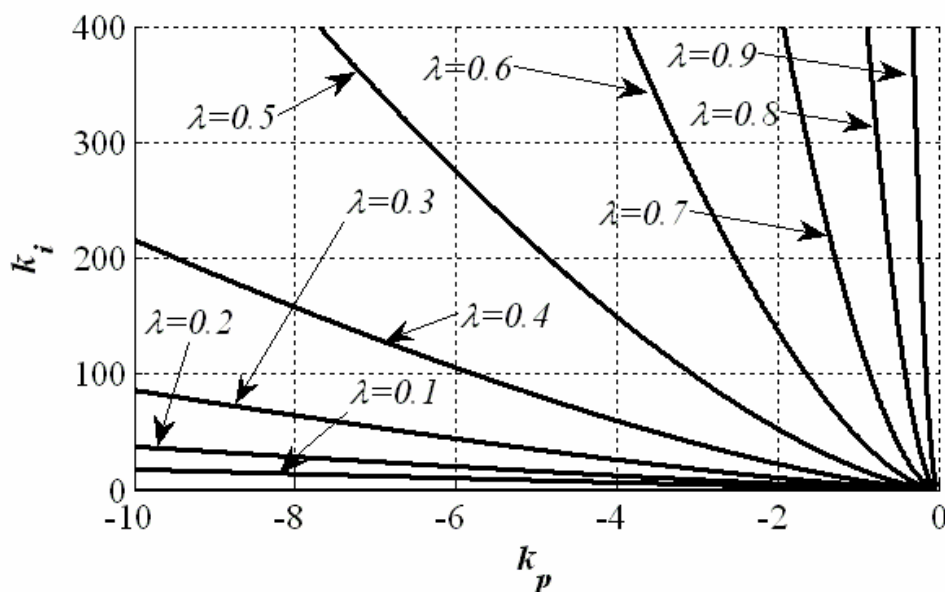


Figure 2 — Global areas of stability of the biocleaning system with PI^λ -regulator at $0 < \lambda < 1$

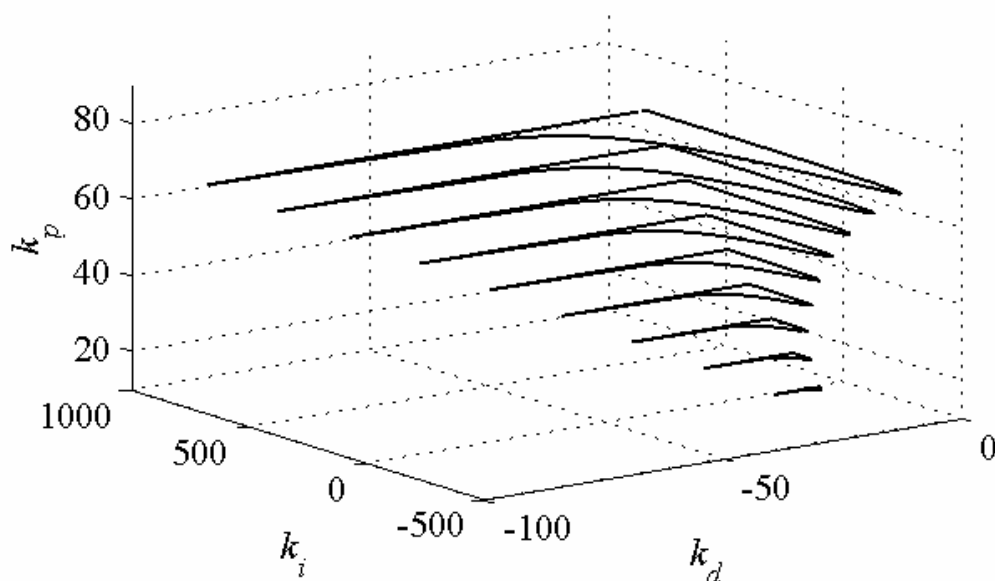


Figure 3 — Global areas of stability of the biocleaning system with $3PI^\lambda D^\mu$ -regulator at $\lambda = 0.7$, $\mu = 0.1$

Similar areas of stability were obtained with other values of fractional orders λ and μ .

Conclusions. On the basis of the D-split method, analytical expressions were obtained, which describe the boundaries of the global region of stability of linear dynamic systems of fractional order of type "input-output" with fractional $PI^\lambda D^\mu$ -regulators. The stability areas are built on the basis of computational experiments in the space of the parameter settings for fractional $PI^\lambda D^\mu$ -regulators for fixed orders of diereintegrators in the regulator. An appropriate algorithmic software is developed.

References

1. Podlubny, I. Fractional Differential Equations [Text] / Mathematics in Sciences and Engineering, Vol. 198. – Academic Press, 1999. – 340 p.
2. Tustin, A., Allason, J.T., Layton, J.M., Jakeways, R.J.: The design of systems for automatic control of the position of massive object [Text] / Proc. Inst. Electr. Eng. 105 (C-1), 1958, pp. 1–57.
3. Podlubny, I. Fractional-order systems and PID controllers. IEEE Transactions on Automatic Control, 1999, vol. 44, pp. 208–214.
4. Бутковский, А.Г. Дробное интегро-дифференциальное исчисление и его приложения в теории управления. II. Дробные динамические системы: моделирование и аппаратная реализация [Текст] / А.Г. Бутковский, С.С. Постнов, Е.А. Постнова // Автоматика и телемеханика. – 2013. – № 5. – С. 3–34.
5. Учайкин, В.В. Метод дробных производных [Текст] / В.В. Учайкин. – Артишок, Ульяновск, 2008. – 512 с.
6. Hamamci, S.E., Tan, N. Design of PI controllers for achieving time and frequency domain specifications simultaneously [Text] / ISA Trans. Vol. 45 (4), 2006, pp. 529–543.
7. Nejari, F., Roux, G., Dahhou, B., Benhammou, A. Estimation and optimal control design of a biological wastewater treatment process [Text] / Mathematics and computers in simulation, vol. 48, 1999, pp. 269–280.
8. Лобок, О.П. Моделювання оптимального автоматичного керування процесом біологічної очистки забруднених вод регуляторами дробового порядку [Текст] / О.П. Лобок, Б.М. Гончаренко, М.А. Сич, Л.Г. Віхрова. Збірник наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кропивницький: КНТУ, 2017. – Вип. 30. – С. 152 – 160.

О.П. Лобок, доц., канд. фіз.-мат. наук, Б.М. Гончаренко, проф., д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

Л.Г. Віхрова, проф., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Виділення d-областей стійкості лінійних динамічних систем з $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторами дробового порядку

В статті дається розв'язок завдання виділення області стійкої стабілізації (стійкості) лінійних динамічних систем з $PI^\lambda D^\mu$ -регулятором дробового порядку. Використовуючи метод D -розбиття, отримані аналітичні формули, що визначають межі області стійкої стабілізації системи "об'єкт" + "дробовий - регулятор" стосовно керування біологічним очищенням забруднених вод активним мулом. Наводяться деякі результати обчислювальних експериментів, дається оцінка ефективності дробового - регулятора.

На основі методу D -розбиття отримані аналітичні вирази, які описують границі глобальної області стійкості лінійних динамічних систем дробового порядку типу "вхід-вихід" з дробовими $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторами. Області стійкості побудовані на основі обчислювальних експериментів в просторі параметрів налаштування дробових $PI^\lambda D^\mu$ -регуляторів при фіксованих порядках диферентіаторів в складі регулятора. Розроблене відповідне алгоритмічно-програмне забезпечення. Подальші дослідження можуть бути пов'язані з пошуком як оптимальних параметрів налаштування, так і дробових порядків диферентіаторів, що входять в регулятор, згідно з деяким обраним критерієм оптимальності.

область стабілізації, дробові похідні, дробові інтеграли, $PI^\lambda D^\mu$ -регулятор дробового порядку, PI -регулятор, метод D -розбиття, перетворення Лапласа для диферентіатора

Одержано 21.11.17

УДК 621.793.7

С.А. Лузан, проф., д-р техн. наук, А.И. Сидашенко, проф., канд. техн. наук, А.С. Лузан, асп.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени П. Василенка, г. Харьков, Украина

E-mail: khadi.luzan@gmail.com

Получение и исследование восстановительных покрытий на деталях машин с использованием механокомпозитов, содержащих $TiSiTiB_2$

В статье описано исследование восстановительных износостойких покрытий для деталей сельскохозяйственных машин с использованием композиционных материалов, представляющих собой смесь матричного материала и механокомпозита, полученного с применением СВС-процесса. В результате разработан композиционный материал на основе самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-B-Si, модифицированный механокомпозитом, содержащим карбид и диборид титана.

СВС-процесс, композиционный материал, механоактивация, матричный материал, карбид, оксид, наплавка, износостойкость

С.О. Лузан, проф., д-р техн. наук, О.І. Сідашенко, проф., канд. техн. наук, А.С. Лузан, асп.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені П. Василенка, м. Харків, Україна

Отримання і дослідження відновлювальних покриттів на деталях машин з використанням механокомпозитів, що містять $TiSiTiB_2$

У статті описано дослідження відновлювальних зносостійких покриттів для деталей сільськогосподарських машин з використанням композиційних матеріалів, що представляють собою суміш матричного матеріалу і механокомпозиту, отриманого з застосуванням СВС-процесу. В результаті розроблений композиційний матеріал на основі самофлюсуючого сплаву системи Ni-Cr-B-Si, модифікований механокомпозитом, що містить карбід і диборид титану.

СВС-процес, композиційний матеріал, механоактивація, матричний матеріал, карбід, оксид, наплавка, зносостійкість

Постановка проблемы. Причина низкого ресурса деталей машин связана преимущественно с износом и коррозионным повреждением их поверхностных слоев. Рабочие органы сельскохозяйственных машин работают в контакте с абразивной средой, детали различных механизмов и устройств, зачастую, взаимодействуют с окружающей агрессивной средой, технологическими средами, применяемыми в производственном процессе при изготовлении продукции. Поэтому проблема создания эффективных защитных покрытий на поверхности деталей машин актуальна.

Анализ последних исследований и публикаций. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является одним из наиболее перспективных направлений в создании новых композиционных материалов [1]. Применение методов механической активации позволяет синтезировать материалы, обладающие более высокими физико-химическими и механическими свойствами. В результате механического воздействия в металле возникают внутренние напряжения, происходит образование и накопление дефектов кристаллической решетки. При обработке

материалов в шаровых мельницах создаются условия для протекания механохимических реакций непосредственно в них или при последующей термической активации превращений в механокompозитах, полученных активацией двух и более компонентов [2].

На первых этапах механической обработки из исходных смесей порошковых материалов образуются так называемые "слоистые композиты". Продуктами механической обработки обычно являются порошки размером несколько десятков микрон. При обработке с высокой интенсивностью порошки имеют более измельченную структуру и состоят из зерен с наноразмерными включениями, то есть представляют собой нанокомпозиционные структуры. Методы механической активации в планетарных шаровых мельницах предоставляют широкие возможности для синтеза нанокомпозиционных порошков. Причем, во многих случаях фазовый состав и микроструктура, получаемых таким путем нанокомпозитов, не могут быть достигнуты другими методами синтеза [2]. Добавление матричного материала изменяет реакционную способность веществ-реагентов. Матрица может выступать в роли компонента, с которым исходные реагенты образуют соединения или растворы, химически более активные по сравнению с исходными реагентами. Если реакция осуществляется в пространстве, создаваемом структурой матрицы, то матрица играет роль реактора, ограничивающего реакционное пространство и оказывающего ориентирующее влияние [3, 4].

Использование матриц обеспечивает стабилизацию мелкодисперсных частиц. Применение наноматериалов затруднено ввиду метастабильности вещества, что связано со значительным увеличением удельной поверхности частиц по мере уменьшения их линейных размеров до нанометровых, возрастанию химической активности и усилению агрегации. Для решения этой проблемы применяются методы получения нанокомпозиционных материалов в химически инертной матрице. Это позволяет предотвратить агрегацию наночастиц и защитить их от внешнего воздействия.

Для наноразмерных частиц поверхностная энергия резко возрастает, и, поэтому, роль среды становится определяющей. Наночастицы, диспергированные в газовой фазе, вуглеводороде, в матрице другого металла, в полимере или в полостях цеолита, будут обладать различными свойствами [5].

Матрицей может быть и компонент, химически инертный по отношению к реагирующим веществам или не вступающий с ними в реакцию и не изменяющийся в условиях синтеза. Роль матрицы может сводиться к разбавлению смеси компонентов. При этом, имеется возможность повлиять на процессы роста частиц продукта целевой реакции, и, следовательно, получить частицы заданных размеров.

В качестве матрицы-разбавителя реакционной смеси могут выступать металлические системы. Помимо создания диффузионных затруднений, пространственного разделения компонентов и, впоследствии, продукции реакции, металлическая матрица участвует в процессах отвода тепла, что особенно важно для экзотермических реакций. Введение металла-разбавителя в реакционную смесь снижает температуру, развивающуюся в процессе реакции, изменяя условия кристаллизации продукта [6, 7].

Наиболее простой способ синтеза композитов с металлической матрицей сводится к смешению готовых компонентов – частиц упрочняющей фазы и металла [2].

Результаты значительного количества экспериментальных работ свидетельствуют о перспективности синтеза упрочняющей фазы непосредственно в присутствии металла [8-13]. При проведении реакции в металлической матрице удается

получить мелкодисперсные частицы продукта и обеспечить их равномерное распределение в матрице [8]. Синтез соединения в металлической матрице приводит к более однородной структуре получаемого композитного продукта, в котором размер и морфологию частиц можно варьировать, изменяя содержание разбавителя [2].

Создан новый класс композиционных материалов для детонационного напыления защитных покрытий, состоящих из металлической матрицы и содержащих в качестве упрочняющей дисперсной фазы равномерно распределенные в объеме синтезированные наноразмерные (величина зерна порядка 15-40 нм.) керамические частицы. Разработаны научные основы получения механохимическим способом многокомпонентных композитов типа: $\text{TiC} + \text{УДА} + \text{Ni-Cr}$, $\text{TiC} + \text{WC} + \text{Ni-Cr}$, $\text{TiB}_2 + \text{WC} + \text{Ni-Cr}$, $\text{TiB}_2 + \text{Cu}$, $\text{TiB}_2 + \text{Ti-Ni}$, $\text{TiB}_2 + \text{Ti-Al}_3$. Установлено, что энергия активации реакции высокотемпературного синтеза в механокомпозите в исследованных системах зависит от степени разбавления реагентов металлом матрицы и времени предварительной механоактивации, и является аномально низкой для механоактивированных систем, при изменении в интервале от 20 кДж/моль до 4,4 кДж/моль. Показано, что реагирование механоактивированных наноструктурных компонентов в металлической матрице проходит не по механизму реакционной диффузии, а по иному механизму: механоактивация снимает диффузионные барьеры и процесс реагирования в механоактивированных системах носит характер эстафетной СВС-реакции в микрообъемах композита [14].

Разработаны многокарбидные СВС-механокомпозиты, представляющие собой новые композиционные материалы со структурой типа «упрочняющая фаза – матрица». Применение составов « $\text{TiC} + (\text{Ni-Cr})$ », « $\text{TiC} + \text{SiC} + (\text{Ni-Cr})$ », « $\text{TiC} + \text{WC} + (\text{Ni-Cr})$ », « $\text{TiC} + \text{SiC} + \text{WC} + (\text{Ni-Cr})$ » позволяет с помощью порошкового электрода сформировать износостойкое покрытие на деталях сельскохозяйственного машиностроения [15]. Установлены зависимости между содержанием, типом упрочняющей фазы и механическими свойствами поверхностных модифицированных слоев. Максимальной износостойкостью обладают образцы, модифицированные потехнологии электродуговой наплавки с использованием смеси состава «15 % $\text{TiC} + 5\% \text{WC} + \text{ПР-Н70Х17С4Р4-3}$ », полученной по технологии механической активации порошковой композиции и СВС.

Постановка задания. Разработать композиционный материал на основе порошкового материала системы Ni-Cr-B-Si , модифицированный механокомпозитом, полученным с применением СВС-процесса, содержащий карбид и борид титана.

Изложение основного материала. Карбид титана TiC относится к безкислородным тугоплавким соединениям, которые являются основой современных материалов, предназначенных для работы в экстремальных условиях действия высоких температур, давлений, скоростей, агрессивных сред и т.д. В настоящее время все большее значение приобретает применение порошков карбида титана высокой и особо высокой дисперсности (микро- и нанопорошков), которые обеспечивают существенное улучшение свойств материалов на его основе. Основным способом производства карбида титана является углетермический способ его получения из диоксида титана, который характеризуется большим энергопотреблением на стадии длительного синтеза в печах и при измельчении спеченных брикетов карбида титана в размольных агрегатах. Открытие в 1967 году нового явления, получившее название «твердого пламени» (официальное название «Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций») [16] выгодно отличается от применяемых ранее способов малым потреблением энергии, высокой производительностью и простым малогабаритным оборудованием. Твердое пламя позволило получать ценные

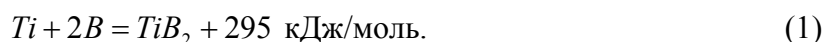
тугоплавкие материалы. Это обстоятельство привело к созданию нового высокоэффективного метода их производства – самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС).

Выполнение операции механоактивации реакционной смеси в атриторе позволяет произвести взаимоизмельчение исходных порошков и сформировать композиционные частицы с равномерным распределением исходных реагентов по объему, а также снижает теплотери при синтезе, повышает активность системы и однородность продукта горения. Наиболее популярными являются композиции на основе карбида титана. Это связано с высоким экзотермическим эффектом реакции образования карбида титана из элементов (179 кДж/моль), обеспечивающим широкий выбор материала связки [17].

В результате выделяющегося тепла температура твердых и расплавленных продуктов реакции достигает 2500-3500 К, поэтому реакция не зависит от внешних источников нагрева и может распространяться как волна горения, сама производящая энергию для своего распространения. Несмотря на высокую температуру, переход любого из компонентов смеси в газовую фазу незначителен, и им можно пренебречь.

Бор является одним из самых эффективных и экономичных микролегирующих элементов стали. В большинстве случаев минимальная концентрация бора в металле для получения положительного результата составляет порядка одной тысячной массовой доли процента. Уникальность бора заключается в том, что при столь малом содержании в стали, он способен оказывать на её свойства влияние, эквивалентное действию значительно большего количества таких легирующих элементов, как Cr, Mo, Ni и др. Использование бора для легирования стали привлекательно также с точки зрения безопасности его применения и экологической безвредности. Однако, существуют определённые трудности с борным микролегированием стали, которые до настоящего времени остаются нерешёнными. Традиционным материалом, используемым для борного легирования стали, является ферробор. Многолетняя практика применения ферробора показала, что осуществить микролегирование стали бором с его помощью довольно сложно. Связано это, в первую очередь, с высокой реакционной способностью бора в стальном расплаве и его высоким химическим сродством по отношению к кислороду и азоту. Кроме того, в большинстве случаев требуется обеспечить в металле крайне малую концентрацию растворённого бора.

Поэтому, при получении композиционного материала будем синтезировать диборид титана:



В качестве исходных материалов для получения порошковых наплавочных смесей использовали порошки титана марки ВТ1-0, бора В, углерода марки ПМ-15 с целью синтеза карбида и диборида титана. Кроме того, для увеличения теплового эффекта в процессе синтеза карбида и диборида титана в механическую смесь, вводится термореагирующий порошок алюминид никеля ПТ-НА-01, алюминиевый порошок ПАП-1 ГОСТ 5494-95 и оксид железа Fe₂O₃. Фракционный состав всех исходных порошковых компонентов находился в пределах (63 ... 100) мкм. Выбранные компоненты смешивались, и полученная порошковая смесь подвергалась механической активации. Выбор данного способа воздействия на материалы обусловлен необходимостью создания композитов, в микрообъёмах которых должна происходить реакция СВС. Функцию матричного материала выполнял самофлюсующийся наплавочный порошок марки ПГ-10Н-01 ТУ 322-19-004-96.

Для получения механоактивированных порошковых смесей применялся метод механической активации в планетарных шаровых мельницах АГО-2.

В проведенных экспериментах объем барабанов – 160 см^3 , диаметр шаров – 4-5 мм, масса шаров 200 г. Время процесса механоактивации варьировалось в диапазоне от 2 до 6 минут.

Дуговая наплавка осуществлялась на заготовки из стали 20. Наплавку выполняли с использованием инверторного источника питания Патон ВДИ-200Р DC TIG.

Наплавочную смесь получали по следующей технологии:

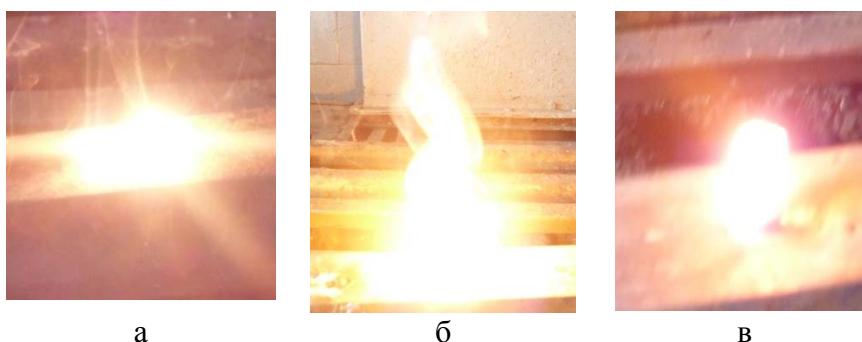
- смешивание и механоактивация порошков Ti, B, C, Fe_2O_3 , Al;
- добавка связующего – клей марки «Метилан»;
- формовка цилиндра и сушка;
- инициирование самораспространяющегося высокотемпературного синтеза;
- дробление и механоактивация композита, полученного на первом этапе, и добавление матричного материала ПГ-10Н-01.

Наплавки СВС-механокомпозитов проводилось графитовым электродом диаметром 10 мм.

Исследовали структуры с помощью оптического микроскопа МИМ-8.

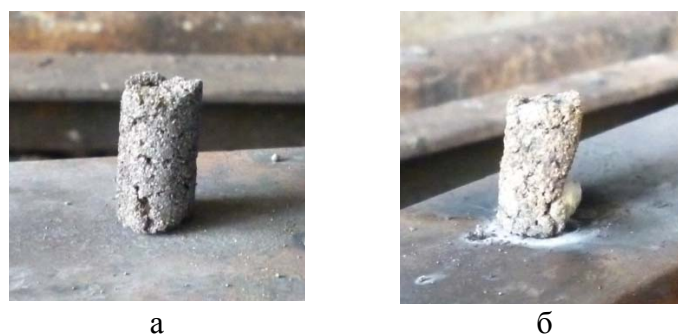
Микротвердость покрытий измерялась на твердомере марки ПМТ – 3 согласно ГОСТ 9450-76.

СВС проводили на цилиндрических образцах в условиях фронтального осуществления синтеза. Поджигания реагирующего состава осуществлялось электрической дугой (рис. 1, 2).



а – начальная; б – максимальное горение; в – завершающая

Рисунок 1 – СВС-процесс формирования композиционного материала из компонентов $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al})$, стадии



а – формовки; б – СВС-процесса

Рисунок 2 – Композиционный материал $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al})$ после

После получения композиционного материала в виде спека (рис. 2, б) производили его дробления, осуществляли механоактивационную обработку и добавляли матричный материал ПГ-10Н-01 в количестве 80-90% для улучшения технологических свойств при наплавке (рис. 3).

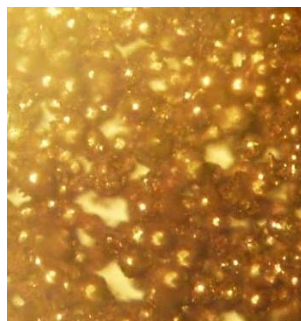


Рисунок 3 – Композиционный материал 10% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) +90% ПГ-10Н-01,×35

Результаты исследования микротвердости наплавленных покрытий из композиционных материалов состава {10% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) + 90% ПГ-10Н-01} и {20% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) + 80% ПГ-10Н-01}, показали, что в наплавленном слое присутствуют твердые включения – предположительно этокарбид (TiC) и диборид титана (TiB₂), карбид железа (Fe₃C). Так, микротвердость покрытия композиционным материалом {20% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) + 80% ПГ-10Н-01}, полученного электродуговой наплавкой на стальную основу (сталь 20), превышает микротвердость наплавленного покрытия ПГ-10Н-01, равную 760 HV, и составляет 787 HV.

На рис. 4 представлены результаты износных испытаний покрытий ПГ-10Н-01 и композиционного материала {20% (Ti+B+C+Fe₂O₃+Al) + 80% ПГ-10Н-01} на машине трения типа МИ по схеме диск-колодка в среде индустриального масла с удельной нагрузкой 8 МПа.

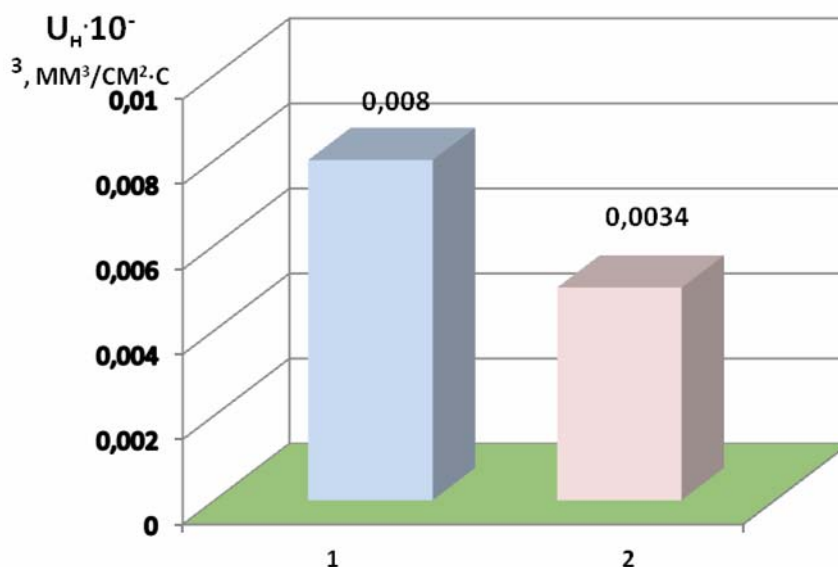
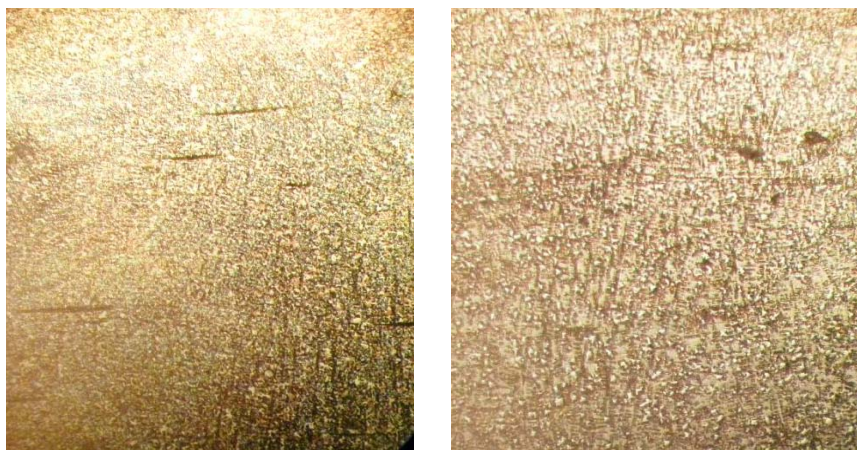


Рисунок 4 – Интенсивность износа в процессе нормального трения в среде индустриального масла пар: покрытия ПГ-10Н-01 – сталь 45 HRC 50 (1); покрытия из композиционного материала {20% (70% (Ti+C+Fe₂O₃+Al) + 20% ПГ-10Н-01 + 10% ПТ-НА-01) + 80% ПГ-10Н-01} – сталь 45 HRC 50 (2)

Результаты испытаний свидетельствуют о более высокой износостойкости предлагаемого механокомпозита $\{20\% (\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}) + 80\% \text{ ПГ-10Н-01} \}$, которая в 2,35 раза превышает износостойкость самофлюсующегося сплава ПГ-10Н-01.

Микроструктура наплавленных покрытий представляет собой матричный материал – сплав ПГ-10Н-01, в котором равномерно распределены твердые включения, предположительно, основываясь на результатах выполненных исследований, это частицы карбида (TiC) и диборида титана (TiB_2), карбида железа (Fe_3C) (рис. 5).



а

б

а – 10% $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}) + 90\% \text{ ПГ-10Н-01}$; б – 20% $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}) + 80\% \text{ ПГ-10Н-01}$

Рисунок 5 – Микроструктура наплавленных композиционных покрытий, $\times 100$

Данные включения обеспечивают высокую износостойкость композиционного материала. При увеличении содержания твердых включений в матричном материале его износостойкость увеличивается.

Выводы. Разработан композиционный материал на основе самофлюсующегося сплава системы Ni-Cr-B-Si (порошок марки ПГ-10Н-01 ТУ У 322-19-004-96), модифицированный механокомпозитом состава $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al})$, полученным с применением СВС-процесса, содержащим карбид и диборид титана.

Композиционный материал 20% $(\text{Ti}+\text{B}+\text{C}+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}) + 80\% \text{ ПГ-10Н-01}$ имеет более высокую износостойкость по сравнению с самофлюсующимся сплавом ПГ-10Н-01.

Микроструктура наплавленных покрытий представляет собой матричный материал – сплав ПГ-10Н-01, в котором равномерно распределены твердые включения, предположительно, это частицы карбида (TiC) и диборида титана (TiB_2), карбида железа (Fe_3C).

Список литературы

1. Мержанов, А.Г. Твердопламенное горение [Текст] / А.Г. Мержанов, А.С. Мукасян. – М. : ТОРУС ПРЕСС, 2007. – 336 с.
2. Получение и исследование наноструктурных детонационных покрытий на деталях машиностроения с использованием механокомпозитов типа $\text{TiB}_2\text{-Cu}$ [Текст] / В.В. Евстигнеев, В.И. Яковлев, С.И. Гибельгауз [и др.] // Ползуновский вестник. – 2007. – № 4. – С. 155-161.
3. Сергеев, Г.Б. Нанохимия металлов [Текст] / Г.Б. Сергеев // Успех в химии. – 2000. – Т.70, №10. – С.915-933.

4. Бучаченко, А.Л. Химия на рубеже веков: свершения и прогнозы [Текст] / А.Л. Бучаченко // Успехи химии. – 1999. – Т.68, № 2. – С. 99-118.
5. Губин, С.Ш. Что такое наночастица? Тенденции развития нанохимии и нанотехнологии [Текст] / С.Ш. Губин // Росс. хим. журнал. – 2000. – Т.44, № 6. – С. 23-31.
6. Formation of nanosized metal particles of cobalt, nickel and copper in the matrix of layered double hydroxide [Text] / K.A.Taiašov, V.P. Isupov, B.B. Bokhonov and others // J. Mater. Synth. Proc. – 2000. – Vol. 8, №1. – P.21-27.
7. Сата, Н. Синтез керамических порошков [Текст] / Н. Сата // Вкн. «Химия синтеза сжиганием». - Пер. с японского. – М.: Мир, 1998. – С. 100-109.
8. Kaczmar, J.W., Pietrzak, K., Wlosinski, W. The production and application of metal matrix composite materials // J. Mater, Sci. Process. Tech.2000. – Vol. 106. – P.58-67.
9. Tjong, S.C., Ma, Z.Y. Microstructural and mechanical characteristics of in situ metal matrix composites [Text] / Mater. Sci.Eng. – 2000. – Vol. 29. – P. 49-113.
10. Zhaug, X., Han, J., Kvanin, V.L. Combustion synthesis and densification of titanium diboride coppermatrix composite [Text] // Materids Letters. – 2003. – Vol. 57. – P. 4439-4444.
11. Tu, T.P., Wang, N.Y., Yang, Y.Z., Qi, W.X., Liu, Zhang, X.B., Lu, H.M., LiiL, M.S. Preparation and properties of TiB2 nanoparticle reinforced copper matrix composites by in situ processing // Mater.Lett. – 2002. – Vol.52. – P.448-452.
12. Dong, S.J., Zhou, Y., Shi, Y.W., Cbang, B.H. Formation of a TiB2-remforced copper-based composite by mechanical alloying and hot pressing // Metall. Mater. Trans. A. –2002. – Vol.33A. – Issue 4. – P.1275-1280.
13. Lee, J., Jung, J.Y., E.-S.J.ce., Park,W.J., Ahn, S., Kim, N.J. Microstractore and properties of titaoniwn boride dispersed Cu alloys fabricated by spray fonnmng // Mater. Sci. Eng. A277. – 2000. –P.274-283.
14. Яковлев, В.И. Научно-технологические основы создания защитных покрытий из композиционных механоактивированных СВС-материалов методом детонационно-газового напыления [Текст] : автореф. дис. ... докт. техн. наук : спец. 05.03.06. «Технология и машины сварочного производства» / В.И. Яковлев. – М, 2008. – 50 с.
15. Собачкин, А.В. Формирование износостойких покрытий для деталей сельскохозяйственного машиностроения при электродуговой наплавке многокомпонентных механоактивированных СВС-материалов [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.16.09 «Материаловедение (в машиностроении)» / А.В. Собачкин. – Барнаул, 2013. – 22 с.
16. Явление волновой локализации автотормозящихся твердофазных реакций [Текст] / Мержанов А.Г., Боровинская И.П., Шкиро В.М. (СССР); диплом № 287. Приор.от 05.07.67, Бюл. 1084, № 32; Вестн. АН СССР, 1984, № 10.
17. Лузан, С.А. СВС-процессы в технологиях упрочнения и восстановления деталей машин наплавкой и газотермическими способами напыления покрытий (обзор) [Текст] / С.А. Лузан, А.И. Сидашенко, А.С. Лузан // Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. – Харків: 2016. – № 6. – С. 152-162.

Sergiy Luzan, Prof., DSc., Olexandr Sidashenko, Prof., Phd tech. sci., A. Luzan, post-graduate

Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

Receiving and Researching Reparative Coatings on Machine Parts Using Mechanocomposites Containing TiC and TiB₂

The article describes the study of restorative wear-resistant coatings for agricultural parts using composite materials, which are a mixture of matrix material and mechanocomposite obtained using the SHS process.

As a result, a composite material based on a self-fluxing Ni-Cr-B-Si alloy modified with a mechanocomposite containing carbide and titanium diboride was developed.

The microstructure of surfaced coatings is the matrix material, which is the granulated powder 10 grinded cladding powder 01 alloy, in which solid inclusions are uniformly distributed, presumably, these are titanium diboride (TiB₂), iron carbide (Fe₃C) particles.

SHS-process, composite material, mechanoactivation, matrix material, carbide, oxide, surfacing, wear resistance

Одержано 02.11.17

УДК 621.356.2

О.Л. Ляшук, доц., д-р техн. наук, О. С. Голотенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Клендій, канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя м. Тернопіль, Україна, E-mail: oleglashuk@ukr.net

А.П. Довбиш, асп.

ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха, Україна

Синтез конвеєрів з розширеними технологічними МОЖЛИВОСТЯМИ

Розроблено модель вибору конструктивних конвеєрів для транспортування сільськогосподарських матеріалів по криволінійних траєкторіях з урахуванням можливих обсягів витрат, що виникають внаслідок пошкодження матеріалу, сукупних витрат, які включають собівартість виготовлення, експлуатації, технічний огляд і ремонт.

Проведено синтез робочих органів конвеєрів методом ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу. Обґрунтовано, що вибір варіанта конструкції робочих органів в першу чергу залежить від характеру виконання процесу і навантаження на робочий орган. Тому, виходячи з необхідності забезпечення проектування робочих органів, можна обмежити кількість варіантів конструктивних рішень і згенерувати значну кількість працездатних конструкцій конвеєрів для транспортування сипучих матеріалів по криволінійних трасах.

конвеєр, експлуатація, ремонт, собівартість

О.Л. Ляшук, доц., д-р техн. наук, О.С. Голотенко, доц., канд. техн. наук, В.М. Клендій, канд. техн. наук

Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, г. Тернополь, Украина

А.П. Довбиш, асп.

ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», сгт. Глеваха, Украина

Синтез конвейеров с расширенными технологическими возможностями

Разработана модель выбора конструктивных конвейеров для транспортировки сельскохозяйственных материалов по криволинейным траекториям с учетом вероятных объемов расходов, возникающих вследствие повреждения материала, совокупных расходов, которые включают себестоимость изготовления, эксплуатации, технический осмотр и ремонт.

Проведен синтез рабочих органов конвейеров методом иерархических групп с помощью морфологического анализа. Обосновано, что выбор варианта конструкции рабочих органов в первую очередь зависит от характера исполнения процесса и нагрузки на рабочий орган. Поэтому, исходя из необходимости обеспечения проектирования рабочих органов можно ограничить количество вариантов конструктивных решений и сгенерировать значительное количество трудоспособных конструкций конвейеров для транспортировки сыпучих материалов по криволинейным трассам.

конвейер, эксплуатация, ремонт, себестоимость

Постановка проблеми. На даний час проектування та розрахунок транспортно-технологічних механізмів проводиться за типовими схемами без врахування особливостей та специфіки виробництва, зокрема сільськогосподарського.

Сучасний стан розвитку транспортно-технологічних механізмів неперервної дії сільськогосподарського призначення вимагає пошуку нових шляхів покращення технологічних і експлуатаційних параметрів робочих органів, які дають змогу підвищити продуктивність та покращити якість транспортних процесів із метою зменшення травмування насінневих матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням конструювання та синтезу механізмів з гвинтовими робочими органами присвячені роботи П.М. Василенка, А.А. Вайнсона, А.А. Омельченка, А.М. Григор'єва, П.А. Преображенського, Р.Л. Зенкова [7], Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинського [13], Р.Б. Гевко [5] та багато інших. Технологічні процеси виробництва, пов'язані з сипкими, порошкоподібними матеріалами нерозривно пов'язані з переміщенням великої кількості вантажів по прямолінійних і криволінійних трасах. Тому в забезпеченні транспортних потоків, комплексної механізації й автоматизації праці на підприємствах провідну роль відіграють системи трубчастих транспортно-технологічних механізмів з криволінійними трасами транспортування, як екологічно чистий вид транспорту.

До їх переваг відноситься велика герметичність, різноманітність просторових криволінійних трас, можливість використовувати для жолобів стандартні труби, а для скребків – круглі тонкостінні диски. Основним недоліком цих конвеєрів є недостатня експлуатаційна надійність і довговічність, особливо при переміщенні на криволінійних трасах. Тому обґрунтування параметрів гнучких робочих органів канатних конвеєрів є актуальним і має важливе значення для подальшого дослідження.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розроблення моделі вибору конвеєрів для транспортування сипких вантажів по криволінійних траєкторіях з вибором раціональних конструкцій.

Виклад основного матеріалу. Для обґрунтування вибору транспортерів для транспортування сипких вантажів по криволінійних траєкторіях проведемо їх порівняльний техніко-економічний аналіз. До таких транспортерів можна віднести трубчасті скребкові, пневматичні, жорсткі складні (складаються з двох і більше перевантажувальних вузлів) та гнучкі гвинтові конвеєри. Розробляючи дану модель спочатку визначимо вартість цих конвеєрів.

При структурному синтезі і проектуванні транспортно-технологічних механізмів (ТТМ), а також їх оптимізації, необхідно згенерувати множину компоновок ТТМ, яка б максимально відповідала функціональному призначенню механізму за мінімальних затрат [10,12]. При цьому для виконання багатьох функціональних операцій з використанням ТТМ визначальною є транспортуюча здатність робочого органу (РО), що визначається продуктивністю, довжиною і складністю траєкторії транспортування [7,9,13, 14].

У результаті проведеного аналізу впливу різних факторів на процес транспортування сипких матеріалів канатними робочими органами шляхом структурно-схемного синтезу із застосуванням морфологічного аналізу [10] було визначено обмежену кількість їх складових елементів та зв'язків між ними, які представляють конструктивні ознаки, на основі чого складено морфологічну матрицю у вигляді таблиці 1. Вона поділена на стовпці, в заголовках яких представлені морфологічні ознаки елементів канатного конвеєра і зв'язки між ними, а до їх складу внесено альтернативи кожної ознаки з коефіцієнтом їх важливості.

Обрані наступні основні морфологічні ознаки: механізм транспортування вантажу; гнучкий елемент; подавальні диски; конструкції привідних елементів; бункер; конструкція вивантаження пошкодженого матеріалу; двигун-редуктор. Склад морфологічної таблиці може розширюватися за рахунок нових альтернатив кожної ознаки, а також за рахунок додаткових ознак. Проте даний варіант морфологічної моделі отримано внаслідок виділення функціонально важливих елементів з метою спрощення моделі, що дозволить мінімізувати кількість генерованих варіантів.

Таблиця 1 – Морфологічна таблиця конструктивних елементів ТТМ

1. Механізми транспортування вантажу	2. Гнучкий елемент	3. Подавальні диски	4. Конструкції приводних елементів
1.1. U-подібне розміщення 1.2. S-подібне розміщення 1.3. Прямолінійне горизонтальне розміщення	2.1. Канат 2.2. Ланцюг	3.1. Круглий диск 3.2. Круглий диск з отворами 3.3. Фасонний диск	4.1. Привідна зірочка 4.2. Еласто – металічний шарнір (тип 1) 4.3. Еласто – металічний шарнір (тип 2)
5. Механізм завантаження		6. Конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу	7. Привід
5.1. Гравітаційний 5.2. Примусовий 5.3. Роздільний 5.4. З калібруванням		6.1 Жорсткий шнек 6.2. Гнучкий шнек 6.3. Безвальний шнек 6.4. Секційний шнек	7.1. Електродвигун 7.2. Пневмопривід 7.3. Вібропривід 7.4. Гідропривід

Морфологічну модель (табл. 1) можна представити у вигляді морфологічної матриці, що утворена шляхом числового позначення відповідних альтернатив, розміщених у стовпцях морфологічної таблиці:

$$N = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_j = \prod_{j=1}^n K_j, \quad (1)$$

$$N_{TC} = \begin{matrix} |1.1| & |2.1| & |3.1| & |4.1| & |5.1| & |6.1| & |7.1| \\ |1.2| & |2.2| & |3.2| & |4.2| & |5.2| & |6.2| & |7.2| \\ |1.3| & & |3.3| & |4.3| & |5.3| & |6.3| & |7.3| \\ & & & & |5.4| & |6.4| & |7.4| \end{matrix} \quad (2)$$

Загальна кількість варіантів конструктивних виконань ГС, яка входять в морфологічну матрицю (2), є дуже значною $N = 3456$ і важко піддається повному перебору та вимагає багато часу для вибору найкращих рішень.

Тому, нами використано метод синтезу ієрархічних груп. Цей метод базується на морфологічному аналізі [2], проте він передбачає поділ механічної системи на певну кількість ієрархічних рівнів з віднесенням до кожного окремих конструктивних елементів системи. Цим методом нами розкладено загальні задачі на часткові та знайдено раціональне рішення у часткових областях пошуку з подальшим їх комбонуванням. До першого ієрархічного рівня відносяться конструктивні елементи механічної системи, які впливають на якість і продуктивність технологічного процесу (елементи першого порядку). До другого ієрархічного рівня відносяться конструктивні елементи, для реалізації функції відповідної механічної системи і мають вибірковий вплив на виконання технологічного процесу (елементи другого порядку). До третього ієрархічного рівня відносяться конструктивні елементи, що допомагають роботі механічної системи і не впливають на реалізацію технологічного процесу (елементи третього порядку). Економічна доцільність, ціни та вартість експлуатації повинні привертати особливу увагу, при створенні механічної системи.

Для забезпечення отримання найбільш раціональних конструктивних рішень при значно менших витратах зусиль та часу ніж при використанні морфологічного аналізу проводиться добір можливих альтернативних варіантів конструктивних елементів з нижчих рівнів на наступному етапі запропонованих конструктивних рішень. Визначена формула для використання запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу

$$N_{zA} = (K_{11}k_{11} \cdot K_{12}k_{12} \cdot K_{13}k_{13} \cdot K_{1l}k_{1l}) + (K_{21}k_{21} \cdot K_{22}k_{22} \cdot K_{23}k_{23} \cdot K_{2l}k_{2l}) + \dots + \\ + (K_{z1}k_{z1} \cdot K_{z2}k_{z2} \cdot K_{z3}k_{z3} \cdot K_{zi}k_{zi}) = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_{zi}k_{zi}, \quad (3)$$

де z – ієрархічний рівень;

l – кількість ієрархічних рівнів;

K_{zi} – альтернатива конструктивного елементу певного ієрархічного рівня;

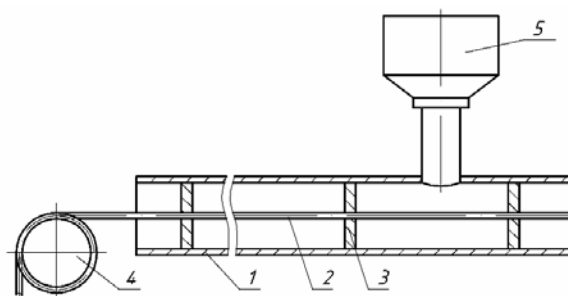
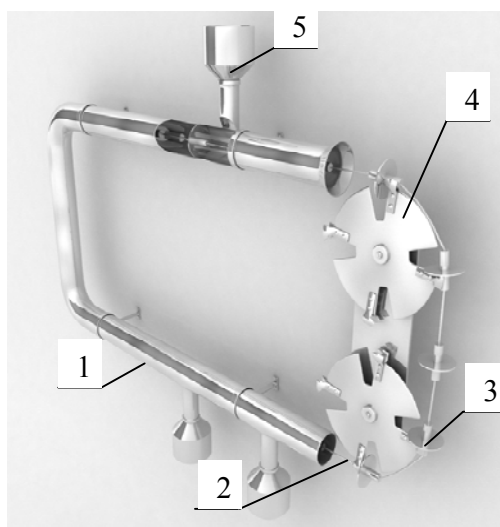
m – кількість альтернатив конструктивного елементу певного ієрархічного рівня.

k_{zi} – коефіцієнт, що визначає економічну доцільність використання того чи іншого конструктивного елемента (табл. 2).

Таблиця 2 – Коефіцієнти конструктивних елементів

1. Механізми транспортування вантажу	2. Гнучкий елемент	3. Подавальні диски	4. Конструкції приводних елементів	5. Механізм завантаження	6. Конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу	7. Привід
1.1 $k_{11}=1,1 \dots 1,25$ 1.2 $k_{12}=1,2 \dots 1,35$ 1.3 $k_{13}=1,0 \dots 1,1$	2.1 $k_{21}=1,0 \dots 1,1$ 2.2 $k_{22}=1,3 \dots 1,6$	3.1 $k_{31}=1,0 \dots 1,2$ 3.2 $k_{32}=1,4 \dots 1,7$ 3.3 $k_{33}=1,5 \dots 1,8$	4.1 $k_{41}=1,6 \dots 1,9$ 4.2 $k_{42}=1,7 \dots 1,9$ 4.3 $k_{43}=1,8 \dots 2$	5.1 $k_{51}=1,0 \dots 1,1$ 5.2 $k_{52}=1,2 \dots 1,4$ 5.3 $k_{53}=1,4 \dots 1,6$ 5.4 $k_{54}=1,3 \dots 1,5$	6.1 $k_{61}=1,5 \dots 1,7$ 6.2 $k_{62}=1,6 \dots 1,9$ 6.3 $k_{63}=1,9 \dots 2,3$ 6.4 $k_{64}=1,7 \dots 2,2$	7.1 $k_{71}=1,1 \dots 1,2$ 7.2 $k_{72}=1,3 \dots 1,6$ 7.3 $k_{73}=1,4 \dots 1,8$ 7.4 $k_{74}=1,6 \dots 1,9$

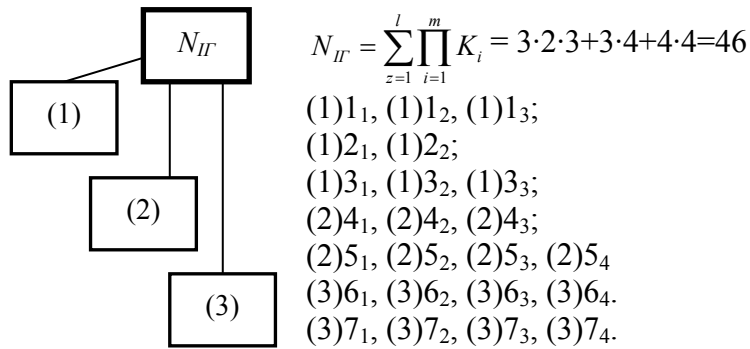
Запропонована модель транспортно-технологічної системи з канатним робочим органом, зображена на рис. 1. Згідно запропонованого групування до першої ієрархічної групи слід віднести такі конструктивні елементи: 1 – механізм транспортування вантажу; 2 – гнучкий канат; 3 – подавальні диски; до другої ієрархічної групи: 4 – приводна зірочка; 5 – бункер; до третьої ієрархічної групи: 6 – конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу; 7 – привід. Відповідно при кодуванні використаємо наступну схему кодів конструктивних елементів канатних конвеєрів з використанням символу «і» (де «і» змінюється в межах від 1 до ∞): 1_і – механізми транспортування вантажу; 2_і – гнучкі канати; ланцюг; 3_і – подавальні диски; 4_і – приводні зірочки; 5_і – бункери; 6_і – конструкції вивантаження пошкодженого матеріалу, 7_і – приводи. Якщо в конструкції міститься декілька ідентичних конструктивних елементів, то їх кількість доцільно записати відповідним степенем, наприклад: дві приводні зірочки – $(4_{12})^2$, а якщо міститься декілька різних конструктивних елементів одного виду, то їх доцільно записати наступним чином: два бункери – $(5_7 \cup 5_{92})$.



1- механізм транспортування вантажу; 2- канат;
3- робочий орган; 4-привідна зірочка; 5- бункер

Рисунок 1 – Структурна схема канатного гнучкого конвеєра [15]

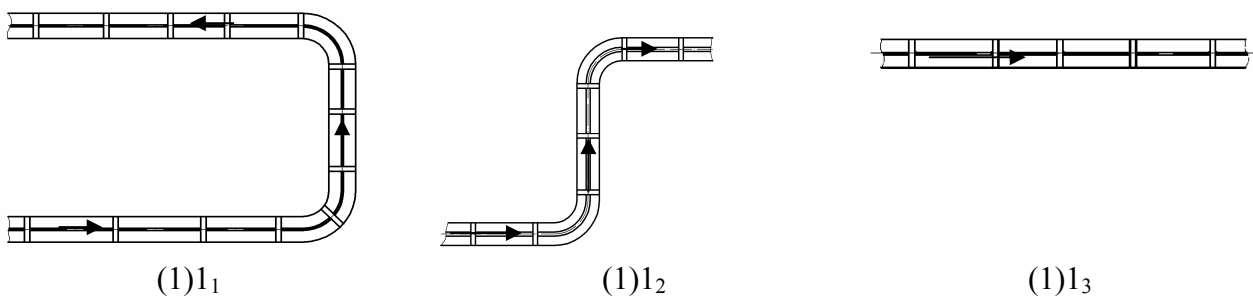
В результаті генерування альтернатив конструкцій, на першому ієрархічному рівні одержано такі альтернативи (рис. 2.):



(1) – перший ієрархічний рівень; (2) - другий ієрархічний рівень; (3) - третій ієрархічний рівень
 Рисунок 2 – Модель механічної системи «гнучкий канатний і ланцюговий конвеєр»

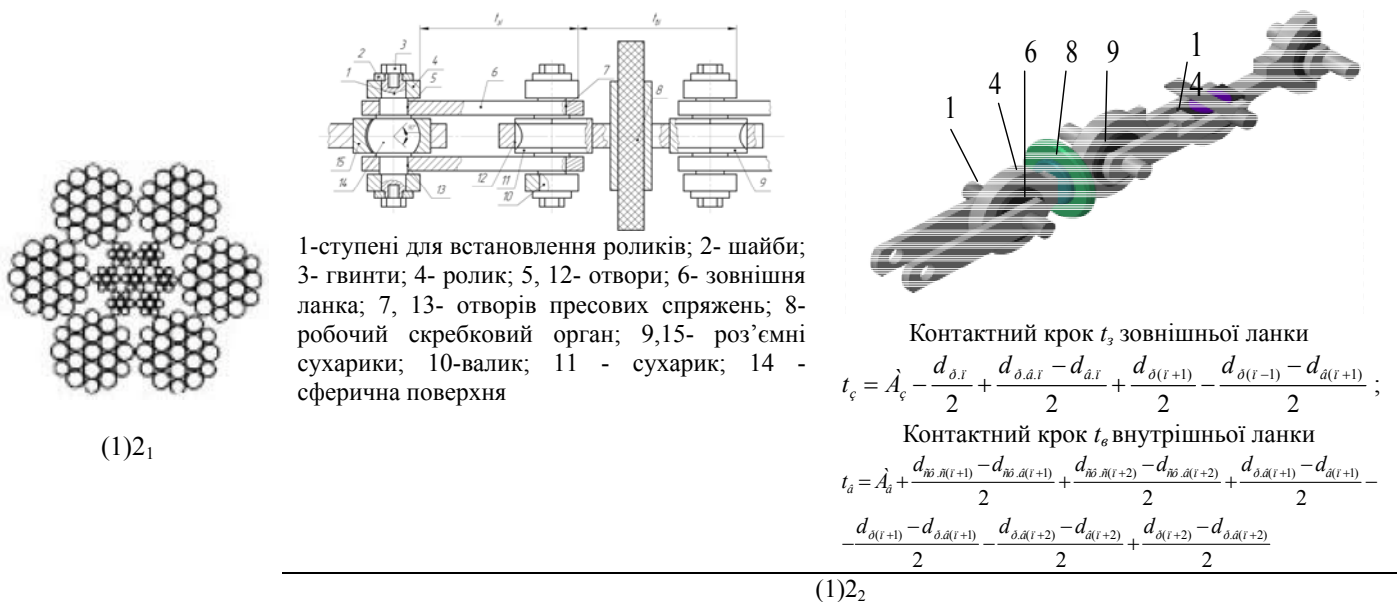
- для першого ієрархічного рівня: (1)₁₁ - (1)₁₃ (рис. 3.); (1)₂₁ - (1)₂₂ (рис. 4.); (1)₃₁ - (1)₃₃ (рис. 5);
- для другого ієрархічного рівня: (2)₄₁ - (2)₄₃; (рис. 6.) (2)₅₁ - (2)₅₃;
- для третього ієрархічного рівня: (3)₆₁ - (3)₆₄. та (3)₇₁ - (3)₇₄.

Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня представлені згідно морфологічної таблиці 1 на рис. 3.

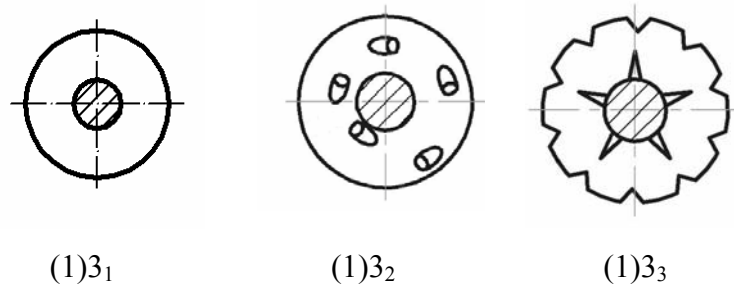


(1)₁₁ – U-подібне розміщення; (1)₁₂ – S-подібне розміщення;
 (1)₁₃ – прямолінійне горизонтальне розміщення

Рисунок 3 – Варіанти розміщення механізмів транспортування вантажу

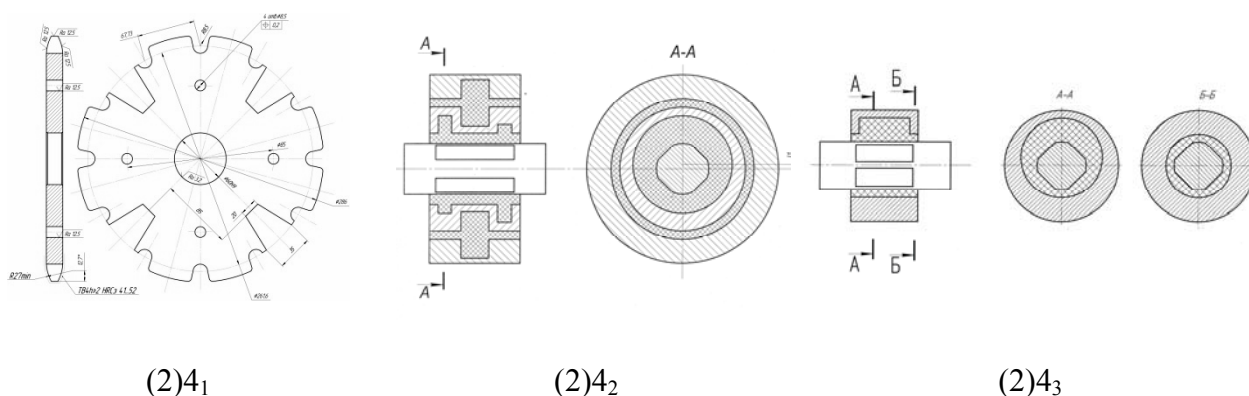


(1)₂₁ - канат сталевий подвійної завивки типу ЛК-Р;
 (1)₂₂ - пластинчастий тяговий безвтулковий ланцюг підвищеної шарнірної рухомості
 Рисунок 4 – Варіанти конструкцій тягових елементів



(1)3₁ – круглий диск; (1)3₂ – круглий диск з отворами; (1)3₃ – фасонний диск

Рисунок 5 – Варіанти конструкцій подавальних дисків



(2)4₁ – привідна зірочка; (2)4₂ – еласто – металічний шарнір; (2)4₃ – еласто – металічний шарнір

Рисунок 6 – Конструкції привідних елементів

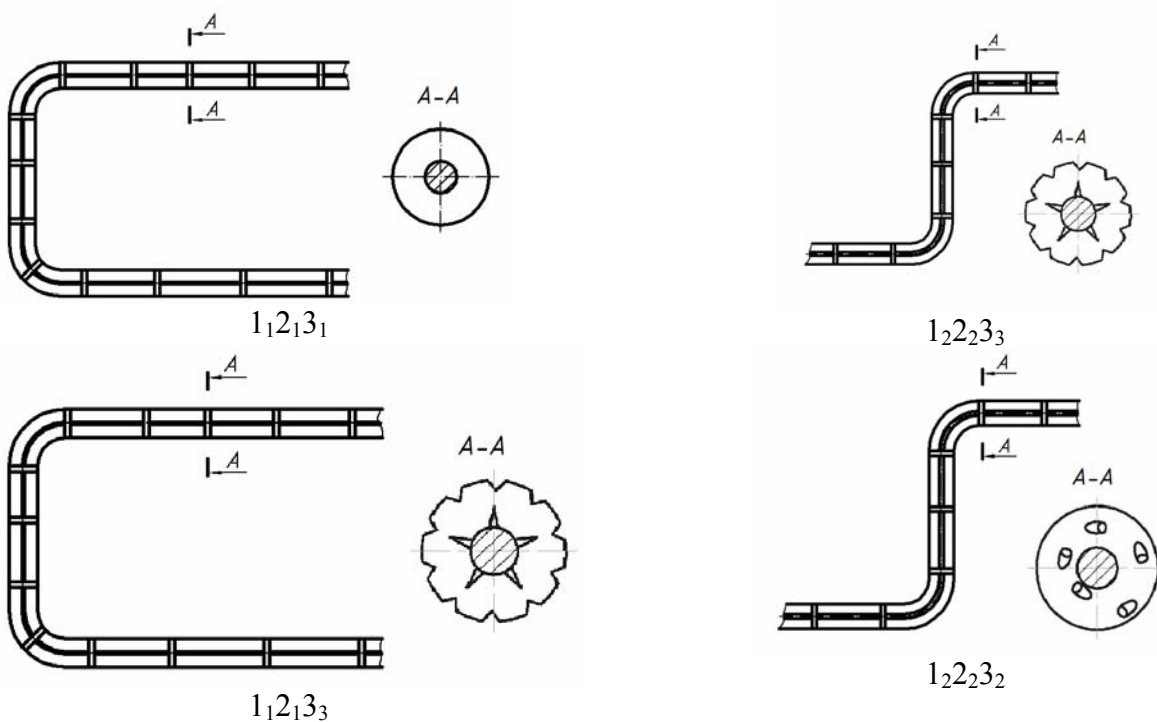


Рисунок 7 – Приклади компоновок конструктивних елементів першого ієрархічного рівня

Якщо при синтезі альтернативних конструктивних варіантів канатних конвеєрів використовувати традиційний метод морфологічного аналізу, то кількість альтернатив становитиме: $N = \prod_{j=1}^n K_j = 3456$ варіанти, що майже у 75 рази більше, ніж при використанні запропонованого методу синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу: $N_{II} = \sum_{z=1}^l \prod_{i=1}^m K_i = 46$. Це вказує на доцільність використання запропонованого методу, що значно полегшує перебір альтернатив та пошук найкращих.

Кінцевий вибір може проводитись шляхом пошуку конструкції з певної групи шляхом максимізації очікуваних позитивів із загальної сукупності альтернативних варіантів за формулою:

$$An = \frac{k_{cob} \cdot k_{ваз1} + k_{np} \cdot k_{ваз2} + k_{як} \cdot k_{ваз3} + k_{мц} \cdot k_{ваз4}}{k_{ваз1} + k_{ваз2} + k_{ваз3} + k_{ваз4}}, \quad (4)$$

де k_{cob} , k_{np} , $k_{як}$, $k_{мц}$ – відповідно коефіцієнти зведеної собівартості, продуктивності, якості виконання процесу та запасу міцності з врахуванням динамічного навантаження слабшої ланки;

$k_{ваз1}$, $k_{ваз2}$, $k_{ваз3}$, $k_{ваз4}$ – відповідно ваги показників сумарної собівартості, продуктивності, якості виконання процесу та запасу міцності з врахуванням динамічного навантаження слабшої ланки, що враховують їх важливість і пріоритетність, $k_{ваз} = 1 \dots 10$.

Загальна кількість варіантів конструктивних виконань, що входять в морфологічну матрицю, є дуже великою і важко піддається повному перебору та вимагає багато часу для вибору найкращих рішень. Тому вибір варіанту конструкції залежатиме, у першу чергу, від характеру виконання транспортно-технологічного процесу. Якщо конструювання здійснювати виходячи з певних умов роботи (заданої продуктивності, розмірів та нехтування якістю виконання процесу), то в даній моделі кількість коефіцієнтів скоротиться до двох, і принцип вибору зведеться до пошуку альтернативи з вимоги забезпечення оптимальної міцності та зведеної собівартості.

В результаті синтезу ієрархічних груп за допомогою морфологічного аналізу на основі коефіцієнта, що визначає економічну доцільність використання того чи іншого конструктивного елемента було відібрано працездатні конструкції альтернативних варіантів транспортно-технологічних систем з канатними робочими органами (табл.3.).

а) $1_1 2_1 3_1 (4_1)^2 5_1 7_1$

$$k_{констр.} = k_{11} k_{21} k_{31} (k_{41})^2 k_{51} k_{71} = (1,1 \dots 1,25) (1,0 \dots 1,1) (1,0 \dots 1,2) (1,6 \dots 1,9)^2 (1,0 \dots 1,1) (1,1 \dots 1,2) = (3,09 \dots 7,86)$$

б) $1_2 2_1 3_2 (4_1)^3 5_1 7_1$

$$k_{констр.} = k_{12} k_{21} k_{32} (k_{41})^3 k_{51} k_{71} = (1,2 \dots 1,35) (1,3 \dots 1,6) (1,4 \dots 1,7) (1,6 \dots 1,9)^3 (1,0 \dots 1,1) (1,1 \dots 1,2) = (10,8 \dots 33,24)$$

в) $1_1 2_2 3_3 (4_1)^2 5_2 7_1$

$$k_{констр.} = k_{11} k_{22} k_{33} (k_{41})^2 k_{52} k_{71} = (1,1 \dots 1,25) (1,3 \dots 1,6) (1,5 \dots 1,8) (1,6 \dots 1,9)^2 (1,2 \dots 1,4) (1,1 \dots 1,2) = (7,24 \dots 21,83)$$

г) $1_3 2_2 3_2 (4_1)^3 5_4 7_1$

$$k_{\text{констр.}} = k_{13} k_{22} k_{32} (k_{41})^3 k_{54} k_{71} = (1,0 \dots 1,1) (1,3 \dots 1,6) (1,4 \dots 1,7) (1,6 \dots 1,9)^3 (1,3 \dots 1,5) (1,1 \dots 1,2) = (10,66 \dots 36,93)$$

д) $1_2 2_1 3_3 (4_1)^2 5_1 7_1$

$$k_{\text{констр.}} = k_{12} k_{21} k_{33} (k_{41})^2 k_{51} k_{71} = (1,2 \dots 1,35) (1,3 \dots 1,6) (1,5 \dots 1,8) (1,6 \dots 1,9)^3 (1,0 \dots 1,1) (1,1 \dots 1,2) = (10,54 \dots 35,20)$$

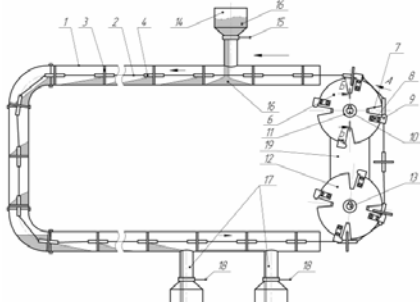
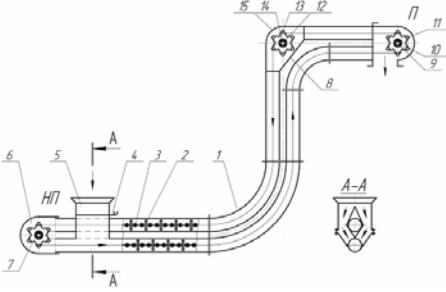
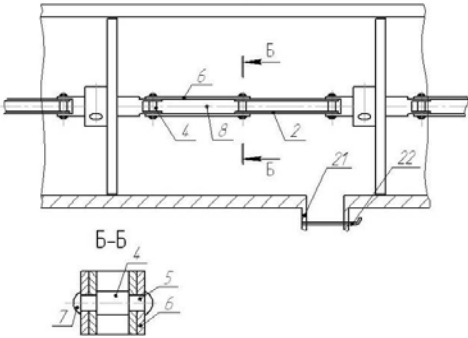
е) $1_2 2_2 3_3 (4_1)^3 5_1 6_4 7_1$

$$k_{\text{констр.}} = k_{12} k_{22} k_{33} (k_{41})^3 k_{51} k_{64} k_{71} = (1,1 \dots 1,25) (1,3 \dots 1,6) (1,5 \dots 1,8) (1,6 \dots 1,9)^3 (1,0 \dots 1,1) (1,6 \dots 1,9) (1,1 \dots 1,2) = (15,46 \dots 61,92)$$

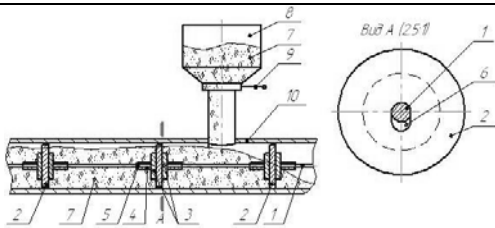
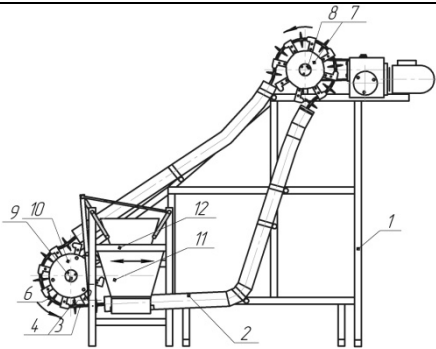
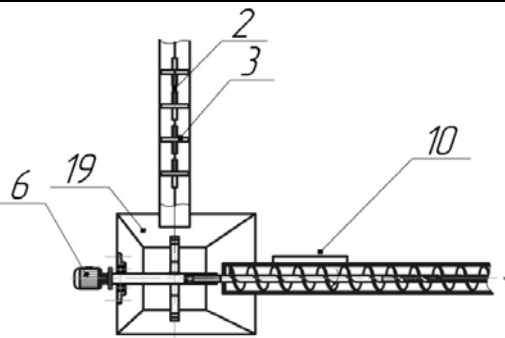
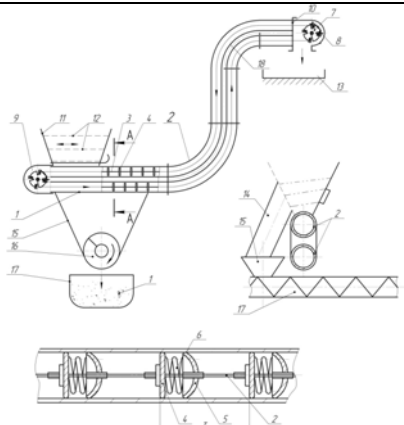
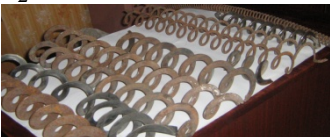
є) $1_2 2_2 3_3 (4_1)^2 5_4 6_2 7_3$

$$k_{\text{констр.}} = k_{12} k_{22} k_{33} (k_{41})^2 k_{54} k_{62} k_{73} = (1,1 \dots 1,25) (1,3 \dots 1,6) (1,5 \dots 1,8) (1,6 \dots 1,9)^3 (1,3 \dots 1,5) (1,6 \dots 1,9) (1,4 \dots 1,8) = (25,58 \dots 126,67)$$

Таблиця 3 – Синтезовані конструкції енергоощадних транспортно-технологічних систем з канатними робочими органами

Код конструкції	Схема з кодами конструктивних елементів	Робочий орган
$1_1 2_1 3_1 (4_1)^2 5_1 7_1$	 Пат. №94206	2_1 
$1_2 2_1 3_2 (4_1)^3 5_1 7_1$	 Пат. №94205	2_1 
$1_1 2_2 3_3 (4_1)^2 5_2 7_1$	 Пат. №94206	2_2 

Продовження таблиці 3.

$1_3 2_2 3_2 (4_1)^3 5_4 7_1$	 Пат. №65918	2_2 
$1_2 2_1 3_3 (4_1)^2 5_1 7_1$	 Пат. №85011	2_1 
$1_2 2_2 3_3 (4_1)^3 5_1 6_4 7_1$	 Пат. №85011	2_2  6_4 
$1_2 2_2 3_3 (4_1)^2 5_4 6_2 7_3$	 Пат. №85233	2_2  6_2 

Висновки:

1. Розроблена модель структурного синтезу робочих органів сільськогосподарських конвеєрів методом морфологічного аналізу з покращеними техніко-економічними характеристиками; встановлено раціональні межі вибору типів транспортних механізмів альтернативної дії для виконання типових сільськогосподарських операцій.

2. Розроблена система кодування й синтезу конструктивних елементів робочих органів з розширеними технологічними можливостями дозволяє при встановленні

відповідних обмежень і використанні програмного забезпечення розробити та відібрати конкурентноздатні конструкції, які забезпечують якісне й продуктивне виконання технологічних процесів, що дозволило зменшити кількість варіантів синтезованих альтернатив у порівнянні з класичною моделлю, що суттєво скорочує терміни проектування транспортних засобів.

3. Встановлено, що при генеруванні конструкцій враховано сукупність витрат, які включають собівартість виготовлення, експлуатації, технічний огляд та ремонт, собівартість кожного КЕ (приводи, передачі і редуктори, запобіжні і пружні муфти, гвинтові робочі органи, трубопровід, елементи завантаження і розвантаження, елементи з'єднувальні та опорно-поворотні, елементи керування).

Список літератури

1. Гевко, І. Б. Організація виробництва: теорія і практика: підручник [Текст] / І. Б. Гевко, А. О. Оксентюк, М. П. Галушак. – К. : Кондор, 2008. – 178 с.
2. Гевко, І. Б. Управління процесом розробки і освоєння виробництва нових виробів: підручник [Текст] / І. Б. Гевко, Б. М. Гевко. – Тернопіль : ТДТУ імені Івана Пулюя, 2010. – 199 с.
3. Гевко, І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05. 02.02 «Машинознавство» / І. Б. Гевко. – Львів, 2013. – 42 с.
4. Гевко, Ів. Обґрунтування економічної ефективності використання конвеєрів при транспортуванні насіннєвого матеріалу по криволінійних траєкторіях [Текст] / Ів. Гевко, О. Ляшук, Ю. Тарасюк // Вісник ТНТУ — Тернопіль : ТНТУ, 2014. — Том 74. — № 2. — С. 137-143.
5. Gevko, R. B. 2011. Obgruntuvannya parametriv konstruktsiyi robochogo organu shaybovogo transportera. Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tehnicnogo universitetu Imeni Petra Vasilenka. – Vipusk 114. –241-246.
6. Gevko, I.B., Lyashuk O.L., Rogatinska L.R., Zolotuy R.Z., Lyubachivskyy R.O. (2013). – Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyer. International symposium: ISB-INMA TEN'2013. «Agricultural and Mechanical Engineering » 2013. pg. 175-182, Bucharest. ISIN 2344-4118.
7. Zenkov, R. L. 1980. Mashiny nepreryvnogo transporta. – М.: Mashinostroenie, – 367.
8. Кроп Л. И. Обработка и хранение семенного зерна. / Л. И. Кроп. - Москва: “Колос”, 1974. – 176 с.
9. Loveykin, V. S. 2011. Bagatomasova model dinamiki ruhu kormozmishuvacha gvintovogo tipu zi zminnim oporom // MOTROL. Commis-sion of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13B. 124-129.
10. Ляшук, О.Л. Синтез транспортно-технологічних систем з гнучким канатним і ланцюговим робочим органам [Текст] / О.Л. Ляшук, В.І. Бадишук, О.О. Олексинин // Збірник наукових статей. Луцький національний технічний університет Випуск 21, том 1 «Сільськогосподарські машини» Луцьк.: 2013 - С. 251-261.
11. Oleg Lyashuk Andriy Dyachun, Roman Zolotuy, Olexandr Oleksyshyn, Yroslav Zamora, Zdenko Tkáč. 2013. – Results of Experimental Research of Granular Materials Transportation by Tubular Scraper Conveyors. In acta technologica agriculturae, 2013, no. 4, p.101-105, Nitra, Slovak Republic. ISBN 1335-2555.
12. Ляшук, О.Л. Структурний синтез гвинтових робочих органів механізмів машин. [Текст] / О.Л. Ляшук, Р.О. Любачівський І.М. Кучвара // – Вісник машинобудування Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»: серія «Машинобудування». – 2013. - № 68. – с.25-31.
13. Рогатинський, Р. Модель конструювання і вибору гвинтових конвеєрів з розширеними технологічними можливостями [Текст] / Р. Рогатинський, І. Гевко // Вісник ТНТУ. – 2012. – № 3 (67). – С.197–210.
14. Sirotyuk, V. M. 2011. Eksperimentalne doslidzhennya rezhimiv roboty energooschadnogo vibratsiynogo dozatora sipuchih kormiv // MOTROL. Commission of Motorization and Ener- getics in Agriculture – Lublin, Vol. 13D. 62-67.
15. Пат. №54102 Україна, МПК В65G 33/00. Гнучкий канатний конвеєр. Заявники: Ляшук О.Л., Гевко Б. М., Стефанів В. М., Олексинин О. В., Комар Р. В., Гевко І. Б., Дячун А. Є. патентовласник Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя – № u201005330; заявл 30.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.
16. Пат. №65918, Україна, МПК (2011.01) В65G 35/00. Робочий орган гнучкого канатного конвеєра. Заявники: Ляшук О.Л., Диня В.І.; Олексинин О.В.; Гевко І.Б.; Грабар А.В.; власник патенту

- Ляшук О.Л.; Диня В.І.; Олексин О.В.; Гевко І.Б.; Грабар А.В. – № u201101683; заявл. 14.02.2011, опубл. 26.12.2011. Бюл. № 24.
17. Пат. №85011, Україна, МПК (2006.01): B65G 35/14. Секційна гвинтова спіраль / Ляшук О.Л.; Любачівський Р. О.; Дзюра В.О.; Клендій В.М.; Гевко І. Б.; заявник і власник патенту Ляшук О.Л.; Любачівський Р. О.; Дзюра В.О.; Клендій В.М.; Гевко І. Б.; – № u201304973; заявл. 18.04.2013., опубл. 11.11.2013. Бюл. №21.
 18. Пат. №85233, Україна, МПК (2013.01): B65G 35/00. Бочкоподібний робочий орган трубчастого канатного конвеєра / Ляшук О. Л.; Комар Р.В.; Олексин О.В.; Лотоцький Р. І.; заявник і власник патенту Ляшук О. Л.; Комар Р.В.; Олексин О.В.; Лотоцький Р. І.; – № u201306971; заявл. 03.06.2013., опубл. 11.11.2013. Бюл. №21.
 19. Пат. №94205, Україна, МПК (2014.01): B65G 33/00. Гнучкий трубчастий змішувач з вертикальною подачею сипких матеріалів / Ляшук О.Л.; заявник і власник патенту Ляшук О.Л.; – № u201402119; заявл. 03.03.2014., опубл. 10.11.2014. Бюл. №21.
 20. Пат. №94206, Україна, МПК (2014.01): B65G 33/00. A01F 12/44 (2006.01) Гнучкий канатний сепаратор / Ляшук О.Л.; заявник і власник патенту Ляшук О.Л.; – № u201402121; заявл. 03.03.2014., опубл. 10.11.2014. Бюл. №21.

Oleg Lyashuk, Assoc. Prof., DSc., Olexander Golotenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Volodymyr Klendiy, PhD tech. sci.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Andriy Dovbish, post-graduate

NSC "Institute of Mechanization and Electrification of Agricultural" NAAS of Ukraine, town Glevaha, Kiev region, Ukraine

Synthesis of Conveyers With Improved Technological Characteristics

The model of choosing construction conveyers for transporting agricultural cargo along the curvilinear trajectory taking into account possible expenditures caused by the damage of cargo and total expenditures, which include manufacturing, operation. Maintenance and repair cost price has been developed.

The synthesis of conveyer operating members taking advantage of the hierarchic groups method and using morphological analyses has been carried out. It was interpreted, that the choice of option of the operating members desing depends first of all on the nature of the performed process and loading on the operating member.

That is why for the purpose to proside the desing of the operation members, the number of construction solution options can be reduced and one may develop a great number of conveyer designs capable to operate officiently for the transporting of bulk cargo along the curvilinear trajectory.

conveyer, operation, maintenance, cost price

Одержано 28.11.17

УДК 62-752

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.О. Дубовик, доц., канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: uaneverdakha@ukr.net

До визначення швидкості ковзання та зусилль, які діють в зачепленні черв'ячної передачі

В статті розглянута величина швидкості ковзання і її напрям відносно лінії дотикання черв'яка і черв'ячного колеса, визначені швидкості ковзання та зусилля, які діють в зачепленні. **черв'ячна передача, зубець, контактна лінія, ковзання, масляний клин, зусилля**

© Ю.А. Невдаха, В.О. Дубовик, А.Ю. Невдаха, В.В. Пукалов, 2017

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.А. Дубовик, доц., канд. техн. наук, А.Ю. Невдаха, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна

К определению скорости скольжения и усилий, которые действуют в зацеплении червячной передачи

В статье рассмотрена величина скорости скольжения и ее направление относительно линии контакта червяка и червячного колеса, определены скорости скольжения и усилия, которые действуют в зацеплении

червячная передача, зуб, контактная линия, скольжение, масляный клин, усилие

Постановка проблеми. Для приводів робочих органів сільськогосподарської техніки застосовуються різні види механічних передач. Найбільше розповсюдження, при цьому, отримали зубчасті передачі, які мають серед інших передач найменші габарити, масу і втрати на тертя. Коефіцієнт втрат однієї зубчатої пари при належному виконанні і належному змащуванні не перевищує 0,01. Зубчасті передачі, в порівнянні з іншими механічними передачами, мають більшу надійність в роботі, сталість передаточного числа, можливість застосування в широкому діапазоні швидкостей і передаточних відношень [1, 2].

Серед зубчастих передач, на нашу думку, перспективними є черв'ячні передачі. Вони мають менші контактні напруження, а контактні лінії розташовуються під більшими кутами до швидкості ковзання [3]. Основними причинами виходу з ладу черв'ячних передач є [1, 2]:

- знос зубців колеса, який обмежує термін експлуатації. Інтенсивність зношування збільшується при неякісному або забрудненому мастильному матеріалі, при підвищеній шорсткості робочої поверхні черв'яка;
- заїдання при високій твердості матеріалу колеса, що викликає значні пошкодження робочих поверхонь і наступний швидкий знос зубців частками металу, що приварюються на черв'яку. При м'яких матеріалах коліс заїдання проявляється у небезпечній формі, виникає перенос матеріалу колеса на робочу поверхню черв'яка;
- втомне викришування - відбувається тільки на поверхні зубців коліс, які виготовлені з матеріалів, стійких до заїдання;
- пластична деформація робочих поверхонь зубців колеса, що виникає під дією високих перевантажень;
- втомне руйнування зубців коліс, можливе після значного їх зношення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищити довговічність черв'ячних передач можна за рахунок покращення умов роботи, а саме змінити лінію контакту зацеплення червяка і червячного колеса за рахунок геометрії зацеплення (увігнутий профіль витка червяка), а також шляхом застосування масляного клина [4]. При цьому слід зазначити, що зміну геометрії зацеплення необхідно проектувати з врахуванням кінематичних параметрів передачі з метою підвищення тиску в масляному клині для збільшення навантажувальної здатності [5, 6].

Постановка завдання. Тому одним із способів підвищення тиску в масляному клині, а також і підвищення навантажувальної здатності передачі є зміна геометрії зацеплення.

Виклад основного матеріалу. Встановлено [3, 5], що утворення масляного клина і підвищення здатності навантаження може бути отримано в черв'ячних передачах, що мають циліндричний черв'як з увігнутим профілем витка.

Особливість зацеплення в глободних передачах порівняно з зацепленням звичайних червячних передач полягає в тому, що напрям вектора $V_{\text{ков}}$ перпендикулярний до лінії контакту (лінія aa рис. 2в), або складає з нею кут, близький

до 90° (лінія bb рис. 2в). Внаслідок цього створюються сприятливі умови для утворення стійкого масляного клина, що сприяє зносостійкості передачі, великої надійності проти заїдання, тобто зростанню навантажувальної здатності глобоїдної передачі. Сприятливим фактором для забезпечення масляного клина і зниження контактних напружень є також мала кривизна поверхонь, що контактують по додатковим контактним лініям.

Особливістю роботи черв'ячної передачі є ковзання уздовж зубців. В курсі "Деталі машин" [1, 2] виводиться наступна залежність для визначення швидкості ковзання:

$$V_{\text{ков}} = \frac{V_1}{\cos \gamma} = \frac{d_1 \cdot n_1}{1900 \cdot \cos \gamma}. \quad (1)$$

Величина швидкості ковзання і її напрям відносно лінії дотикання двох тіл, що рухаються один відносно одного, а також форма дотичних поверхонь значною мірою визначають гідродинамічні умови мащення в зачепленні і, отже, впливають на працездатність передачі.

Якщо, наприклад, тіло А рухається поступально відносно тіла Б (рис. 1) із швидкістю V_A , то при наближенні кута λ до 90° умови для утворення масляного клину стають більш сприятливі. Також очевидно, що при $\lambda = 0$ масляний клин між цими тілами не створюватиметься і виникає безпосередній контакт дотичних поверхонь.

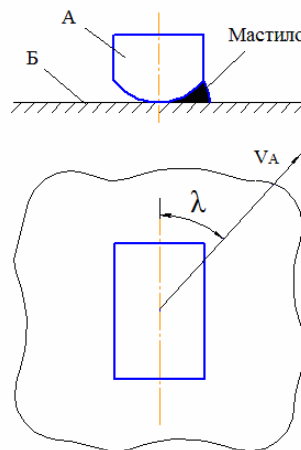
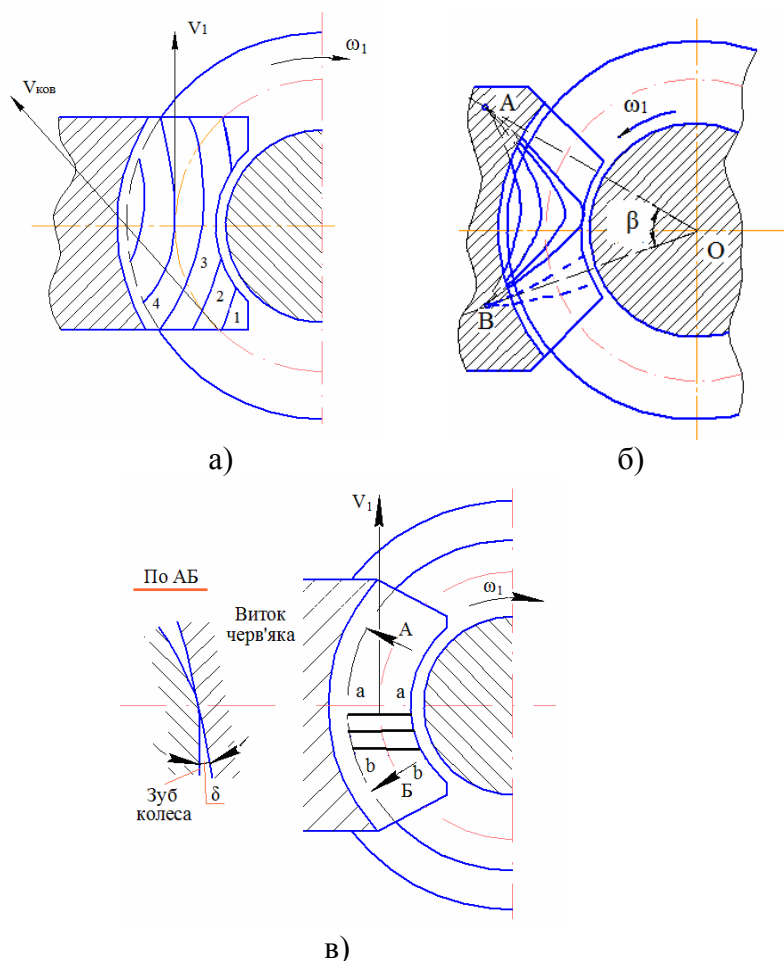


Рисунок 1 – Умова отримання масляного клина

Контактна лінія при роботі черв'ячної передачі переміщається як по поверхні зуба черв'ячного колеса, так і по поверхні витка черв'яка. Але слід підкреслити, що швидкість переміщення контактної лінії щодо зуба черв'ячного колеса мала в порівнянні з коловою швидкістю V_1 черв'яка (і близькою до неї за величиною швидкості ковзання $V_{\text{ков}}$). На рис. 2а зображені на поверхні зуба черв'ячного колеса різні положення контактної лінії. І, як видно з рис. 2а, величини кутів, утворених контактними лініями з напрямками $V_{\text{ков}}$ для різних точок черв'яка, змінюються в широкому діапазоні: вони максимальні на крайніх частинах зуба і дуже малі або навіть дорівнюють нулю поблизу головної площини на стороні входу витка черв'яка в зачеплення. У цій частині зуба колеса виникає зона з дуже несприятливими умовами для утворення масляного клина, внаслідок чого можливий металевий контакт

взаємодіючих поверхонь. Остання обставина істотно обмежує навантажувальну здатність черв'ячної передачі. Необхідно відзначити, що умови для утворення масляного клину погіршуються з зменшенням кута підйому витка γ (рис. 5).



а) для циліндричного черв'яка; б) для черв'яка з увігнутим профілем зуба;
в) для черв'яка глобoidної передачі

Рисунок 2 – Проекції контактних ліній на зуб черв'ячного колеса

Різні конструктивні та технологічні заходи, що вживаються для підвищення навантажувальної здатності черв'ячних передач зі звичайним циліндричним черв'яком, не дають великого ефекту [7]. Різке поліпшення в умовах утворення масляного клина, а відтак, і підвищення навантажувальної здатності може бути отримано в черв'ячних передачах, що мають циліндричний черв'як з увігнутим профілем витка. Різні положення контактної лінії цієї передачі зображені на рис. 2б. Характерним є те, що кожна контактна лінія проходить через дві прямі (точки А і В), паралельні осі черв'яка, і кривизна контактних ліній тим більше, чим менше кут β , утворений променями АО і ВО, проведеними з центру О черв'яка. Оскільки контактні лінії в переважній більшості точок контакту становлять з вектором відносної швидкості значні кути, то в шарі мастила створюється більший гідродинамічний тиск. Це сприяє зменшенню ймовірності заїдання і зносу зубців, а також збільшує навантажувальну здатність та коефіцієнт корисної дії передачі.

Зачеплення глобoidної передачі відрізняється від зачеплення звичайних черв'ячних передач насамперед тим, що в головній площині всі зубці колеса, що

охоплюються черв'яком, контактують по всі робочій висоті з витками черв'яка, утворюючи так звану постійну контактну лінію (лінія aa, рис. 2в). Крім цього, частина зубців колеса з боку входу витків черв'яка в зачеплення має додаткові контактні лінії, які переміщуються (лінії bb). Інша особливість зачеплення полягає в тому, що напрям вектора $V_{ков}$ або перпендикулярний до лінії контакту (лінія aa), або складає з нею кут, близький до 90° (лінія bb). Внаслідок цього створюються сприятливі умови для утворення стійкого масляного клина, що в свою чергу сприяє зносостійкості передачі, великої надійності проти заїдання, тобто зростанню навантажувальної здатності глобоїдної передачі. Сприятливим фактором для забезпечення масляного клина і зниження контактних напружень є також мала кривизна поверхонь, що контактують по додатковим контактним лініям.

Навантаження, що передається після припрацювання передачі, як правило, розподіляється по контактних лініях декількох зубців черв'ячного колеса (рис. 3).

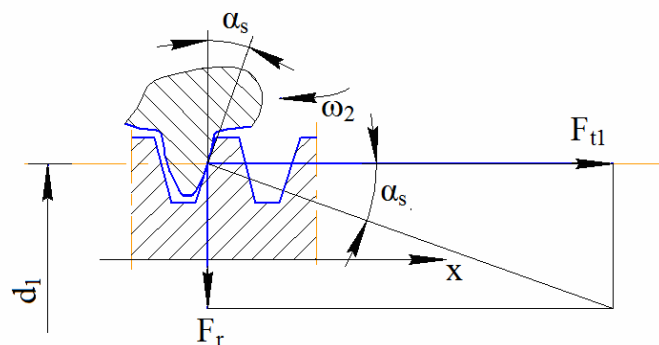


Рисунок 3 – Переріз, перпендикулярний до вісі черв'ячного колеса і який проходить через вісь черв'яка

Це розподілене навантаження при визначенні умов, що діють в зачепленні, замінюється зосередженим нормальним зусиллям F_n , прикладеним в лінії зачеплення (рис. 4).

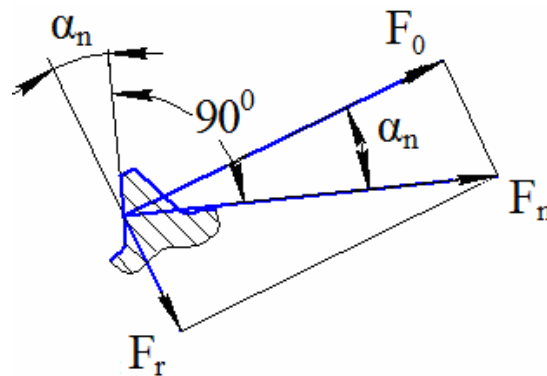


Рисунок 4 – Нормальний переріз витка черв'яка

На відміну від зубчастих передач тут необхідно враховувати дотичну силу тертя $F_n f$, спричинену ковзанням уздовж зубців і розташовану в площині, паралельній осям черв'яка і колеса.

На рис. 5 при ведучому черв'яку суцільною лінією показана сила $F_n f$, прикладена до його витка; при веденому черв'яку ця сила показана пунктиром.

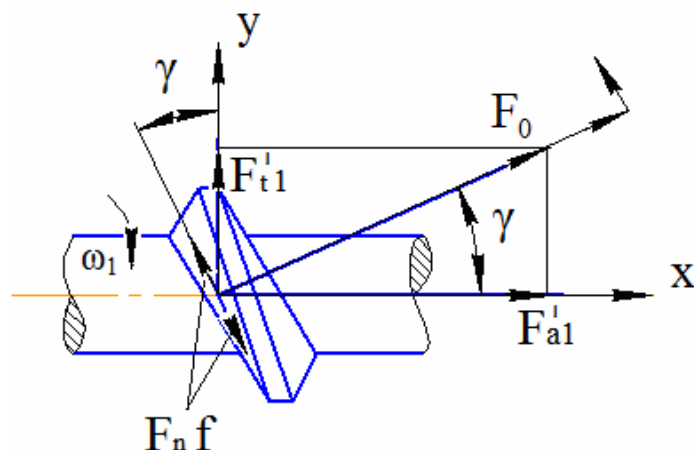


Рисунок 5 – Розкладання сил в площині, дотичній до дільного циліндра черв'яка

Нормальне зусилля F_n , як і в косозубій передачі, розкладається на три взаємно перпендикулярні складові (рис. 6): F_t' , F_{a1}' і F_r . Зусилля F_t' і F_{a1}' , представляють собою в умові відсутності сил тертя відповідно колове (осьове зусилля черв'ячного колеса) і осьове (колове зусилля черв'ячного колеса) зусилля черв'яка, а зусилля F_r є радіальним зусиллям.

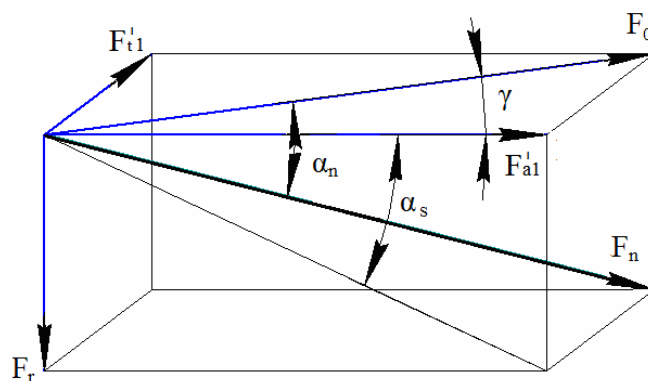


Рисунок 6 – Паралелепіпед сил

При наявності тертя колове зусилля $F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2}$ черв'ячного колеса (осьове зусилля F_{a1} черв'яка) дорівнює алгебраїчній сумі (верхній знак застосовується при ведучому черв'яку, нижній - при веденому) проєкцій діючих сил на вісь x (рис. 5):

$$F_{t2} = F_{a1}' \mp F_n f \sin \gamma = F_{a1},$$

оскільки

$$F_n = \frac{F_0}{\cos \alpha_n} = \frac{F_{t2}}{\cos \alpha_n \cos \alpha} \quad (2)$$

після перетворення отримаємо:

$$F_{a1}' = \frac{F_{t2}}{1 \mp \frac{f}{\cos \alpha_n} \operatorname{tg} \gamma} = \frac{F_{t2}}{1 \mp \operatorname{tg} \varphi' \operatorname{tg} \gamma}, \quad (3)$$

де

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{f}{\cos \alpha_n}.$$

Колове зусилля F_{t1} черв'яка дорівнює сумі проекцій сил, які діють на вісь y :

$$F_{t1} = F_1' \mp F_n f \cos \gamma.$$

Враховуючи рівняння (2) та (3), а також те, що $F_1' = F_{a1}' \operatorname{tg} \gamma$, після перетворень отримаємо:

$$F_{t1} = F_{a1}' (\operatorname{tg} \gamma \pm \operatorname{tg} \varphi') = F_{t2} \operatorname{tg} (\gamma \pm \varphi') = F_{a2}. \quad (4)$$

Радіальне зусилля визначається рівністю

$$F_r = F_{a1}' \operatorname{tg} \alpha_s = \frac{F_{a1}' \operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \gamma} = \frac{F_{t2} \operatorname{tg} \alpha_n}{(1 \mp \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi') \cos \gamma} = \frac{F_{t2} \operatorname{tg} \alpha_s}{1 \mp \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \varphi'}. \quad (5)$$

У випадку архімедових черв'яків, при $\alpha_s = \alpha = 20^\circ$, з незначною похибкою можна прийняти $F_r = F_{t2} \operatorname{tg} \alpha_s = 0,37 F_{t2}$

Кути α_n , α_s та γ пов'язані між собою залежністю (рис. 6) $\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{\operatorname{tg} \alpha_n}{\cos \gamma}$.

Висновок. Досліджуючи швидкості ковзання в черв'ячних передачах було встановлено, що швидкість переміщення контактної лінії щодо зуба черв'ячного колеса мала, в порівнянні з коловою швидкістю V_1 черв'яка. Величини кутів, утворених контактними лініями з напрямками $V_{ков}$ для різних точок черв'яка, змінюються в широкому діапазоні. Встановлено, що умови для утворення масляного клину погіршуються із зменшенням кута підйому витка черв'яка γ .

Рекомендуємо, використовувати в черв'ячних передачах черв'яки з увігнутим профілем витків різьби, такі передачі забезпечують більшу поверхню контакту з зубами черв'ячних коліс, мають більшу зносостійкість, більш стійкі проти заїдання та мають більшу навантажувальну здатність. І тому, хоча передачі з цими черв'яками з'явилися порівняно недавно, в майбутньому, треба думати, вони знайдуть широке застосування.

Список літератури

1. Павлище, В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] : підручник / В.Т.

- Павлище . – К. : Вища школа, 1993. – 556 с.
2. Решетов, Д.Н. Детали машин [Текст] : учеб. для студентов машиностроительных и механических специальностей вузов / Д.Н. Решетов.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
 3. Надеин, В.С. О проектом расчете червячных передач с локализованным контактом [Текст] / В.С. Надеин, Хамуйела Жоаким Аугушто Герра // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Вип.32. – Кіровоград: КДТУ, 2002 р.– С. 75 – 79.
 4. Івасечко, Р. Особливості змащування великогабаритних відкритих модифікованих черв'ячних передач [Текст] / Р. Івасечко / Зб. тез матеріалів Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 21–22 грудня 2010 р., Тернопіль: ТНТУ. – 2010.– С. 45.
 5. Гевко, Р. Розрахунок профілю зуба черв'яка з умови рівномірності обертання зубчастого колеса [Текст] / Р. Гевко, Ю. Гладь, Р. Івасечко // Вісн. ТНТУ імені Івана Пулюя. – Тернопіль: ТНТУ. – 2012. – Т. 17, №1. – С. 69–75.
 6. Гурик, О.Я. Особливості конструкцій спеціальних черв'ячних передач / О.Я. Гурик, Л. М. Данильченко, Р. Р. Івасечко // Вісн. ТДТУ імені Івана Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ. – 2009. – Т. 14, № 2. – С. 67–72.
 7. Івасечко, Р. Конструктивні особливості модифікованої черв'ячної передачі та вплив тертя на процес її роботи [Текст] / Р. Івасечко, Р. Гевко / Зб. тез XV наукової конф., 14-15 грудня 2011 р., Тернопіль: ТНТУ. – 2011. – С. 27.

Yuriy Nevdaha, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Dubovik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Andriy Nevdaha, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

To the Determination of the Sliding Speed and the Forces That Act in the Engagement of the Worm Gear

The purpose of the article is to investigate ways to increase the durability and tractive ability of worm gears. Improve the durability of worm gears by improving the working environment, as well as by applying an oil wedge. One of the ways to increase the pressure in the oil wedge, as well as increasing the loading capacity of the transmission is to change the geometry of the clutch.

The article considers the value of the slip speed and its direction relative to the line of contact of the worm and worm wheel. The sliding speeds and forces that are in contact are determined. The peculiarity of a worm gear is slipping along the teeth. The magnitude of the slip velocity and its direction relative to the line of contact between the two bodies moving relative to each other, as well as the shape of the tangential surfaces, largely determine the hydrodynamic conditions of the engagement and, consequently, affect the performance of the transmission.

Investigating the speed of sliding in worm gears it was found that the speed of movement of the contact line relative to the tooth of the worm wheel was small compared with the speed of the worm worm. The values of the angles formed by contact lines with directions for different points of the worm vary in a wide range. It was established that conditions for the formation of an oil wedge deteriorate with a decrease in the angle of recovery of a worm turn.

worm gear, tooth, contact line, slip, oil wedge, force

Одержано 26.10.17

УДК 631.362.3

О.В. Нестеренко, канд. техн. наук, Д.І. Петренко, доц., канд. техн. наук, І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, С.М. Лещенко, доц., канд. техн. наук, С.Я. Гончарова, доц., канд. фіз-мат. наук

Центальноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: nov_78@ukr.net

Аналітичні дослідження контактного руху легких домішок у пневмосепаруючому каналі

Враховуючи складність та випадковість пневмосепараційного процесу, на який впливає значна кількість факторів, є необхідним вирішення наукового завдання щодо встановлення закономірностей контактної взаємодії легких домішок з зерном в зоні пневмосепарації. В статті розглянуто контактний рух легких домішок через багатошаровий зерновий потік в вертикальному пневмосепаруючому каналі (ПСК) при їх багаторівневому одношаровому введенні. Отримані теоретичні залежності, які дозволяють встановити закономірності впливу основних конструктивно-технологічних параметрів ПСК на якість процесу сепарації.

пневмосепарація, повітряний потік, багаторівнєве введення, зерновий матеріал, пневмосепаруючий канал (ПСК), введення зерна, контактний рух легких домішок.

А.В. Нестеренко, канд. техн. наук, Д.И. Петренко, доц., канд. техн. наук, І.И. Павленко, проф., д-р техн. наук, С.Н. Лещенко, доц., канд. техн. наук, С.Я. Гончарова, доц., канд. физ-мат. наук

Центральноукраинский национальный технический университет, г.Кропивницкий, Украина

Аналитическое исследование контактного движения легких примесей в пневмосепарирующем канале

Учитывая сложность и случайность пневмосепарационного процесса на который влияет значительное количество факторов, существует необходимость решения научной задачи для определения закономірностей контактного взаимодействия легких примесей с зерном в зоне пневмосепарации. В статье рассмотрено контактное движение легких примесей через многошаровый поток зерна в вертикальном ПСК при их многоуровневом однослойном введении. Получены теоретические зависимости, которые позволяют найти закономірности влияния основных конструктивно-технологических параметров ПСК на качество сепарации.

пневмосепарація, воздушный поток, многоуровневое введение, зерновой материал, пневмосепарирующий канал (ПСК), введение зерна, контактное движение легких частиц

Постановка проблеми. Розділення зернових матеріалів в пневмосепаруючому каналі відбувається за досить складних умов, оскільки легким домішкам, які перебувають в нижніх зернових шарах для виділення в осадову камеру необхідно з мінімальною зміною траєкторії перетнути всі вище розміщені насінини, що рухаються в низхідному напрямку. В результаті такого руху можлива контактна взаємодія легких домішок з зерном, що суттєво впливає на якість очищення.

Тому дуже важливою задачею є аналітичні дослідження, спрямовані на дослідження контактної взаємодії легких домішок з основним зерном в пневмосепаруючому каналі та її вплив на якість розділення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботах багатьох вчених при теоретичних дослідженнях пневмосепарації розглядається, як правило, взаємодія окремо взятої зернини з повітряним потоком [1-5], що суттєво відрізняється від

реальних умов сепарації, особливо при збільшених питомих навантаженнях. З підвищенням питомого навантаження спостерігається перерозподіл частинок зерноsumіші в зоні сепарації, внаслідок нерівномірного розподілу повітряного потоку в поперечному перерізі каналу, тому збільшується кількість їх вірогідних зіткнень [6, 7].

В роботах [8, 9] на основі теорії вірогідностей автором було запропоновано статистичну математичну модель очищення двокомпонентної зернової суміші в вертикальному ПСК як при одношаровому, так і багатошаровому потоці зернового матеріалу з урахуванням взаємодії легких домішок з зерном. Але складність використання такої моделі на практиці обмежується через те, що внаслідок зміни нерівномірності поля швидкостей повітряного потоку суттєво збільшується кількість та хаотичність зіштовхувань частинок зернової суміші, що важко врахувати.

Постановка завдання. З урахуванням багаторівневого введення матеріалу в ПСК є необхідним визначення його впливу на якісні показники процесу сепарації та встановлення основних закономірностей взаємодії легких домішок із зерновим матеріалом в робочій зоні ПСК.

Виклад основного матеріалу. При багаторівневому введенні зернового матеріалу домішки, які виділяються з нижніх зернових шарів, повинні пройти через усі верхні шари щоб потрапити в осадову камеру. При цьому вони мають пройти останній шар до того, як досягнуть задньої стінки каналу. Тому за критерій якості роботи (відносно кількості шарів зернового матеріалу) пневмосепаратора вибрана наступна умова:

$$T_{\text{гор}} > T_{\text{вер}} = \sum_{i=n}^{i=2n} T_i, \quad (1)$$

де $T_{\text{гор}}$ – час, за який домішка з самого нижнього шару проходить до задньої стінки каналу;

$T_{\text{вер}}$ – час, за який вказана домішка пройде через усі верхні шари;

$T_i, / i = \overline{2, n} /$ – час, за який вказані домішки проходить через i – тий шар;

n – кількість шарів зернового матеріалу.

Оскільки контактний рух домішок в багатошаровому потоці зерна є ступінчастим, кожна ступінь – проходження наступного шару і рух між шарами (рис.1,а). Відповідно, траєкторія руху і час руху домішок між зерновими шарами залежить від початкового горизонтального зміщення $\xi_i, / i = \overline{1, n} /$ центрів мас домішок і зерна, тобто точок A_i і D_i . Це зміщення є випадковою величиною і може прийняти будь-яке значення з області $[0; 2R]$.

Проведемо усереднення по величині $\xi_i \in [0; 2R], / i = \overline{1, n} /$. На i -тому ступені ($i = \overline{1, n}$) рух центра мас O_{ξ_i} домішок складається з трьох послідовних етапів (рис. 1,б):

- безконтактний рух домішок між шарами – ланка $A_i B_i$;
- зіткнення домішок з зерном в точці B_{li} ;
- рух домішок по зерну, при цьому точка дотику описує траєкторію $B_{li} C_{li}$, а центр мас окремої частинки домішок – $B_i C_i$.

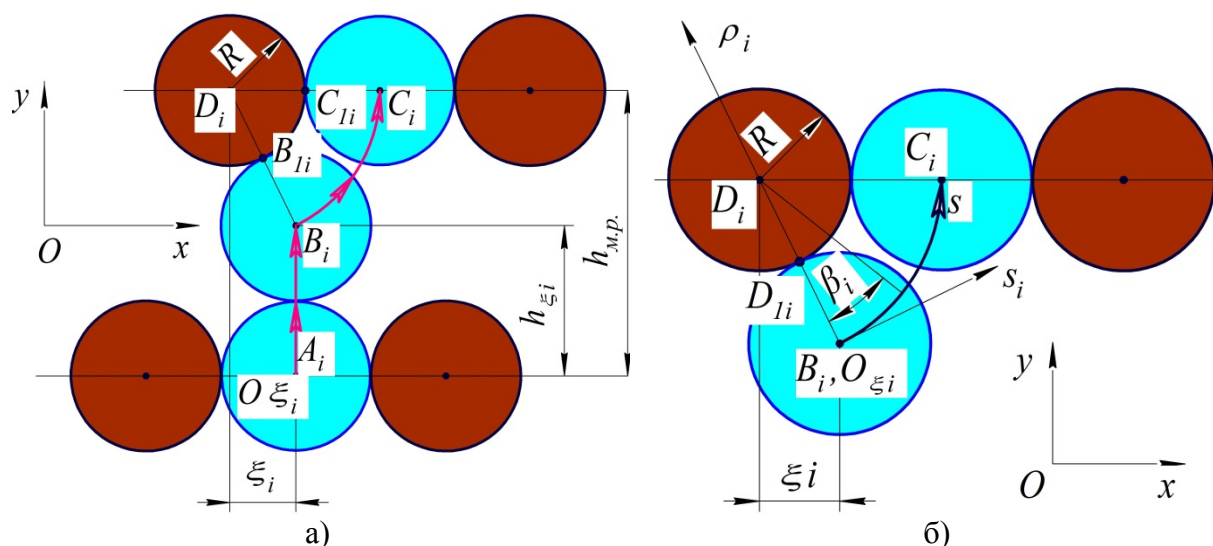


Рисунок 1 – Схема руху домішки при проходженні через зернові шари (а) та під час контакту з зерном (б).

Рух на кожному з ступенів описується аналогічними рівняннями. Відмінність полягає тільки в початкових умовах, які змінюються від одного шару до іншого, тобто кінцеві умови на попередньому зерновому шарі є початковими умовами для наступного.

При заданому зміщенні ξ_i , $/i = \overline{2, n}/$ знаходимо кінцеві параметри безконтактного руху:

- шлях безконтактного вертикального польоту $A_i B_i = h_{\xi i}$, (рис. 1,а):

$$h_{\xi i} = h_{м.р.} - \sqrt{4R^2 - \xi_i^2}; \quad (2)$$

- час безконтактного польоту $t_{\xi i}^{(1)}$:

$$h_{\xi i} = (V_n - V_{e.d.}) t_{\xi i}^{(1)} - \frac{1}{k_d} \left(\ln \left| 1 - \frac{V_n - \dot{y}_0 - V_{e.d.}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}} e^{-\frac{2\sqrt{gk_d t_{\xi i}^{(1)}}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}}} \right| - \ln \frac{2V_{e.d.}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}} \right) + y_0, \quad (3)$$

- швидкість $V_{\xi i}$ домішок в момент зіткнення:

$$V_{\xi i} = \frac{\frac{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}}{V_n - \dot{y}_0 - V_{e.d.}} - e^{-\frac{2\sqrt{gk_d t_{\xi i}^{(1)}}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}}}}{\frac{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}}{V_n - \dot{y}_0 - V_{e.d.}} + e^{-\frac{2\sqrt{gk_d t_{\xi i}^{(1)}}}{V_n - \dot{y}_0 + V_{e.d.}}}} V_{e.d.} + V_n, \quad (4)$$

- кут контакту домішок по зерну при зіткненні, $\beta_{\xi i}$:

$$\beta_{\xi i} = \arcsin \frac{\xi_i}{2R}. \quad (5)$$

Знаходимо швидкість домішок $V_{\xi i}^{(1)}$, $/i = \overline{2, n}/$, після зіткнення з зерном (при умові еластичного удару)

$$V_{\xi i}^{(1)} = -V_{\epsilon. \partial.} \cdot \left(\frac{\xi_i}{2R} - f \sqrt{1 - \frac{\xi_i^2}{4R^2}} \right) \cdot \frac{\frac{V_n - \dot{y}_0 + V_{\epsilon. \partial.}}{V_n - \dot{y}_0 - V_{\epsilon. \partial.}} + e^{-\sqrt[2]{gk_o t_{\xi i}^{(1)}}}}{\frac{V_n - \dot{y}_0 + V_{\epsilon. \partial.}}{V_n - \dot{y}_0 - V_{\epsilon. \partial.}} - e^{-\sqrt[2]{gk_o t_{\xi i}^{(1)}}}}. \quad (6)$$

Для визначення закону руху домішок по зерну зробимо наступні припущення:

- після контакту коефіцієнт тертя домішок по зерну рівний нулю (при обтіканні зерна повітря притискається до нього і створює повітряну подушку, яка нівелює сили тертя);

- потік повітря, який спонукає рух домішок, направлений по дотичній до поверхні зернової частинки.

Відповідно до прийнятих припущень, рівняння руху домішок по зерну в рухомій системі координат $O_{\xi i} s \rho, / i = 2, n /$ (рис. 1, б) має вигляд:

$$m\ddot{s} = mk_o (V_n - \dot{s})^2 - mgsin\beta, \quad (7)$$

де β - кут контакту домішок по зерну.

Оскільки

$$\dot{s} = \frac{ds}{dt} = R \frac{d\beta}{dt}, \ddot{s} = \frac{d^2s}{dt^2} = R \frac{d^2\beta}{dt^2},$$

то останнє рівняння приймає вигляд:

$$\frac{d^2\beta}{dt^2} = \left[k_o R \left(\frac{d\beta}{dt} - \frac{V_n}{R} \right)^2 - \frac{g}{R} \right] sin \beta. \quad (8)$$

Зробивши заміни

$$\frac{d\beta}{dt} - \frac{V_n}{R} = u(\beta), \frac{d^2\beta}{dt^2} = \frac{d}{dt} \frac{d\beta}{dt} = \frac{du(\beta)}{dt} = \frac{du(\beta)}{d\beta} \frac{d\beta}{dt} = \frac{du(\beta)}{d\beta} \left(u(\beta) + \frac{V_n}{R} \right),$$

понижаємо порядок диференціального рівняння (8):

$$(Ru + V_n) \frac{du}{d\beta} = k_o (R^2 u^2 - V_{\epsilon. \partial.}^2) sin \beta.$$

Розділяємо змінні

$$\frac{1}{k_o} \frac{(Ru + V_n) du}{R^2 u^2 - V_{\epsilon. \partial.}^2} = sin \beta d\beta$$

і інтегруємо

$$\frac{1}{2k_o R} \left(\ln |R^2 u^2 - V_{\epsilon. \partial.}^2| \frac{V_n}{V_{\epsilon. \partial.}} \ln \left| \frac{Ru - V_{\epsilon. \partial.}}{Ru + V_{\epsilon. \partial.}} \right| \right) = cos \beta + C_{1i} \cdot / i = 2, n /,$$

де $C_{1i} / i = 2, n /$ - постійна інтегрування.

Після перетворень, отримаємо:

$$\ln \left| (R\dot{\beta} - V_n)^2 - V_{\text{с.д.}}^2 \right| + \frac{V_n}{V_{\text{с.д.}}} \ln \left| \frac{R\dot{\beta} + V_n + V_{\text{с.д.}}}{R\dot{\beta} + V_n - V_{\text{с.д.}}} \right| - \ln \left| (V_{\xi_i}^{(1)} - V_n)^2 - V_{\text{с.д.}}^2 \right| + \\ + \frac{V_n}{V_{\text{с.д.}}} \ln \left| \frac{V_{\xi_i}^{(1)} + V_n + V_{\text{с.д.}}}{V_{\xi_i}^{(1)} + V_n - V_{\text{с.д.}}} \right| - 2k_{\text{д}} R (\cos \beta - \cos \beta_{\xi_i}) = 0, /i = \overline{2, n} / . \quad (9)$$

Останнє рівняння не розв'язується аналітично, тому його розв'язок знаходимо наближеними числовими методами, враховуючи початкову умову:

$$\beta(t_{\xi_i}^{(1)}) = \beta_{\xi_i} = \arcsin \frac{\xi_i}{2R}, /i = \overline{2, n} / .$$

В момент сходження домішок з зерна ($t = t_{\xi_i}^{(2)}, /i = \overline{2, n} /$), згідно припущень:

$$\beta(t_{\xi_i}^{(2)}) = \frac{\pi}{2}, , /i = \overline{2, n} / . \quad (10)$$

Тоді з умови (10) знаходимо час $(t_{\xi_i}^{(2)})$, $/i = \overline{2, n} /$ і швидкості сходження домішок з зерна – кутову $\dot{\beta}(t_{\xi_i}^{(2)})$, $/i = \overline{2, n} /$ та лінійну $V_{\xi_i}^{(2)} = \dot{\beta}(t_{\xi_i}^{(2)})R$ $/i = \overline{2, n} /$.

Відповідно, усереднені значення часу проходження домішок через i -тий шар T_i , $/i = \overline{2, n} /$ та лінійної швидкості V_i , $/i = \overline{2, n} /$ при виході з цього зернового шару:

$$T_i = \frac{1}{2R} \int_0^{2R} t_{\xi_i}^{(2)} d\xi_i, V_i = \frac{1}{2} \int_0^{2R} \dot{\beta}(t_{\xi_i}^{(2)}) d\xi_i, /i = \overline{2, n} / .$$

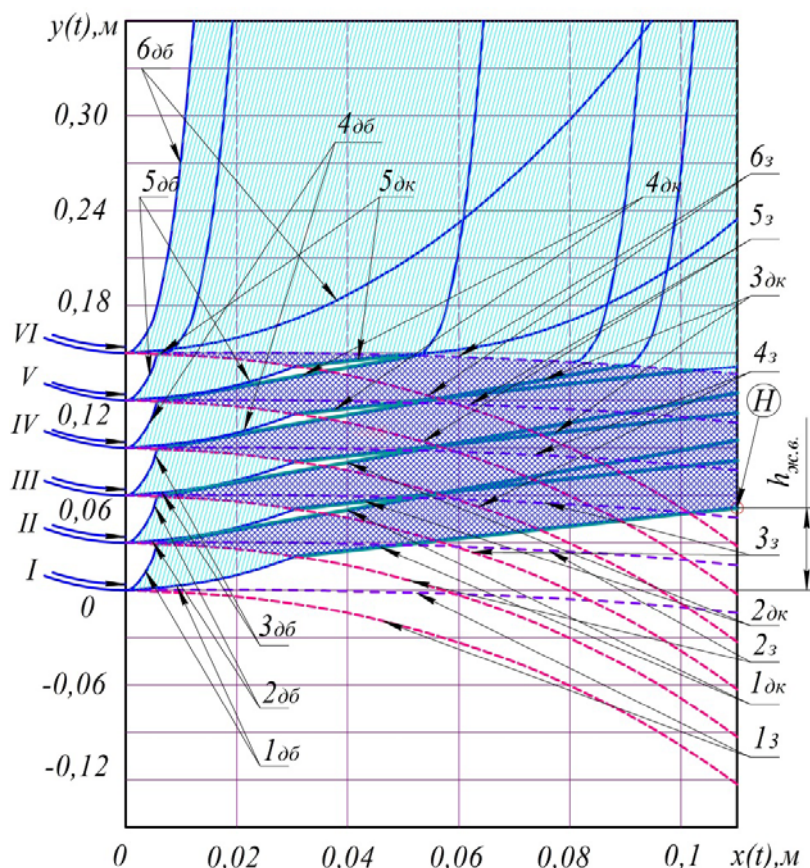
За формулою (1) знаходимо загальний час проходження домішок з нижнього шару через усі зернові шари $T_{\text{вер}}$.

За результатами аналітичних досліджень були отримані усереднені траєкторії польоту легких часток при контактному русі через вище розміщені зернові шари (рис. 2).

На основі графічних залежностей (рис. 2) можна стверджувати, що при глибині ПСК $C = 0,11$ м та означених умовах контактного руху легких домішок та зерна спостерігається повне виділення легкої фракції із IV по VI рівень. Відповідно, легкі домішки, які потрапляють в робочу зону ПСК з I по III рівень, досягають протилежної стінки каналу в зоні виведення очищеного зерна, тому можливість її повного виділення знижується.

З врахуванням зміни траєкторій руху важких та легких фракцій, при контактній взаємодії також можливо визначити місце встановлення жалюзійної стінки, за допомогою якої зернова фракція виводиться із зони дії повітряного потоку. Так, при шестирівневому введенні місце встановлення верхньої точки жалюзійної стінки, відносно I рівня введення $h_{\text{ж.в.}}$ (рис. 2), повинно знаходитись на висоті $h_{\text{ж.в.}} = 0,05 \dots 0,055$ м. При чотирьох- та п'ятирівневому введенні збільшується вірогідність повного виділення домішок, оскільки при $n = 4$ верхня точка жалюзійної стінки, відносно I рівня введення, буде розміщуватись на висоті $h_{\text{ж.в.}} = 0,11 \dots 0,12$ м, а для $n = 5$ – $h_{\text{ж.в.}} = 0,08 \dots 0,1$ м, при цьому траєкторії польоту легкої фракції, з врахуванням контактного зміщення, знаходяться вище означених траєкторій зернових фракцій.

Висновки. В результаті теоретичного аналізу встановлено закономірність контактної руху легких домішок при багаторівневому введенні зернового матеріалу в ПСК, яка дозволяє отримати усереднені траєкторії домішок після взаємодії з зерновими шарами під час аеродинамічного розділення.



1з – 6з – траєкторії руху зернової фракції відповідно з 1 по 6 рівень введення; 1дбк – 6дбк – траєкторії безконтактного руху домішок з 1 по 6 рівень введення; 1дк – 5дк – траєкторії контактної руху домішок з 1 по 5 рівень введення

Рисунок 2 – Траєкторії руху легких домішок з врахуванням контактної взаємодії з зерновими шарами при багаторівневому введенні матеріалу

Визначено, що виділення легких домішок залежить від їх часу та швидкості проходження через зернові шари, що змінюються залежно від кута контакту домішок з зерном, а також від місця встановлення верхньої точки жалюзійної стінки $h_{ж.в.}$. При шестирівневому введенні матеріалу з розміщенням зернових часток в напрямку руху в ПСК з проміжком рівним їх розміру ($2R$) місце встановлення верхньої точки жалюзійної стінки $h_{ж.в.}$, повинно знаходитись на висоті $h_{ж.в.} = 0,05 \dots 0,055$ м відносно I рівня введення.

Метою подальших досліджень повинно бути визначення якісної характеристики пневмосепарації при контактній взаємодії зернового матеріалу з повітряним потоком при його багаторівневому введенні в ПСК.

Список літератури

1. Котов, Б.І. Аналітичні дослідження раціональної подачі зернової суміші в аспіраційний канал пневмовідцентрових сепараторів [Текст] / Б.І. Котов, С.П. Степаненко, В.О. Швидя // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. – Харків, 2010. – Вип. 103. – С. 54-61

2. Тавилов, И.Ш. Совершенствование процесса работы пневмосепаратора за счет рациональной подачи зерновой смеси в воздушный поток : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 „Технологии и средства механизации сельского хозяйства” [Текст] / Ильфат Шайдуллович Тавилов ; Челябинский государственный агроинженерный университет. – Челябинск, 2008. – 22 с.
3. Матвеев, А.С. Изучение процесса взвешивания и сепарирования зернистого материала вертикально-восходящим воздушным потоком [Текст] / А.С. Матвеев // Труды ВИМ. – Т.37. – М.: 1965. – С. 231-241.
4. Котов, Б. І. До теорії розділення зерна в повітряному потоці [Текст] / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, В. О. Швидя, [та ін.] // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2009. – Вип. 39. – С. 54–62.
5. Nesterenko, O.V. Analytical study of separation efficiency of grain in vertical pneumatic separating channel [Text] / O.V. Nesterenko S. Leschenko, D. Petrenko, S. Honcharova // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2015. – Вип. 45; Ч. 1. – С. 14 – 20.
6. Нестеренко, О.В. Дослідження нерівномірності повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі при багаторівневому введенні зерна [Текст] / О.В. Нестеренко, С.М. Лещенко, Д.І. Петренко // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. Технічні науки. Харків, 2015. – Вип. 156. – С. 35–42.
7. Хамуев, В.Г. Интенсивность выделения легкой примеси в вертикально восходящем воздушном потоке [Текст] / В.Г. Хамуев // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2016. – №5. – С. 12-16.
8. Перцовский, Е.С. К теории очистки зерна в пневматическом сепараторе [Текст] / Е.С. Перцовский // Труды ВНИИЗ. – М., 1970. – Вып. 68. – С. 55-86.
9. Перцовский, Е.С. Основы теории очистки зерна в пневматическом сепараторе [Текст] / Е.С. Перцовский // Тр. ВНИИЗ. – М., 1974. – Вып. 78. – С. 105-118.

Oleksandr Nesterenko, PhD tech. sci., Dmytro Petrenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Ivan Pavlenko, Prof., DSc., Sergey Leschenko, Assos. Prof., PhD tech. sci., Svitlana Honcharova, Assos. Prof., PhD phys. & math.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Analytical Research the Contact Interaction of Light Impurities in the Pneumatic Separating Channel

The separation of grain materials in the air separation channel occurs in rather difficult conditions, since light impurities, which are located in the lower cereal layers for the separation into the sediment chamber, require, with a minimum change in trajectory, to cross all above-placed seed moving in a downward direction. As a result of this movement there is a contact between light impurities and grain, which significantly affects the quality of cleaning.

Therefore, a very important task is the analytical research aimed at investigating the contact interaction of light impurities with grain in the air separation channel and its effect on the quality of separation.

Taking into account the multilevel feeding of the material in the PSC it is necessary to determine its influence on the qualitative parameters of the separation process and the establishment of the basic laws of the interaction of light impurities with grain material in the working area of the PSC.

As a result of the theoretical analysis, the regularity of the contact motion of light impurities is established at the multilevel feeding of grain material in the PSC, which allows to obtain the averaged trajectories of impurities after interaction with grain layers during aerodynamic separation.

It is determined that the allocation of light impurities depends on their time and velocity through the grain layers, which vary depending on the angle of contact of impurities with grain, as well as from the place of installation of the upper point of the output of grain $h_{ж.в.}$. With six-level introduction of the material with the placement of grain particles in the direction of movement in the PSC with an interval equal to their size ($2R$) the place of installation of the upper point of the output of grain $h_{ж.в.}$ must be at a height $h_{ж.в.} = 0,05 \dots 0,055$ m relative to the level I of the input.

The purpose of further researches should be to determine the qualitative characteristics of pneumatic separation in the contact interaction of grain material with air flow at its multilevel introduction into the PSC.

pneumatic separation, air velocity, multilevel feeding, grain material, pneumatic and separating channel (PSC), contact motion of light impurities

Одержано 27.12.17

УДК 621.9.048.4

О. Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, О.В. Кислюк, магістр

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна, E-mail: sisoaleh@gmail.com

Технологія виготовлення зовнішньої бічної поверхні катків гранулятора

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення зовнішньої бічної поверхні катка гранулятора, способом розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою сталі ШХ15СГ з режимами обробки і геометричними параметрами.

електрична дуга, каток, гранулятор, технологія, обладнання

О. Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, О.В. Кислюк, магістр
Центральноукраїнський національний технічний університет, г. Кропивницький, Україна

Технология изготовления внешней боковой поверхности катков гранулятора

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования внешней боковой поверхности катка гранулятора способом размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой стали ШХ15СГ с режимами обработки и геометрическими параметрами.

электрическая дуга, каток, гранулятор, технология, оборудование

Постановка проблеми. В останні роки використання біопалива розглядається як альтернатива традиційним видам палива. Технології отримання енергії з біопалива розвиваються і удосконалюються, тому технології переробки відходів удосконалюють і роблять виробництва безвідходними і екологічно чистими. Багато проблем, які пов'язані з вторинною переробкою відходів деревини, в процесі виробництва вирішує переробка відходів в паливні брикети або гранули, тому виробництво брикет і гранул є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В умовах спустошення природних ресурсів і постійно зростаючих цін на енергоносії необхідно застосовувати альтернативні джерела енергії – біопаливо. В даний час в якості твердого біопалива застосовуються різні матеріали: відходи деревопереробки, кора, сіно, соломка, стебла кукурудзи та соняшнику, відходи від переробки сільськогосподарських культур (костриця льону, соняшникове та гречане лушпиння), а також спеціально вирощувані для цієї мети рослини (енергетичні ліси, енергогаї).

Гранули і брикети мають величезні переваги, в порівнянні з традиційними видами палива [1]. Для виробництва гранул чи брикетів витрачається біля 3% енергії. При цьому, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10%, а при виробництві електроенергії 60%. Їх теплотворна здатність складає 4,5 - 5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини. При спалюванні 2000 кг гранул або брикет виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 м³

© О.Ф. Сіса, В.В. Пукалов, О.В. Кислюк, 2017

газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Брикети отримують прямим пресуванням на гідравлічному або механічному пресі, а гранули у грануляторах за рахунок видавлювання через отвір матриці катками. Високі вимоги в галузі охорони навколишнього середовища щодо якості виготовлення паливних гранул і брикетів, привели до значного технічного прогресу в розробці обладнання для їх виготовлення.

Головним робочим елементом обладнання для отримання брикету та гранул є матриця, де відбувається процес агрегування. В залежності від геометричних розмірів отвору матриці і шорсткості бічної поверхні забезпечується умова пресування. Результати досліджень пресування матеріалу брикет та гранул показують, що найкращі умови створення сил стиснення в калібруючій частині матриці забезпечує шорсткість бічної поверхні, яка повинна складати в межах $Ra = 3,2..6,3$ мкм в залежності від матеріалу, який застосовується. Головним елементом створення сили тиску є каток, який накатується на шихту і затягує шихту в матрицю гранулятора, але під час роботи катки зношуються внаслідок абразивності суміші і потребують постійного ремонту – відновлення зношеної поверхні.

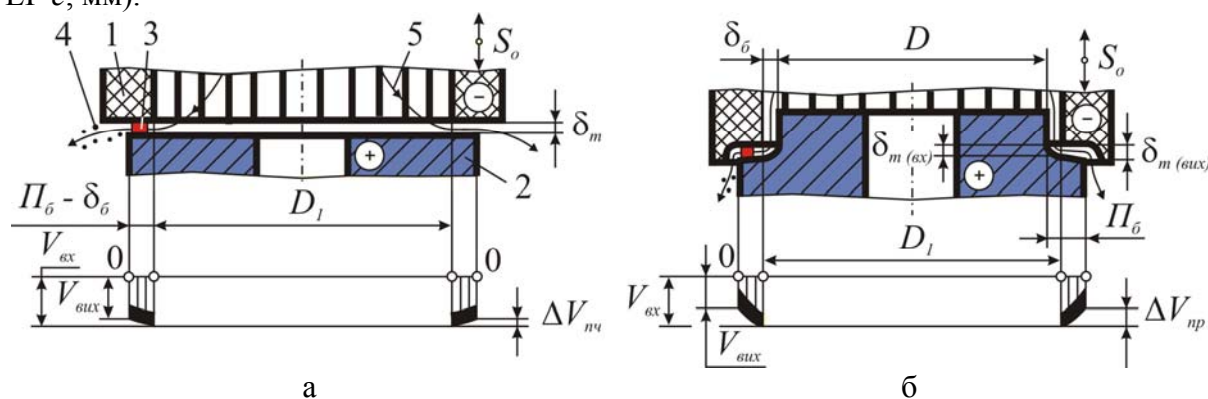
Найбільш розповсюдженими методами, які застосовуються для обробки катків гранулятора, окрім слюсарно-механічної, є: механічна обробка (точіння, фрезерування, шліфування) і електроерозійна обробка. Однак, застосування шліфування для складноконтурної поверхні катка не завжди можливо у силу кінетичних особливостей метода і конструкції інструмента. Слюсарно-механічний метод малопродуктивний і вимагає значних витрат висококваліфікованої ручної праці. Тому, необхідно виготовляти зовнішній контур бічної поверхні катка, застосовуючи технології, які будуть альтернативними обробці різанням.

За роботами [2,3,4,5,6] відомий спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), при якому енергія підводиться в зону обробки безперервно. Завдяки цьому, а також тому, що спосіб дозволяє вводити в зону обробки великі потужності електричного струму, даний спосіб володіє високою продуктивністю обробки. Так, за даними роботи [5] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм²) в матеріалі сталь 45 при силі струму $I = 1000$ А, досягає 27300 мм³/хв при $Ra = 6,3$ мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД катків гранулятора стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами порожнин, які оброблюються. Проблема ще більш загострюється при отриманні складно профільної зовнішньої бічної поверхні з визначеною шорсткістю та механічними властивостями. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання складно профільної зовнішньої бічної поверхні є актуальною.

Постановка завдання. Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД катків гранулятора, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

Виклад основного матеріалу. В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом прошивання-копіювання. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі (МЕЗ) під технологічним тиском, за напрямком від перефії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки M , мм³/хв; питома

продуктивність обробки M_a , мм³/А·хв; питома витрата електроенергії a , кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ δ , мм; відносний лінійний знос ЕІ γ , %; шорсткість обробленої поверхні R_a , мкм. Будівництво математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі ШХ15СГ здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану 2^{4-1} . На підставі апріорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки (сила технологічного струму I , А; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор P_{cm} , МПа) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки (площа обробки F , мм²; висота пояса ЕІ c , мм).



а – початкова фаза обробки; б – проміжна фаза обробки (1 – графітовий ЕІ; 2 – сталева заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік)

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ

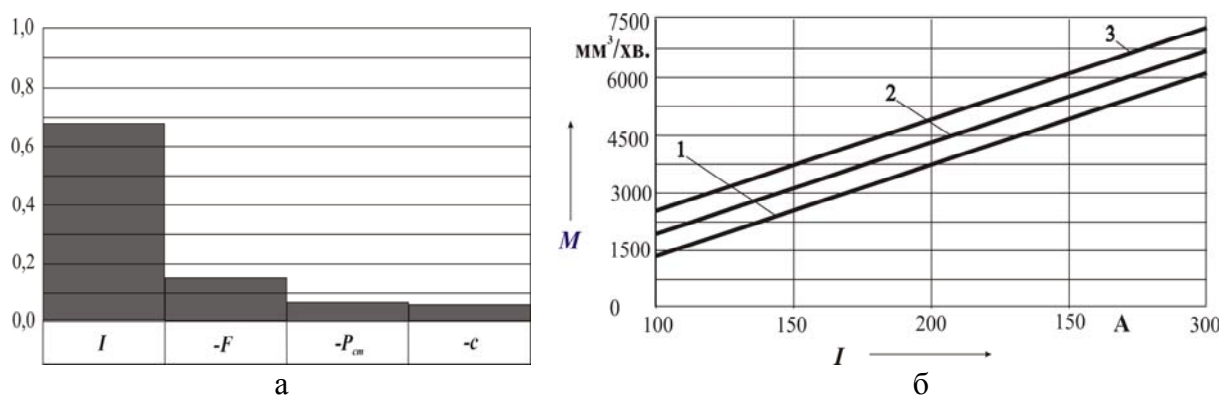
Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотня; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі ШХ15СГ

Математична модель	Масштабні співвідношення факторів
Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – сталь» з використанням способу зворотного прокачування	
$M = 4321 + 2400x_1 + 569x_2 - 275x_2 - 2300x_4$	$x_1 = (X_1 - 200)/100$ $x_2 = (X_2 - 1)/0,2$ $x_3 = (X_3 - 1106)/399$ $x_4 = (X_4 - 6)/3$
$M_a = 20,8 + 7,6x_2 - 3,74x_3 + 1,58x_1 - 1,55x_4$	
$a = 2,866 + 0,491x_3 - 0,443x_1 - 0,319x_4 + 0,096x_2$	
$R_a = 14,1 + 6,775x_1 - 1,125x_2 + 0,85x_4 - 0,6x_3$	
$\delta_a = 0,0719 - 0,0344x_4 - 0,0231x_3 - 0,0031x_1 - 0,0019x_2$	
$\gamma_e = 0,5188 - 0,0863x_1 - 0,0763x_2 - 0,0238x_3 + 0,0063x_4$	
де: $X_1 \rightarrow I, \text{ А}; X_2 \rightarrow P_{cm}, \text{ МПа}; X_3 \rightarrow F, \text{ мм}^2; X_4 \rightarrow c, \text{ мм}$	

В рамках експерименту: продуктивність M процесу РОД сталі 20Г2Р змінювалась в межах від 1360 до 6010 $\text{мм}^3/\text{хв.}$; питома продуктивність обробки M_a – від 12,55 до 30,92 $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв.}$; питома витрата електроенергії a – 1,16 до 4,89 $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$; бічний зовнішній МЕЗ δ – 0,020 до 0,055 мм ; відносний лінійний знос ЕІ γ – 0,48 до 1,89 %; шорсткість обробленої поверхні R_a – 6,3 до 25 $\mu\text{м}$.

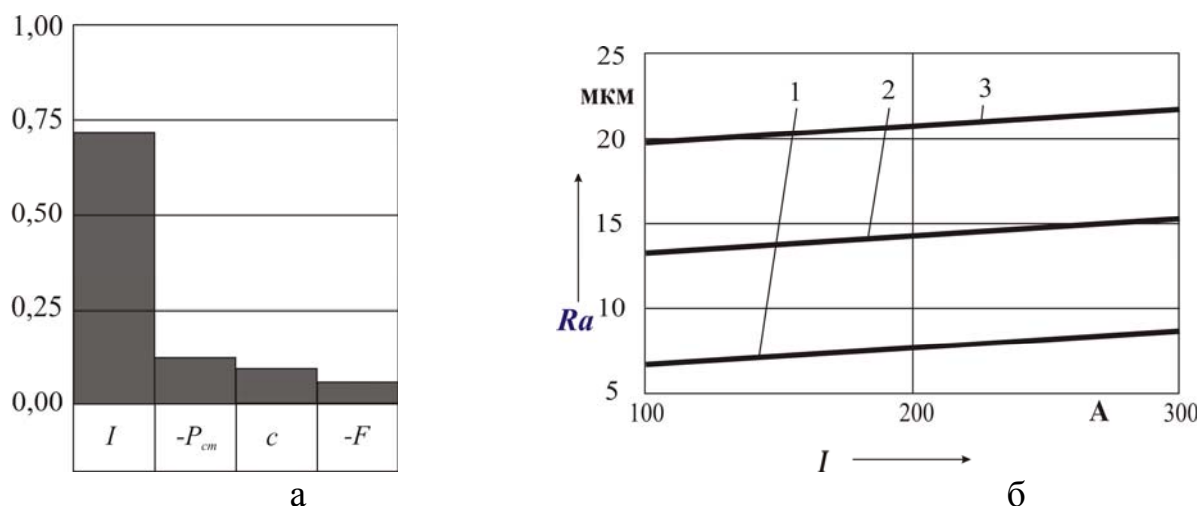
Із аналізу моделі (рис. 2) випливає, що на продуктивність обробки M найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив статичного тиску $P_{\text{ст}}$ робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор на продуктивність обробки M значно менший, але має суттєве значення, з його підвищенням продуктивність буде зменшуватись. Вплив висоти пояса ЕІ c приблизно у 0,8 рази менше в порівнянні з статичним тиском $P_{\text{ст}}$ робочої рідини на вході потоку у міжелектродний зазор, але має істотне значення, з підвищенням c продуктивність обробки M зменшується. Останнє пояснюється зростанням температури електричної дуги у зв'язку зі стисненням її більш динамічним потоком робочої рідини. Вплив площі обробки F на продуктивність обробки M має значення, з підвищенням F продуктивність M знижується. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки катків гранулятора.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність M від I ; 1 – $F = 1505 \text{ мм}^2$; 2 – $F = 1106 \text{ мм}^2$; 3 – $F = 707 \text{ мм}^2$

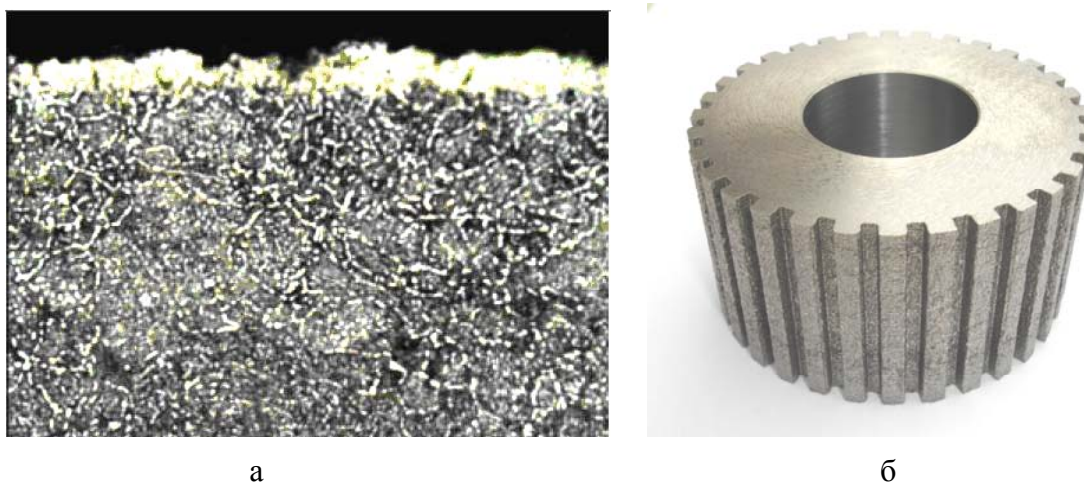
Рисунок 2 – Продуктивність M РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу прямого прокачування

Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні R_a в повній мірі визначається силою технологічного струму I (ступінь впливу – 78,3 %) та залежить від статичного тиску $P_{\text{ст}}$, а також глибини обробки h . Із підвищенням I шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила технологічного струму I по відношенню до шорсткості обробленої поверхні R_a є головним керуючим фактором. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша імовірність утворення лунок. При виконаних експериментальних дослідженнях шорсткість вимірювалась на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалась у межах від R_a – 6,3 до 25 $\mu\text{м}$. За результатами металографічних досліджень (рис. 4,а) мікротріщин у поверхневому шарі сталюого зразка після РОД не виявлено.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність Ra від I ; 1 – $P_{cm} = 1,2$ МПа;
2 – $P_{cm} = 1,0$ МПа; 3 – $P_{cm} = 0,8$ МПа

Рисунок 3 – Шорсткість обробленої поверхні Ra РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу прямого прокачування



а – мікроструктура (x200) поверхневого шару сталі ШХ15СГ після РОД бічної поверхні зразка графітовим ЕІ ($I = 100$ А, $P_{cm} = 0,8$ МПа, $F = 707$ мм², $c = 3$ мм);
б – каток гранулятора після РОД зовнішньої бічної поверхні графітовим ЕІ ($I = 100$ А, $P_{cm} = 0,8$ МПа, $F = 1010$ мм², $h = 42$ мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД катка гранулятора

Обробку бічної поверхні, а саме фасонної циліндричної калібруючої напрямної (рис 4,б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму $I = 100$ А, напруга на дузі $U = 27$ В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор $P_{cm} = 0,8$ МПа, площа обробки $F = 1010$ мм², полярність обробки зворотня (заготовка «плюс»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – пряма (від центра до периферії отвору заготовки). В результаті обробки катка гранулятора з сталі ШХ15СГ, була зафіксована продуктивність обробки $M = 1700$ мм³/хв., що в 4,1...8,2 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.

Висновки. В результаті аналізу сучасних методів обробки катків гранулятора показано, що найбільш продуктивним є спосіб РОД в умовах уніполярного режиму.

Шляхом математичного моделювання, встановлено аналітичні зв'язки та досліджено вплив фізико-технологічних факторів, що обумовлюють режим обробки (силу струму, статичний тиск рідини, частоту зміни полярності обробки), та геометричні параметри на технологічні характеристики процесу. Отримані моделі дозволяють керувати продуктивністю та питомою продуктивністю обробки, питомою витратою електроенергії, якістю та точністю обробленої поверхні, прогнозувати та оптимізувати дані характеристики.

Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки катків гранулятора, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значного збільшення строку служби катка, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення паливних гранул.

Список літератури

1. Сарана, В.В. Багатокритеріальна оцінка сучасного обладнання для виготовлення паливних гранул і брикетів з відходів переробки сільськогосподарських культур та деревини [Текст] / В.В. Сарана, М.М.Гудзенко, С.М.Кухарець // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія техніка та енергетика АПК. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 4, С.190-197.
2. Verfahren zur elektroerosiven Bearbeitung von Metallen: pat. 621279 Schweiz, B 23 P 1/06. / Nosulenko V. I., Meshcheryakov G. N.; inhaber Kirovogradsky Institut Selskokhozyaistvtnnogo Mashinostroenia. Anmeldungsdatum 12.07.1977; Patentschrift veröffentlicht 30.01.1981.
3. Meshcheriakov, G. N. Physical and Technological Control of Dimensinal Machining [Text] / Meshcheriakov G. N., Nosulenko V. I., Meshcheriakov N. G., Bokov V. M. // Process and Metal Transfer. Annals of the CIRP Vol. 37/1/1988, p. 209-212.
4. Носуленко, В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 1. – С. 8–17.
5. Боков, В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В.М. Боков . – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
6. Носуленко, В. И. Комбинированные процессы металлообработки с использованием электрического дугового разряда как новые возможности и высокоэффективная альтернатива традиционной технологии [Текст] // П. Н. Великий, О. Ф.Сиса, О. С. Чумаченко // Сварщик. – 2001. – № 5. – С. 30–32.

Oleh Sisa, Assoc. PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. PhD tech. sci., Olesya Kislyuk, master.

Central Ukrainian National Technical university, Kropyvnytskyi, Ukraine

The Technology of Manufacturing the Outer Lateral Surface of the Rollers of Granulators

The article is dedicated to the development of technology and equipment a roller of granulators processing with dimensional electric arc as high-performance alternative to traditional methods of processing.

It is suggested to get the lateral surface by dimensional electric arc with a given roughness of $Ra = 6,3..22\text{mkm}$, which allows you to take great allowances material at the lowest cost processing time. In such a case the cycle of matrix processing decreases in 4,1-8,2 times.

The objectivity of technological schema the roller of a granulator by the method of dimensional processing by electric arc with consideration of specialties of physical mechanism of creation and hydrodynamic phenomena in electrode period was performed. The analytical connections of technological processing characteristics of sized processing by electrical arc of steel SHH15SG were established, with the modes of processing and geometrical parameters.

electric arc, roller, granulator, technology, equipment

Одержано 01.11.17

УДК 536.24

**М.В. Святецький, канд. техн. наук, В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук,
І.А. Капура, канд. техн. наук, В.Л. Будуров**

*Первомайська філія Національного університету кораблебудування імені адмірала
Макарова, м.Первомайськ, Україна, E-mail: smv19471@gmail.com*

Теплообмін і тертя турбулентного потоку газу в трубі при малих числах Рейнольдса

В статті проаналізовані відомі результати експериментальних і теоретичних досліджень розглянутих процесів. Загальним недоліком згадуваних робіт є відсутність належної фізичної обґрунтованості прийнятих напівемпіричних теорій, що не дозволяє достатньо коректно врахувати специфіку процесів турбулентного переносу і істотно обмежує область застосування одержаних результатів. Показано, що врахування взаємодії молекулярного і молярного механізмів переносу, які кількісно порівнянні, дає можливість узгодити експериментальні результати з теоретичними.

Таким чином викладений метод дозволяє з єдиних позицій розраховувати характеристики теплообміну і гідродинаміки газового потоку в трубі в широкому діапазоні чисел Рейнольдса.

теплообмін, опір тертя, турбулентність, газовий потік, кругла труба

**Н.В. Святецкий, канд. техн. наук, В.Я. Ошовский, доц., канд. техн. наук,
И.А. Капура, канд. техн. наук, В.Л. Будуров**

*Первомайский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова,
г. Первомайск, Украина*

Теплообмен и трение турбулентного потока газа в трубе при малых числах Рейнольдса

В статье проанализированы известные результаты экспериментальных и теоретических исследований рассматриваемых процессов. Общим недостатком упомянутых работ является отсутствие надлежащей физической обоснованности принятых полумпирических теорий, что не позволяет достаточно корректно учесть специфику процессов турбулентного переноса и существенно ограничивает область применимости полученных результатов. Показано, что учет взаимодействия молекулярного и молярного механизмов переноса, которые количественно сопоставимы, дает возможность согласовать экспериментальные результаты с теоретическими.

Таким образом изложенный метод позволяет с единых позиций рассчитывать характеристики теплообмена и гидродинамики газового потока в трубе в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

теплообмен, сопротивление трения, турбулентность, газовый поток, круглая труба

Постановка проблеми. Турбулентні газові потоки при малих числах Рейнольдса ($Re = 4 \cdot 10^3 \dots 30 \cdot 10^3$) мають місце в ряді елементів теплоенергетичних установок в сільському господарстві та інших галузях промисловості, в тому числі у високотемпературних пристроях та об'єктах нової техніки [1,2]. Підвищений інтерес до цієї області чисел Рейнольдса обумовлений також можливістю виникнення (при $Re < 10^4$) «ламінаризації» течії, що виявляється в умовах високих теплонапруженостей поверхонь нагріву [3, 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До теперішнього часу теплообмін і гідромеханіка стабілізованої течії в круглій трубі газу з постійними фізичними властивостями в розглянутому діапазоні чисел Рейнольдса вивчалися експериментально [2, 3, 4, 5] і теоретично [2, 5, 6, 7]. Встановлено, що при малих

числах Рейнольдса профілі швидкості помітно відрізняються від універсального [2, 5], а розрахунок з використанням моделей турбулентності, прийнятих для розвинутої турбулентної течії, дає значення чисел Нуссельта і коефіцієнтів опору тертя, які істотно перевищують експериментальні значення [2, 6].

Для поліпшення збіжності теоретичних і експериментальних даних у відомих роботах використовуються різні методи: вводиться гіпотеза щодо зміни довжини шляху перемішування [2] (зі зміною величини Re), приймається допущення про зміну відношення коефіцієнтів турбулентного переносу [6], використовуються модифіковані залежності для турбулентної в'язкості [5, 7]. При цьому для узгодження з експериментальними даними в роботі [6] автор приходять до необхідності прийняти турбулентне число Прандтля $Pr_T > 1$ ($Pr_T = 1,5$ при $Re = 7000$), а в роботах [2, 5, 7] в моделі турбулентності вводиться ряд нових емпіричних констант.

Загальним недоліком згаданих робіт є відсутність належної фізичної обґрунтованості пропонованих полуміричних теорій, що не дозволяє досить коректно врахувати специфіку процесів турбулентного переносу в розглядуваних умовах і значно обмежує область застосування отриманих результатів.

Постановка завдання. Метою статті є дослідження особливостей турбулентного переносу тепла та імпульсу в круглих трубах при малих числах Рейнольдса.

Виклад основного матеріалу. Характерною особливістю турбулентного потоку в трубі при $Re < 3 \cdot 10^3$ являється помітне розширення зі зменшенням числа Рейнольдса області течії, в якій процеси молекулярного і молярного переносу кількісно порівнянні, і, отже, [8], нехтувати їх взаємодією стає недопустимим.

Врахування цієї взаємодії в роботах [2, 5, 7] виконано вельми штучними прийомами. Відповідно до гіпотези локальності, сформульованої Л.Г. Лойцяньським і узагальненої ним на випадок наявності взаємодії між молекулярним і молярним обміном, вплив молекулярної в'язкості на механізм турбулентного переносу має виражатися шляхом введення в закон тертя додаткового множника, який являє собою функцію локального числа Рейнольдса $Re_* \equiv \varepsilon_t / \nu$ (ε_t – коефіцієнт турбулентного переносу кількості руху, ν – кінематична в'язкість) [8]. При цьому кількісним виразом узагальненої гіпотези локальності може служити залежність:

$$\mu_\Sigma / \mu = f(Re_*), \quad (1)$$

де μ – динамічна в'язкість;

μ_Σ – повна в'язкість, яка включає в себе молекулярний і молярний механізми переносу, а також ефект їх взаємодії.

Якщо припустити, як це зроблено в роботі [9], що повна в'язкість може бути представлена суперпозицією молекулярної і молярної в'язкості у вигляді їх лінійної композиції, то для функції $f(Re_*)$ можна написати

$$f(Re_*) = k_1 + k_2 \mu_t / \mu, \quad (2)$$

де $\mu_t \equiv \rho l^2 du/dy$ – турбулентна в'язкість;

ρ – густина;

u – поздовжня складова осередненої швидкості;

l – довжина шляху перемішування;

k_1, k_2 – коефіцієнти, які можуть бути представлені у вигляді [9] :

$$k_1 = \frac{1}{1+\alpha}, \quad k_2 = \frac{\alpha}{1+\alpha}, \quad \alpha = \beta \left(\frac{\eta}{\eta_b} \right)^m, \quad (3)$$

де $\eta = \gamma v^*/v$;

y – відстань від стінки;

v^* – динамічна швидкість;

β, m – емпіричні константи, на основі експериментальних даних [9] $\beta=0,16$; $m=2$;

η_b – поділяє ділянки молекулярного і молярного переносу, для розвинутої турбулентної течії $\eta_b=10\dots 12$, а для малих чисел Re повинна бути уточнена [9].

Логічно припустити, що локальне число Re^* при $\eta = \eta_b$, зберігає постійне значення, яке не залежить від числа Re потоку. Тоді, з урахуванням (1), слідує, що $\mu_\Sigma/\mu = \text{idem}$ для всіх значень Re . Використовуючи поняття повної в'язкості і приймаючи лінійною зміну дотичного напруження по перерізу труби, можна записати

$$\frac{d\varphi}{d\eta} = \frac{1}{\mu_\Sigma/\mu} \left(1 - \frac{\eta}{\eta_0} \right), \quad (4)$$

де $\varphi = u/v^*$ – безрозмірна швидкість;

$\eta_0 = r_0 v^*/v$;

r_0 – радіус труби.

Тоді вираз для Re^* може бути представлений у вигляді

$$Re_* = \left(\frac{l}{y} \right)^2 \eta^2 \frac{1 - \eta/\eta_0}{\mu_\Sigma/\mu}. \quad (5)$$

Для розвинутої турбулентної течії ($Re \approx 10^6$) $\eta_b \ll \eta_0$, а зміна довжини шляху перемішування по перетину труби може бути виражена залежністю [10]

$$\frac{l}{y} = 0,40 - 0,44 \frac{y}{r_0} + 0,24 \left(\frac{y}{r_0} \right)^2 - 0,06 \left(\frac{y}{r_0} \right)^3. \quad (6)$$

При цьому $(l/y)_{\eta=\eta_0} = 0,40$, так що згідно (5) і з урахуванням $(Re^*)_{\eta=\eta_b} = \text{idem}$, значення η_b для розвинутої турбулентної течії зберігає деяке постійне значення η_{b0} .

Для малих чисел Рейнольдса із (5) слідує

$$\eta_b = \frac{0,4\eta_{b0}}{(l/y)_{\eta=\eta_b} (1 - \eta_b/\eta_0)^{1/2}}. \quad (7)$$

Згідно [11], в найбільш важливій, проміжній частині примежового шару для величини l , яка характеризує середній розмір турбулентних вихорів, може бути використано чисто «геометричне» визначення виду

$$l/r_0 = f(y/r_0). \quad (8)$$

З огляду на це, нижче прийнято, що залежність (6) залишається справедливою і для малих чисел Рейнольдса, при цьому з (7) виходить

$$\eta_v = \frac{\eta_{v0}}{(1 - \eta_v / \eta_0)^{3/2}}, \quad (9)$$

де, згідно з (6), прийнято $(l/y)_{\eta=\eta_v} \approx 0,4(1 - \eta_v/\eta_0)$.

Виконані розрахунки показують, що при $Re = 10^6$ в діапазоні $\eta_{v0} = 10 \dots 12$ відхилення розрахункових профілів швидкості від експериментальних не перевищує 2,5%. Цікаво відмітити, що значенню $\eta = 12$ відповідає особлива точка в турбулентному примежовому шарі, де має місце максимум турбулентності. Наявність такої точки дозволяє використати її для отримання закономірності, що визначає турбулентну в'язкість у всій пристінній області. З цих міркувань, нижче прийнято $\eta_{v0} = 12$. Характер зміни величини η_v в функції числа Re показаний на рис. 1.

Обчислення профілів швидкості проведено по залежності, отриманій інтегруванням виразу (4):

$$\varphi = \int_0^{\eta} \frac{1 - \eta/\eta_0}{\mu_{\Sigma}/\mu} d\eta. \quad (10)$$

Число Re і коефіцієнт опору тертя ξ розраховувалися по відомих залежностях

$$Re = 4 \int_0^{\eta_0} \varphi(1 - \eta/\eta_0) d\eta; \quad \xi = 32(\eta_0/Re)^2. \quad (11)$$

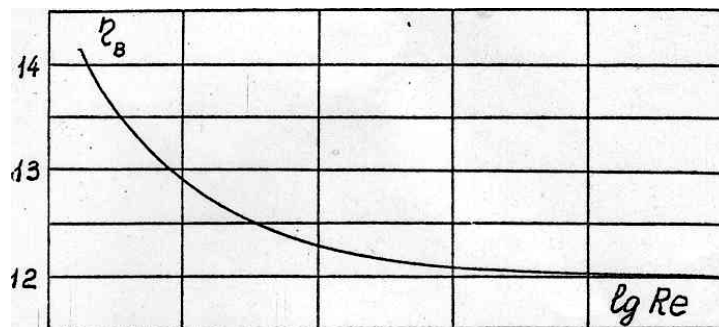


Рисунок 1 – Залежність η_v від числа Рейнольдса ($\eta_{v0} = 12$)

Результати розрахунку профілів швидкості і їх зіставлення з даними інших авторів представлені на рис. 2. Розраховані значення коефіцієнтів опору тертя в діапазонах чисел Рейнольдса $4 \times 10^3 \dots 100 \times 10^3$ і $10^5 \dots 10^6$ з похибкою, що не перевищує 3,0%, можуть бути апроксимовані, відповідно, відовими залежностями Блазіуса і Нікурадзе.

Застосування узагальненої гіпотези локальності до процесу турбулентного переносу тепла дає

$$\lambda_{\Sigma}/\lambda = f\left(\frac{Pr}{Pr_{\tau}} Re_{*}\right), \quad (12)$$

звідки з урахуванням залежності (2) виходить

$$\lambda_{\Sigma} / \lambda = k_1 + k_2 \frac{Pr}{Pr_T} \frac{\mu_{\Sigma}}{\mu}, \quad (13)$$

що збігається з результатом, отриманим в [9]. Тут Pr , Pr_T – молекулярне і турбулентне числа Прандтля, відповідно. Оскільки турбулентне число Прандтля характеризує співвідношення між коефіцієнтами турбулентного переносу тепла і кількості руху, то природно прийняти величину Pr_T не залежною від коефіцієнтів молекулярної в'язкості і теплопровідності. Згідно [11, 12], в основній частині поперечного перерізу труби, де впливом молекулярного переносу на молярний можна знехтувати, $Pr_T = 0,85 \dots 0,90$.

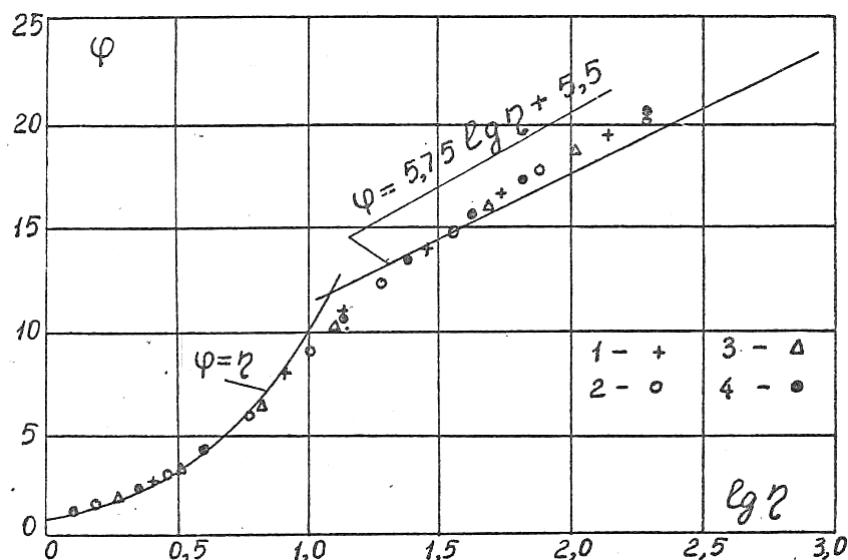


Рисунок 2 – Зіставлення розрахункових профілів швидкості:

1 – по [2], 2 – по [5], 3 – по [7], 4 – розрахунок по (10); $Re=6100$

Для розрахунку тепловіддачі використовувалося відоме співвідношення Лайона

$$Nu = \left[2 \int_0^1 \frac{f(R)}{\lambda_{\Sigma} / \lambda} dR \right]^{-1}, \quad (14)$$

де $R = 1 - \eta / \eta_0$;

$$f(R) = \left(\int_0^R (u / \bar{u}) R dR \right)^2;$$

$\bar{u}$ – середня швидкість.

Розрахунки по залежності (14) з використанням значення $Pr_T = 0,87$ виконані в діапазоні чисел Рейнольдса $Re = 4 \times 10^3 \dots 1000 \times 10^3$. Відхилення результатів розрахунку від емпіричної залежності

$$Nu = 0,021 Re^{0,8} Pr^{0,4}, \quad (15)$$

підтвердженої експериментальними даними [2, 3], не перевищує 7,5%.

Висновок. Таким чином викладений метод дозволяє з єдиних позицій розраховувати характеристики теплообміну і гідродинаміки газового потоку в трубі в широкому діапазоні чисел Рейнольдса

Список літератури

1. Василенко, С.М. Основи тепломасообміну: підручник [Текст] / С.М.Василенко, А.І. Українець, В.В. Олішевський – К.: НУХТ, 2004. – 250 с.
2. McEligot, D. M. Internal Low Reynolds-Number Turbulent and Transitional Gas Flow With Heat Transfer [Text] / D.M. McEligot, L.W. Ormand, H.C. Perkins // ASME J. Heat Transfer. 1966. – Vol. –88, No. 2. – Pp. 239–245.
3. Bankston, C. A. The Transition From Turbulent to Laminar Gas Flow in a Heated Pipe [Text] / C.A.Bankston // ASME J. Heat Transfer. 1970. Vol. 92, No. 4. – Pp. 569–579.
4. Горбис, З. Р. О результатах экспериментального исследования сложного теплообмена с потоком аэрозвеси твердых частиц [Текст] / З.Р.Горбис, Н.В.Святецкий, Ф.Е.Спокойный // В сб. «12-тая Всес. конф. по вопр. испарения, горения и газовой динамики дисперсных систем». – Одесса: ОГУ, 1976. – С. 61.
5. Reynolds, H. C. Velocity profiles and eddy diffusivities for fully developed, turbulent, low-Reynolds-number pipe flow [Text] / H.C.Reynolds, D.M.McEligot, V.E.Davenport // ASME Paper 68-WA-FE-39, 1968.
6. Lawn, C. J. Turbulent Heat Transfer at Low Reynolds Numbers [Text] / C.J.Lawn // ASME J. Heat Transfer. 1969. Vol. 91, No. 4, pp. 532–536.
7. Попов, В. Н. Теплоотдача при переходном и турбулентном с малыми числами Рейнольдса режимах течения жидкости в круглой трубе [Текст] / В.Н.Попов, В.М.Беляев // Теплофиз. высоких температур. 1975. – Т. 13. Вып. 2. – С. 370–378.
8. Лойцянский, Л. Г. Теплопередача при турбулентном движении [Текст] / Л.Г. Лойцянский // Прикл. мат. и мех. – 1960. – Т. 24, №4. С. – 950–966.
9. Алексин, В. А. Численный расчет турбулентного пограничного слоя с резким изменением граничных условий [Текст] / В.А. Алексин, В.Д. Совершенный // В сб. «Турбулентные течения». - М.: Наука, 1977. С. 55–63.
10. Никурадзе, И.И. Закономерности турбулентного движения жидкостей в гладких трубах [Текст] / И.И. Никурадзе // В сб. «Проблемы турбулентности». – М.- Л.: ОНТИ., 1936.- С. 73–91.
11. Иевлев, В. М. Турбулентное движение высокотемпературных сред [Текст] / В.М. Иевлев. – М.: Наука, 1975. – 256 с.
12. Kader, B. A. Heat and mass transfer laws for fully turbulent wall flows [Text] / B.A.Kader, A.M.Jaglom // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. 1972. – Vol. 15, No. 12. – Pp. 2329–2351.
13. McEligot, D. M. Measurement of wall region turbulent prandtl numbers in small tubes [Text] / D.M.McEligot, P.E.Pickett, V.F.Taylor // Intern. J. of Heat and Mass Transfer. 1972. – Vol. 19, No. 7. – Pp. 799–803.

Mykola Svyatetsky, Seniour Lectures, PhD tech. sci., Viktor Oshovsky, Assoc. Prof, PhD tech. sci., Igor Kapura, PhD tech. sci., Vasiliy Budurov

Pervomaysk Affiliated of the National Shipbuilding named after Admiral Makarov, Pervomaysk, Ukraine

Heat Exchange and Friction of a Turbulent Flow of Gas in a Pipe at Small Reynolds Numbers

The purpose of the paper is to study the features of turbulent heat and momentum transfer in round tubes at small Reynolds numbers.

The article analyzes the results of experimental and theoretical studies of the processes under consideration. The general disadvantage of the above-mentioned works is the lack of proper physical validity of the accepted semi-empirical theories, which does not allow us to properly take into account the specifics of the processes of turbulent transfer and substantially limits the scope of the applicability of the results obtained. It is shown that the account of the interaction of the molecular and molar transport mechanisms which are quantitatively comparable gives the possibility to reconcile the experimental results with the theoretical.

The thus expounded method allows from single positions to expect descriptions of heat exchange and hydrodynamics of gas stream in a pipe in the wide range of numbers of Reynolds.

heat transfer, frictional resistance, turbulence, gas flow, round tube

Одержано 29.10.17

УДК 62-185.4

І.А. Швець, викл.

Первомайська філія національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, Україна

E-mail: sheva_pt@ukr.net

Методика проектування безударних кулачків чотиритактних швидкохідних поршневих двигунів

В статті описано проблеми, що призводять до появи динамічних навантажень на складові елементи механізму газорозподілу. Запропоновано шляхи вирішення зазначеної проблеми за допомогою нової методики профілювання, що базується на розкладенні функції в ряд. Представлено аналітичні вирази для визначення вихідних параметрів руху штовхача.

кулачковий механізм, динамічні навантаження, безударний кулачок, механізм газорозподілу

И.А. Швец, препод.

Первомайский филиал национального университета имени адмирала Макарова, Первомайск, Украина

Методика проектирования безударных кулачков четырехтактных быстроходных поршневых двигателей

В статье описаны проблемы, приводящие к появлению динамических нагрузок на составляющие элементы механизма газораспределения. Предложены пути решения данной проблемы с помощью новой методики профилирования, основанный на разложении функции в ряд. Представлены аналитические выражения для определения исходных параметров движения толкателя.

кулачковый механизм, динамические нагрузки, безударный кулачок, механизм газораспределения

Постановка проблеми. Підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), працюючих в складі сільськогосподарських машин та силових установок різного функціонального призначення (трактори, мобільні електростанції, мотопомпи, та інші), є одним з пріоритетних напрямів розвитку машинного парку аграрного сектору України. Поточні матеріальні витрати споживача на паливо-мастильні матеріали, ремонти і поточне обслуговування ДВЗ, впливають на кінцеву вартість сільськогосподарської продукції, і тому необхідно застосовувати заходи щодо їх зниження.

Ефективність протікання робочого циклу ДВЗ залежить від ефективної роботи його механізмів та систем. В свою чергу, ефективна та безвідмовна робота механізмів ДВЗ залежить від надійного функціонування їх складових елементів.

Так, ефективність роботи механізму газорозподілу (МГР) характеризується якістю протікання процесу газообміну в циліндрі двигуна, що прямо впливає на економічність роботи ДВЗ в цілому. Своєчасне та якісне заповнення циліндру робочим тілом, очищення камери згоряння від відпрацьованих газів, це і є ті основні завдання, які повинен забезпечувати МГР для забезпечення умов нормального протікання робочого циклу ДВЗ.

Основу конструкції МГР складає кулачковий механізм (КМ), описаний в [1] та [2]. Ефективність його роботи визначається: типом конструктивного виконання механізму, принципом приводу ГРМ та формою (профілем) кулачка. Саме профіль кулачка задає закон руху штовхача, та визначає умови для отримання найбільшого «часу-перерізу» клапану.

Найбільш ефективним, з точки зору отримання найбільшого «часу-перерізу» клапану, вважаються кулачки, профілі яких утворено за рахунок сполучення дуг, кіл та відрізків. Методика профілювання кулачків даного типу з відповідними математичними залежностями, щодо визначення кінематичних параметрів руху штовхача, представлена в [4].

Але, на жаль, треба констатувати, що саме кулачки цього типу профілю, якраз і не забезпечують умов безударності КМ.

Динамічний аналіз КМ [3, 4] показав, що при граничних швидкостях руху штовхача може спостерігатись розрив силового контакту замикаючих ланок. Дане явище пов'язане із різким амплітудним перепадом прискорення штовхача, який виникає внаслідок переходу штовхача з ділянки розгону на ділянку гальмування кулачка. При цьому, величини прискорень досягають граничних значень і в результаті в ланках приводу виникають сили, що призводять до їх силового розмикання. Як наслідок отримуємо удар в місцях контакту ланок КМ, і за умови циклічної роботи механізму маємо проблему зниження межі витривалості елементів складових КМ з наступним деформуванням кулачка. Результатом цього є погіршення характеристик наповнення циліндру, внаслідок порушення фаз відкриття та закриття клапану, а також зменшення величини підйому клапану, що в результаті призводить до зниження ефективності протікання робочого циклу ДВЗ в цілому. Відповідно з'являється необхідність у відновленні або заміні складових елементів МГР, що тягне за собою додаткові матеріальні витрати. Тому, отримання нових профілів кулачків, що забезпечують зниження вірогідності появи ударів в КМ є на сьогодні актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Враховуючи вищезгадані проблеми, є необхідність під час профілювання кулачків для швидкохідних поршневих ДВЗ у застосуванні методик, що виключають можливість силового розмикання ланок КМ та, відповідно, появи удару. Методики, що забезпечують (здійснюють) профілювання такого типу кулачків, мають характерну особливість, яка полягає в тому, що вони мають «плавний» безступеневий характер зміни кривої прискорення штовхача. Кулачки, отримані за допомогою таких методик, отримали назву «безударні».

Серед методик, що описують кінематичні параметри руху штовхачів за безударним принципом роботи, найбільшого розповсюдження набули:

- методика, в основу якої покладена математична залежність, що описує прискорення штовхача у формі ступеневого полінома. Дана методика отримала назву «Полідайн».

- методика, в основу якої покладена математична залежність, що описує закон прискорення штовхача, представлений у вигляді впорядкованої графічної послідовності відрізків та кривих, для кожної з яких окремо визначено функціональну залежність. Разом вони складають загальний закон прискорення штовхача, який має плавний характер зміни прискорення. Методика для отримання кулачків даного профілю отримала назву «методики Курца» на честь її автора, а самі кулачки – кулачками Курца.

Та, на жаль, необхідно констатувати, що кулачки, отримані за вищеописаними методиками отримання «безударного» профілю, мають:

- значні величини прискорень штовхача, а відповідно – суттєві динамічні навантаження ланок КМ;
- геометричні особливості профілю кулачка, що створює додаткові складнощі в технологічному процесі виготовлення або відновлення розподільного валу;

– менше наповнення циліндрів двигуна робочим тілом, через геометричні особливості профілю, що в результаті призводить до зниження «часу-перерізу» клапану.

Постановка завдання. Враховуючи описані вище проблеми, завдання яке необхідно вирішити – є пошук шляхів підвищення ефективності КМ за рахунок отримання профілю, який би забезпечував умови отримання максимального «часу-перерізу» клапану і, при цьому, безступеневий характер зміни прискорення штовхача з мінімальними амплітудними коливаннями, тобто поєднував в собі позитивні якості як КМ, отриманих за класичними методиками, так і за вищезгаданими методиками профілювання «безударних» кулачків.

Виклад основного матеріалу. Виконання поставленого завдання може бути реалізовано за допомогою використання нової методики отримання профілю, яка базується на наближенні кривої прискорення заданої форми, за рахунок використання тригонометричних рядів, що дозволяють регулювати ступінь наближення отриманої кривої прискорення штовхача до граничної кривої (прямокутний імпульс) за рахунок кількості врахованих гармонік.

За наявності закону зміни прискорення штовхача у вигляді прямокутного імпульсу, згідно [2] та [4], із заданими рівнями додатних та від’ємних прискорень штовхача, забезпечується найбільша повнота діаграми підйому штовхача, а, відповідно, і досягнення найбільшого значення «часу-перерізу» клапану. Тому, для досягнення високої ефективності КМ, що проектується, та «безударної» роботи клапанів було запропоновано замінити (описати) прямокутний імпульс зміни прискорення штовхача безперервною кривою, синтезованою за допомогою рядів Фур’є. Це дає можливість міняти ефективність динамічні якості отриманих КМ, а також і ніші їх параметри.

Отримання математичних залежностей відбувалося в три етапи:

I-й – визначався рівень прискорень для граничної «П»-подібної кривої;

II-й – для вихідної кривої здійснювалась апроксимація з підбором відповідних рядів Фур’є, які б описували зміну аналога прискорення – залежність $s''=f_1(\varphi)$. Потім, використовуючи інтегрування, були отримані вирази – аналоги швидкості руху штовхача $s'=f_2(\varphi)$ та переміщення $s=f_3(\varphi)$;

III-й – були визначені показники ефективності профілю.

Пропускаючи проміжні математичні викладки, нижче напишемо дві системи з шести рівнянь, що містять в собі основні вирази для законів – аналогів руху штовхача:

- на ділянці позитивних прискорень ($0 \leq \varphi_1 \leq \Phi_1$)

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= c_{11} \cdot \varphi - c_{12} \cdot \left(\frac{\pi}{\varphi_1} \right) \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)^3} \cdot \sin \left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_1} \varphi \right) \\ s_1' &= c_{11} - c_{12} \cdot \left(\frac{\pi}{\varphi_1} \right) \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)^2} \cdot \cos \left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_1} \varphi \right) \\ s_1'' &= c_{12} \cdot \left(\frac{\pi}{\varphi_1} \right)^2 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)} \cdot \sin \left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_1} \varphi \right) \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

- на ділянці негативних прискорень ($0 \leq \varphi_2 \leq \Phi_2$)

$$\left. \begin{aligned} s_2 &= c_{11} \cdot \varphi_1 + c_{21} \cdot \varphi + c_{22} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)^3} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_2} \varphi\right) \\ s_2' &= c_{21} + c_{22} \cdot \left(\frac{\pi}{\varphi_2}\right) \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)^2} \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_2} \varphi\right) \\ s_2'' &= c_{22} \cdot \left(\frac{\pi}{\varphi_2}\right)^2 \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{(2 \cdot m - 1)} \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot (2 \cdot m - 1)}{\varphi_2} \varphi\right) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де s – поточне переміщення штовхача;

s' – поточний аналог швидкості штовхача;

s'' – поточний аналог прискорення штовхача;

$c_{11}, c_{12} \dots c_{22}$ – сталі коефіцієнти;

φ_1 – поточний кут підйому на ділянці позитивних прискорень штовхача;

φ_2 – поточний кут підйому на ділянці негативних прискорень штовхача;

Φ_1 – загальна довжина ділянки позитивних прискорень штовхача;

Φ_2 – загальна довжина ділянки негативних прискорень штовхача.

На основі отриманих залежностей було створено програму розрахунку та реалізовано в середовищі MathCAD для високообертowego тракторного дизеля сімейства СМД. Результати розрахунку у вигляді графічних залежностей для основних аналогів кінематичних функцій наведені нижче (рис. 1).

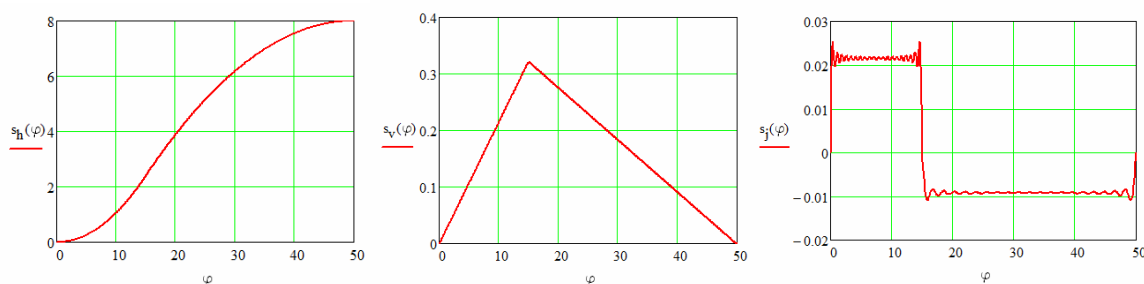


Рисунок 1 – Графіки аналоги для функцій переміщення, швидкості та руху штовхача, отриманих згідно залежностей (1) – (2)

Зазначена методика передбачає, що кількість врахованих гармонік може бути в діапазоні від 0 до ∞ , що, в свою чергу, дає можливість максимально наблизити синтезуючу криву до граничної. Але, врахування всіх гармонік ускладнює процес профілювання значною кількістю обчислювальних операцій. В такому випадку раціональним рішенням буде обрати оптимальну кількість врахованих гармонік, але достатню для наближення синтезованої кривої до граничної з незначним допустимим відхиленням. Так, в нашому випадку, таких врахованих в розрахунку гармонік було 20. Це дало можливість отримати профіль кулачка з коефіцієнтом повноти діаграми на рівні 0,565.

Оптимальний вибір врахованих гармонік повинен враховувати таку кількість гармонік, що забезпечить умови отримання максимального «часу-перерізу» клапану, але при цьому не допустить погіршення динамічних якостей КМ.

Висновки. Використання методики отримання профілю безударного кулачка, в основі якого покладено закон прискорення штовхача, отриманого на основі розкладення функції в ряд, розкриває нові можливості для їх широкого використання

на високообертових ДВЗ, в тому числі і тракторних. Застосування даної методики дає можливості:

- 1) розширити робочий діапазон частот обертання;
 - 2) покращити величину «час-перерізу»;
 - 3) забезпечити отримання величин амплітуд прискорень на низькому рівні;
 - 4) зберегти прямокутну форму імпульсу кривої прискорення;
 - 5) покращити умови роботи КМ за рахунок зменшення динамічних навантажень,
- а, відповідно, підвищити надійність механізму.

Таким чином, застосування вищезазначеної методики для отримання профілів кулачків безударного типу є перспективним.

Список літератури

1. Кожевников, С. Н. Механизмы [Текст] : Справ. пособие / С. Н. Кожевников, Я. И. Есипенко, Я. М. Раскин; Под ред. С.Н. Кожевникова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1976. – 784 с.
2. Кіницький, Я. Т. Теорія механізмів і машин [Текст] : підручник / Я.Т. Кіницький; Відп. ред. Переверзев Є.С. ; Нац. акад. наук України; М-во освіти і науки України. – К. :Наук. думка, 2002. – 670 с.
3. Тир, К.В. Комплексный расчет кулачковых механизмов [Текст] / К.В. Тир. – М.: Машгиз, 1958. – 308 с.
4. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] : учебное пособие / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высшая школа. – 1980. – 400 с.
5. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления [Текст] : [в 3-х томах] : учебное пособие / Г.М. Фихтенгольц. – Т.3. – М.: Наука, 1966. – 656с
6. Тракторные дизели [Текст] : Справочник / [Б.А. Взоров, А.В.Адамович, А. Г. Арабян и др.]; Под. общ. ред. Б.А. Взорова. – М. : Машиностроение, 1981. – 535 с.

Igor Shvets, teacher

Pervomaysk branch of the admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaysk, Ukraine

Method of Designing Shockless Cams of Four-speed High Speed Piston Engines

This article deals with the search for the law of motion of the pusher for the cam mechanism, which will ensure a shock-free closure of the constituting links of the mechanism to ensure reliable operation of the gas distribution mechanism.

The features of the existing cam mechanisms and techniques for their design were considered. The problems of typical cam mechanisms associated with exceeding the value of the boundary acceleration leading to the rupture of the power links of the mechanism are described. A new method for designing cam mechanisms based on the expansion of the function in a series based on the "Decoder" method is proposed. Mathematical dependencies describing the basic laws of the pusher motion (displacement, velocity and acceleration) are obtained with their subsequent implementation by computational methods on a personal computer.

The proposed dependencies for the law of motion of the pusher showed a decrease in the level of the boundary acceleration of the pusher motion, with the maximum value of the valve cross section due to the conservation of the rectangular form of the acceleration law.

cam mechanism, dynamic load, shock-free cam, mechanism of gas distribution

Одержано 07.11.17

УДК 531.311(075)

А.М. Пугач, доц., канд. техн. наук, д-р наук держ. упр.*Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна**E-mail: anpugach13@gmail.com*

Аналіз відомих математичних моделей взаємодії з ґрунтом ріжучого периметра довільної геометричної форми

В статті проаналізовано ряд математичних моделей взаємодії з ґрунтовим середовищем робочого органа довільної геометричної форми. Важливість саме таких моделей полягає в тому, що вони дозволяють на проектному етапі розробки машини оцінити ефективність конструктивних рішень у порівнянні з аналогом і прототипом. Складність створення моделей полягає у великій кількості вихідних параметрів, які в своїй більшості взаємозалежать один від одного і носять імовірнісний характер. Адекватність моделі напряму залежить від прийнятих припущень і розрахункових схем, що взяті за основу. Стосовно ґрунтообробних знарядь існуючі математичні моделі дають велику похибку в розрахунках. Не в останню чергу це пов'язане з тим, що в їх основі закладені однакові підходи і припущення. В статті відстежується в історичному плані розвиток ідей, започаткованих Ю.А. Ветровим і А.М. Панченко.

внутрішня напруга, ріжучий периметр, підпірна стійка**А.Н. Пугач, доц., канд. техн. наук, д-р наук гос. упр.***Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет, г. Днепр, Украина*

Анализ известных математических моделей взаимодействия с почвой режущего периметра произвольной геометрической формы

В статье проанализировано ряд математических моделей взаимодействия с почвенной средой рабочего органа произвольной геометрической формы. Важность именно таких моделей состоит в том, что они позволяют на проектом этапе разработки машины оценить эффективность конструктивных решений в сравнении с аналогом и прототипом. Сложность создания моделей заключается в большом количестве выходных параметров, которые в своем большинстве зависят один от другого и носят случайный характер. Адекватность модели напрямую зависит от принятых допущений и расчетных схем, которые взяты за основу. Что касается почвообрабатывающих орудий, математические модели дают большую погрешность в расчетах. Не в последнюю очередь это связано с тем, что в их основе заложены одинаковые подходы и допущения. В статье прослеживается в историческом плане развитие идей, заложенных Ю.А. Ветровым и А.Н. Панченко.

внутреннее напряжение, режущий периметр, подпорная стойка

Постановка проблеми. В процесі розробки ґрунтообробної машини бажано на проектному етапі оцінити вплив конструктивних параметрів на якісні показники кришення, розпушення і тяговий опір. Виконати це можна шляхом математичного моделювання процесу взаємодії робочого органа з ґрунтом. Але недосконалість математичних моделей не дозволяє отримувати результати, достовірність яких достатньо висока для прийняття рішення про раціональність конструкції. Тому проблема удосконалення моделей є доволі актуальною.

Основний матеріал досліджень. Поняття ріжучого периметра стосовно ґрунтообробних машин вперше було введено В.І. Баловнєвим [1] і визначалось як загальна сума довжин ріжучих кромek робочого органу, які виконують різання

одночасно. В подальшому, цим поняттям широко користувався А.М. Панченко [3], який і деталізував його додаванням терміну «довільної геометричної форми». Сутність полягає в тому, що процес взаємодії абстрактного робочого органу з ґрунтом, розглядається без прив'язки до конкретної геометричної форми знаряддя, а ріжучий периметр являє собою сукупність довільно орієнтованих у просторі нескінченно малих елементарних ділянок.

Базуючись на цих поняттях А.М. Панченко сформулював узагальнену теорію кришення ґрунту [3]. Сутність полягає в тому, що така елементарна ділянка в зоні безпосереднього контакту долає внутрішню напругу у ґрунті. Загальна реакція на робочий орган являє собою інтегральну суму таких елементарних реакцій. Але автор не пішов шляхом нескінченно малих і розміри ділянок обмежив площинами, що мають поверхні єдиного конструктивного виконання. Розповсюдити реакцію на весь робочий орган в такому випадку можливо тільки шляхом введення приведених величин конструктивних параметрів, що і було зроблене. Це надало можливість створити єдину формулу розрахунку тягового опору для широкої гами робочих органів. В цій формулі необхідно змінювати тільки значення приведених величин (ф-ла 203 [3]).

Але такий підхід не дає можливості враховувати швидкість робочого органу і затуплення леза ріжучого периметру. Тому, в згаданій формулі вони введені штучно, як величини, що збільшують загальний результат, так швидкісна складова визначається за формулою Ю.А. Ветрова [3]

$$P_V = b \cdot a \cdot \gamma \cdot [(\sin \alpha + \cos \theta) / \sin(\alpha + \theta)] \cdot V^2, \quad (1)$$

де P_V – складова швидкісного напору;

b – приведена ширина захвату всього робочого органу в цілому;

a – глибина робочого ходу робочого органу;

γ – питома вага ґрунту;

α – кут різання;

θ – задній кут;

V – робоча швидкість.

Додаткове збільшення тягового опору від затуплення леза вздовж всього ріжучого периметра, запозичене у В.І. Баловнєва [1] і теж стосується всього ріжучого периметра в цілому, без урахування форми:

$$P_{ЗАТ} = K' \cdot (X + Z \cdot \operatorname{tg} \tau), \quad (2)$$

де $P_{ЗАТ}$ – додаткова складова від затуплення леза ріжучого периметра;

K' – межа несучої спроможності ґрунту;

τ – кут тертя ґрунту по сталі;

X, Z – товщина (величина затуплення) леза відповідно по горизонталі і вертикалі.

Окреслені недоліки суттєво погіршують точність виконуваних розрахунків. Так, за даними А.М. Семенюти [5], похибка визначення тягового опору становить від 20 до 30% в залежності від однорідності форми поверхні робочого органу. Таким чином, методика не має єдиного підходу до визначення реакції ґрунту на дію ріжучого периметра. Вперше методика була застосована при розробці V-подібного робочого органу для чізель-плуга ПЧФ-2,2. Створена математична модель в цілому дозволяла виконати основні конструктивні розрахунки. Але геометрична форма робочого органу була занадто проста.

А.М. Семенюта [5,6], використавши основні положення математичної моделі А.М. Панченко, запропонував модель взаємодії робочого органа довільної геометричної форми на основі аналізу реакції нескінченно малих поверхонь. Основні положення моделі. Розмістимо в системі координат поверхню довільної геометричної форми ABC. Виріжемо на цій поверхні елементарну ділянку DEFG і розглянемо її як підпірну стінку на яку діє сила

$$dP = dP_n + dP_{TP} + P_D, \quad (3)$$

де dP_n – сила нормального тиску;

dP_{TP} – сила тертя;

dP_D – динамічна складова діючих сил.

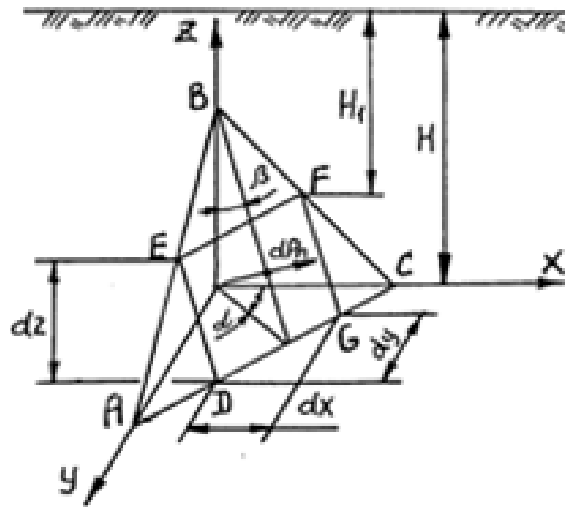
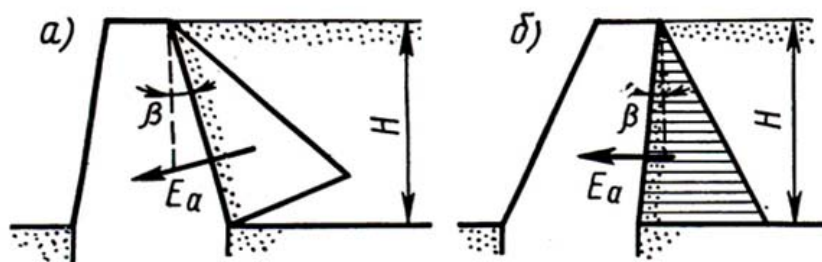


Рисунок 1 – Розрахункова схема діючих на елементарну ділянку сил

Ділянка нескінченно мала, тому її можна вважати плоскою і до неї можна застосовувати рівняння підпірної стінки [8].



a – позитивний кут нахилу; b – від'ємний кут нахилу

Рисунок 2 – Розрахункові схеми до визначення діючих на підпірну стінку сил

Для позитивного кута нахилу

$$E_a = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot [\operatorname{tg}(45 - 0,5 \cdot (\beta + \phi)) + \operatorname{tg} \beta]^3 \cdot \cos \beta \quad (4)$$

Для негативного кута нахилу

$$E_a = 0,5 \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot [\operatorname{tg}(45 - 0,5 \cdot (\phi - \beta) - \operatorname{tg} \beta)]^2 \cdot \cos \beta. \quad (5)$$

Стосовно виділеної ділянки

$$dP_n = E_a \cdot dx. \quad (6)$$

Сила тертя

$$dP_{TP} = \phi \cdot E_a \cdot dx, \quad (7)$$

де ϕ – кут тертя розкришеного ґрунту по сталі.

Після виконання необхідних математичних перетворень, отримуємо рівняння для визначення проекції всіх діючих сил

$$dP = dP_{\Sigma(x)} + dP_{TP(x)} = \gamma \cdot \left\{ \frac{H}{\cos \alpha} \cdot \left[\operatorname{tg}(45^\circ - \frac{\phi_2 - \beta}{2}) + \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cdot \cos \beta + \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2 \right\} \cdot (\cos \alpha \cdot \cos \beta + \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \phi_l) \cdot dy \cdot dz \quad (8)$$

де β – кут постановки підпірної стінки (елементарної ділянки до дна борозни (рис.2);

α – кут постановки елементарної ділянки до напрямку руху (рис.1).

Для отримання загальної реакції робочого органу береться інтеграл від отриманого рівняння по поверхні знаряддя. Аналітично такий інтеграл вирішити не можливо, але можна виконати розрахунки методом чисельного інтегрування. Особливий інтерес з точки зору перевірки адекватності моделей викликає випадок, коли форма робочої поверхні є сферичний диск, (дискатор). На наш погляд поверхню можна представити як таку, що утворена переміщенням у просторі криволінійної твірної – за аналогією поверхня полицевого плуга утворена переміщенням у просторі прямолінійної твірної. В такому разі кожна елементарна ділянка має свої кути постановки α і β . Така поверхня добре описується аналітично, тобто взяття інтегралу по поверхні цілком правомірне.

Для перевірки наведених моделей на адекватність, нами виконані розрахунки за ідентичними вихідними даними і для яких відомі результати польових досліджень [6].

Вихідні дані :

- діаметр диска, мм – 660
- глибина ходу, см – 22
- кут постановки до напрямку руху, град – 31,5
- кут постановки до вертикалі, град – 17
- робоча швидкість, км/год – 7,5
- питома зчеплення часток ґрунту, кН/м² – 3,8

Отримані результати :

- заміряне значення, кН – 0,45
- розраховане за методикою А.М. Панченко, кН – 0,59
- розраховане за методикою А.М. Семенюти, кН – 0,39

Аналіз результатів показує, що методика А.М. Панченко дає результат, завищений на 30%, методика А.М. Семенюти занижений на 11%. На наш погляд, це можна пояснити наступним чином.

Методика А.М. Панченко працює з усередненими величинами і не враховує зміни вихідних даних в межах дії окремих ділянок, а вони можуть займати до 30% поверхні робочого органа, як у V-подібного робочого органа. Питоме зчеплення часток розпушеного ґрунту суттєво менше ніж у консолідованого, а методично це врахувати не можливо, що і дає суттєве збільшення розрахованих даних.

Методика А.М. Семенюти враховує ці два положення, що підвищує точність розрахунків, але прийнята в моделі нескінченно мала за розмірами ділянка менша за розмірами за утворювані ґрунтові агрегати і це зменшує розраховану реакцію підпірної стінки.

З останніх розробок можна відмітити математичну модель, що пропонує ТД «Корсунь» і її розробник І.Ю. Брижатиї (матеріали отримані на правах рукопису). Ріжучий периметр пропонується поділяти не на квадратні елементарні площини, а на прямокутні (рис.3). Таке рішення підвищує площу контакту ділянки з ґрунтом і одночасно з цим вона залишається нескінченно малою. Це дає змогу більш точно визначити реакцію підпірної стінки і, як наслідок, величину сил тертя. Додатково такий підхід надає можливість виділити як окрему складову силу сколу призми ґрунту від леза EF.

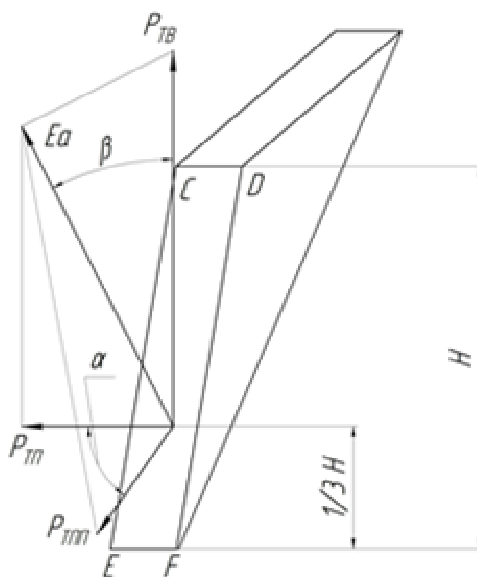


Рисунок 3 – Розрахункова схема виділеної ділянки за моделлю І.Ю. Брижатиго

У відповідності до розрахункової схеми і формули 2 загальна реакція підпірної елементарної ділянки буде становити :

$$dP_T = \frac{\gamma}{2} \cdot [a - R \cdot (1 - \cos \varepsilon) \cdot \cos \beta]^2 \cdot \left[\operatorname{tg} \left(45 - \frac{\varphi + \beta}{2} + \operatorname{tg} \beta \right) \right]^2 \cdot \cos \beta \cdot R \cdot d\varepsilon \quad (9)$$

Висновки. Аналіз існуючих математичних моделей показав, що в них існують спільні елементи: як то розподіл діючих сил, відмова від використання твердості ґрунту на користь питомого зчеплення часток, остаточний перехід на застосування поняття ріжучий периметр.

У всіх наведених моделях не відпрацьовані питання енергетичних витрат на розпушення ґрунту.

Моделі не передбачають можливість активного характеру робочого органа.

Список літератури

1. Баловнев, В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно-строительных машин [Текст] / В. И. Баловнев. – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.
2. Волик, Б.А. Теорія внутрішньої напруги і її застосування для оцінки якості розпушення ґрунту [Текст] / Б.А. Волик, Г.В. Теслюк, А.В. Коновий – Матеріали Х Міжнародної конференції. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки. – Кіровоград, КНТУ, 2015 – С. 39-40.
3. Ветров, Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами [Текст] / Ю. А. Ветров. – М. : Машиностроение, 1971. – 357 с.
4. Панченко, А. Н. Теория измельчения почвпочвообрабатывающими орудиями [Текст] / А. Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.
5. Семенюта, А. М. Методика розрахунку загальної реакції різання ґрунту поверхню довільної геометричної форми [Текст] / А. М. Семенюта, О. В. Білокопитов, Б. А. Волик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип.10, т.2. – С. 161-167.
6. Семенюта, А.М. Обґрунтування конструктивної схеми, параметрів та режимів роботи дискового плуга [Текст] : автореф. дис..на здобуття ступеня канд. техн. наук / А.М.Семенюта. – Мелітополь, 2014. – 23 с.
7. Теслюк, Г.В. Методика аналітичної оцінки якості розпушення ґрунту комбінованим агрегатом [Текст] / Г.В. Теслюк, Б.А. Волик, А.М. Пугач- Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка і енергетика АПК. – К.: 2015. – Вип. 226. – С.260-264.
8. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс): учебник для строит. вузов [Текст] / Н. А. Цытович. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1983. – 288 с.

Andrii Puhach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., DSc. in public admin.

Dnipropetrovs'k state agrarian and economic university, Dnipro, Ukraine

Analysis of Known Mathematical Models of Interaction With a Soil Cutting Perimeter of Arbitrary Geometric Form

The article analyzes a number of mathematical models of interaction with the soil environment of the working organ of an arbitrary geometric shape.

The importance of such models is that they allow evaluating the efficiency of constructive solutions in the design stage of the machine development in comparison with the analog and prototype. The complexity of creating models is a large number of output parameters, which mostly depend on each other and are random. The adequacy of the model directly depends on the assumptions made and the design schemes that are taken as a basis. As for the soil-cultivating tools, mathematical models give a large error in the calculations. Not least, this is due to the fact that they are based on the same approaches and assumptions. The article traces in historical terms the development of ideas laid by Yu.A. Vetrov and A.N. Panchenko.

An analysis of existing mathematical models showed that they have common elements: such as the distribution of operating forces, the refusal of the use of soil hardness in favor of specific particle adhesion, the final transition to the use of the concept cutting perimeter.

internal tension, cutting perimeter, support stand

Одержано 30.10.17

УДК 621.791.92

Г.В. Похмурська, проф., д-р техн. наук, А.А. Войтович, асист., А.Р. Дзюбик, доц., канд. техн. наук

Національний університет "Львівська політехніка", м.Львів, Україна, E-mail: andrsibox@gmail.com

Технологія виготовлення зносостійких листів

У галузі сільського господарства використовують устаткування, конструктивні елементи якого зношуються під дією абразивів. Це виводить їх з ладу та спричиняє наступну заміну. Відомий спосіб продовження ресурсу устаткування шляхом наплавлення відновлювальних зносостійких шарів на зношені поверхні елементів з використанням порошкових дротів (ПД) системи Fe-Cr-B-C. Робота присвячена дослідженню впливу горизонтальної вібрації на мікроструктуру наплавленого металу із ПД 80X20P3T.

наплавлення, порошкові дроти, горизонтальна вібрація, зносостійкість

Г. В. Похмурская, проф., д-р техн. наук, А. А. Войтович, ассист., А. Р. Дзюбик, доц., канд. техн. наук
Национальный университет "Львовская политехника", г.Львов, Украина

Технология изготовления износостойких листов

В области сельского хозяйства используют оборудование, конструктивные элементы которого изнашиваются под действием абразивов. Это выводит их из строя и вызывает последующую замену. Известный способ продления ресурса оборудования путем наплавки восстановительных износостойких слоев на изношенные поверхности элементов с использованием порошковых проволок (ПП) системы Fe-Cr-B-C. Работа посвящена исследованию влияния горизонтальной вибрации на микроструктуру наплавленного металла с ПП 80X20P3T.

наплавка, порошковые проволоки, горизонтальная вибрация, износостойкость

Постановка проблеми. Умови роботи деталей машин сільськогосподарської техніки характеризуються постійним контактом із абразивом за дії помірних ударних навантажень. Прикладом таких деталей є валки бурякозбиральних комбайнів, елементи картоплекопачок та інші. Контакт із ґрунтом призводить до стоншення стінок валків та зношування шнекової спіралі (рис.1). Для відновлення зношених валків використовують метод наплавлення зносостійкими матеріалами. Основним недоліком



Рисунок 1 – Валки бурякозбирального комбайна Pora Euro Maus

при напавленні є нерівномірне нагрівання вальця, що викликає залишкову деформацію. Сучасним підходом до відновлення зношених та зміцнення нових валків є місцеве приварювання окремих елементів із зносостійких листів. Відомо, що зносостійкість наплавленого шару за умов ударно-абразивного зношування залежить не лише від твердості наплавленого шару, а також від кількості пластичної фази у структурі металу. На теперішній час такими властивостями володіють зносостійкі пластини Hardox400–600, вартістю 80 грн/кг. Твердість даного матеріалу становить для Hardox

600 53-57 HRC. В роботі з метою продовження роботоздатності деталей машин сільськогосподарської техніки запропоновано виготовляти зносостійкі пластини із

наплавленим шаром порошковими (ПД) дротами системи Fe-Cr-B-C, зокрема використовуючи ПД 80X20P3T, орієнтовною вартістю 95 грн/кг, яким можна отримати твердість наплавленого металу 66-69 HRC. При цьому зносостійкість металу наплавленого цим ПД є у 3 рази вищою як у пластин Hardox 600. Підвищена зносостійкість металу наплавленого із ПД80X20P3T отримана за рахунок збільшеного вмісту бору (до 4 мас. %) у складі шихти ПД цієї системи. Це сприяє виділенню у мікроструктурі наплавленого металу великих дендритних включень боридів. Недоліком являється голкоподібна морфологія боридів у структурі металу, оскільки гострі кінці служать концентраторами напружень, що призводить до розтріскування наплавленого металу за ударних навантажень. Тому, подрібнення таких включень має сприяти підвищенню зносостійкості наплавленого металу і збільшенню його довговічності за дії ударних навантажень при абразивному зношуванні.

Методики досліджень. Наплавлені шари формували на підкладці з низьковуглецевої сталі Ст3сп під шаром флюсу ОСЦ 45М (склад у мас. %: 44 SiO₂, 44 MnO, < 2,5 MgO, 6–9 CaF₂, < 6,5 CaO, < 2 Fe₂O₃, < 0,15 S, < 0,15 P) з використанням ПД 80X20P3T (склад у мас. %: 0,8 C, 18 Cr, 0,65 Mn, 0,3 Si, 0,2 Ti, 3,2 B, 0,04 S, 0,04 P). Діаметр дроту становив 3,2 мм, коефіцієнт заповнення – 25 %. Наплавляли зразки розміром 300×150×10 мм. Горизонтальну та вертикальну вібрацію здійснювали з частотою 100 Гц за амплітуди переміщення столика 0, 70, 200 та 300 мкм. За горизонтальної вібрації столик переміщували поперек наплавленого валика. Перед наплавленням ПД та флюс висушували за температури 300 °С упродовж 2,5 год. Наплавляли валики з використанням підвісної головки АБС із живленням від генератора ПСО 500. Параметри зварювання: струм 400...420 А, напруга дуги 28...30 В, швидкість подачі ПД 73 м/год, швидкість наплавлення 23 м/год, перекриття доріжок 30%. Фазовий аналіз виконували на рентгенівському дифрактометрі D8 Discover з Co випромінюванням. Хімічний склад шару та його мікроструктуру досліджували на електронному мікроскопі EVO 40 XVP. Зносостійкість наплавлених шарів за абразивного зношування незакріпленим абразивом оцінювали згідно з ГОСТ 23.208-79. Просушений кварцовий пісок з розміром часточок 200...1000 мкм безперервно подавали у зону тертя гумового диску зі зразком. Швидкість обертання диску становила 0,3 м/с, а сила його притискання до зразка 2,4 кг. Для визначення зносу наплавленого шару закріпленим абразивом використовували абразивний круг СМ-2 на керамічній зв'язці. Лінійна швидкість тертя становила 0,8 м/с, навантаження в зоні лінійного контакту 1,5 кг. Оцінювали величину зносу після однакової довжини випробувального шляху 720 м за зміною маси зразків.

Виклад основного матеріалу. Дослідження фазового складу наплавлених шарів з ПД 80X20P3T отриманих без застосування вібрації, виявили такі фази: як ферохром FeCr, бориди типу (FeCr)₂B та (FeCr)B.

Матриця наплавленого шару із ПД 80X20P3T є мартенсит із великою кількістю залишкового аустеніту. Структура наплавленого металу із ПД80X20P3T характеризується боридними включеннями дендритного типу із осями 1-ого, 2-ого порядку. Спектральним аналізом визначено хімічний склад структурних складових (табл. 1) у наплавленому металі. Матриця наплавленого металу містить до 10,2 мас. % хрому. У боридних включеннях міститься до 37,2 мас. % хрому та до 2,7 мас. % бору. Це свідчить, що темні включення можуть бути боридами (FeCr)B та (FeCr)₂B (рис. 2).

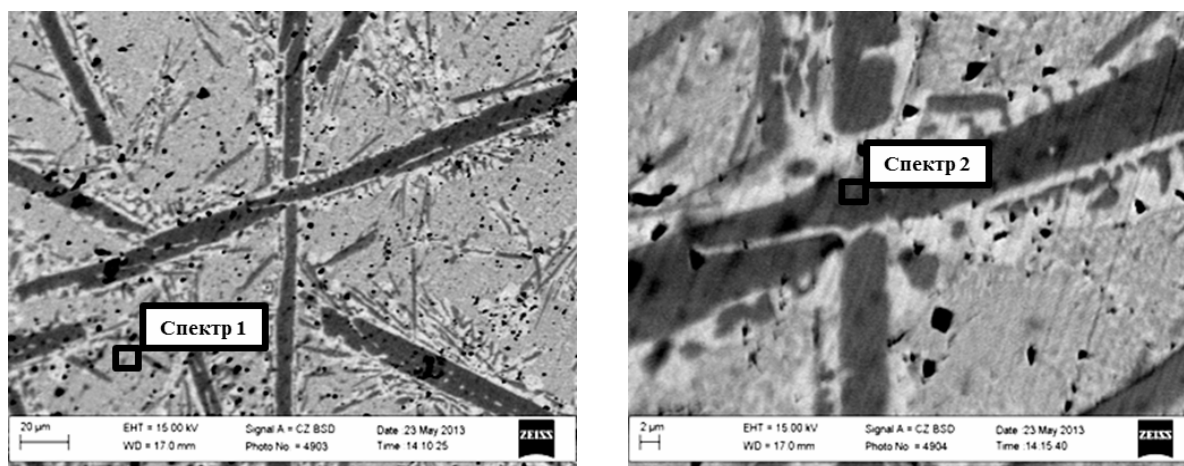


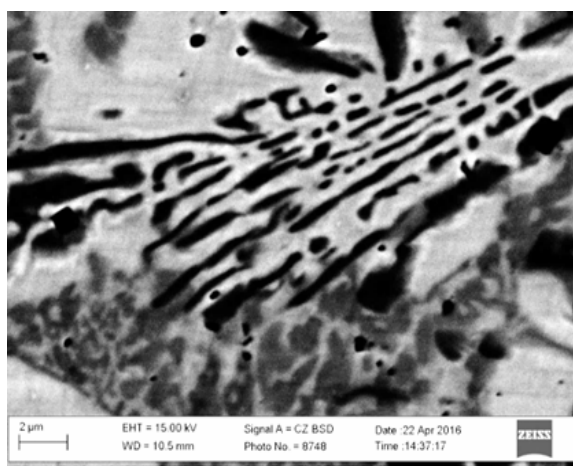
Рисунок 2 – Структура наплавного металу із ПД 80X20P3T

Таблиця 1 – Хімічний склад структурних складових наплавного металу із ПД80X20P3T

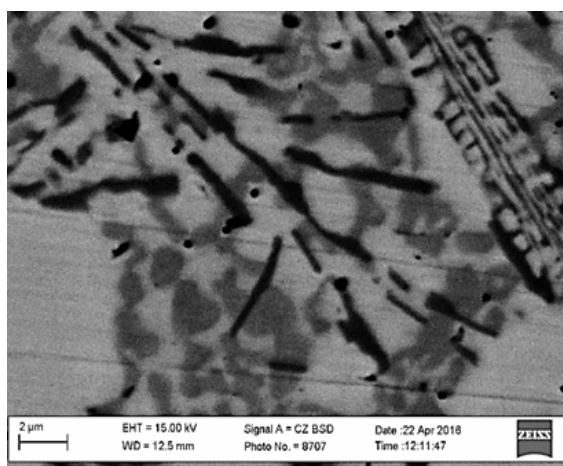
Позначення спектра	Вміст елемента, мас. %				
	Cr	B	Si	Mn	Fe
Спектр 1	10,2	-	1,2	2,8	85,8
Спектр 2	37,2	2,7	0,3	-	93,3

Досліджено, що за впливу горизонтальної вібрації відбувається подрібнення боридних включень $(FeCr)B$, $(FeCr)_2B$ у структурі наплавного металу з ПД 80X20P3T (рис. 3). Подовгастий характер включень залишається, проте їх довжина у десятки разів зменшується. Середній розмір боридних включень з підвищенням

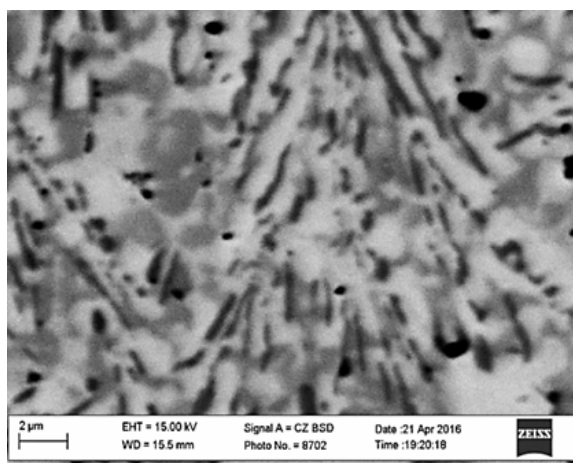
амплітуди механічних коливань, без вібрації складає 70 мкм, за амплітуди 70 мкм 35 мкм, за амплітуди 200 мкм – 25 мкм, за амплітуди 300 мкм – 5 мкм. Дендритний характер, гострокутність кінців боридних включень зменшується. За дії амплітуди 300 мкм відбувається їх максимальне подрібнення та гомогенізація твердого розчину.



а



б



В

Амплітуда вібрації:
а – 70 мкм, б – 200 мкм, в – 300 мкм

Рисунок 3 – Структура наплавленого металу за дії горизонтальної вібрації

За дії вібрації у наплавленому металі з ПД 80X20P3T відбувається перерозподіл фаз (рис. 4). У вихідному наплавленому металі, де середній розмір боридів становить 70 мкм, співвідношення фаз – $(\text{FeCr})\text{B}/(\text{FeCr})_2\text{B} \sim 3/1$. У зв'язку із диспергуванням мікроструктури при амплітуді 300 мкм, де середній розмір боридів зменшується до 5 мкм, відбувається зміна кількості фаз у наплавленому шарі: збільшується кількість пластичної фази бориду $(\text{FeCr})_2\text{B}$, співвідношення фаз становить $(\text{FeCr})\text{B}/(\text{FeCr})_2\text{B} \sim 1/5$. Поява фази $(\text{FeCr})_2\text{B}$ у більшій кількості в наплавленому шарі, очевидно буде впливати на всі механічні характеристики та на зміну механізму руйнуванню в умовах абразивного зношування.

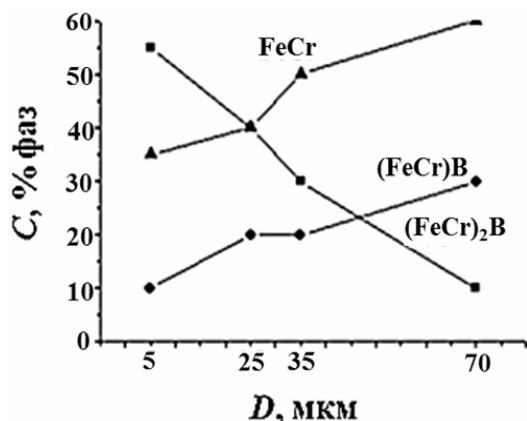


Рисунок 4 – Взаємозв'язок між фазовим складом С структурних складових і середніми значеннями їх розміру D в металі, наплавленому ПД 80X20P3T

Вібраційна обробка наплавленого металу із ПД80X20P3T забезпечує підвищення середньої мікротвердості з 700 HV до 920 HV. Із диспергування боридів до середнього розміру 35 мкм, 25 мкм та 5 мкм мікротвердість при цьому змінюється відповідно до 950 HV, 940 HV та 890 HV.

Визначено міцнісну характеристику наплавленого металу - модуль Юнга. Встановлено, що у вихідному наплавленому металі з ПД 80X20P3T модуль Юнга становить 280 ГПа. Із диспергування боридів до середнього розміру 35 мкм, 25 мкм та 5 мкм - модуль Юнга змінюється відповідно до 310 ГПа, 330 ГПа та 360 ГПа.

Накладання вібрації в процесі наплавлення металу з ПД 80X20P3T приводить до суттєвого зменшення середнього розміру боридних включень і, як наслідок, зростає його зносостійкість (табл. 2). Зокрема, при зменшенні середнього розміру боридних включень від 70 до 5 мкм за умов зношування закріпленим та незакріпленим абразивом зносостійкість наплавленого металу зростає в 1,7 рази, за умов зношування під дією циклічного ударного навантаження зносостійкість підвищилася у 2 рази.

Таблиця 2 – Відносна зносостійкість наплавленого металу з ПД 80Х20Р3Т по відношенню до наплавленого металу без вібрації

Вид зношування	Без вібрації	Горизонтальна вібрація амплітудою, мкм		
		70	200	300
Середній розмір боридів, мкм	70	35	25	5
Зношування закріпленим абразивом	1	0,9	1,2	1,7
Зношування незакріпленим абразивом	1	1,3	1,5	1,7
Зношування за умов ударних навантажень	1	1	1,3	2
Співвідношення фаз $(\text{FeCr})\text{B}/(\text{FeCr})_2\text{B}$	3/1	3/2	2/4	1/5

Проаналізовано морфологію поверхні у зоні контакту металевої кульки з наплавленим металом при наявності горизонтальної вібрації. Встановлено, що наплавлений метал руйнується пластично за рахунок втрати когезивного зв'язку між матрицею металу та боридними включеннями. Морфологія поверхні в зоні контакту із закріпленим абразивом у вихідному металі містить глибокі і широкі сліди від тертя. Також на поверхні присутні сліди від викришених неметалевих включень круглої форми. Наявність пор у наплавленому металі полегшує його руйнування, сприяючи швидкому поширенню мікротріщин, які виникають при розкришуванні боридів. У зоні контакту наплавленого металу за горизонтальної вібрації при амплітуді 200 та 300 мкм механічних коливань із абразивним кругом спостерігаються рівномірні сліди зношування без глибоких та широких канавок від викришених боридів. Це зумовлено подрібненням боридних включень та їх рівномірним розподіленням у твердому розчині.

Висновки. Із дослідження впливу механічної вібрації зразків під час їх наплавлення ПД базової системи Fe–Cr–B–C на структурно-фазовий склад та механічні властивості наплавлених шарів, сформульовано рекомендації, які спрямовані на підвищення зносостійкості елементів машин, зокрема:

1. Наплавлені шари, отримані за горизонтальної вібрації амплітудою до 300 мкм, виявили їх підвищену у 1,7 разів абразивну зносостійкість за тертя закріпленим та незакріпленим абразивом порівняно із шаром, наплавленим без застосування вібрації;

2. Встановлено, що вібрація під час наплавлення шарів підвищує у 2 рази їх стійкість за циклічного ударного навантаження. Основним чинником впливу на ударне зношування наплавленого металу стає його здатність пластично деформуватися;

3. Розкрито особливості механізму зношування. Показано, що за абразивного зношування, а також за ударних навантажень великі зерна боридів у наплавленому без вібрації шарі розтріскуються та викришуються, що інтенсифікує процес руйнування. Вібрація під час наплавлення значно зменшує розмір боридних зерен, збільшує кількість пластичнішої боридної фази $(\text{FeCr})_2\text{B}$, що є причиною підвищення зносостійкості, на поверхні зношування відсутні глибокі канавки і вириви.

Отже, із метою підвищення зносостійкості елементів сільськогосподарської техніки доцільно застосовувати наплавлення ПД системи Fe–Cr–B–C. Порівняльний аналіз техніко-економічних показників показує, що незначне здорожчення технології отримання таких поверхонь забезпечує збільшення їх довговічності більше як в 4 рази, порівняно із застосованим аналогом.

Список літератури

1. Kirchgaßner, M. Behaviour of iron-based hard facing alloys under abrasion and impact [Text] / Kirchgaßner M., Badisch E, Franek F // *Wear* 2008; 265: 772–9.
2. Походня, И.К. Сварка порошковой проволокой [Текст] / И.К. Походня, А.М. Суптель, В.Н. Шлепаков // К.: Наукова думка. –1972. – 224 с.
3. Patricio, F. Welding processes for wear resistant overlays [Text] / Patricio F. Mendez, Nairn Barnes, Kurtis Bell, Steven D. Borle, Satya S. Gajapathi, Stuart D. Guest, Hossein Izadi, Ata Kamyabi Gol, Gentry Wood // *Journal of Manufacturing Processes* V. 16, Issue 1 (2014) P. 4-25.
4. Veintha, R. Abrasive impact wear and surface fatigue wear behaviour of Fe–Cr–C PTA overlays [Text] / R. Veinthal, F. Sergejev, A. Zikin та ін // *Wear*. – 2013. – №301. – С. 102 –108
5. Войтович, А.А. Особливості формування та руйнування наплавлених шарів з порошкових дрітків системи Fe-Cr-B-C за ударних навантажень [Текст] / А.А. Войтович, Г.В. Похмурська, М.М. Студент, О.З. Студент // *Проблеми трибології (Problems of Tribology)*. –2015. – № 4. – 114 – 123.
6. Похмурская, Г.В. Влияние высокочастотных механических колебаний изделия на структуру и износостойкость наплавленного металла Х10Р3Г2С [Текст] / Г.В. Похмурская, М.М. Студент, А.А. Войтович, А.З. Студент, А.Р. Дзюбик // *Автомат сварка*. – 2016. – №10. -С. 22–27.
7. Дзюбик, А.Р. Корозійна тривкість зварних з'єднань сталі типу ARMSTAL 500 [Текст] / А. Дзюбик, Н. Червінська, А. Войтович, Л. Дзюбик // *Фіз.-хім. механіка матеріалів*. – 2016.– Спецвип. №11. – С. 115–118.

Hanna Pokhmurska, Prof., DSc., Andriy Voytovych, assist., Andriy Dzyubyk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

Technology of Manufacturing of Wear-resistant Sheets

In agriculture, there is application of equipment with the structural elements that are worn under the influence of abrasives. This causes them to fail and to be replaced. A well-known method for extending the life of the equipment by surfacing the restorative wear-resistant layers on the worn surfaces of the elements using the Fe-Cr-B-C powder wire (PW) system. The work is devoted to the investigation of the influence of horizontal vibration on the microstructure of the deposited metal from the ПД 80Х20Р3Т.

Therefore, in order to increase the wear resistance of agricultural machinery components, it is advisable to apply surfacing of the Fe-Cr-B-C system. A comparative analysis of technical and economic indicators shows that a slight improvement in the technology of obtaining such surfaces provides an increase in their durability by more than 4 times compared with the applied analogue.

surfacing, powder wires, horizontal vibration, wear resistance

Одержано 31.10.17

УДК 631.354.2

С. В. Пустовіт, канд. техн. наук, В. І. Котков, доц., канд. техн. наук*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна**E-mail: pustovitl@ukr.net*

Вплив агрегатів на якість розпушування і рівномірність глибини обробітку ґрунту

Вивчено якість роботи комбінованих агрегатів на передпосівному обробітку ґрунту. Викладено результати досліджень агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту та посіву цукрових буряків. Приведені результати досліджень за якістю розпушування і рівномірністю глибини обробітку ґрунту. Досліджено якісні показники роботи із сівалками пневматичного типу СТВ-12, "Мультикорн", так і сівалки типу ССТ-12В з механічним висівним апаратом.

дослідження, комбінований агрегат, польові дослідження

С. В. Пустовит, канд. техн. наук, В. И. Котков, доц., канд. техн. наук*Житомирський национальный агроэкологический университет. г. Житомир, Украина*

Влияние агрегатов на качество рыхление и равномерность глубины обработки почвы

Изучено качество работы комбинированных агрегатов на предпосевной обработки почвы. Изложены результаты исследований агрегатов для предпосевной обработки почвы и посева сахарной свеклы. Приведены результаты исследований по качеству рыхления и равномерностью глубины обработки почвы. Исследовано качественные показатели работы с сеялками пневматического типа СТВ-12 "Мультикорн", так и сеялки типа ССТ-12В с механическим высевальным аппаратом.

исследования, комбинированный агрегат, полевые исследования

Постановка проблеми. Цукровий буряк в Україні є єдиним джерелом для виробництва цукру – життєво необхідного продукту харчування, фізіологічна норма споживання якого становить 38 кг на душу населення. Ґрунтово-кліматичні умови України є досить сприятливими для вирощування цукрових буряків, тому вона була і залишається однією із провідних країн світу за площею посіву та виробітку цукру.

Однією із основних операцій, яка впливає на схожість насіння та в подальшому і на урожайність коренеплодів є сівба. Якість сівби цукрових буряків та рівень польової схожості насіння в значній мірі визначається своєчасністю та якістю передпосівного обробітку ґрунту. Він складається з розпушування верхнього шару ґрунту та вирівнювання його поверхні, а в зоні достатнього зволоження – і з наступним додатковим розпушуванням. До комплексу факторів, які впливають на польову схожість належить температура і вологість ґрунту, достатня повітромісткість, вирівняність та структурно-агрегатного складу ґрунту. Ґрунт повинен бути добре вирівняним і розробленим до дрібногрудковатого стану на задану глибину. Це сприятиме висіванню насіння в вологе ложе, що гарантує його високу польову схожість.

З метою якісної схожості насіння та в подальшому і урожайності коренеплодів виникає необхідність проведення досліджень по вивченню якості роботи комбінованих агрегатів на передпосівному обробітку ґрунту та сівби насіння цукрових буряків.

Аналіз результатів останніх досліджень. Дослідженнями [3] встановлено, що застосування комбінованих машин для передпосівного одробітку ґрунту та сівби насіння підвищує продуктивність в 1.5 раза, польову схожість насіння на 10...20%, що в свою чергу зменшує експлуатаційні витрати.

Аналіз вище наведених факторів показав необхідність розробки технологічної схеми комбінованої машини для передпосівного обробітку ґрунту та сівби насіння цукрових буряків.

При розробці нової конструкції комбінованої машини враховувались наступні нормативні агротехнічні вимоги: грудочки розміром 1...25мм, в шарі заробки насіння повинні становити за масою не менше 85%; висота мікронерівностей поверхні ґрунту повинна бути не більше 20 мм, підрізання бур'янів – повне.

Постановка завдання. Метою роботи являється вивчення якості роботи комбінованих агрегатів на передпосівному обробітку ґрунту.

Виклад основного матеріалу. Для вивчення якості роботи комбінованих агрегатів на передпосівному обробітку ґрунту були проведені виробничі дослідження із застосуванням технічних засобів АРВ-8.1-02, УСМК-5,4В, "Європак6000". Показники роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту показані в табл.1.

Таблиця 1 – Показники роботи агрегатів для передпосівного обробітку ґрунту

Показники	Марка машини (культиватора)		
	УСМК-5,4В	АРВ-8.1-02	"Європак6000"
Агрегування (трактор)	ЮМЗ-6Л	МТЗ-80	Т-150
Робоча швидкість, км/год	8,0	8,6	8,4
Ширина захвату, м	5,4	8,1	6,0
Середня глибина розпушування, см	4,1	5,0	5,2
Коефіцієнт варіювання, %	16,8	9,1	11,4
Фракційний склад ґрунту після розпушування, %:			
менше 10 мм	64,2	84,2	71,8
10-25 мм	17,2	9,4	18,9
35-50 мм	16,2	6,0	8,0
більше 50 мм	2,4	0,4	1,3
Норма висіву насіння, шт./м	12,0	12,0	12,0
Відносна польова схожість, %	55,4	65,1	63,2
Змінна продуктивність, га/год	2,2	5,1	3,5
Витрати пального, кг/га	2,7	3,9	11,0
Затрати праці, люд.год/га	0,5	0,2	1,9
Прямі експлуатаційні витрати, грн./га	8,6	8,9	156,0

Результати досліджень показують (табл.1), що за якістю розпушування і рівномірністю глибини обробітку ґрунту комбіновані агрегати типу "Європак 6000" і АРВ-8.1-02 забезпечують більш якісні показники порівняно з культиватором УСМК-5.4В. Так, варіювання глибини розпушування після проходження цих агрегатів в 1,5-1,8 раза менше, а кількість агротехнічно-корисних часток ґрунту розміром до 10 мм в 1,2-1,3 рази більше. Це пояснюється тим, що в конструкції комбінованих агрегатів застосовані більш досконаліші робочі органи для вирівнювання, розпушення та кришення ґрунту. Внаслідок цього забезпечується підвищення відносної польової схожості насіння на 7,8...9,7% або в 1,1-1,2 рази. Але, за енергетичними показниками, наприклад, витрати

пального на одиницю виконаної роботи (гектар) були в 2,6-2,9 рази більша, а прямі експлуатаційні витрати із застосуванням комбінованого агрегату типу “Європак 6000” – в середньому в 17,5 рази вище, порівняно із застосуванням культиватора УСМК-5,4В і агрегату АРВ-8,1-02. На це значний вплив має висока вартість цих агрегатів, яка в 9,2-15,2 рази більша вітчизняних аналогів. Виходячи із отриманих техніко-економічних показників нами порівняльним прототипом вибрано вітчизняний агрегат АРВ-8,1-02.

Аналогічні дослідження по визначенню якісних показників роботи проводились із сівалками пневматичного типу СТВ-12, “Мультикорн”, так і сівалки типу ССТ-12В з механічним висівним апаратом.

Узагальнені результати проведених досліджень (табл.2) свідчить про те, що сівалки з пневматичними висівними апаратами забезпечують більш рівномірніше розміщення рослин в рядках порівняно з сівалками типу ССТ-12В з механічними висівними апаратами. Так, якщо значення коефіцієнтів варіювання інтервалів між рослинами після пневматичних сівалок були в середньому 62,7 і 51,1%, відповідно для звичайного і дражованого насіння, то після механічної сівалки ССТ-12В 67,4 і 58,7% або в 1,1-1,2 рази більше. Слід відзначити, що більш рівномірне розміщення рослин в рядку спостерігаються у випадку застосування дражованого насіння при висіві його як пневматичними, так і механічними сівалками.

Одержані значення відносної польової схожості насіння також свідчать про деяку перевагу пневматичних сівалок над механічними – 70,05 і 72,3% проти 70,2 і 71,8%, тобто польова схожість насіння після пневматичних сівалок на незначний відсоток була вища порівняно з механічною сівалкою ССТ-12В.

Але оцінка сівалок закордонного виробництва по техніко-економічним показникам показує, що при застосуванні сівалки типу “Мультикорн” прямі експлуатаційні витрати становили 308 грн/га, тобто вони були на 90,5 і 137,1 грн/га або в 1,4-1,8 рази більші порівняно з пневматичною сівалкою УПС-12 і механічною ССТ-12В вітчизняного виробництва. Відповідно різниця між сівалками УПС-12 та ССТ-12В становить 46,6 грн/га або в 1,3 рази більша.

Таблиця 2 – Показники якості роботи сівалок

Показники	Марка сівалки		
	Мультикорн	УПС-12	ССТ-12В
Норма висіву насіння, шт./м	12,0	10,7	12,0
	10,8	10,3	10,7
Кількість сходів, шт./м	9,9	8,8	9,8
	8,8	7,7	8,1
Середня відстань між рослинами, см	13,9	15,7	15,5
	14,2	16,4	15,0
Коефіцієнт варіювання, %	62,7	66,1	67,4
	54,0	56,1	58,7
Відносна польова схожість, %	71,8	68,3	70,2
	74,1	70,5	71,8
Змінна продуктивність, га/год	2,2	2,3	2,0
Витрата пального, кг/га	5,3	6,1	6,0
Затрати праці, люд.год/га	1,35	1,3	1,29
Прямі експлуатаційні витрати, грн./га	308,0	217,5	170,9

Примітка: в чисельнику звичайне насіння, в знаменнику дражоване

Виходячи із отриманих даних (табл. 2) можна зробити висновок, що по якісним показникам роботи сівалки з пневматичними висівними апаратами не забезпечують більш кращі показники роботи ніж сівалки з механічними висівними апаратами. Це пов'язано з тим, що сівалки із пневматичними висівними апаратами не розраховані на висів дрібного насіння цукрових буряків, особливо це стосується звичайного насіння.

Враховуючи якісні та економічні показники роботи та можливість переобладнання висівного апарату під висів насіння цукрових буряків серед даних типів сівалок нами за базовий взірець вибрано сівалку вітчизняного виробництва ССТ-12В з механічним висівним апаратом

В процесі теоретичних досліджень і аналізу наукової літератури встановлено, що якісний передпосівний обробіток ґрунту суттєво впливає на схожість насіння цукрових буряків та в подальшому на розвиток рослин.

З метою вивчення впливу конструктивних параметрів комбінованої машини на схожість насіння цукрових буряків у виробничих умовах проводили лабораторно-польові дослідження.

Під час проведення польових дослідів встановлено фактори, які не здійснюють значного впливу на виконання технологічного процесу передпосівного обробітку ґрунту.

При цьому, було встановлено фактори, які слід вважати як основні: діаметр котка d , кількість прутків n , поступальна швидкість $V_{\text{п}}$, та глибина ходу лапи H глибина заробки насіння h , які впливають на якість обробітку ґрунту, схожість насіння та в подальшому і на урожайність коренеплодів цукрових буряків.

Для визначення залежності кришення ґрунту від вищевказаних факторів та можливості здійснювати технологічний процес кришення в цілому при певному їх поєднанні були проведені експериментальні дослідження лабораторної установки.

Проведені дослідження показали, що при вологості ґрунту $W=20,4\%$ та поступальній швидкості лабораторної установки $V_{\text{п}}=1,6$ м/с значення кришення ґрунту при збільшенні кількості прутків від 10 до 14 штук відповідно становить 82,5...91,7%. Так найкращий показник було досягнуто при діаметрі котка $d=0,3$ м та кількості прутків $n=12$ шт, де ступінь кришення ґрунту становив 91,7%.

Із збільшенням поступальної швидкості $V_{\text{п}}$ від 1 до 2,25 м/с ступінь кришення ґрунту збільшувалась і для $n=12$ штук відповідно становила 88,9...91,5%. Також найкращих показників роботи було досягнуто при поступальній швидкості лабораторної установки $V_{\text{п}}=1,6$ м/с та глибині розпушування $h=3$ см, де ступінь кришення ґрунту $K_{\text{к}}$ становила відповідно 90,2 %.

Таким чином, однофакторні експерименти дали можливість підібрати оптимальні значення діаметра котка $d_{\text{к}}$, кута нахилу прутка $Y_{\text{к}}$, кількості прутків $n_{\text{к}}$ та поступальної швидкості $V_{\text{п}}$, при яких робота експериментальної установки і, зокрема, котка із прутками синусоїдної форми, відповідає агротехнічним вимогам до передпосівного обробітку ґрунту під цукрові буряки. Але, так як при однофакторних експериментах важко визначити оптимальні значення даних показників, то ми проводили багатофакторний експеримент по методу центрально-композиційного ортогонального плану.

За параметр оптимізації, який характеризував якість роботи експериментальної установки, був прийнятий показник кришення ґрунту $K_{\text{к}}$. Кількість замірів для забезпечення заданої надійності дослідів визначали по таблиці В.І. Романовського.

На основі проведених досліджень нами було встановлено оптимальні конструктивні параметри котка, де діаметр котка $d_{\text{к}}=0,25$ м, кількість синусоїдних прутків становить $n=12$ шт, кут нахилу прутків становить $Y=30^{\circ}$.

Вплив глибини передпосівного обробітку ґрунту і глибини заробки на польову схожість насіння та параметри розподілу рослин цукрових буряків приведено в табл.3.

Таблиця 3 – Вплив глибини передпосівного обробітку ґрунту і глибини заробки на польову схожість насіння та параметри розподілу рослин цукрових буряків в рядках

Показники	Глибина передпосівного обробітку ґрунту, см				
	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
Глибина загортання насіння, см	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Середня польова схожість насіння, %	76,4	74,8	68,2	56,9	48,7
Густота рослин на початок збирання, тис/га	204,4	200,0	177,8	140,0	113,3
S_p , см	10,9	11,1	12,5	15,9	19,6
n , шт /м	9,2	9,0	8,0	6,3	5,1
V_{sp} , %	65,4	61,2	56,7	52,8	50,4
Площа живлення, см ²	490,5	499,5	562,5	715,5	882,0
Маса коренеплоду, P_k , г	195	205	245	321	376
Урожайність, т/га	39,9	41,0	43,6	44,9	42,6

Дані таблиці 3 показують, що глибина передпосівного обробітку ґрунту значно впливає на схожість насіння цукрових буряків. Так, найбільша польова схожість насіння була 76,4% при глибині обробітку ґрунту 3 см, а найменша – 48,7 % при глибині обробітку 7 см, глибина заробки насіння становила відповідно 2 та 3 см.

Висновки: На основі результатів отриманих при проведенні лабораторних і польових досліджень можна зробити такі висновки:

1. Встановлено оптимальні умови для проростання насіння цукрових буряків (вологість ґрунту близько 20 %, твердість ґрунту 1,0...1,2 гр/см², наявність в шарі заробки насіння фракцій ґрунту розміром 0,25...10 мм не менше 85 %);

2. Досліджено вплив режимів роботи експериментальної установки (діаметр котка d , кількості прутків n , кута нахилу прутків Y_n , поступальної швидкості V_n , глибини обробітку h та глибини заробки насіння h) на якість кришення ґрунту та польову схожість насіння цукрових буряків;

3. У результаті аналізу лабораторних досліджень встановлено оптимальні значення параметрів котка (діаметр котка $d=0,25$ м, кількість прутків $n=12$ шт, кут нахилу прутків $Y_n = 30^\circ$).

6. За результатами агротехнічної оцінки роботи експериментального комбінованого агрегату для передпосівного обробітку ґрунту та сівби насіння цукрових буряків порівняно із традиційними агрегатами вдалося досягти наступних результатів:

- покращення обробітку ґрунту в зоні заробки насіння, про що свідчить збільшення польової схожості насіння цукрових буряків та поява більш дружніх сходів;
- зменшення норми висіву насіння у зв'язку із підвищенням його польової схожості ;
- підвищення врожайності коренеплодів цукрових буряків на 10...15 %;
- зменшення експлуатаційних витрат на виконання передпосівного обробітку ґрунту та сівби насіння цукрових буряків.

Список літератури

1. Желиговский, В.А. Элементы теории почвообрабатывающих машин и механической технологии сельскохозяйственных материалов [Текст] / В.А. Желиговский. – Тбилиси: Изд-во Груз.с.-х. института, 1960. – 364 с.
2. Качинский, Н.А. Структура почв [Текст] / Н.А. Качинский. – М.: МГУ, 1963. – 100 с.
3. Севернев, М.М. и др. Совершенствование процессов и средств механизации для обработки почвы и посева. – Минск.: ЦНИИМЭСХ, 1983. – 181с.
4. Хайлис, Г.А. Расчет рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] : Учеб. пос. / Г.А. Хайлис. – К.: УМК ВО, 1990. – 83с.
5. Чайчиц, Н. В. Теоретический анализ воздействия на почву прутковых роторов как крошащих и выравнивающих приспособлений к плугам и культиваторам // повышение качества обработки почвы и посева сельскохозяйственных культур комбинированными машинами: Собр.науч. Трудов. – Горки.: ВСХА.

Sergiy Poustovit, PhD tech. sci., Volodymyr Katkov, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr National Agroecological University, Zhytomyr, Ukraine

Influence of Machines on Quality of Missing and Equilibriumity of Ground Milling Ports

The quality of work of combined aggregates on pre-planting of soil is studied.

The results of research of aggregates for pre-sowing tillage and sugar beet sowing are presented. The results of researches on quality of loosening and uniformity of depth of cultivation of a ground are resulted. Qualitative indices of work with pneumatic type seeders STV-12, "Multikorn", and seeders of type CCT-12B with mechanical seeding machine are investigated.

According to the results of agrotechnical evaluation of the experimental combined aggregate for pre-planting of soil and seeding of sugar beet seeds in comparison with traditional aggregates, the following results were achieved:

- Improvement of soil cultivation in the zone of earning seeds, as evidenced by an increase in field similarity of sugar beet seeds and the emergence of more friendly stairs;
- reduction of the seed seed rate in connection with the increase of its field similarity;
- Increasing the yield of sugar beet root crops by 10 ... 15%;
- reduction of operating costs for pre-planting of soil and seeding of sugar beet.

research, combined aggregate, field research

Одержано 07.11.17

УДК 631.372

С.П. Погорілий, канд. техн. наук, ст.наук.співр.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства, смт Глеваха, Україна

E-mail: pogorilyy_sergiy@ukr.net

Результати експериментальних досліджень МЕЗ-330 «Автотрактор» з плугом ПНН-5-40

У роботі наведені результати досліджень роботи орного агрегату в складі МЕЗ-330 «Автотрактор» та плуга ПНН-5-40. Наведено методику проведення експериментальних досліджень, вимірювальне обладнання для реєстрації даних та фізико-механічні характеристики фону, на якому проводилися випробування. За результатами випробувань орного агрегату отримано взаємозв'язок між параметрами, зокрема, швидкістю руху, витратою палива та продуктивністю агрегату.
мобільний енергетичний засіб, автотрактор, орний агрегат, коефіцієнт буксування

С.П. Погорельый, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», пгт Глеваха, Украина

Результаты экспериментальных исследований МЭС-330 «Автотрактор» с плугом ПНН-5-40

В работе приведены результаты исследований работы пахотного агрегата в составе МЭС-330 «Автотрактор» и плуга ПНН-5-40. Приведена методика проведения экспериментальных исследований, измерительное оборудование для регистрации данных и физико-механические характеристики фона, на котором проводились испытания. По результатам испытаний пахотного агрегата получено взаимосвязь между параметрами, в частности, скоростью движения, расходом топлива и производительностью агрегата.
мобильный энергетическое средство, автотракторной, пахотный агрегат, коэффициент буксования

Постановка проблеми. Використання мобільних енергетичних засобів створених на базі автомобільних шасі підвищеної прохідності дає можливість зменшити витрати на придбання технічних засобів, підвищити їх річне завантаження тощо [1].

З огляду на це автомобілебудівні підприємства, які виробляють вантажні автомобілі створюють модифікацію автомобіля для сільськогосподарського виробництва [2-8]. У зазначених джерелах розглядають автомобіль переважно на внесенні технологічних матеріалів. Ці технологічні операції не потребують високих тягових показників. Використанню ж їх на технологічних операціях з основного обробітку ґрунту мало приділено уваги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Автомобілебудівні підприємства, зокрема, Mercedes, MAN, Tatra, КамАЗ, Урал, МАЗ, фірма Joskin [2-8] створюють автомобільні шасі, які можуть використовуватися в агропромисловому виробництві.

За результатами спільної роботи ПрАТ «АвтоКрАЗ» та ННЦ «ІМЕСГ» було створено мобільне енергетичне засіб МЕЗ-330 «Автотрактор» (рис. 1).



Рисунок 1 – Мобільний енергетичний засіб МЕЗ-330 «Автотрактор»

Технічні характеристики МЕЗ-330 «Автотрактор» наведено в праці [9]. Особливістю МЕЗ-330 є те, що він обладнаний централізованою системою контролю тиску в шинах коліс, що дозволяє знижувати тиск під час виконання сільськогосподарських операцій в полі (0,08-0,15 МПа) та збільшувати його до рекомендованих значень на транспортних переїздах (0,35-0,5 МПа), а також регулювати його в процесі виконання технологічної операції по мірі зменшення маси технологічного матеріалу.

З огляду на вищезазначене досліджень МЕЗ-330 «Автотрактор» на виконанні тягових технологічних операціях є актуальними.

Постановка завдання. Визначити основні експлуатаційні показники орного агрегату на базі МЕЗ-330 «Автотрактор» та плуга ПНН-5-40.

Виклад основного матеріалу. Для проведення експериментальних досліджень було сформовано орний агрегат в складі МЕЗ-330 та 5-ти корпусного плуга ПНН-5-40 (рис. 2).



Рисунок 2 – Орний агрегат МЕЗ-330 + плуг ПНН-5-40

Для визначення експлуатаційних показників агрегату, МЕЗ-330 оснащувався вимірювальним обладнанням, зокрема, паливоміром ПП-179, шляховимірювальним колесом, датчиками обертів колінчастого валу двигуна і коліс, блоком реєстрації даних.

Умови проведення досліджень були такі: фон - стерня пшениці озимої; вологість повітря становила – 52 %; твердість і вологість ґрунту в шарах 0 - 10 см становила 2,5 МПа і 13 %; 10 - 20 см становила 2,3 МПа і 14 %; 20 - 30 см становила 1,9 МПа і 15 %; довжина залікової ділянки - 100 м.

Випробування проводилися за такою методикою: МЕЗ-330 з плугом заїжджав на полі, двигун прогрівався так, що температура охолоджуючої рідини досягала 70 ° С; потім виїжджав на розгінну ділянку (довжиною 50 м) і опускав плуг в робоче положення, а набравши постійну швидкість проїжджав залікову ділянку. При цьому фіксувалися: обороти колінчастого валу двигуна, обороти коліс, час проїзду залікової ділянки та витрата палива. У процесі досліджень змінювалась швидкість руху агрегату (передаточне число коробки передач). МЕЗ-330 рухався в борозні. Умови і методика випробувань відповідала вимогам ДСТУ ГОСТ 7057 [10].

Результати дослідження орного агрегату МЕЗ-330 + ПНН-5-40 представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результатами досліджень орного агрегату МЕЗ-330 + ПНН-5-40

№, перед.	Швидкість руху, км/год	Буксування, %	Витрата палива, л/га	Ширина захвату, м	Глибина обробітку, см
1 в	7,45	5,45	17,87	2,1	30
2 н	7,7	4,14	17,46		
2 в	10,8	4,10	16,67		
3 н	11,19	6,74	19,87		

Як видно з табл.1 при збільшенні швидкості руху з 7,45 до 11,19 км/год буксування не перевищувало 7,14 %, це говорить про те, що зчіпної ваги МЕЗ-330 більше ніж потрібно і можна підвищувати швидкість руху. Але для плуга ПНН-5-40 збільшення швидкості руху призведе до неякісної роботи агрегату (неякісне заорювання, збільшення опору плуга, перевитрат пального тощо). Охолоджуюча рідина двигун МЕЗ-330 не перевищувала 80 °С, що підтверджує його недовантаження.

Зазначені вище результати досліджень отримані на дослідній ділянці без урахування розворотів, підйому-опускання плуга і т.п., які властиві реальним умовам експлуатації. З огляду на це були проведені експлуатаційні дослідження згаданого агрегату в реальних умовах. При цьому умови проведення випробувань були такі: фон - стерня пшениці озимої; вологість повітря становила – 51 %; твердість і вологість ґрунту в шарах 0-10 см становила 2,4 МПа і 14 %; 10-20 см становила 2,2 МПа і 13 %; 20-30 см становила 1,8 МПа і 14 %; довжина поля – 540 м.

За результатами експлуатаційних досліджень було встановлено, що за умов забезпечення ширини захвату – 2,1 м, глибини обробітку – 30 см, робоча швидкість становила 7,8 км/год (№ передачі 2н) та 10,8 км/год (№ передачі 2в), буксування коліс не перевищувало 8 %, продуктивність агрегату склала відповідно 1,29 га/год та 1,78 га/год, а витрата палива відповідно – 18,2 л/га та 19,5 л/га. Температура охолоджуючої рідини двигуна МЕЗ-330 не перевищувала 90 °С, що говорить про нормальну його роботи.

Відповідно до отриманих результатів власники такого орного агрегату приймають для себе рішення: чи збільшити швидкість руху і отримати більшу продуктивність агрегату і більшу витрату палива, або меншу швидкість і меншу продуктивність за меншій витраті палива.

За результатами експериментальних досліджень можна зробити висновок, що орний агрегат МЕЗ-330 + ПНН-5-40 за своїми експлуатаційними показниками не поступається орним агрегатам сформованих на базі тракторів.

Висновки. За результатами експериментальних досліджень орного агрегату МЕЗ-330 + ПНН-5-40 встановлено, що за умов забезпечення ширини захвату – 2,1 м, глибини обробітку – 30 см, робоча швидкість становила 7,8 км/год (№ передачі 2н) та 10,8 км/год (№ передачі 2в), буксування коліс не перевищувало 8 %, продуктивність агрегату склала відповідно 1,29 га/год та 1,78 га/год, а витрата палива – 18,2 л/га та 19,5 л/га, що є на рівні орних агрегатів сформованих на базі тракторів.

Список літератури

1. Адамчук, В.В. Економічна ефективність використання мобільних сільськогосподарських агрегатів, сформованих на базі автомобільного шасі [Текст] / В.В. Адамчук, С.П. Погорілий, Р.Б. Кудринський, Н.М. Коньок // Національний науковий центр “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства”, загальнодержавний збірник “Механізація та електрифікація сільського господарства”. – Глеваха, ННЦ “ІМЕСГ”, 2016. – Вип. 4 (103). – С. 186-191.
2. Дзюцендзе, Т.Д. Технологический уклад и транспортное обеспечение сельхозпроизводства некоторых зарубежных стран [Текст] / Т.Д. Дзюцендзе, М.А. Козловская // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2014. – № 1. – С. 44-47.
3. Amag 'mixed-in-place' machines innovations since 1957: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.a-mag.eu>.
4. [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.doskaurala.ru/index.php?id=4268018780>.
5. Автомобильные посевные комплексы «AGRATOR-АВТО»: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pk-agromaster.ru/9800a>.
6. Шкель, А.С. Исследование технологии внесения жидких органических удобрений транспортно-технологическим агрегатом сельскохозяйственного назначения [Текст] / А.С. Шкель, М.А. Козловская, Т.Д. Дзюцендзе // Тракторы и сельхозмашины, 2016. – № 7. – С. 47-50.
7. Адамчук, В.В. Использование автомобильного шасси для выполнения технологических операций в агропромышленном производстве [Текст] / В.В. Адамчук, С.П. Погорілий // Motrol “Commission of motorization and energetics in agriculture”. – Lublin-Rzeszow, Vol. 18, № 8. – 2016. – С. 93 – 98.
8. Машина химизации самоходная МХС-10. Руководство по эксплуатации МХС 00.00.000 РЭ. – Минск.: РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2010. – 51 с.
9. Адамчук, В.В. Мобильные сельскохозяйственные агрегаты на базе автомобильного шасси [Текст] / В.В. Адамчук, С.П. Погорельый // Межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства», ННЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. – Минск, 2016. – Вип. 50. – С. 8 – 13.
10. ДСТУ ГОСТ 7057-2003. Трактори сільськогосподарські. Методи випробування. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 11 с.

Sergiy Pogorily, PhD teh. sci., senior research

National scientific centre “Institute for agricultural engineering and electrification”, Glevaha, Ukraine

Results of Experimental Research MEZ-330 "Autotractor" With Plow PNN-5-40

Determine the main operational parameters of the arable aggregate based on the MEZ-330 "Autotractor" and the plunger PNN-5-40.

The results of researches of work of the arable aggregate in the structure MEZ-330 "Autotractor" and the plunger PNN-5-40 are given in the work. The method of carrying out of experimental researches, measuring equipment for data registration and physical-mechanical characteristics of the background on which the tests were conducted are given. According to the results of tests of the arable aggregate, interconnection was obtained

between the parameters, in particular, the speed of movement, fuel consumption and the productivity of the aggregate.

According to the results of experimental studies of the arable aggregate MEZ-330 + PNN-5-40, it was established that under the conditions of ensuring the width of capture - 2.1 m, the depth of cultivation - 30 cm, working speed was 7,8 km/h (transfer number 2n) and 10,8 km/h (transfer number 2v), the wheel hitch did not exceed 8%, the unit's productivity was 1,29 ha/h and 1,78 ha/h respectively, and the fuel consumption was 18,2 l/ha and 19,5 l/ha, which is at the level of arable aggregates formed on the basis of tractors.

mobile power tool, autotractor, arable aggregate, loading coefficient

Одержано 14.11.17

Зміст

<i>В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків</i> Удосконалення системи транспортного обслуговування підприємств агропромислового виробництва	3
<i>С.М. Анастасенко, І.О. Григурко, В.Л. Будуров</i> Модернізація спеціальної оправки з торцевою фрезою-протяжкою, яка працює за схемою прогресивного фрезерування	10
<i>В.М. Боровський, В.Л. Куликівський, В.К. Палійчук</i> Енергія взаємодії частинок у дискретному середовищі ґрунту	15
<i>В.В. Бредихин, С.А. Харченко</i> К уравнению движения частиц при моделировании процесса сепарации зерновых смесей вибропневматическими сепараторами	21
<i>К.В. Васильковська, Г.А. Кулик, В.І. Носуленко, Н.М. Трикіна</i> Технічне забезпечення програмування врожайності	25
<i>Г.Г. Веселівська, Я.Я. Сірак, В.М. Гвоздецький, Х.Р. Задорожна, В.М. Посувайло, С.І. Маркович</i> Зносостійкість та корозійна тривкість ПЕО шарів на покритті зі сплаву Д16	31
<i>А.В. Войтік, А.А. Головатюк, М.Г. Гнатюк</i> Дослідження складових опору ґрунту при роботі щіткових пристроїв.....	38
<i>Д.Г.Войтюк, С.В.Смолінський</i> Ширина захвату жатки зернозбирального комбайна як параметр проектування	44
<i>Б.М. Гевко, В.М. Клендій, Л.М. Слободян, О.П. Маруніч</i> Дослідження резонансних коливань горизонтального робочого органу гвинтового завантажувача-змішувача	48
<i>Б.М. Гончаренко, О.П. Лобок, М.А. Сич, Л.Г. Віхрова</i> Математичне моделювання процесу біологічного очищення забруднених вод як об'єкта автоматичного керування	57
<i>В.А. Дейкун, В.І. Носуленко, С.В.Боцюн</i> Вплив параметрів туконапрямника на швидкість потоку часток добрив	63
<i>М.І. Денисенко, А.С. Опальчук</i> Перспективи створення спеціалізованої ділянки для відновлення та зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин	69
<i>В.Ю. Дудін, О.І. Чухліб</i> Дослідження фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса	75

О.А. Жученко, М.Г. Хібеба

Постановка задачі керування процесом формування у виробництві вуглецевих виробів 81

М.Л. Заєць

Оптимізація конструкційних параметрів сошника для підгрунтово-розкидної сівби зернових культур 88

В.М. Клендій, В.В. Гупка, М.Д. Радик, Н.М. Марчук, Р.І. Котик

Обґрунтування параметрів запобіжних елементів технологічного оснащення для механічного оброблення 99

Ю.О. Ковальчук, І.О. Лісовий

Особливості застосування поверхневої лазерної обробки деталей сільськогосподарських машин з чавуну 105

І. О. Леженкін

Теоретичний аналіз умов проходження зернівки крізь шар обчісаного вороху зернових 112

А.Ю. Лисих

Механічний процес підготовки сировини для одержання короткого лляного волокна 123

В. В. Лиходід

Аналіз конструкцій вовномийних агрегатів і машин для рідинної обробки вовни 131

М.І. Черновол, М.О. Свірень, В.В. Адамчук, В.М. Булгаков

Наукові та освітняські проблеми сучасної агроінженерії 138

*Oleksij Lobok Boris Goncharenko, Larisa Vihrova*Isolation of the *D*-domain of Stability of Linear Dynamical Systems with Fractional Order Regulators 150*С.А. Лузан, А.И. Сидашенко, А.С. Лузан*Получение и исследование восстановительных покрытий на деталях машин с использованием механокомпозитов, содержащих $TiSiTiB_2$ 159*О.Л. Ляшук, О. С. Голотенко, В.М. Клендій, А.П. Довбиш*

Синтез конвеєрів з розширеними технологічними можливостями 167

Ю.А. Невдаха, В.О. Дубовик, А.Ю. Невдаха, В.В. Пукалов

До визначення швидкості ковзання та зусилля, які діють в зачепленні черв'ячної передачі 177

О.В. Нестеренко, Д.І. Петренко, І.І. Павленко, С.М. Лещенко, С.Я. Гончарова

Аналітичні дослідження контактного руху легких домішок у пневмосепаруючому каналі 185

О. Ф. Сіса, В.В. Пукалов, О.В. Кислюк

Технологія виготовлення зовнішньої бічної поверхні катків гранулятора 192

М.В. Святецький, В.Я. Ошовський, І.А. Капура, В.Л. Будуров

Теплообмін і тертя турбулентного потоку газу в трубі при малих числах Рейнольдса 198

І.А. Швець

Методика проектування безударних кулачків чотиритактних швидкохідних поршневих двигунів 204

А.М. Пугач

Аналіз відомих математичних моделей взаємодії з ґрунтом ріжучого периметрадовільної геометричної форми 209

Г.В. Похмурська, А.А. Войтович, А.Р. Дзюбик

Технологія виготовлення зносостійких листів 215

С. В. Пустовіт, В. І. Котков

Вплив агрегатів на якість розпушування і рівномірність глибини обробітку ґрунту..... 221

С.П. Погорілий

Результати експериментальних досліджень МЕЗ-330 «Автотрактор» з плугом ПНН-5-40 227

Content

Viktor Aulin, Dmytriy Golub, Andriy Hrinkiv

Improvement of the Transport Service System of Enterprises of Agro-industrial
Production 3

Sergey Anastasenko, Vasiliy Bydyrov, Ivan Grigyrko

Upgrading of the Special Mandrel With a Face Broach Milling Cutter That Operates
According to the Scheme of Advanced Milling 10

Victor Borovskyi, Vladimir Kulykivskyi, Vladimir Paliychuk

The Energy of Interaction of Particles in a Discrete Medium of the Soil 15

Vadym Bredyhyn, Sergey Kharchenko

To the Equation of Motion of Particles While Modelling the Process of Separation
of Grain Mixtures by Vibrating Pneumatic Separators 21

Kateryna Vasytkovska, Galina Kulik, Viktor Nosulenko, Natalia Trykina

Technical Support for Yield Programming 25

*Halyna Veselivska, Yaryna Sirak, Volodymyr Gvozdeckii, Khrystyna Zadorozhna,
Volodymyr Posuvailo, Sergiy Marcovych*

Abrasion Resistance and Corrosion Resistance of PEO Layers on the D16 Coating 31

Andriy Voytik, Anatoliy Golovatyuk, Mikhailo Gnatyuk

Investigation of the Components of Soil Resistance When Working With
Brush Devices 38

Dmytro Voityuk, Stanislav Smolinskyi

Width of Harvester Header as Project Parameter 44

Bogdan Hevko, Volodymyr Klendiy, Lyubomir Slobodian, Alexander Marunych

Research Resonant Oscillations of the Horizontal Working Body of the Screw
Loader-mixer 48

Boris Goncharenko, Oleksiy Lobok, Maryna Sych, Larysa Vihrova

Mathematical Modeling of the Process of Biological Purification of Polluted
Waters as an Object of Automatic Control 57

Viktor Deykun, Ivan Nosulenko, S. Bozun

Influence of Structural Parameters of Fertilizer Delivery Tube is on a Flowrate
Granules of Fertilizers 63

Mykola Denisenko, Andriy Opalzuk

Prospect Create Specialization Section of Restoration of Hardening Tool Element
Agricultural Machine 69

<i>Volodymyr Dudin, Oleksandra Chukhlib</i> Investigations of the Air Distribution Phases of a Rotary Vane Vacuum Pump	75
<i>Olexsiy Zhuchenko, Mykola Khibeba</i> Formation Process in the Production of Carbon Products Control Task Setting	81
<i>Maxim Zaets</i> Parameters Optimization of Combined Valve for Seeds Coulter Sowing Subsoil, Variation Grain Crops	88
<i>Volodymyr Klendii, Vasyl Gupka, Maria Radyk, Nazar Marchuk, Roman Kotyk</i> Justification Parameters Safety Elements of Technological Equipment to the Machining	99
<i>Yuriy Kovalchuk, Ivan Lisoviy</i> Features of the Using the Surface Laser Treatment of Agricultural Machinery Parts From Cast Iron.....	105
<i>Ivan Lezhenkin</i> Theoretical Analysis of Grain Passing Conditions Through a Layer of Combed Heap of Cereals.....	112
<i>Alla Lisikh</i> Mechanicprocess of Preparation of Raw Material for the Receipt of Short Linen Fibre	123
<i>Viktor Lykhodid</i> Analysis of Design of Wool Washing Units and Wool liquid Processing Machines	131
<i>Mykhailo Chernovol, Mykola Sviren, Valery Adamchuk, Vladimir Bulgakov</i> Scientific and Educational Problems of Modern Agro-engineering	138
<i>Oleksij Lobok, Boris Goncharenko, Larisa Vihrova</i> Isolation of the D -domain of Stability of Linear Dynamical Systems with Fractional Order Regulators	150
<i>Sergiy Luzan, Olexandr Sidashenko, A. Luzan</i> Receiving and Researching Reporative Coatings on Machine Parts Using Mechanocomposites Containing TiC and TiB ₂	159
<i>Oleg Lyashuk, Olexander Golotenko, Volodymyr Klendiy, Andriy Dovbish</i> Synthesis of Conveyers With Improved Technological Characteristics	167
<i>Yuriy Nevdaha, Viktor Dubovik, Andriy Nevdaha, Viktor Pukalov</i> To the Determination of the Sliding Speed and the Forces That Act in the Engagement of the Worm Gear.....	177

<i>Oleksandr Nesterenko, Dmytro Petrenko, Ivan Pavlenko, Sergey Leschenko, Svitlana Honcharova</i> Analytical Research the Contact Interaction of Light Impurities in the Pneumatic Separating Channel	185
<i>Oleh Sisa, Viktor Pukalov, Olesya Kislyuk</i> The Technology of Manufacturing the Outer Lateral Surface of the Rollers of Granulators	192
<i>Mykola Svyatetsky, Viktor Oshovsky, Igor Kapura, Vasiliy Budurov</i> Heat Exchange and Friction of a Turbulent Flow of Gas in a Pipe at Small Reynolds Numbers	198
<i>Igor Shvets</i> Method of Designing Shockless Cams of Four-speed High Speed Piston Engines	204
<i>Andrii Puhach</i> Analysis of Known Mathematical Models of Interaction With a Soil Cutting Perimeter of Arbitrary Geometric Form.....	209
<i>Hanna Pokhmurska, Andriy Voytovych, Andriy Dzyubyk</i> Technology of Manufacturing of Wear-resistant Sheets.....	215
<i>Sergiy Poustovit, Volodymyr Katkov</i> Influence of Machines on Quality of Missing and Equilibriumity of Ground Milling Ports.....	221
<i>Sergiy Pogorily</i> Results of Experimental Research MEZ-330 "Autotractor" With Plow PNN-5-40	227

**Конструювання, виробництво та експлуатація
сільськогосподарських машин**

Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник

Заснований у 1971 році

Випуск 47
Частина II

Відповідальний за випуск Д.І. Петренко

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 15.12.2017 Підписано до друку 18.12.2017. Формат 60x84 1/8.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman Умов. друк. арк. 29,75
Обл. вид. арк. 37,7. Наклад 300 прим. Замовлення №0227.