

ISSN 2664-262X

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет

**ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ**

Збірник наукових праць
За загальною редакцією М.І. Черновола
Заснований у 1997 році

**В и п у с к 6(37)
Частина I**

Кропивницький • 2022

ISSN 2664-262X

Ministry of Education and Science of Ukraine
Central Ukrainian National Technical University

**CENTRAL UKRAINIAN SCIENTIFIC BULLETIN.
TECHNICAL SCIENCES**

Collected Works
Under the general editorship of M. Chernovol
Founded in 1997

**Issue 6(37)
Part I**

Kropyvnytskyi • 2022

У науковому віснику представлені статті, присвячені проблемам проектування, експлуатації та ремонту сільськогосподарської техніки і транспортних засобів, технології виробництва, транспортних технологій та логістики, будівництва, матеріалознавства, ІТ-технологій, роботизації, автоматизації в промисловості та сільському господарстві. Наведені практичні рекомендації до використання результатів досліджень у галузях народного господарства.

Науковий вісник є фаховим виданням, в якому публікуються основні результати наукових досліджень професорсько-викладацького складу, аспірантів, докторантів університету, а також науковців інших навчальних закладів, науково-дослідних інститутів НАНУ та промислових підприємств України.

Збірник розрахований на наукових, науково-технічних працівників різних галузей науки та техніки, ЗВО, здобувачів вчених ступенів і звань.

Рекомендовано до друку Вченою радою Центральноукраїнського національного технічного університету, протокол від 26 вересня 2022 року № 1.

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

Редакційна колегія: Аулін В.В., д-р техн. наук, проф., (заступник головного редактора за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Кузик О.В., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 13 «Механічна інженерія», 19 «Архітектура та будівництво», 20 «Аграрні науки та продовольство», 27 «Транспорт»); Осадчий С.І., д-р техн. наук, проф. (заступник головного редактора за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Березюк І.А., канд. техн. наук, доц. (відповідальний секретар за галузями: 12 «Інформаційні технології», 15 «Автоматизація та приладобудування»); Боков В.М., канд. техн. наук, доц.; Варума Аріфа, Dr PhD (Niger); Васильковський О.М., канд. техн. наук, проф.; Віхрова Л.Г., канд. техн. наук, проф.; Гамалій В.Ф., д-р ф.-м. наук, проф.; Галкін А.С., д-р техн. наук, проф.; Гасенко А.В., канд. техн. наук, доц.; Голуб Д.В., канд. техн. наук, доц.; Гриньків А.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.; Дарієнко В.В., канд. техн. наук, доц.; Зоценко М.Л., д-р техн. наук, проф.; Івашук В.В., д-р техн. наук, доц.; Карпушин С.О., канд. техн. наук, доц.; Кириченко А.М., д-р техн. наук, проф.; Клименко В.В., д-р техн. наук, проф.; Коваленко О.В., д-р техн. наук, доц.; Кондратець В.О., д-р техн. наук, проф.; Лисенко С.В., канд. техн. наук, доц.; Матейчик В.П., д-р техн. наук, проф.; Мацуї А.М. канд. техн. наук, доц.; Мелешко Є.В., д-р техн. наук, проф.; Немировський Я.Б., д-р техн. наук; Павленко І.І., д-р техн. наук, проф.; Пашинський В.А. д-р техн. наук, проф.; Пашинський М.В., канд. техн. наук; Россолов О.В., д-р техн. наук, доц.; Сало В. М., д-р техн. наук, проф.; Смірнов О.А., д-р техн. наук, проф.; Смірнов С.А., канд. техн. наук; Солових Є.К., д-р техн. наук, проф.; Сторчак М.Г., д-р техн. наук, ст. наук. співр. (Німеччина); Тарандушка Л.А., д-р техн. наук, доц.; Філімоніхін Г.Б., д-р техн. наук, проф.; Шепеленко І.В., д-р техн. наук, доц.; Яцун В.В., канд. техн. наук, доц.

Адреса редакційної колегії: 25030, м. Кропивницький, проспект Університетський, 8,
Центральноукраїнський національний технічний університет, тел.: +380 (522)
390-472, +380 (522) 390-437, +380 (522) 55-10-49.

Офіційний сайт: <http://mapiea.kntu.kr.ua/>

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.

Науковий вісник заснований у 1997 році.

Включений до Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (доктора філософії) в галузі технічних наук (постанови Президії ВАК України від 9 червня 1999 року №1-05/7, від 14 жовтня 2009 року № 1-05/4; накази Міністерства освіти і науки України від 29 грудня 2014 року № 1528, від 07 листопада 2018 року № 1218, від 02 липня 2020 року № 886, від 24 вересня 2020 року № 1188).

Науковий вісник зберігається в загальнодержавній реферативній базі даних «*Україніка наукова*» Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського та представлений у міжнародних наукометричних базах даних *Index Copernicus*, *CrossRef*, *Open Ukrainian Citation Index*, *WorldCat*, *ResearchBib*, *Google Scholar*

Реєстраційне свідоцтво: серія KB № 23513-13353 ПР від 13.07.2018 р.

ISSN 2664-262X (p), 2707-9449 (o)

DOI: 10.32515/2664-262X

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.3-8](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.3-8)**А.В. Рутковський**, ст. наук.співр., канд. техн. наук*Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренко НАН України, м. Київ, Україна**e-mail: coating@ipp.kiev.ua***С.І. Маркович**, доц., канд. техн. наук, **С.С. Михайлюта**, асп.*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: marko60@ukr.net, sergejmihajluta2@gmail.com*

Дослідження напружено-деформованого стану іонноазотованих зразків із покриттям в умовах ізотермічної та термоциклічної повзучості методом кінцево-елементного аналізу

В роботі на основі методу кінцево-елементного аналізу здійснено дослідження напружено - деформованого стану зразка з алюмінієвого сплаву з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами в умовах ізотермічного та термоциклічного навантаження. Проведено оцінку напружено - деформованого стану алюмінієвого зразка, як без зміцнення, так із теплозахисним дифузійним іонноазотованим поверхневим шаром від одночасного впливу навантаження та температури, а саме в умовах термоциклічної повзучості. Порівняна оцінка напружено-деформованого стану 1/8 зразка з алюмінієвого сплаву AL21 та із зміцненням поверхневим шаром здійснювалася з використанням програмного пакета NASTRAN. Встановлено, що значна частина еквівалентних напружень сприймається зміцненням поверхневим шаром при збереженні несучої здатності основи. Цим підтверджується підвищення опору композиції “основа-покриття” як ізотермічній так і термоциклічній повзучості. Крім того, за допомогою методу кінцево-елементного аналізу можна передбачити роботу деталей циліндропоршнєвої групи, а саме час і місце виникнення тріщини при зміні навантаження та температури

напружено-деформований стан, метод кінцево-елементного аналізу, основа, покриття, ізотермічна та термоциклічна повзучість

Постановка проблеми. Одним з прогресивних методів підвищення теплової стійкості поршнів двигунів внутрішнього згорання є іонне азотування (іонно-плазмове азотування) [1]. Разом з тим дослідження напружено - деформованого стану зразка з алюмінієвого сплаву з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами в умовах термоциклічного навантаження (одночасної дії навантаження та температури) є актуальною задачею. При цьому застосування методу кінцево-елементного аналізу надає можливість передбачити роботу деталей циліндропоршнєвої групи, а саме час і місце виникнення тріщини при зміні навантаження та температури [2,3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Метод кінцевих елементів є потужним чисельним методом вирішення найрізноманітніших інженерних задач та має вирішальне місце в прогнозуванні працездатності конструктивних елементів при дії експлуатаційних факторів [4].

В залежності від виду розрахунку, складності задачі та направленості того, чи іншого програмного забезпечення для конкретного розрахунку дослідниками

використовується програмний продукт NASTRAN, який має спільну розрахункову базу на основі методу кінцевих елементів і є однією з програм кінцево-елементного аналізу. Ці програми обумовлені використанням їх для розрахунку складних задач механіки деформованого твердого тіла, задач теплопровідності, теорії коливань та інших специфічних розрахунків таких як розрахунок елементів конструкції на міцність, або оптимізація конструкції за граничними напруженнями та поперечним перетином деталі. При цьому є можливість моделювати практично всі типи матеріалів, включаючи композитні. Оскільки поршні автотракторних двигунів внутрішнього згорання працюють у важких температурних режимах і складних статичних і динамічних умовах навантаження, та мають складні геометричні форми, то для розрахунку напружено-деформованого стану доцільно використовувати програмний комплекс – MSC NASTRAN for WINDOWS [5, 6].

Постановка завдання. На основі методу кінцево-елементного аналізу здійснити дослідження напружено-деформованого стану зразка з алюмінієвого сплаву з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами в умовах термоциклічного навантаження.

Виклад основного матеріалу. При розрахунку напружено-деформованого стану враховувалися особливості їх геометричних параметрів, властивості конструктивного матеріалу, вид розрахунку (статичний, тепловий, та ін.), та умови силового й температурного навантаження, що діють на них. Розрахунок у роботі проводили з використанням реальних експериментальних зразків.

Методика розрахунку напружено-деформованого стану композиції “основа - покриття” з врахуванням експлуатаційних та технологічних факторів складається з декількох етапів: розв’язування задачі нестационарної теплопровідності для визначення залишкових напружень, які є результатом нанесення покриття; визначення напружень від силового та температурного навантаження; отримання напружено-деформованого стану методом суперпозиції.

З використанням методу кінцево-елементного аналізу проведено оцінку напружено-деформованого стану алюмінієвого зразка, як без зміцнення, так із теплозахисним дифузійним іонноазотованим поверхневим шаром від одночасного впливу навантаження та температури, а саме в умовах термоциклічної повзучості. Для більш точного визначення еквівалентних напружень проведення розрахунків проводилася на 1/8 частині зразка (рис. 1). Порівняна оцінка напружено-деформованого стану 1/8 зразка з алюмінієвого сплаву AL21 та із зміцненим поверхневим шаром здійснювалася з використанням програмного пакета NASTRAN.

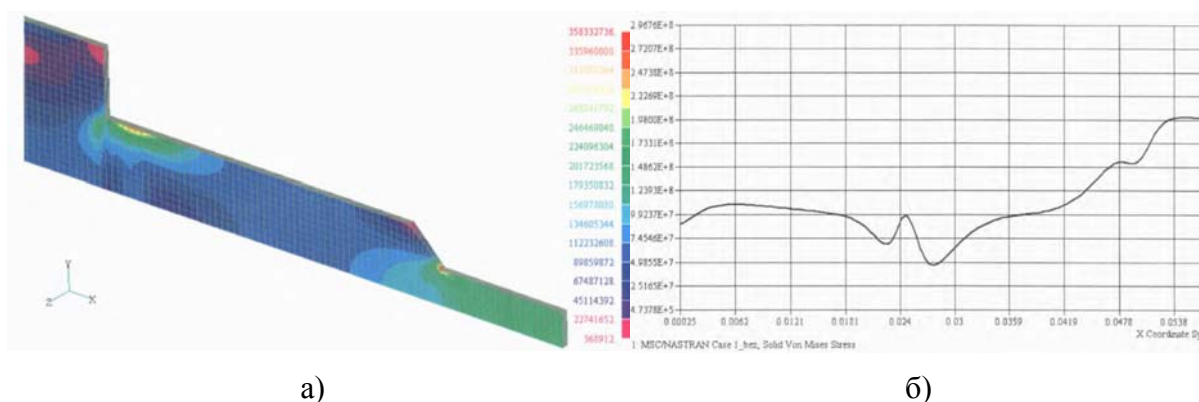


Рисунок 1 – Поля а) та зміна б) еквівалентних напружень в моделі 1/8 зразка без зміцнення в умовах термоциклічного навантаження, Па

Джерело: розроблено авторами

В якості початкових даних застосовувалися фізико-механічні властивості алюмінієвого сплаву АД21 й зміцненого поверхневого шару, основу якого складає AlN [7, 8]: густина матеріалу - $\rho = 3,26 \text{ г/см}^3$; коефіцієнт лінійного розширення - $\alpha_l = 5 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$; коефіцієнт теплопровідності - $\lambda = 90 \text{ Вт/(м К)}$; питома теплоємність - $c = 850 \text{ Дж/(кг К)}$; модуль Юнга - $E = 3 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; модуль зсуву - $G = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ Па}$; коефіцієнт Пуассона - $\mu = 0,2$.

Модель напружено-деформованого стану 18 зразка з алюмінієвого сплаву АД21 без зміцнення розбито на кінцеві елементи з полями переміщень у напрямку дії сили, яка прикладена до верхньої частини зразка, при одночасному впливі температури. Модель складається із 12691 вузла та має 10020 елементів. На рисунку 1 представлено поля еквівалентних напружень в цій моделі в умовах термоциклічного навантаження.

В результаті аналізу отриманої моделі та значення напружень по довжині 1/8 зразка спостерігаємо (рис. 2), що максимальні еквівалентні напруження діють в середині робочої ділянки зразка по всій площі поперечного перетину. Це зумовлено значним впливом термічних напружень, так як ця частина зразка підлягає значному впливу температури. Стрибкоподібний характер кривої пояснюється збільшенням напруження в місцях можливого виникнення тріщин. Руйнування зразка без зміцнення почнеться при напруженні $1,99 \cdot 10^8 \text{ Па}$.

Модель напружено-деформованого стану 1/8 зразка з алюмінієвого сплаву АД21 із дифузійними іонноазотованими шарами розбито на 10020 кінцевих елементів та 12691 вузла, Елементи що знаходяться на поверхні мають змінний модуль пружності по товщині елемента, починаючи від азотованої поверхні до основного матеріалу.

На початку оцінки встановлено розподіл температури по площі зразка протягом часу нагрівання (рис. 2,а), приклад розподілу температури на 4 с нагрівання) та охолодження (рис. 2,б), приклад розподілу температури на 4 с охолодження) в умовах термоциклічної повзучості.

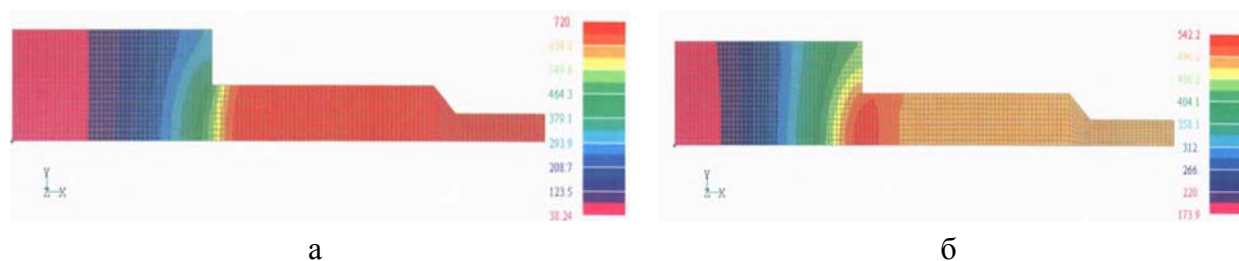


Рисунок 2 – Розподіл температури по площі 18 зразка із зміцненням після 4 с. нагрівання °С а) та охолодження °С б)

Джерело: розроблено авторами

При аналізі моделі зразка після вакуумного азотування у пульсуючому пучку плазми розраховано поля еквівалентних напружень при одночасному впливі навантаження та температури (рис. 3 та рис. 4) в умовах термоциклічної повзучості.

В результаті аналізу отриманої моделі та значень напружень по довжині та поперечному перерізу 1/8 зразка встановлено, що зміцнений поверхневий шар сприймає значні, в порівнянні з основою, еквівалентні напруження від одночасної дії навантаження та температури. Спостерігаємо, що в середній частині зразка (по перетину) значення їх збільшуються від $1,9 \cdot 10^8 \text{ Па}$ в основі, до $10,8 \cdot 10^8 \text{ Па}$ у зміцненому поверхневому шарі. Високі значення еквівалентних напружень у зміцненому шарі, можливо, можна пояснити різним значенням коефіцієнта лінійного розширення алюмінієвого сплаву АД21 та азотованого поверхневого шару.

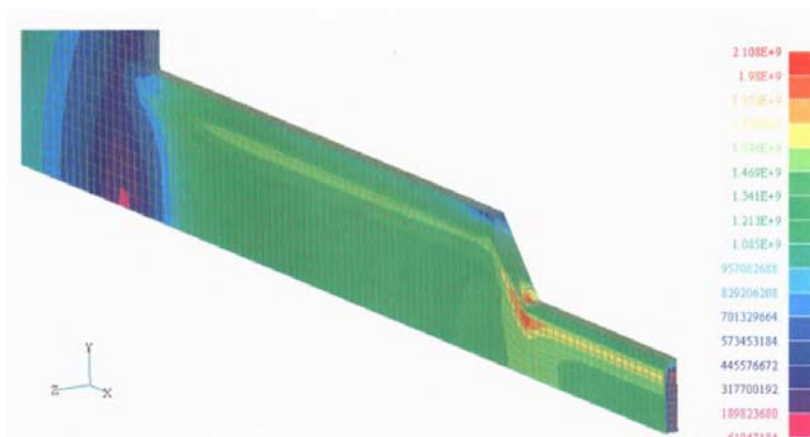


Рисунок 3 – Поля еквівалентних напружень у моделі 1/8 зразка із зміцненням при одночасному впливі навантаження та температури, Па

Джерело: розроблено авторами

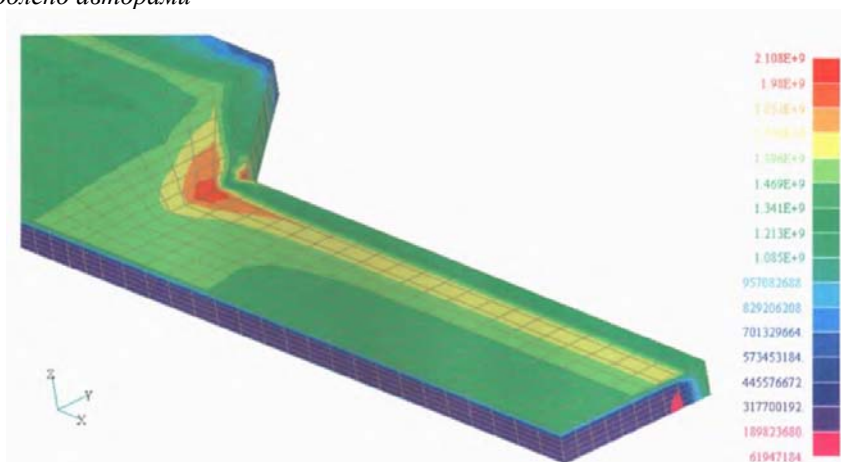


Рисунок 4 – Поля еквівалентних напружень в моделі робочої частини 1/8 зразка із зміцненням в умовах термоциклічної повзучості, Па.

Джерело: розроблено авторами

На рис. 5,а та рису. 5,б представлено характер зміни еквівалентних напружень в основі та у зміцненому поверхневому шарі по всій довжині 1/8 частини зразка.

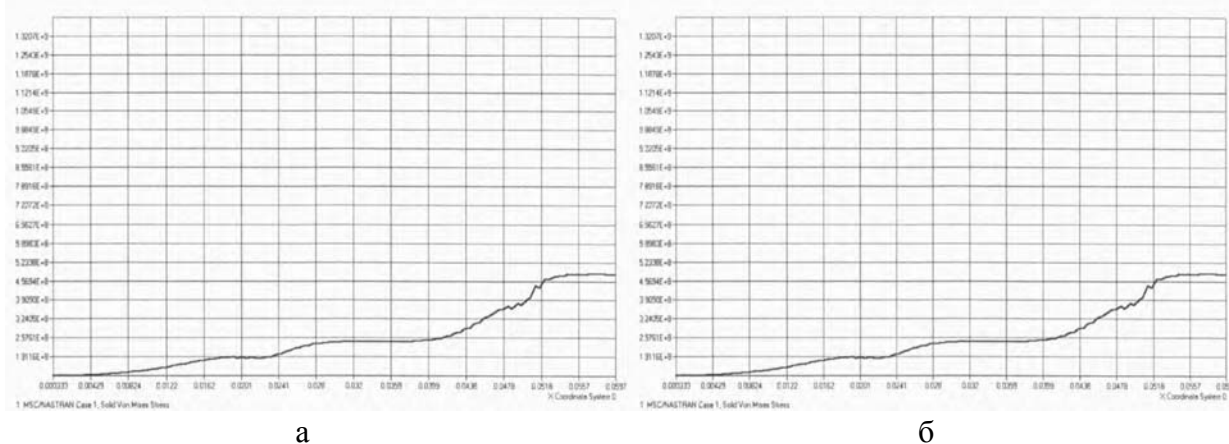


Рисунок 5 – Зміна напружень в основі а) та зміцненого зразка б) по довжині 1/8 зразка при одночасному впливі навантаження та температури

Джерело: розроблено авторами

Спостерігаємо, що в місці виникнення тріщини збільшується величина

еквівалентних напружень у іонноазотованому шарі і при значенні більше $1,09 \cdot 10^9$ Па проходить руйнування зразка в умовах термоциклічного навантаження. Тобто, зміцнений зразок може витримати в 1,5 рази більші еквівалентні напруження ніж без зміцнення.

Висновок. Таким чином, на основі проведеного аналізу напружено-деформованого стану зразка з алюмінієвого сплаву з теплозахисними дифузійними іонноазотованими шарами в умовах термоциклічного навантаження (одночасної дії навантаження та температури) встановлено, що значна частина еквівалентних напружень сприймається зміцненим поверхневим шаром при збереженні несучої здатності основи. Цим підтверджується підвищення опору композиції “основа-покриття” як ізотермічній так і термоциклічній повзучості. Крім того, за допомогою методу кінцево-елементного аналізу можна передбачити роботу деталей циліндропоршньової групи, а саме час і місце виникнення тріщини при зміні навантаження та температури.

Список літератури

1. Ляшенко Б.А., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Розробка технологічного процесу вакуумного азотування поршнів двигунів в пульсуючому пучку плазми . *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. . 2017. Вип. 47, ч. 1. С. 158-166.
2. Рутковський А.В., Маркович С.І., Михайлюта С.С. Теплостійкість іонноазотованих алюмінієвих сплавів при ізотермічному та термоциклічному впливі . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2020. Вип. 3(34). С. 72-81.
3. Мірненко В.І., Рутковський А.В., Зенкін М.А. Автоматизована система контролю та управління дослідженням ізотермічної та термоциклічної повзучості . *Технологические системы*. 2004. №3. С. 69-72.
4. Расчеты машиностроительных конструкций методом конечных элементов / В.И. Мяченков и др. М.: Машиностроение, 1989. 576 с.
5. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC. visualNastran for Windows. М.: ДМК Пресс, 2004. 704 с.
6. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций MSC/NASTRAN for Windows. М.: ДМК Пресс, 2001. 448 с.
7. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 1: Физические процессы плазменно-ионных, ионно-лучевых, плазменных, светолучевых и комбинированных технологий. Х.: АННУ, 2002. 588 с.
8. Костюк Г.И. Физико-технические основы нанесения покрытий, ионной имплантации и ионного легирования, лазерной обработки и упрочнения, комбинированных технологий. Книга 2: Справочник для расчета основных физических и технологических параметров оценки возможностей и выбора типа технологий и оборудования. Х.: АННУ, 2002. 442 с.

Referencis

1. Liashenko, B.A., Markovych, S.I. & Mykhajliuta, S.S. (2017). Rozrobka tekhnolohichnoho protsesu vakuumnoho azotuvannia porshniv dvyhuniv v pul'suiuchomu puchku plazmy [Development of the Technological Process of Vacuum Nitriding of Engine Pistons in the Pulsating Plasma Beam]. *Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil's'kohospodars'kix mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue 47, part 1*, 158-166 [in Ukrainian].
2. Rutkovs'kyj, A.V. Markovych, S.I. & Mykhajliuta, S.S. (2020). Teplostijkist' ionnoazotovanykh aliuminiievych splaviv pry izotermichnomu ta termotsyklichnomu vplyvi [] . *Tsentral'noukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 3(34)*. 72-81 [in Ukrainian].
3. Mirnenko, V.I. Rutkovs'kyj, A.V. & Zenkin, M.A. (2004). Avtomatyzovana systema kontroliu ta upravlinnia doslidzhenniam izotermichnoi ta termotsyklichnoi povzuchosti [Automated system of control and management of research of isothermal and thermocyclic creep]. *Tekhnolohicheskye systemy – Technological systems*, 3, 69-72 [in Ukrainian].

4. Mjachenkov, V.I., Mal'cev, V.P., Majboroda, V.P. et al. (1989). *Raschety mashinostroitel'nyh konstrukcij metodom konechnih zlementov [Calculations of machine-building structures by the finite element method]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Shimkovich, D.G. (2004). *Raschet konstrukcij v MSC. visualNastran for Windows. [Structural analysis in MSC. VisualNastran for Windows.]*. Moscow: DMK Press [in Russian].
6. Shimkovich, D.G. (2001). *Raschet konstrukcij MSC/NASTRAN for Windows. [Calculation of structures. MSC/NASTRAN for Windows.]*. Moscow: DMK Press [in Russian].
7. Kostjuk, G.I. (2002). *Fiziko-tehnicheskie osnovy nanesenija pokrytij, ionnoj implantacii i ionnogo legirovanija, lazernoj obrabotki i uprochnenija, kombinirovannyh tehnologij. Kniga 1: Fizicheskie processy plazmenno-ionnyh, ionno-luchevykh, plazmennyyh, svetoluchevykh i kombinirovannyh tehnologij. [Physical and technical bases of coating, ion implantation and ion doping, laser processing and hardening, combined technologies. Book 1: Physical processes of plasma-ion, ion-beam, plasma, light-beam and combined technologies]. Kh.: ANNU [in Russian]*.
8. Kostjuk, G.I. (2002). *Fiziko-tehnicheskie osnovy nanesenija pokrytij, ionnoj implantacii i ionnogo legirovanija, lazernoj obrabotki i uprochnenija, kombinirovannyh tehnologij. Kniga 2: Spravochnik dlja rascheta osnovnykh fizicheskikh i tehnologicheskikh parametrov ocenki vozmozhnostej i vybora tipa tehnologij i oborudovanija. [Physical and technical bases of coating, ion implantation and ion doping, laser processing and hardening, combined technologies. Book 2: Handbook for calculating the main physical and technological parameters for assessing the possibilities and choosing the type of technologies and equipment]. Kh.: ANNU [in Russian]*.

Anatoly Rutkovskiy, PhD tech. sci., Senior Researcher

National Academy of sciences of Ukraine G.S. Pisarenko institute for problems of strength, Kyiv, Ukraine

Sergiy Markovych, Assos. Prof., PhD tech. sci, **Sergiy Myhajlyta**, post-graduate

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Investigation of the Stress-strain State of Ion-nitrogen-coated Specimens Under Conditions of Isothermal and Thermocyclic Creep by Finite Element Analysis

One of the advanced methods of increasing the thermal stability of the pistons of internal combustion engines is ionic nitriding (ion-plasma nitriding). At the same time, the study of the stress - strain state of a sample of aluminum alloy with heat - protective diffusion ion - nitrided layers under conditions of thermocyclic loading (simultaneous action of load and temperature) is an urgent task. The application of the finite element analysis method makes it possible to predict the operation of the parts of the cylinder-piston group, namely the time and place of the crack when the load and temperature change.

When calculating the stress-strain state, the peculiarities of their geometric parameters, properties of structural material, type of calculation (static, thermal, etc.), and conditions of force and temperature load acting on them were taken into account. The calculation was performed using real experimental samples. The method of calculating the stress-strain state of the composition "base - coating" taking into account operational and technological factors consists of several stages: solving the problem of non-stationary thermal conductivity to determine the residual stresses resulting from coating; determination of stresses from power and temperature load; obtaining the stress-strain state by the method of superposition. Using the finite element analysis method, the stress-strain state of the aluminum sample was evaluated, both without hardening and with a heat-protective diffusion ion-nitrided surface layer from simultaneous exposure to load and temperature, namely under conditions of thermocyclic creep. To more accurately determine the equivalent stresses, the calculations were performed on 1/8 of the sample. Comparative evaluation of the stress-strain state of 1/8 of the sample of aluminum alloy AL21 and with a reinforced surface layer was performed using the software package NASTR.

Thus, based on the analysis of the stress - strain state of the aluminum alloy sample with heat - protective diffusion ion - nitrided layers under thermocyclic loading (simultaneous action of load and temperature) it is established that a significant part of equivalent stresses is perceived by the strengthened surface layer. This confirms the increase in the resistance of the composition "base-coating" of both isothermal and thermocyclic creep. In addition, with the help of the finite element analysis method, it is possible to predict the operation of the parts of the cylinder-piston group, namely the time and place of the crack when the load and temperature change.

stress-strain state, method of finite-element analysis, base, coating, isothermal and thermocyclic creep

Одержано (Received) 16.04.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.04.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 620.17

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.9-15](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.9-15)

О.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук, Д.О. Макаренко, доц., канд. техн. наук,
Є.С. Муранов

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: Derkach_dsau@i.ua, flymakd@gmail.com

Вплив графіту на фізико-механічні характеристики та трибологічні властивості вторинного поліетилену

Встановлено, що введення графіту в кількості 2 мас. %, в структуру вторинного поліетилену, провокує зростання напруження міцності та величини відносного видовження при розриві, на 7,7 % та 19,9 % відповідно. Виявлено, що введення графіту в структуру вторинного поліетилену призводить до підвищення мікротвердості отриманих матеріалів. Встановлено, що вторинний поліетилен, наповнений 2 % мас. графітом, забезпечує працездатність в режимі тертя без мащення за критерієм $PV \leq 0,5$ МПа м/с. **вторинний поліетилен, графіт, фізико-механічні характеристики, трибологічні властивості, величина зносу**

Постановка проблеми. Однією з умов промислового виробництва надійних механізмів та машин є використання високоякісних конструкційних матеріалів. Сьогодні вагомий внесок у підвищенні надійності техніки має використання конструкційних матеріалів неметалевого походження. У 2021 році близько 65 % первинних пластиків Україна імпортувала [1]. У структурі хімічного виробництва України, в 2021 році, виробництво первинних пластиків становило всього 14 %. При цьому, в структурі виробництва продукції основної хімії, обсяги виробництва пластмасових виробів, склали більше 80 % [1]. Сьогодні, промисловість змушена шукати такі матеріали в інших країнах, зокрема країнах ЄС. При цьому, їх вартість значно вища, що в свою чергу, впливає на собівартість готової продукції. Одним із шляхів безперебійного забезпечення промисловості полімерно-композитними матеріалами (ПКМ) є їх рециклінг (повторна переробка і використання). Вторинні пластики, зазвичай, мають гірші фізико-механічні характеристики, у порівнянні з первинними матеріалами. Тому, існує необхідність адаптації їх характеристик шляхом введення в їх структуру модифікаторів. Це дозволить зменшити імпортозалежність та гарантувати економічну безпеку промисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна промисловість випускає значне різноманіття виробів з полімерів або ПКМ, починаючи з предметів побуту, і закінчуючи елементами для авіації [2, 3]. При цьому, термін служби більшості предметів побуту та пакувальних виробів з ПКМ незначний. Найменший термін використання мають пакувальні матеріали та тара з поліетилену: пакети, біг-беги, стрічки, упаковки для харчових та промислових рідин та ін. Відходи пластику відповідно до діючого закону України про обов'язкове сортування побутових відходів, необхідно сортувати та збирати окремо, і відправляти на повторну переробку. Проте, більшість з таких відходів накопичується на звалищах, що може загрожувати екологічною катастрофою. Тому, актуальним завданням сьогодення є повторне використання відходів пластиків, в тому числі з точки зору отримання прибутку [4]. Багато наукових робіт направлені на повторну переробку дорогих конструкційних

ПКМ, зокрема вуглепластиків, що обумовлено саме їх вартістю [5]. При цьому, запропоновані технології отримання вуглецевих волокон, з вторинних ПКМ, засновані або на процесі піролізу, або використанню хімічних реагентів потребують спеціального обладнання та умов роботи. Тому, повторна переробка таких матеріалів має локальний характер. Низька вартість та значні обсяги вторинного поліетилену, в сукупності з простотою технології переробки, створює передумови для його рециклінгу. В роботі [6] виконані дослідження технологічного процесу рециклінгу пластиків. Проте, у вказаній науковій роботі розглянуто відомі технології переробки пластиків. В той час, як дослідженням впливу запропонованих технологій на характеристики та властивості одержаних матеріалів не приділено достатньої уваги. Одним із перспективних напрямків повторного використання пластиків є додавання їх при будівництві доріг [7-8]. Проте, в Україні ця технологія, поки що, не отримала широкого розповсюдження. Повторна переробка пластиків, зазвичай, призводить до зниження фізико-механічних характеристик та трибологічних властивостей одержаного матеріалу. Вирішити цей недолік можна шляхом введенням в структуру матриці матеріалу різноманітних модифікаторів [9, 10]. В роботі [9] запропоновано проводити легування поліетилену металевими матеріалами методом високоенергетичного механічного сплавлення, що дозволяє значно підвищити фізико-механічні характеристики та трибологічні властивості одержаних матеріалів. Дослідженнями в роботі [10] підтверджено ефективність армування поліетилену вуглецевими волокнами. Проте, у випадку з поліетиленом виникає невідповідність собівартості отриманого ПКМ та його сферою застосування.

Таким чином, існує необхідність у вирішенні задач щодо розробки технології переробки вторинного поліетилену, що має низьку собівартість, і забезпечує характеристики та властивості отриманих матеріалів на рівні, або навіть вищі, ніж у вихідного матеріалу. Одним із недорогих та ефективних модифікаторів для полімерів є графіт. Проте, існує необхідність у визначенні впливу його концентрації на характеристики та властивості ПКМ на основі вторинного поліетилену.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у дослідженні впливу графіту на фізико-механічні характеристики та трибологічні властивості вторинного поліетилену. Для цього необхідно виконати дослідження фізико-механічних характеристик та трибологічних властивостей вихідного вторинного поліетилену на ПКМ на його основі.

Обладнання та методики досліджень. Введення графіту в структуру вторинного поліетилену проводили на двокомпонентному екструдері ЕКГ-45. Концентрація наповнювача становила 2 мас. %, 3 мас. % та 4 мас. %.

Визначення фізико-механічних характеристик. Випробовування на міцність за розтягу виконували на випробовувальній машині FP-100/1 за ГОСТ 11262-80, тип зразка відповідав типорозміру 4.

Перед випробуванням на зразки наносили необхідні мітки відповідно до вимог ГОСТ 11262-80. Товщину і ширину зразків вимірювали в трьох місцях, посередині та на відстані 5 мм від виконаних міток. На основі одержаних вимірів обчислювали середні арифметичні величини, за якими визначали початковий поперечний переріз F_0 . Зразки закріплювали у затискачах машини FP-100/1 відповідно до нанесених міток, забезпечуючи розташування затискачів та зразку в одній площині. У випадку руйнування зразків за межами робочої зони – результати не враховують.

Режими випробування:

- шкала навантаження – 1 кН;
- швидкість руху траверси 180 мм / хв;
- швидкість руху діаграмного паперу – 300 мм / хв.

Величина напруження міцності за розтягу визначається за формулою [11]:

$$\sigma_{\max} = P_{\max} / F_0, \quad (1)$$

де $P_{\max}$ – найбільше навантаження при випробуванні, Н;

F_0 – площа початкового поперечного перерізу зразка, мм².

Напруження міцності при розриві визначається за формулою:

$$\sigma_p = P_p / F_0, \quad (2)$$

де P_p – навантаження в момент руйнування зразка, Н;

F_0 – площа початкового поперечного перерізу зразка, мм².

Відносне видовження, у відсотках, при максимальному навантаженні розраховували за формулою:

$$\varepsilon_{\max} = (\Delta l_{\max} / l_0) \cdot 100\%, \quad (3)$$

де $\Delta l_{\max}$ – зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразку, мм.

Відносне видовження при розриві:

$$\varepsilon_p = (\Delta l_p / l_0) \cdot 100\%, \quad (4)$$

де Δl_p – зміна розрахункової довжини зразка в момент досягнення максимального навантаження, мм;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразку, мм.

За результатами 7 випробувань приймали середнє арифметичне значення величин, що визначаються.

Мікротвердість матеріалів досліджували за Шором, шкала D (метод вдавлювання).

Дослідження трибологічних властивостей виконано на машині для дослідження тертя та зношування СМТ-1 за схемою «диск-колодка» та відомою методикою [12]. Режими дослідження наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Режими дослідження трибологічних властивостей матеріалів на основі вторинного поліетилену

Показник	Рівень		
	-1	0	+1
P, МПа	0,5	0,75	1
V, м/с	0,4	0,45	0,5

Джерело: розроблено авторами

Вагову величину зносу зразків визначали на аналітичних терезах METRINCO AB224 (дискретність – 0,0001 г) шляхом зважування до і після випробування.

Визначення температури в околі тертя виконували за допомогою електронного логера Easy Logger USB. Інтервал фіксації значення температури – 1 секунда.

Дослідження поверхонь тертя виконували на мікроскопі МБИ-6 з використання цифрової окулярної камери SIGETA MDC-500 5.0MP та ПК.

Виклад основного матеріалу. Визначення фізико-механічних характеристик. Результати дослідження впливу графіту на характеристики вторинного поліетилену наведені в табл. 2. Встановлено, що введення графіту, концентрацією 2 мас. %, в структуру вторинного поліетилену, призводить до зростання напруження міцності та

відносного видовження при максимальному навантаженні на 3 % та 1,2 %. При цьому, вказані показники при розриві зростають більш суттєво – на 7,7 % та 19,9 % відповідно.

Таблиця 2 – Характеристики вторинного поліетилену, наповненого графітом

Вміст графіту, мас. %	Відносне видовження, %		Напруження міцності, МПа	
	при максимальному навантаженні, $\epsilon_{\max}$	при руйнуванні, ϵ_p	при максимальному навантаженні, $\sigma_{\max}$	при розриві, σ_p
0	18,73	11,7	23,0	297,2
2	18,95	12,6	23,7	356,4
3	18,44	12,0	22,0	268,4
4	18,12	11,4	20,4	174,6

Джерело: розроблено авторами

Збільшення концентрації графіту у структурі вторинного поліетилену до 3 мас. % призводить до зниження всіх досліджуваних характеристик, у порівнянні з ненаповненим матеріалом, окрім відносного видовження при руйнуванні. При введенні в структуру поліетилену графіту у кількості 4 мас. % спостерігається зниження всіх досліджуваних показників.

Отримані результати (рис. 1) свідчать, що введення графіту, в структуру вторинного поліетилену, незалежно від його обсягу, призводить до підвищення мікротвердості одержаних ПКМ.

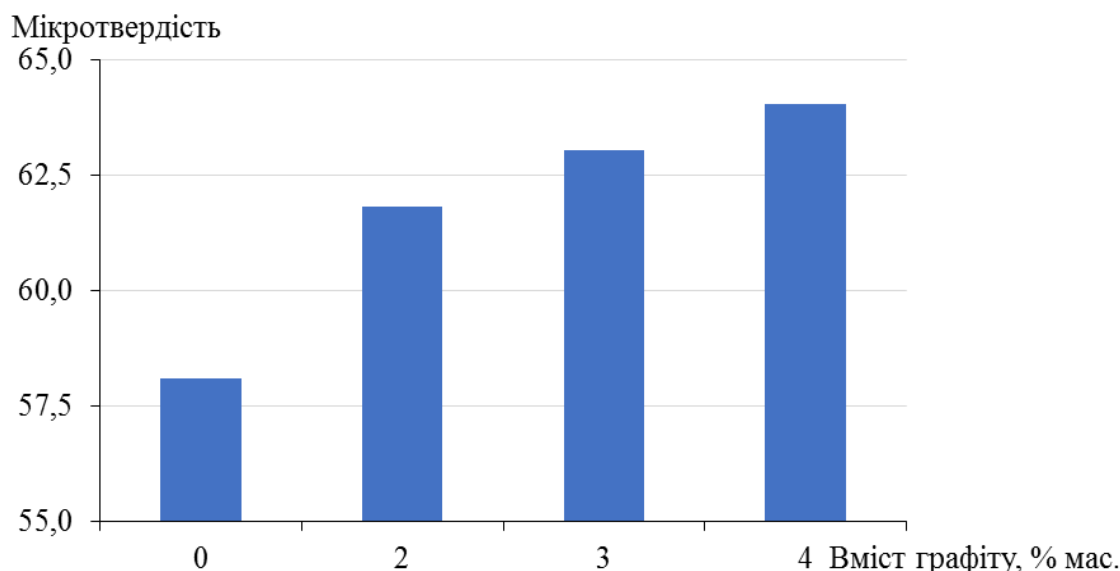


Рисунок 1 – Залежність мікротвердості (за Шором D) від вмісту графіту у вторинному поліетилені

Джерело: розроблено авторами

За умови введення графіту до 2 мас. % спостерігається зростання мікротвердості на 6,4 %, в той час як за концентрації 4 мас. % цей показник зростає на 10,3 %. Проте, з врахуванням отриманих результатів табл. 2, рекомендується ПКМ для подальшого дослідження трибологічних властивостей з концентрацією графіту 2 мас. %. Насамперед, це пов'язано з необхідністю забезпечення міцнісних характеристик ПКМ.

Дослідження трибологічних властивостей. Виявлено, що за обраних режимів тертя (табл. 1), лінійна швидкість ковзання та тиск не мають суттєвого впливу на

величину зносу. Встановлено, що температура в околі тертя, за умови тертя без мащення по сталі 45 та режимів наведених в табл. 1, як ненаповненого вторинного поліетилену, так і ПКМ на його основі, не перевищувала 69 °С. Встановлено, що величина зносу для всіх досліджуваних матеріалів (шлях тертя 3000 м), не перевищувала 0,0002 г, що становить 0,015 % від початкової маси зразків. Перевищення величини тиску чи лінійної швидкості вище вказаних в табл. 1, призводить до підвищення температури в околі тертя до 72...73 °С та катастрофічного зносу зразків (рис. 2).

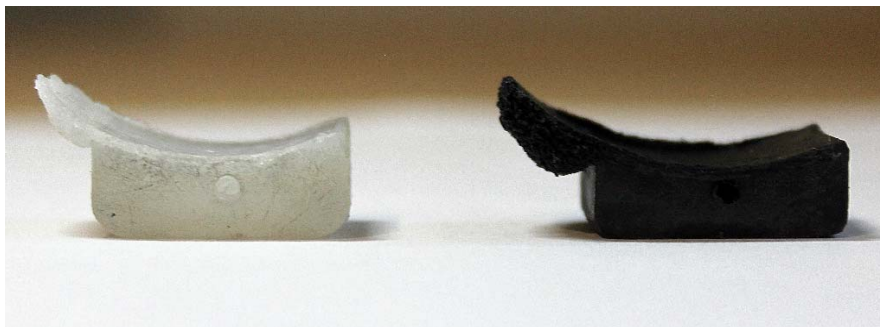
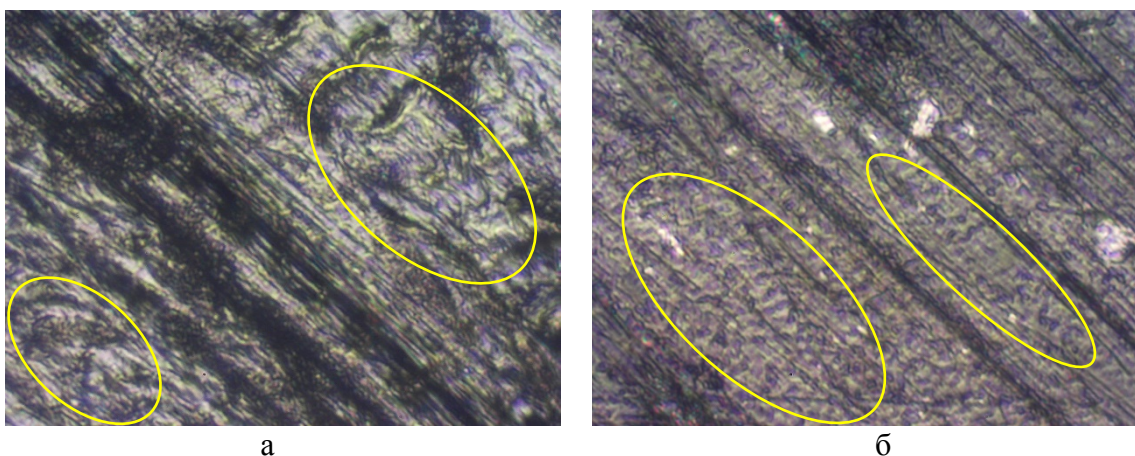


Рисунок 2 – Зразки, що мали катастрофічний знос (при перевищенні температури в зоні тертя 72 °С)
Джерело: розроблено авторами

На поверхнях тертя зразків, за умови досягнення температури в околі тертя 69...70 °С спостерігається утворення локул теплового накопичення, що провокує початок плавлення робочої поверхні зразків (рис. 3).



а – ненаповнений вторинний поліетилен; б – вторинний поліетилен наповнений 2 мас. % графітом

Рисунок 3 – Мікрофото поверхонь зразків після тертя ($\times 120$)

Джерело: розроблено авторами

Тому, особливу увагу, при використанні вторинного поліетилену в рухомих з'єднаннях необхідно приділити саме температурному режиму роботи трибоспряження.

Висновки. Спираючись на отримані результати, можна рекомендувати введення графіту в обсязі 2 мас. %. при переробці вторинного поліетилену. Одержаний ПКМ забезпечує працездатність за критерієм $PV \leq 0,5 \text{ МПа} \cdot \text{м/с}$, за умови не перевищення тиску 1 МПа, лінійної швидкості – 0,5 м/с. Встановлено, що введення графіту дозволяє помірно підвищити фізико-механічні та міцнісні характеристики одержаного матеріалу, у порівнянні з ненаповненим вторинним поліетиленом

Список літератури

1. Ковеня Т.В. Хімічна промисловість та хімічний ринок України у 2021 році: факти, оцінка стану, тенденції, прогноз. Аналітична записка. Черкаський НДІТЕХІМ, 2022. 69 с.
2. Tomasz Lusiak, Andrej Novák, Michal Janovec, Martin Bugaj. Measuring and Testing Composite Materials Used in Aircraft Construction. *Key Engineering Materials*. 2021. Vol. 904. 161-166. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.904.161>
3. Derkach O., Makarenko D., Velyka M., Shapoval O. Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal*. – *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. Year LXIII, Issue 5/2017. Sofia. 2017. p. 185-187.
4. Україна імпортує відходи з інших країн на мільярди: веб-сайт. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/06/18/675131/> (дата звернення: 04.09.2022)
5. Тукачева К. О., Куликова Ю. В., Ильиных Г. В. Апробация различных реагентов для химического извлечения углеродного волокна из полимерных композиционных материалов // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №12. С. 42-50. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/12-72>
6. Рахимов М.А., Рахимова Г.М., Иманов Е.М. Проблемы утилизации полимерных отходов // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 8-2. С. 331-334; URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34554> (дата звернення: 23.08.2020)
7. Galyna Strap, Olena Astakhova, Olexander Lazorko, Oleh Shyshchak and Michael Bratychak. Modified Phenol-Formaldehyde Resins and their Application in Bitumen-Polymeric Mixtures. *Chemistry & Chemical Technology* Vol. 7, No. 3, 2013. <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.279>.
8. Osman Gulseven, Shaimaa Ashkanani, Sarah Abdullah, Hawraa Ismaeil, Haneen Alkandari, Mariam Baroun. A sustainable model for enhancing road quality with recycled plastic bags. *Kuwait Journal of Science*. 2019. 46(4): pp. 112-119
9. Borges J., Mugnaine M., Camilo A., Borges F., Cintho O. Ultra high molecular weight polyethylene doped with iron through high energy mechanical alloying. *Revista Materia*. V.25 N.03. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1091>
10. Pearson A., Liao W., Kazemi Y., Duncan M., Slingerland E. et al. Fiber-matrix adhesion between high-density polyethylene and carbon fiber. *Polymer Testing*. 2022. vol. 105, p. 107423. doi: 10.1016/j.polymertesting.2021.107423
11. Шидловський М.С., Бабенко А.Є., Боронко О.О., Заховайко О.П., Трубочев С.І. Нові матеріали: частина 2 - Експериментальні методи досліджень механічних властивостей конструкційних полімерів та пластмас. [Текст]: Навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 265 с.
12. V. Aulin., O. Derkach., D. Makarenko, A. Hrinkiv, A. Pankov, A. Tykhyi. Analysis of tribological efficiency of movable junctions “polymeric-composite materials – steel. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 4, Issue 12 (100). P. 6-15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>.

References

1. Kovenia T. (2022). Chemical industry and chemical market of Ukraine in 2021: facts, state assessment, trends, forecast [Khimichna promyslovisht ta khimichnyi rynok Ukrainy u 2021 rotsi: fakty, otsinka stanu, tendentsii, prohnz]. Cherkasy: Cherkaskyi NDITEKhIM [in Ukrainian].
2. Tomasz, L., Andrej, N., Michal, J., Martin, B. (2021). Measuring and Testing Composite Materials Used in Aircraft Construction. *Key Engineering Materials*, Vol. 904, 161-166. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.904.161> [in English].
3. Derkach O., Makarenko D., Velyka M., Shapoval O. (2017). Development of high accuracy of the copy soil system *International Scientific Journal*. – *Mechanization in agriculture & Conserving of the resources*. – Year LXIII, Issue 5/2017. – Sofia. – 2017. – P. 185-187 [in English].
4. Ukraina importuie vidkhody z inshykh krain na miliardy: veb-sait. [Ukraine imports billions worth of waste from other countries: website] URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/06/18/675131/> [in Ukrainian].
5. Tukacheva, K.O., Kulykova, Yu.V., & Ylynykh, H.V. (2018). Aprobatsiya razlichnykh reagentov dlya khimicheskogo izvlecheniya uglerodnogo volokna iz polimernykh kompozitsionnykh materialov. [Approbation of various reagents for the chemical extraction of carbon fiber from polymer composite materials]. *Byulleten' nauki i praktiki*, 4, 12, 42-50.
6. Rakhimov, M.A., Rakhimova, G.M., & Imanov, Ye.M. (2014). Problemy utilizatsii polimernykh otkhodov [Problems of recycling polymer waste]. *Fundamental'nyye issledovaniya*. – *Fundamental Research*, 8-2, 331-334. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34554> [in Russian]

7. Strap, G., Astakhova, O., Lazorko, O., Shyshchak O., & Bratychak. M. (2013). Modified Phenol-Formaldehyde Resins and their Application in Bitumen-Polymeric Mixtures. *Chemistry & Chemical Technology*. Vol. 7, 3, <https://doi.org/10.23939/chcht07.03.279> [in English].
8. Gulseven, O., Ashkanani, S., Abdullah, S., Ismaeil, H., Alkandari, H., & Baroun, M. (2019). A sustainable model for enhancing road quality with recycled plastic bags. *Kuwait Journal of Science*, 46(4), 112-119 [in English].
9. Borges, J., Mugnaine, M., Camilo, A., Borges, F., & Cintho, O. (2020). Ultra high molecular weight polyethylene doped with iron through high energy mechanical alloying. *Revista Materia*. V.25 N.03. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1091> [in English].
10. Pearson, A., Liao, W., Kazemi, Y., Duncan, M., Slingerland, E. et al. (2022). Fiber-matrix adhesion between high-density polyethylene and carbon fiber. *Polymer Testing*, vol. 105, 107423. doi: 10.1016/j.polymertesting.2021.107423 [in English].
11. Shydlovskiy, M.S., Babenko, A.Ie., Boronko, O.O., Zakhovaiko, O.P. & Trubachev S.I. (2017). *Novi materialy: chastyna 2 - Eksperymentalni metody doslidzhen mekhanichnykh vlastyvostei konstruktsiinykh polimeriv ta plastmas. [New materials: part 2 - Experimental methods of researching the mechanical properties of structural polymers and plastics]*. K.: KPI im. Ihoria Sikorskoho [in Ukrainian].
12. Aulin, V., Derkach, O., Makarenko, D., Hrynkiv, A., Pankov, A., & Tykhyi, A. (2019). Analysis of tribological efficiency of movable junctions "polymeric composite materials – steel". *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(12 (100), 6–15. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.176845>

Oleksii Derkach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Makarenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yevhen Muranov**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

The Effect of Graphite on the Physical and Mechanical Characteristics and tribological Properties of Secondary Polyethylene

The purpose of the work is to study the influence of graphite on the physical and mechanical characteristics and tribological properties of secondary polyethylene. For this, a study of the physical and mechanical characteristics and tribological properties of the original secondary polyethylene on PCM based on it was carried out.

The influence of the concentration of graphite in secondary polyethylene on the value of strength stress and relative elongation under tension at the maximum load and destruction of the samples was determined. It was established that the optimal concentration of graphite should not exceed 2 wt. %. An increase in the volume of the filler in the matrix leads to a significant decrease in the physical and mechanical characteristics of the obtained materials. It was established that the introduction of graphite into the structure of secondary polyethylene, regardless of its volume, leads to an increase in the microhardness of the obtained PCM. It was found that the temperature in the vicinity of friction, under the condition of friction without lubrication on steel 45 and the selected modes, did not exceed 69 °C. An increase in linear speed above 0.5 m/s or pressure above 1 MPa leads to an increase in the temperature in the friction zone to 72...73 °C, which is critical for polyethylene and leads to catastrophic wear of the samples. It was established that under the selected modes of friction, linear speed of sliding and pressure do not have a significant effect on the amount of wear and tear.

The resulting polymer composite provides performance under the condition that the pressure does not exceed 1 MPa, and the linear speed is up to 0.5 m/s. For use in mechanisms and machines that work in friction conditions according to the criterion $PV \leq 0.5 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$, it is possible to recommend the introduction of 2% by mass. graphite into the structure of secondary polyethylene. The introduction of graphite in the amount of up to 2% by mass. will allow to stabilize and moderately increase the strength characteristics of the obtained material, in comparison with unfilled polyethylene.

secondary polyethylene, graphite, physical and mechanical characteristics, tribological properties, wear

Одержано (Received) 16.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 621.432

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.16-22](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.16-22)**М.М. Студент**, ст. наук. співр., док. техн. наук*Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна**e-mail: student.phmi@gmail.com***С.І. Маркович**, доц., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: markob0@ukr.net;***В.М. Гвоздецький**, ст. наук. співр., канд. техн. наук, **Х.Р.Задорожна**, н. с. співр., канд. техн. наук, **Я.Я. Сірак**, мол. наук. співр., канд. техн. наук, **Т.М. Кравчишин**, мол. наук. співр., канд. техн. наук*Фізико-механічний інститут НАН України, м. Львів, Україна**e-mail: gvosdetcki@gmail.com, 880988@ukr.net, algirdas.280378@gmail.com, tkravchyshyn@gmail.com*

Зносостійкі покриття на алюмінієвих сплавах

Досліджено абразивну зносостійкість алюмінієвого сплаву Д16 з покриттями нанесеними методами: гальванічного хромування, надзвукового газополуменевого напилення (HVOF – High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying process), плазмо-електролітного оксидування, твердого анодування та електродугового напилення покриттів. Показано, що досліджені покриття підвищують абразивну зносостійкість алюмінієвого сплаву Д16 в 20...90 разів за умов випробовувань закріпленим абразивом та в 3...10 разів за умов випробовувань незакріпленим абразивом. Застосування цих методів підвищує зносостійкість деталей із алюмінієвих сплавів до рівня сталевих та дозволяє замінювати сталь і чавун на алюмінієві сплави із покриттями, щоб зменшити вагу деталей та викиди вуглецю в атмосферу.

алюмінієвий сплав, гальванічне хромування, газополуменеве напилення, плазмо-електролітне оксидування, тверде анодування, електродугове напилення

Постановка проблеми. Алюмінієві сплави широко використовуються у промисловості. В останній час їх використовують як заміну сталі для виготовлення шківів, шестерень, колонок гідравлічних ротативних трансмісій грейферів та інш. Це зменшує вагу деталей та зменшує викиди вуглецю в атмосферу. Однак алюмінієві сплави мають малу абразивну зносостійкість, тому їх використання можливе із покриттями на поверхні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед методів нанесення зносостійких покриттів найбільш ефективними технологіями на цей час є гальванічне хромування [1], надзвукове газополуменеве напилення (HVOF – High Velocity Oxygen Fuel Flame Spraying process) [2], плазмо-електролітне оксидування (ПЕО) [3, 4, 5], тверде анодування (Hard Anodic Coatings) [6] та електродугове напилення покриттів (ЕДП) [7, 8, 9].

Постановка завдання. Провести дослідження впливу основних технолог зміцнення на абразивну зносостійкість алюмінієвих сплавів, порівняти результати досліджених покриттів та провести їх ранжування стосовно зносостійкості, корозійної стійкості, а також собівартості та екологічного аспекту.

Виклад основного матеріалу.

Методи досліджень. Досліджували диски із покриттями діаметром 50 mm та товщиною 10 mm., вирізані з прутка алюмінієвого сплаву Д16 (7075) зміцнені досліджуваними покриттями:

Високошвидкісне газополуменеве напилення (*HVOF*) здійснювали на устаткуванні (*Diamond Jet Hybrid gun*), де за паливо слугували пропан – кисень. Дистанція напилювання 175 мм, швидкість часточок порошку (карбід ванадію: ферохрому – 50:50) завбільшки 20...45 μm становила 650 м/с. Попередньо поверхню зразків обдували корундом. Товщина покриття 500 μm .

Електродугові покриття (ЕДП) товщиною 500 μm наносили використовуючи металізатор ФМІ та порошковий дріт ФМІ-2 (Cr6Al6B3Fe-основа). Параметри напилення: напруга дуги – 32 V, струм – 150 А, тиск повітряного струменю – 0,6 МПа, дистанція напилення – 130 мм. Попередньо поверхню зразків обдували корундом.

ПЕО (оксидокерамічні) покриття синтезували на алюмінієвому сплаві Д16Т в електроліті 3 г/л КОН + 2 г/л рідкого скла (натрій силікатного) імпульсним струмом частотою 50 Hz, за співвідношення густин катодного та анодного струмів $J_c/J_a=15/15$ А/дм². Тривалість ПЕО процесу 60 min.

Процес твердого анодування проводили за температури $-4...0^\circ\text{C}$ впродовж 60 min. Базовим електролітом слугував 20%-ий водний розчин H_2SO_4 . В процесі анодування підтримували густину струму 5 А/дм².

Відкриту поруватість покриттів визначали методом гідростатичного зважування. Фазовий склад поверхневих шарів досліджували за допомогою дифрактометра ДРОН-3.0 у Cu-K – випромінюванні з фокусуванням трубки за схемою Бреґґа-Брентано.

Абразивну зносостійкість закріпленим та незакріпленим абразивом визначали на установках згідно з [8].

Знос оцінювали за втратою маси зразків з точністю до $2 \cdot 10^{-4}$ г електронній аналітичній вазі марки KERN ABJ 220 4M. Зносостійкість закріпленим абразивом визначали використовували абразивний диск із електрокорунду середньом'якої твердості СМ-2 на керамічній зв'язці 7K15 діаметром 150 мм та шириною 8 мм. Зернистість електрокорунду становила 250...315 μm (25 А, 25 Н), лінійна швидкість тертя – 100 м/мін, навантаження в зоні лінійного контакту – 1,5 kg. Зносостійкість за незакріпленого абразиву визначали за допомогою установки (рис. 1 б). Навантаження $P = 2,4$ Н, швидкість обертання гумового диска – 25 м/мін., діаметр 48...50 мм, ширина $15 \pm 0,1$ мм, абразив – фракціонований (розмір частинок 200...1000 μm) та просушений пісок.

Результати досліджень. Структура (*HVOF*) покриттів, отриманих за допомогою пальника *Diamond Jet Hybrid gun* (рис. 1а) – це закристалізовані слабдеформовані краплини порошкових сумішей, які формують ламелі з ледь помітними прошарками оксидів між ними.

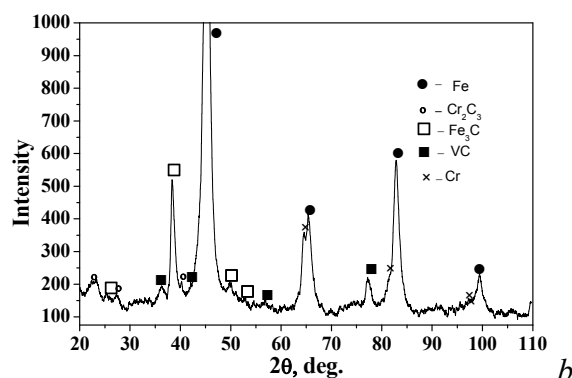
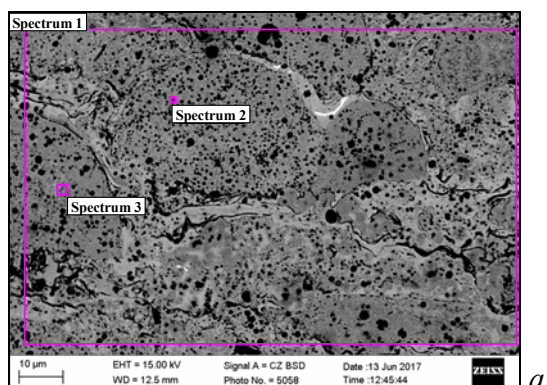


Рисунок 1 – Мікроструктура (а) та фазовий склад (б) *HVOF* покриття FeCr-VC

Джерело: розроблено авторами

Це ознака того, що в момент удару краплин об напилювану поверхню вони не були повністю в розплавленому стані, а лише мали підвищену пластичність, що зумовлено недостатньою температурою полум'я для плавлення всіх частинок порошку такого складу. Між ламелями в покритті спостерігається міцний металургійний зв'язок, спричинений сильною їх здеформованістю. У структурі покриття є карбіди заліза, хрому та ванадію. Мікротвердість покриття HVOF покриття FeCr-VC становить 1000...1100 HV. Поруватість покриттів не перевищує 2%.

ЕДП із порошкового дроту ФМІ-2 мають сильно виражену ламелярну будову, мікротвердість 700 HV. У структурі покриття спостерігаються оксидні фази Fe_2O_3 , Al_2O_3 та поруватість до 5% (рис. 2). Оксидні фази у структурі покриття мають високу твердість та підвищують зносостійкість покриття.

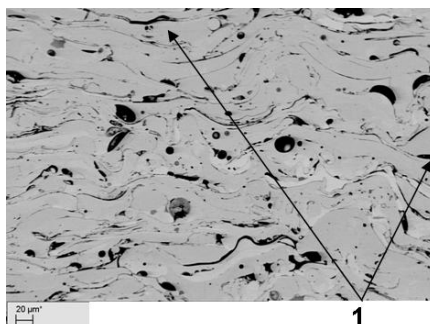


Рисунок 2 – Структура ЕДП із ПД ФМІ-2 (Cr6Al6B3Fe -основа), 1-оксидні включення
Джерело: розроблено авторами

Плазмоелектролітна обробка алюмінієвих сплавів дозволяє формувати на їх поверні зносостійкі шари (ПЕО) на основі корунду (Al_2O_3) із твердістю до 2000 HV та товщиною до 400 μm . Верхня дефектна частина ПЕО шару (рис. 3) має відносно малу мікротвердість (не вище 800 HV), тому має малу зносостійкість. Високу зносостійкість ПЕО шару забезпечує його нижня частина, твердість якої досягає 1900 HV.

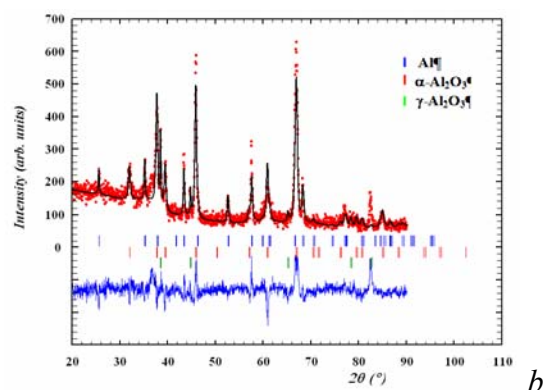
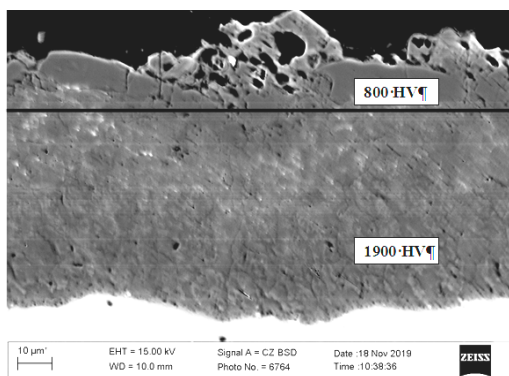


Рисунок 3 – Структура (a) та фазовий склад (b) оксидного шару, синтезованого в електроліті $2\text{KOH} + \text{Na}_2\text{SiO}_3$, співвідношення густин катодного та анодного струмів $J_c/J_a + 15/15 \text{ A/dm}^2$. Тривалість ПЕО процесу 1 година

Джерело: розроблено авторами

Анодований шар формується на поверхні алюмінієвих сплавів у вигляді стовпчиків діаметром не більше 50 μm з сильно гідратованого оксиду алюмінію $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (рис. 4).

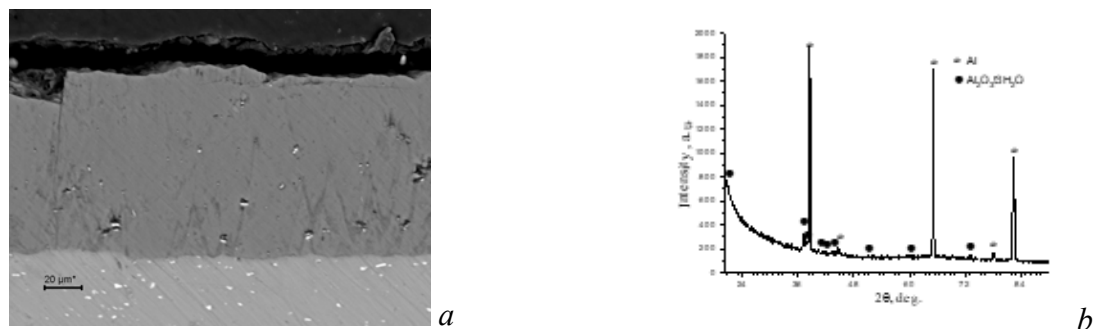


Рисунок 4 – Структура (а) та фазовий аналіз (b) анодованого шару на сплаві АД0 синтезованого впродовж 60 min.

Джерело: розроблено авторами

Кількість молекул в оксидному шарі залежить від режиму синтезу покриття. Мікротвердість анодованого шару не перевищує 500 HV. Після термічної обробки за температури 300⁰C протягом 1 h мікротвердість зростає до 700 HV, а кількість молекул H₂O у гідратованому оксиді Al₂O₃·nH₂O зменшується від 3-х до однієї.

Отримані експериментальні дані зносостійкості сплаву Д16, порівняно з незміцненим, за рівнем зносу за різних умов випробувань, а також енергозатратністю приведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Ранжування способів поверхневого зміцнення алюмінієвого сплаву

Метод напilenня	Жорстко закріплений абразив	Незакріплений абразив	Мікротвердість HV	Відносні енергозатрати	Екологічність процесу
B95 - 1070 (Еталон)	1	1	100	—	—
Сталь 100Cr6 (аналог США 52100) (HRC64)	20	3	800	—	—
Гальванічне хромування	35	5	1000	3	Канцерогенні електроліти
HVOF (VC)	75...85	7...10	1100 мікротвердість карбідів VC-2500	7	Шум 130 дБ Пил металу мікронних розмірів
ПЕО	70-90	8-10	1900	7	Екологічно чисті електроліти
Тверде анодування	20	3	700	2	Екологічно чисті електроліти
Електродугове напilenня	30	5	750 Мікротвердість оксидів 800-2000	1	Шум 120дБ Пил металу мікронних розмірів

Джерело: розроблено авторами

Встановлено, що покриття HVOF (VC) та ПЕО мають у 3...4 рази вищу зносостійкість, ніж високовуглецева гартована сталь 100Cr6, та в 2 рази вищу, ніж

покриття із гальванічного хрому, проте мають високі енергозатрати. Найменші енергозатрати мають два методи: електродугове напилення покриттів та тверде анодування. В той же час зносостійкість таких покриттів є суттєво меншою, ніж покриттів, отриманих методом ПЕО та HVOF (VC). Для відновлення зношених деталей найбільш доцільними є методи HVOF (VC) та електродугове напилення, так як вони дозволяють наносити товсті покриття до 5 mm. Для нових деталей складної конструкції є більш прийнятною технологія зміцнення деталей методом твердого анодування, через те, що у цьому разі можна отримати зносостійке покриття без зміни розмірів деталі та її шорсткості. ПЕО покриття мають високу зносостійкість, проте відносно малу товщину і високу шорсткість, тому потребують фінішну обробку шліфуванням (рис. 5).



а)



б)

Рисунок 6 – Відновлені поверхні поршня (який новим був анодованим) (а) та загальний вигляд (б) ротатора грейфера методом електродугового напиленням із порошкового дроту ФМІ-2

Джерело: розроблено авторами

Але у деяких випадках, особливо у поліграфічній промисловості, навпаки, необхідна контрольована шорсткість, що легко забезпечується різними режимами ПЕО. Метод гальванічного хромування має достатньо високу зносостійкість, дозволяє наносити товсті покриття, легко знімається та повторно наноситься на зношену поверхню, однак наявність канцерогенних електролітів змусили передові країни світу різко зменшити застосування цього методу у виробництві.

Висновки. Встановлено, що досліджені HVOF (VC), ПЕО, ЕДП та твердоанодовані покриття суттєво підвищують абразивну зносостійкість деталей із алюмінієвих сплавів. Методи HVOF (VC) та електродугове напилення можна використовувати для захисту від зношування нових, так і для відновлення зношених деталей. Методи ПЕО та тверде анодування можна використовувати для захисту від зношування лише нових деталей.

Застосування цих методів підвищує зносостійкість деталей із алюмінієвих сплавів до рівня сталевих та дозволяє замінювати сталь і чавун на алюмінієві сплави із покриттями, зменшуючи вагу деталей та викиди вуглецю в атмосферу.

Список літератури

1. Oduoza C.F., Khan E. and Sihra T. Chromium Electroplating of Aluminium Alloys Using Electroless Nickel as Underlayer. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*. 2014. 02(07). P. 59 -74.
2. Student M.M., Pokhmurs'ka H.V., Zadorozhna K.R.. Structure and Wear Resistance of VC-FeCr and VC-FeCrCo Coatings Obtained by Supersonic Flame Spraying // *Materials Science*. 2018. 54(1). P. 22-29.
3. The properties of oxide-ceramic layers with Cu and Ni inclusions synthesizing by PEO method on top of the gas-spraying coatings on aluminium alloys / V. Hutsaylyuk et al. *Vacuum*, May 2020 179:109514
4. Вплив складу електроліту на характеристики синтезованого під час твердого анодування алюмінію оксидного шару / М. М. Студент, В. М. Гвоздецький, Г. Г. Веселівська та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр.* 2021. Вип. 4 (35). С. 63–69.

5. Зносостiйкiсть та корозiйна тривкiсть ПЕО шарiв на покриттi зi сплаву Д16 / Г. Г. Веселiвська, Я. Я. Сiрак, В. М. Гвоздецький та iн. *Конструювання, виробництво та експлуатацiя сiльськогосподарських машин : загальнодерж. мiжвид. наук.-техн. зб.* 2017. Вип. 47, ч. 2. С. 31-37.
6. Improvement of the Functional Characteristics of Coatings Obtained By the Method of Hard Anodizing of Aluminum Alloys / M.M. Student, I.M. Pohrelyuk, H.V. Chumalo, V.M. Hvozdet'skyi. *Materials Science*. 2021. 56(6). P. 820–829.
7. Optimization of the chromium content of powder wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coatings / T.R. Stupnyts'kyi, M.M. Student, H.V. Pokhmurs'ka, V.M. Hvozdet'skyi. *Materials Science*. 2016. 52(2). P. 165–172.
8. Багатофункціональні електродугові покриття : монографія / М. М. Студент, Г. В. Похмурська, В. М. Гвоздецький та iн. Львiв : Простiр-М, 2018. 335 с.
9. Абразивна зносостiйкiсть та трибологiчнi характеристики електрометалiзацiйних композицiйних покриттiв / М.М. Студент, С.І. Маркович, В.М. Гвоздецький та iн. *Фiзико-хiмiчна механiка матерiалiв*. 2022. № 1. С. 90-97.

Referencis

1. Oduoza, C.F., Khan, E. & Sihra, T. (2014). Chromium Electroplating of Aluminium Alloys Using Electroless Nickel as Underlayer. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 02(07), P. 59-74 [in English].
2. Student, M.M., Pokhmurs'ka, H.V. & Zadorozhna, K.R. (2018). Structure and Wear Resistance of VC–FeCr and VC–FeCrCo Coatings Obtained by Supersonic Flame Spraying. *Materials Science*, 54(1), P.22-29 [in English].
3. Hutsaylyuk, V. et.al. (2020). The properties of oxide-ceramic layers with Cu and Ni inclusions synthesizing by PEO method on top of the gas-spraying coatings on aluminium alloys. *Vacuum*, May 2020 179:109514 [in English].
4. Student, M.M., Hvozdet'skyi, V.M., Veseliv'ska, H.H. et al. (2021). Vplyv skladu elektrolitu na kharakterystyky syntezyvanoho pid chas tverdoho anoduvannia aliuminiu oksydnogo sharu [Influence of Electrolyte Composition on the Characteristics of Synthesized During Solid Anodization of Aluminum Oxide Layer]. *Tsentrал'noукраїнський науковий вiсник. Технiчнi науки : зб. наук. пр. – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, Vol. 4 (35), 63–69. [in Ukrainian]
5. Veseliv'ska, H.H., Sirak, Ya.Ya. & Hvozdet'skyi, V.M. et al. (2017). Znosostijkist' ta korozijnna tryvkist' PEO шарiв на покриттi зi сплаву D16 [Abrasion resistance and corrosion resistance of PEO layers on the D16 coating]. *Konstruiuvannja, vyrobnyctvo ta ekspluatacija sil'skohospodars'kyx mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*, Vol. 47, part 2, 31-37 [in Ukrainian].
6. Student, M.M., Pohrelyuk, I.M., Chumalo, H.V. & Hvozdet'skyi V. M. (2021). Improvement of the Functional Characteristics of Coatings Obtained By the Method of Hard Anodizing of Aluminum Alloys. *Materials Science*, 56(6), 820–829 [in English].
7. T.R.Stupnyts'kyi, M.M.Student, H.V.Pokhmurs'ka, V.M.Hvozdet'skyi. (2016). Optimization of the chromium content of powder wires of the Fe–Cr–C and Fe–Cr–B systems according to the corrosion resistance of electric-arc coatings. *Materials Science*, 52(2), 165–172. [in English]
8. Student, M.M., Pokhmurs'ka, H.V., Hvozdet'skyi, V.M. et al. (2018). *Bahatofunktsional'ni elektroduhovi pokryttia [Multifunctional electric arc coatings]*. L'viv : Prostir-M [in Ukrainian].
9. Student, M.M., Markovych, S.I., Hvozdet'skyi, V.M. et al. (2022). Abrazyvna znosostijkist' ta trybologichni kharakterystyky elektrometalizatsijnykh kompozytsijnykh pokryttiv [Abrasive wear resistance and tribological characteristics of electrometallization composite coatings]. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv – Physicochemical Mechanics of Materials*, 1, 90-97 [in Ukrainian].

Mykhajlo Student, DAc, Senior Researcher

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

Sergiy Markovych, Assos. Prof., PhD tech. sci.,

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitskiy, Ukraine

Volodymyr Hvozdet'skii, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Khrystyna Zadorozhna**, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Yaruna Sirak**, PhD tech. sci., Senior Researcher, **Taras Kravchyshyn**, PhD tech. sci., Senior Researcher

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

Wear-resistant Coatings on Aluminum Alloys

Aluminum alloys are widely used in industry. Recently, they are used as a replacement for steel for the manufacture of pulleys, gears, columns of hydraulic rotary transmissions of grabs, etc. This reduces the weight

of the parts and reduces carbon emissions into the atmosphere. However, aluminum alloys have low abrasive wear resistance, so their use is possible with coatings on the surface.

High-speed gas flame spraying (HVOF) was carried out on the equipment (Diamond Jet Hybrid gun). Arc coatings with a thickness of 500 μm were applied using FMI metallizer and FMI-2 powder wire (Cr6Al6B3Fe-base). PEO (oxido ceramic) coatings were synthesized on D16T aluminum alloy in an electrolyte of 3 g/l KOH + 2 g/l liquid glass (sodium silicate) with a pulsed current at a frequency of 50 Hz, with the ratio of the densities of the cathode and anode currents $J_c/J_a=15/15 \text{ A /dm}^2$. The duration of the PEO process is 60 min. The open porosity of the coatings was determined by the method of hydrostatic weighing. The phase composition of the surface layers was studied using a DRON-3.0 diffractometer.

HVOF (VC) and PEO coatings have been found to have 3 to 4 times higher wear resistance than high carbon hardened steel 100Cr6 and 2 times higher than galvanic chromium coatings, but have high energy consumption. Two methods have the lowest energy consumption: electric arc spraying of coatings and hard anodizing. At the same time, the wear resistance of such coatings is significantly lower than that of coatings obtained by the PEO and HVOF (VC) methods. For the restoration of worn parts, the most appropriate methods are HVOF (VC) and electric arc spraying, as they allow applying thick coatings up to 5 mm.

Conclusions: It was established that the studied HVOF (VC), PEO, EDP and hard anodized coatings significantly increase the abrasive wear resistance of aluminum alloy parts. HVOF (VC) and electric arc spraying methods can be used to protect new and worn parts from wear. PEO and hard anodizing methods can be used to protect against wear on new parts only.

The use of these methods increases the wear resistance of parts made of aluminum alloys to the level of steel and allows replacing steel and cast iron with aluminum alloys with coatings, reducing the weight of parts and carbon emissions into the atmosphere.

aluminum alloy, galvanic chrome plating, gas flame spraying, plasma-electrolytic oxidation, hard anodizing, electric arc spraying

Одержано (Received) 15.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 22.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.664

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.23-29](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.23-29)

Ю.В. Кулешков, проф., д-р техн. наук, М.В. Красота, доц., канд. техн. наук,
Т.В. Руденко, доц., канд. техн. наук, Р.А. Осін, доц. канд. техн. наук

Центральнотраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Ю.Б. Євсейчик, доц., канд. фіз.-мат. наук

Національний транспортний університет, м. Київ, Україна

e-mail: kul090455@gmail.com

Особливості утворення радіального зазору в шестеренних насосах гідросистем автотракторної техніки

В статті наведені результати досліджень впливу способу формування радіального зазору шестеренного насоса, що використовується в гідравлічних системах автотракторної техніки, врізанням шестерень в корпус насоса під час обкатування на його технічні характеристики. Розглянуто основні переваги та недоліки даного способу, та встановлено, що існуючий спосіб формування радіального зазору врізанням шестерні в корпус на сьогоднішній день не відповідає вимогам, що висуваються до насосів. Використання способу врізання шестерень негативно позначається на коефіцієнті подачі і довговічності насоса.

В роботі запропоновано спосіб формування радіального зазору, що полягає у отриманні мінімального радіального зазору між шестернями та корпусом за рахунок більш точного виготовлення шестерень по діаметру вершин. Даний метод не передбачає врізання шестерень в корпус насоса, що забезпечує збільшення довговічності насоса в цілому.

шестеренний насос, радіальний зазор, втрати робочої рідини, гідросистема

Постановка проблеми. В гідромашинах об'ємного типу, що застосовуються в гідросистемах автотракторної техніки, завжди при виготовленні і складанні прагнуть забезпечити якомога мінімальні зазори в з'єднаннях деталей. Особливо це актуально при недостатній точності виготовлення деталей.

Втрати робочої рідини через зазори у з'єднаннях деталей об'ємних насосів є одвічною проблемою. Одним з найбільш відповідальних з'єднань деталей, що забезпечують працездатність шестеренного насоса є з'єднання «корпус - шестерні», які утворюють радіальний зазор. В період становлення виробництва шестеренного насоса було винайдено дуже ефективний метод забезпечення мінімального радіального зазору, який остаточно формували на стадії обкатування шестеренного насоса. Цей метод з успіхом компенсував недостатню точність виготовлення деталей насоса. На виробництві тривалий час використовувався спосіб забезпечення мінімального радіального зазору методом врізання зміцнених до твердості HRC 55...58 вершин зубів шестерень в м'який алюмінієвий корпус HB 87...110 в період обкатування насосів. Однак, цей спосіб поряд зі своєю унікальністю має певні недоліки, які приводять до зниження коефіцієнту подачі і довговічності насоса.

З часом вказані недоліки у виготовленні шестеренного насоса було усунено і в реаліях сучасного виробництва усталений погляд на формування радіального зазору необхідно змінювати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Втрати робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса оцінюються дослідниками по – різному.

В роботах Т.М. Башти [1-5] стверджується, що на торцеві втрати робочої рідини припадає 75...80% сумарних втрат в шестеренному насосі.

В роботі Є.М. Юдін [6] вважається, що розподіл обсягу втрат робочої рідини за значимістю відбувається аналогічно Т.М. Башті: торцеві втрати, втрати через радіальні зазори і втрати через нещільність міжзубового контакту.

У роботі [7] Рибкіним Є.А. та Усов А.А. наведено результати експериментального визначення втрат робочої рідини.

В роботі Савунова М.П. [8] найбільш значимими вважає втрати робочої рідини через торцеві і радіальні зазори. При цьому, втрати робочої рідини через міжзубовий контакт, на його думку, незначні, тому що в місцях контакту розвивається значний тиск, який викликає деформацію і підвищує щільність прилягання профілів. Крім того, герметичність міжзубового контакту в процесі експлуатації насоса не погіршується, а може навіть покращуватися внаслідок поступового припрацювання поверхонь зубів, що контактують.

Згідно з дослідженнями Калашникова В.І. [9], порядок значимості втрат робочої рідини в шестеренному насосі такий: втрати через торцеві, радіальні зазори, через міжзубовий контакт та через радіальні зазори між втулками та цапфами шестерень.

Ібрагімов Р.А. у роботі [10] наводить кількісний розподіл втрат робочої рідини через зазори в основних з'єднаннях шестеренного насоса. При цьому, він стверджує, що втрати робочої рідини через зазори в основних з'єднаннях шестеренного насоса залежать від тиску та температури робочої рідини. Найбільші втрати робочої рідини доводяться на радіальний зазор – 44...75%, торцеві зазори – 18,6...44% та через міжзубовий контакт 3,5...8,2%.

В роботі [11] запропоновано оригінальний підхід до визначення розподілу втрат робочої рідини через відповідні зазори, а саме визначено темп втрат робочої рідини залежно від величини зазору. Були отримані такі результати: темп втрат через міжзубовий зазор 100 %, через торцеві зазори 15,7 %, через радіальний зазор 5,14%.

В статті [12] пропонується математична модель втрат робочої рідини через радіальні зазори, яка враховує те, що в зоні ущільнення радіального зазору за один цикл роботи насоса знаходиться різна кількість зубів шестерень.

В публікації [13] наведено аналіз існуючих моделей втрат робочої рідини через радіальний зазор.

В роботі [14], було проведено детальний аналіз останніх досліджень і публікацій присвячених втратам робочої рідини через радіальний зазор.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є аналіз існуючого методу утворення радіального зазору в з'єднанні деталей шестеренного насоса «корпус – вершини зубів шестерень», що забезпечує мінімальний розмір радіального зазору при невисокій точності виготовлення зазначених деталей та запропонування іншого раціонального методу утворення радіального зазору.

Викладення основного матеріалу. Технологія виготовлення шестеренних насосів передбачає після складання насоса його обкатування на спеціальному стенді з метою перевірки працездатності. В період обкатування, як зазначено вище, відбувається врізання вершин зубів шестерень в корпус з утворенням так званої «постілі», яка повинна забезпечувати ущільнення радіального зазору.

Така механічна обробка корпусу шестеренного насоса пов'язана з певними негативними явищами:

- по-перше, відбувається суттєве первинне зношування корпусу шестеренного

насоса, що призводить до зниження довговічності насоса;

- по-друге, багато металевих часток залишаються в насосі, який надходить споживачу, а потім нагнітає в високоточні гідравлічні системи ці металеві частки, що також сприяє зниженню довговічності;

- по-третє, це призводить до забруднення робочої рідини на стендах заводу–виробника і передчасної заміни фільтрів і ремонту стендів.

Зазначена вище механічна обробка корпусу шестеренного насоса під час обкатування стає можливою внаслідок спеціального підбирання розмірів деталей в з'єднанні «корпус – вершини зубів шестерень», які відповідають за кінцеву величину радіального зазору між дуговою поверхнею корпусу і вершинами зубів шестерень (рис. 1).

На рис. 1 наведено схему взаємного розташування деталей вузла, що качає, шестеренного насоса з відповідними зазорами. На рис. 1, а показано радіальний зазор δ_1 між внутрішнім діаметром отвору втулки і діаметром цапфи шестерні.

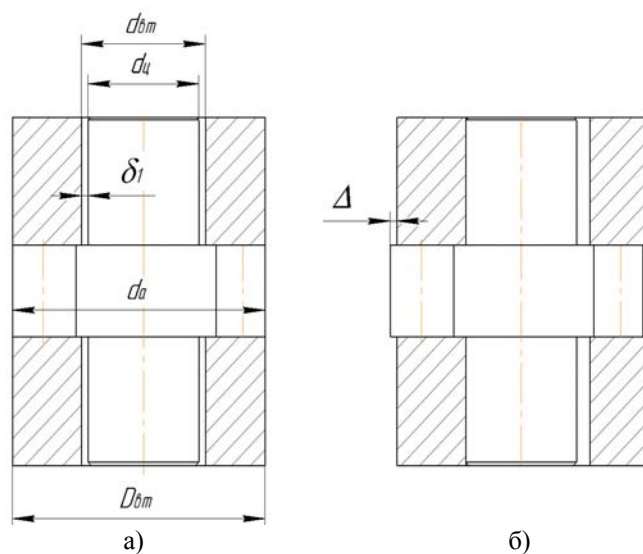


Рисунок 1 – Схема взаємного розташування деталей шестеренного насоса

Джерело: розроблено авторами

В період обкатування під дією гідравлічних сил, що виникають внаслідок зростання тиску в шестеренному насосі, шестерні зміщуються, вибираючи зазор в з'єднанні «втулка – цапфа шестерні», як показано на рис. 1, б. При цьому, зазори в з'єднаннях деталей спроектовані таким чином, що вінець шестерні виступав за межі зовнішнього діаметру втулок на величину Δ (рис. 1 б) і зношував корпус. Тобто, при роботі насоса шестерня зміщується під дією тиску в бік камери всмоктування на величину зазору δ_1 з'єднання «втулка-цапфа» (рис. 1 б).

В табл. 1 наведені розміри деталей вузла, що качає на прикладі шестеренного насоса типу НШ-32 (табл. 1).

Таблиця 1 – Розміри деталей, що впливають на величину радіального зазору, мм

Зовнішній діаметр втулки	$D_{вн} = 55^{+0,02}_{-0,04}$
Зовнішній діаметр вінця шестерні	$d_a = 55^{+0,030}_{-0,076}$
Внутрішній діаметр втулки	$d_{вн} = 26^{+0,015}$
Діаметр цапфи шестерні	$d_{ц} = 26^{+0,080}_{-0,095}$

Джерело: розроблено авторами

Врізання шестерні в корпус на величину Δ відбудеться, якщо шестерня вийде за межі втулки.

Отже, можна записати:

$$\Delta = \frac{D_{em} - d_a}{2} - \delta_1,$$

$$\Delta = \frac{D_{em} - d_a}{2} - \frac{d_{em} - d_u}{2}. \quad (1)$$

Однак, шестерня зміщується не на всю величину зазору δ_1 , так як при роботі насоса між цапфою шестерні і втулкою, як і в будь-якому підшипнику ковзання, залишається шар мастила h_{min} . Крім того, при роботі насоса має місце прогин цапф шестерень Y . Отже, врахувавши ці фактори, можливо остаточно записати формулу визначення зносу корпусу:

$$\Delta = \frac{D_{em} - d_a}{2} - \frac{d_{em} - d_u}{2} + h_{min} - Y. \quad (2)$$

Методика розрахунку h_{min} і Y приведена в [6]. Керуючись цією методикою, знаходимо, що $h_{min} = 0,005 \dots 0,008$ мм, а величина Y для насоса НШ-32 дуже мала (менше 1 мкм), якою можна знехтувати.

Визначимо максимально і мінімально можливий знос корпусу:

$$\Delta_{max} = \frac{D_{em\ min} - d_{a\ max}}{2} - \frac{d_{em\ max} - d_{u\ min}}{2} + h_{min} - Y, \quad (3)$$

$$\Delta_{min} = \frac{D_{em\ max} - d_{a\ min}}{2} - \frac{d_{em\ min} - d_{u\ max}}{2} + h_{min} - Y. \quad (4)$$

Щоб врахувати максимально можливий знос корпусу, приймаємо $h_{min} = 0,005$ мм.

$$\Delta_{max} = \frac{54,960 - 54,970}{2} - \frac{26,015 - 25,905}{2} + 0,005, \quad (5)$$

$$\Delta_{min} = \frac{54,980 - 54,924}{2} - \frac{26,000 - 25,920}{2} + 0,005. \quad (6)$$

В результаті розрахунків було отримано $\Delta_{max} = -0,055$ мм; $\Delta_{min} = -0,007$ мм.

З підрахунків видно, що допуски на деталі виконані таким чином, що при зміщенні вузла, що качає, шестерні завжди будуть «вигризати» корпус, залишаючи сліди зносу в області камери всмоктування ще на стадії першого випробування насоса в на заводі-виробнику. Очевидно, створення саме таких допусків продиктовано прагненням виконати як можна менший радіальний зазор, щоб звести до мінімуму втрати робочої рідини через цей зазор. Це також видно з того, що в різні роки на шестерню були різні допуски, в той час як допуски на решту деталей залишались сталими.

Так, на підприємстві «Завод ВАТ Гідросила» м. Кропивницький шестерню виконують з розміром $d_a = 55_{-0.076}^{-0.030}$, а до цього її розмір мав величину $d_a = 55_{-0.145}^{-0.095}$. В той же час на Вінницькому заводі тракторних агрегатів шестерня має розмір $d_a = 55_{-0.115}^{-0.090}$. Але, незважаючи на таке різноманіття допусків на розмір шестерні, в усіх цих випадках шестерня буде зношувати корпус.

Зношування металу шестернею в корпусі при першому запуску насоса назвали процесом припрацювання, а сліди зносу – «постіллю», в межах якої нібито і повинна працювати шестерня. Крім того, на багато років мала місце думка, що наявність

«постелі» обов'язкова і якщо її не буде, то насос матиме неприпустимо малий коефіцієнт об'ємної подачі.

Для спростування цієї думки було проведено експеримент. Його суть полягала в шліфуванні шестерні по зовнішній циліндричній поверхні до розміру, який забезпечив би відсутність зносу перед випробуванням насоса. Цей розмір можна визначити, прирівнявши в формулі (2) $\Delta = 0$, в результаті отримаємо.

$$d_a = D_{\text{вн}} - (d_{\text{вн}} - d_{\text{ц}}) + 2h_{\text{мін}} - 2Y. \quad (7)$$

Після цього насоси складали і відправляли на випробовування на стенді. Випробування проводили на спеціальному стенді при наступних режимах:

- тиск, що розвиває насоса $\Delta P = 16,0$ МПа;
- частота обертання $n = 40$ об/с (2400 об/хв.).

Всього було виготовлено і випробувано три експериментальні насоса з нульовим радіальним зазором $\delta_p = 0$. Були отримані результати, що перевершили сподівання, а саме середнє значення коефіцієнта об'ємної подачі склало $K_q = 0,95$.

Розбирання експериментальних насосів після випробовування показало, що ніякого натяку на «постіль» немає. Таким чином, можливо зробити висновок, що для нормальної роботи насоса зовсім необов'язково, щоб шестерня врізалась у корпус.

Поява верстатів з більшою можливістю щодо точності виготовлення деталей дає можливість відмовитися від існуючого методу формування радіального зазору. Підтвердженням цього є, як результати теоретичних, так і експериментальних досліджень.

З вищенаведеного витікає, що на сучасному етапі розвитку техніки ефективним методом формування радіального зазору є більш точне виготовлення та складання деталей насосів.

Більш того, результати попередніх експериментальних досліджень дозволяють висловити припущення (гіпотезу), що збільшення радіального зазору до певних розмірів, суттєво не позначиться на коефіцієнті подачі насоса. Однак, зазначена гіпотеза потребує експериментальної перевірки.

Висновки.

1. Існуючий метод формування радіального зазору врізанням шестерні в корпус на сьогоднішній день не відповідає сучасним вимогам, що позначається на зниженні коефіцієнта подачі і довговічності насоса.

2. Поява верстатів з вищою точністю виготовлення деталей надає можливість використати інші методи формування радіального зазору, що позбавлені зазначених недоліків.

3. Пропонується на даному етапі формувати радіальний зазор підвищенням точності виготовлення і складання деталей насоса.

4. Попередні результати експериментальних досліджень підтверджують припущення, щодо раціональності запропонованого методу формування радіального зазору.

5. Отримані результати є підставою для проведення більш масштабних експериментальних досліджень для вивчення впливу радіального зазору на технічні показники шестеренного насоса.

Список літератури

1. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы / Башта Т.М. и др. М.: Машиностроение, 1982. 593 с.

2. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учеб. для машиностр. вузов / Башта Т.М. и др. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
3. Башта Т.М. Расчеты и конструкция самолетных гидравлических устройств . 3-е изд. перераб. и доп. М.: Гос. научно-технич. издат. Оборонгиз, 1961. 475 с.
4. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика: справ. пособие. М.: Машиностроение, 1977. 672 с.
5. Башта Т.М. Объемные насосы и гидравлические двигатели гидросистем: учеб. для вузов. М.:Машиностроение, 1974. 606 с.
6. Юдин Е.М. Шестеренные насосы. Основные параметры и их расчет. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1964. 236 с.
7. Рыбкин Е.А., Усов А.А. Шестеренные насосы для металлорежущих станков . Г.: Машгиз, 1960. 189 с.
8. Савунов М.П. Исследование работоспособности агрегатов гидросистем сельскохозяйственных тракторов: дис. ... канд. техн. наук . Горки, 1970. 197 с.
9. Калашников В.И. Исследование эксплуатационной надежности гидронасосов типа НШ 32 Дис. канд. техн. наук. / Калашников Виктор Иванович. Киев 1968. 167 с.
10. Ибрагимов Р.А. Повышение работоспособности отремонтированных насосов гидросистем машин, эксплуатируемых в условиях хлопководства: дис. ... канд. техн. наук. Янгиль, 1984. 252 с.
11. Кулешков Ю.В., Саловский В. С. Оценка влияния зазоров в сопряжениях шестеренного насоса на величину его внутренних утечек. *Конструирование и технология производства с.х. машин. Республиканский межведомственный научно-технический сборник*. Вып. N 23, Київ, "Техніка", 1993. С. 28 – 32.
12. Матвієнко О.О. Математична модель втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація : зб. наук. праць КНТУ*. Вип. 16. 2005. С.235-240.
13. Кулешков Ю.В., Матвієнко О.О. Аналіз математичних моделей втрат робочої рідини через радіальний зазор шестеренного насоса типу НШ . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук.праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. Вип. 17. 2006. 205 - 207 с.
14. Визначення раціонального радіального зазору в шестеренному насосі гідросистем автотракторної техніки. / Ю.В. Кулешков та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. Вип. 5(36), ч. II. 2022. 205 - 207 с.

References

1. Bashta, T.M., Rudnev, S.S. & Nekrasov, B.B. et al. (1982). *Hydravlyka, hydravlycheskye mashyny y hydravlycheskye pryvodi* [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]. Moscow: Mashynostroenye [in Russian].
2. Bashta, T.M., Rudnev, S.S., Nekrasov, B.B. et al. (1982). *Hydravlyka, hydromashyny y hydropryvodi*: [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives] .(2d ed.). Moscow: Mashynostroenye [in Russian].
3. Bashta, T.M. (1961). *Rascheti y konstruktsiya samoletnikh hydravlycheskykh ustroystv* [Calculations and construction of aircraft hydraulic devices]. (3d ed.). Moscow: Hos. nauchno-tekhnich. yzdat. Oboronhyz [in Russian].
4. Bashta, T.M. (1977). *Mashynostroytelnaia hydravlyka* [Machine-building hydraulics] . Moscow: Mashynostroenye [in Russian].
5. Bashta, T.M. (1974). *Objemnie nasosi y hydravlycheskye dvyhately hydrosystem* [Volumetric pumps and hydraulic engines of hydrosystems] . Moscow: Mashynostroenye [in Russian].
6. Iudyn, E.M. (1964). *Shesterennye nasosi. Osnovnye parametri y ykh raschet* [Gear pumps. Basic parameters and their calculation]. (2d ed.). Moscow: Mashynostroenye [in Russian].
7. Ribkyn, E.A. & Usov, A.A. (1960). *Shesterennye nasosi dlia metallorazreshnykh stankov* [Gear pumps for metal cutting machines]. H.: Mashhyz [in Russian].
8. Savunov, M.P. (1970). *Yssledovanye rabotosposobnosti ahrehatov hydrosystem selskokhoziaistvennikh traktorov* [Research on the performance of aggregates of hydraulic systems of agricultural tractors]. *Candidate's thesis*. Savunov Mykhayl Petrovych. Horky [in Russian].
9. Kalashnykov, V.Y. (1968). *Yssledovanye ekspluatatsyonnoi nadezhnosti hydronasosov tipa NSh 32* [Investigation of the operational reliability of hydropumps type NSh 32 Diss]. *Candidate's thesis*. Kyev [in Russian].
10. Ybrahymov, R.A. (1984). *Povisheniye rabotosposobnosti otremonirovannykh nasosov hydrosystem mashyn, ekspluatiruemykh v usloviakh khlopkovodstva* [Increasing the performance of repaired pumps

- of hydraulic systems of machines operated in cotton farming conditions]. *Candidate's thesis*. Yanhyiul [in Russian].
11. Kuleshkov Yu.V. & Salovskyi V.S. (1993).- Otsenka vliyaniya zazorov v sopriazheniyakh shesterennoho nasosa na velychynu eho vnutrennykh utechek. [Estimation of the influence of clearances in gears of a gear pump on the magnitude of internal leakage] . *Konstruirovanye y tekhnolohiya proyzvodstva s.kh. mashyn. Respublykanskyy mezhvedomstvennii nauchno-tekhnicheskyy sbornyk – Construction and technology of agricultural production. cars Republican interdepartmental scientific and technical collection. Issue 23*, 28 – 32 [in Russian].
 12. Matviienko, O.O. (2005). Matematychna model vtrat robochoi ridyny cherez radialnyi zazor shesterennoho nasosa typu NSh [Mathematical model of losses of the working fluid due to the radial gap of the gear pump of the NSh type]. *Zbirnyk naukovykh prats KNTU. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific papers of KNTU. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation, Issue 16*, 235-240 [in Ukrainian].
 13. Kulieshkov, Yu.V. & Matviienko, O.O. (2006). Analiz matematychnykh modelei vtrat robochoi ridyny cherez radialnyi zazor shesterennoho nasosa typu NSh [Analysis of mathematical models of losses of the working fluid due to the radial gap of the gear pump of the NSh type]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of the Kirovohrad National Technical University, technician in agricultural production, industrial engineering, automation, Issue 17*, 205 - 207. [in Ukrainian].
 14. Kuleshkov, Iu.V., Krasota, M.V., Rudenko, T.V., Osin, R.A. & Yevseichyk, Yu.B. (2022). Vyznachennia ratsionalnoho radialnoho zazoru v shesterennomu nasosi hidrosystem avtotraktornoj tekhniky. [Determination of the rational radial gap in the gear pump of hydraulic systems of auto-tractor machinery] . *Tsentralkoukrains'kyj naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. Issue 5 (36), part II*, 205 - 207 [in Ukrainian].

Yuriy Kuleshkov, Prof., DSc., **Mykhailo Krasota**, Assoc. Prof., Phd tech. sci, **Timofey Rudenko**, Assoc. Prof., Phd tech. sci, **Ruslan Osin**, Assoc. Prof., Phd tech. sci

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Yuriy Evseichik, Assoc. Prof., PhD phys.&math. sci.

National Transport Universit, Kyiv, Ukraine

Radial Clearance in Gear Pump Hydraulic Systems of Auto and Tractor Machinery Forming Features

The research goal is the analysis of the existing radial clearance forming method in gear pump details connection “body – gear teeth”, which provides the minimal size of radial clearance with the low accuracy of manufacturing details and offers another rational method of radial clearance creating.

In this research was considered creating radial clearance between body and gears of gear pump hydraulic systems of auto and tractor machinery.

The technology of gear pump manufacturing after pump folding provides it's enabling on a special stand in order to disability verification. During the period of enabling, as mentioned before, gear teeth cutting into the body happens with forming a so-called «bed», which must provide a radial clearance seal.

Given research results of way of radial gear pump clearance forming influence, which is used in hydraulic systems of auto and tractor machinery, gears cutting in pump body during enabling for technical characteristics. Considered the main advantages and disadvantages of this method, and found, that existed way of radial clearance forming by cutting gear into the body, today does not comply with the requirements for pumps. Using the method of gear cutting negatively impacts the supply rate and pump durability.

Offered a new way of radial clearance forming, which consists of getting a minimal radial clearance between gears and body due to more accurate gears manufacturing top diameter. This method does not provide gears cutting into the pump body, which increases pump durability.

An effective method of radial clearance forming is more accurate manufacturing and folding pump details. The results of experimental research show that increasing radial clearance to certain sizes does not influence on pump supplying rate significantly.

gear pump, radial clearance, working liquid losses, hydraulic system

Одержано (Received) 05.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 14.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 621.81

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.30-36](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.30-36)

Ю.А. Невдаха, доц., канд. техн. наук, **В.В.Пирогов**, доц., канд. техн. наук, **Н.А. Невдаха**, зав. лаб., **Л.С.Олійніченко**, канд. техн. наук, **М.О. Васильковський**
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: uanepvdakha@ukr.net

Збільшення запасу міцності різьбових з'єднань, що працюють при змінних навантаженнях

В останні часи ми бачимо зростання цікавості конструкторів до розрахунків різьбових з'єднань, що працюють при змінних напруженнях. Це пояснюється тим, що у більшості механізмів, зокрема автомобілебудівної галузі, різьбові з'єднання працюють при змінних напруженнях, але невірно визначений запас міцності різьбових з'єднань призводить до поломок та руйнування механізмів. Виникає необхідність в дослідженні більш точних розрахункових формул для визначення запасу міцності різьбових з'єднань, що і є результатом перевірного розрахунку.

різьбові з'єднання, болт, навантаження, запас міцності, несуча здатність, надійність

Постановка проблеми. Теоретичні дослідження міцності розрахунків різьбових з'єднань потребують вдосконалення у зв'язку із зростаючими вимогами надійності та працездатності до них.

При розрахунку граничного робочого навантаження що діє на болт, яке змінюється за пульсуючим циклом для затягнутого різьбового з'єднання необхідно визначити умови відсутності руйнування і відсутності розкриття стику, а також виявлення зв'язку між запасом міцності болта і величиною первинної затяжки, яке має велике практичне значення. Правильний вибір величини початкової затяжки за інших рівних умов забезпечує найвищий запас міцності, що є умовою надійної роботи з'єднання.

Аналіз попередніх досліджень. Аналіз досліджень та перегляд публікацій дозволив зробити висновок, що основна маса різьбових з'єднань виготовляється з різноманітних сталей, які мають різну текучість матеріалу і відповідно мають різні коефіцієнти міцності. В роботах [1, 3] коефіцієнти міцності мають узагальнений вигляд. Причини руйнування елементів різьби болтових з'єднань пов'язаного з впливом відношення висоти гайки до діаметра гвинта та діаметра гвинта до кроку різьби досліджувалася в [2]. В більшості випадках, коли виробниче навантаження є змінним, зусилля, що діють у болтовому з'єднанні змінюється за асиметричним циклом [4, 5]. Але на практиці часто зустрічаються випадки, коли робоче навантаження, що діє на болт, змінюється за пульсуючим циклом із середнім напруженням розтягування. Одним із важливих елементів в розрахунку є більш точне визначення запасу міцності різьбових з'єднань, що є результатом перевірного розрахунку.

Постановка завдання. Аналітичне дослідження розрахунку міцності затягнутого різьбового з'єднання, що працює при змінних навантаженнях.

Результати вирішення основних завдань проблеми. Метод визначення сил, що діють у затягнутому з'єднанні, був наведений [1, 3, 4]. У випадках, коли робоче навантаження F_p є змінним, зусилля, що діють у болтовому з'єднанні, змінюється за асиметричним циклом (умови, при яких навіть при змінному виробничому навантаженні болт працює під дією практично постійного навантаження).

В якості прикладу розглянемо випадок, який часто зустрічаються на практиці, коли робоче навантаження F_p , діє на болт, змінюється за пульсуючим циклом із середнім напруженням розтягування. Позначимо напруження в болті, яке відповідає робочому навантаженню через σ_p , можна, досліджуючи зміни напруження у болті в залежності від величини робочого навантаження отримати функції завантаження $\sigma_{\max} = \varphi_1(\sigma_p)$ і $\sigma_{\min} = \varphi_2(\sigma_p)$, зображенні на рис. 1.

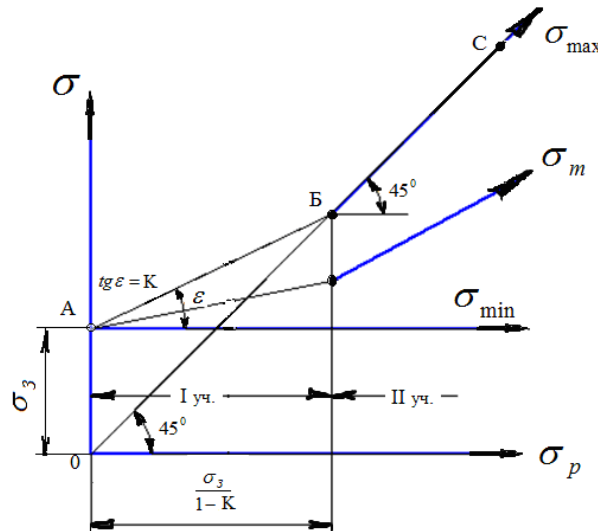


Рисунок 1 – Функції завантаження

Джерело: розроблено авторами

При побудові кривої через σ_3 позначено напруження в болті, що виникає під дією зусилля початкового затягування F_3 , через $\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$ і σ_m – відповідно

найбільше, найменше та середнє напруження циклу, $K = \frac{\sum_{(n)} Y_i}{\sum_{(\bar{\sigma}+n)} Y_i}$ визначає тангенс кута

нахилу ε лінії найбільших напружень циклу до осі абсцис, де $Y_i = \frac{l_i}{E_i \cdot A_i}$ – коефіцієнт

податливості, який характеризує деформацію деталі при дії на неї сили. Враховуючи, що в робочих умовах на деталі системи болта діє зусилля $F_{\bar{\sigma}}$, а на деталі системи

прокладки – зусилля F_n , запишемо: $F_3 \cdot \sum_{(\bar{\sigma}+n)} Y_i = F_{\bar{\sigma}} \cdot \sum_{(\bar{\sigma})} Y_i + F_n \cdot \sum_{(n)} Y_i$.

Таким чином у болті буде виникати змінне напруження, що змінюється по асиметричному у позитивному циклу, причому мінімальні напруження будуть

дорівнювати напруженню від затягування, тобто $\sigma_{\min} = \frac{F_3}{A_{\bar{\sigma}}}$, де $A_{\bar{\sigma}}$ – площа

найменшого поперечного перерізу болта, а максимальне напруження буде

дорівнюватиме напруженню від сумарного зусилля, що діє на болт, тобто $\sigma_{\max} = \frac{F_{\bar{\sigma}}}{A_{\bar{\sigma}}}$,

де $F_{\bar{\sigma}}$ визначається за формулою:

$$F_{\sigma} = F_3 + F_p \cdot \frac{\sum_{(n)} Y_i}{\sum_{(\sigma+n)} Y_i} = F_3 + F_p \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sum_{(n)} Y_i}{\sum_{(\sigma+n)} Y_i}}. \quad (1)$$

На рисунку 1 з початку координат проведений промінь ОС під кутом 45° до осі абсцис. Перетин його з лінією максимальних напружень дає точку Б, відповідну розкриттю стику, оскільки максимальне напруження в розрахунковому перерізі болта для даної точки дорівнює напруженню тільки від робочого навантаження ($\sigma_{\max} = \sigma_p$). При подальшому збільшенні робочого навантаження ця рівність збережеться, тобто максимальне напруження циклу буде змінюватися відповідно до ділянки ВС.

Таким чином точка Б ділить лінію максимальних напружень на 2 ділянки. Для першої ділянки (АБ) стик не розкрито, і максимальне напруження циклу може бути визначена за формулою:

$$\sigma_{\max} = \sigma_3 + \operatorname{tg} \varepsilon \cdot \sigma_p = \sigma_3 + K \cdot \sigma_p. \quad (2)$$

Для другої ділянки (ВС) стик розкритий і $\sigma_{\max} = \sigma_p$. Очевидно, що для межі переходу від однієї ділянки до іншої (точка Б) справедливі обидва вирази для $\sigma_{\max}$, тобто можна записати:

$$\sigma_{\max} = \sigma_3 + K \cdot \sigma_p = \sigma_p. \quad (3)$$

Звідки

$$\sigma_p = \frac{\sigma_3}{1 - K}. \quad (4)$$

Таким чином, межа першої ділянки визначається умовою

$$0 \leq \sigma_p \leq \frac{\sigma_3}{1 - K}. \quad (5)$$

Якщо задана величина робочого навантаження F_{p1} , то діючий в розрахунковому перерізі болта цикл напружень визначається перетином кривих $\sigma_{\max}$ і σ_m ординатою, відповідною напруженню σ_{p1} . Запас міцності для першої ділянки, коли найбільше напруження циклу як діючого, так і граничного не виходить за точку перегину Б, визначається як відношення

$$s = \frac{\sigma_p^{\parallel}}{\sigma_{p1}}, \quad (6)$$

де $\sigma_p^{\parallel}$ – напруження від граничного робочого навантаження;

σ_{p1} – напруження від діючого робочого навантаження.

Очевидно, що

$$\sigma_{\max}^{\parallel} = \sigma_3 + K \sigma_p^{\parallel} \quad \text{або} \quad \sigma_p^{\parallel} = \frac{\sigma_{\max}^{\parallel} - \sigma_3}{K}. \quad (7)$$

Тоді запас міцності визначається за формулою

$$s = \frac{\sigma_{\max}^{\parallel} - \sigma_3}{K \cdot \sigma_{p1}}. \quad (8)$$

Для знаходження найбільшого напруження циклу $\sigma_{\max}^{\parallel}$, діючого в конкретній деталі, скористаємося діаграмою напружень граничних циклів. При розрахунках

зазвичай приймається найпростіша прямолінійна залежність, зображена на рисунку 2 і яка визначає напруження граничних циклів для деталей.

Ця залежність дає хороший збіг з експериментальними даними для ряду марок сталей з високим значенням межі міцності для сирих і ковких чавунів і дещо занижені значення напружень граничних циклів для сталі м'яких та середньої твердості.

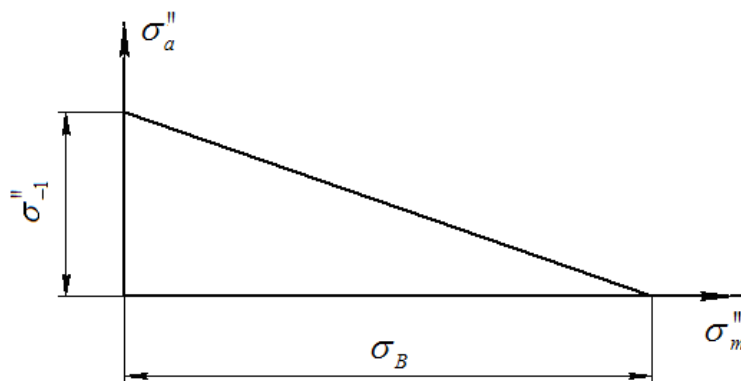


Рисунок 2 – Діаграма граничних циклів

Джерело: розроблено авторами

Прийняту лінійну залежність можна записати в аналітичному вигляді, що являє собою рівняння прямої у відрізках на осях:

$$\sigma_a'' = \sigma_{-1}'' \cdot \left(1 - \frac{\sigma_m''}{\sigma_B''}\right). \quad (9)$$

Позначемо $\frac{\sigma_{-1}''}{\sigma_B''}$ через ψ і виразимо амплітуду та середнє напруження циклу через найбільше і найменше напруження по відомих формулам

$$\sigma_a'' = \frac{\sigma_{\max}'' - \sigma_3}{2} \quad \text{і} \quad \sigma_m'' = \frac{\sigma_{\max}'' + \sigma_3}{2}. \quad (10)$$

Підставляючи ψ , σ_a'' і σ_m'' до виразу (9) і вирішуючи його щодо найбільшого напруження граничного циклу, отримаємо:

$$\sigma_{\max}'' = \frac{2\sigma_{-1}'' + \sigma_3(1 - \psi)}{1 + \psi}. \quad (11)$$

Тоді вираз для визначення запасу міцності набуде наступного вигляду:

$$s = \frac{2(\sigma_{-1}'' - \psi\sigma_3)}{(1 + \psi)K\sigma_{P1}}. \quad (12)$$

На другій ділянці з'єднання розвантажене від початкової затяжки, при цьому маємо $\sigma_{\max} = \sigma_P$ і $\sigma_{\min} = \sigma_3 = \text{const}$. Тоді $s = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{P1}}$.

Враховуючи знайдене раніше значення $\sigma_{\max}''$, остаточно отримаємо:

$$s = \frac{2\sigma_{-1}'' + \sigma_3(1 - \psi)}{1 + \psi}. \quad (13)$$

Таким чином, отримані формули (12) і (13) для визначення запасу міцності різьбових з'єднань, що є результатом перевірного розрахунку.

На основі отриманих формул на рисунку 3 зображена крива зміни коефіцієнту запасу міцності s від величини зусилля зтяжки для різьбового з'єднання головки шатуна чотиритактного дизеля.

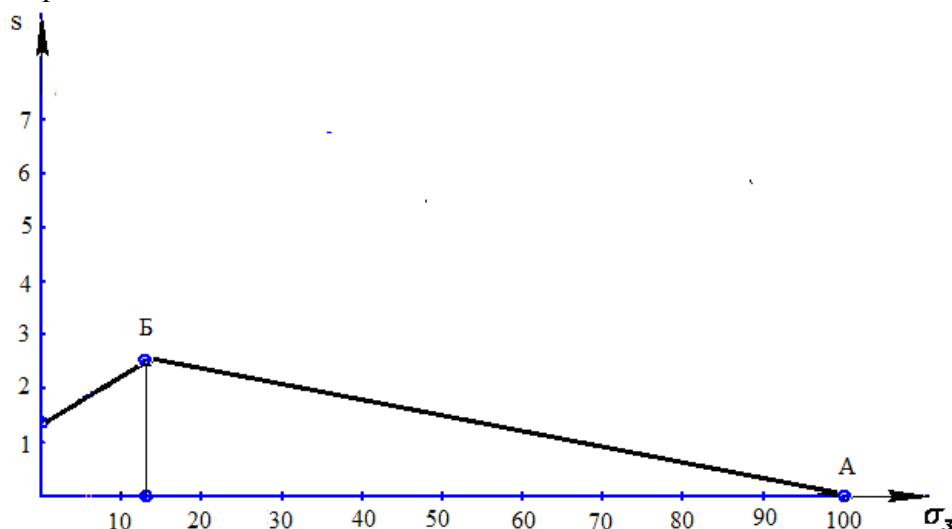


Рисунок 3 – Крива залежності запасу міцності різьбового з'єднання головки шатуна чотиритактного дизеля від величини попередньої зтяжки

Джерело: розроблено авторами

Аналіз кривої показує, що зі зростанням зтяжки збільшується запас міцності до певного значення (точка Б на кривій), а потім зменшується. Вказана крива дозволяє визначити оптимальне значення зтяжки, при якій запас міцності приймає найбільше значення [6-7]. Це відповідає граничному циклу, визначеному межею першої і другої ділянок, тобто точкою Б. Таким чином, граничне навантаження для зтягнутого різьбового з'єднання визначається двома умовами: відсутністю руйнування і відсутність розкриття стику.

Для точки Б маємо:

$$\sigma_{\max}'' = \frac{2\sigma_{-1}'' + \sigma_3(1-\psi)}{1+\psi} = \frac{\sigma_3}{1-K} \quad (14)$$

звідси оптимальна величина зтяжки

$$\sigma_3'' = \frac{2\sigma_{-1}''(1-K)}{2\psi + K(1-\psi)}, \quad (15)$$

а відповідне значення запасу міцності

$$s = \frac{2\sigma_{-1}''}{[2\psi + K(1-\psi)] \cdot \sigma_{Pl}}. \quad (16)$$

З формули (16) видно, що максимальна величина запасу міцності збільшується зі збільшенням податливості деталей системи болта і зі зменшенням податливості деталей системи прокладки, тобто зі зменшенням величини K . Виявлення зв'язку між запасом міцності болта і величиною первинної зтяжки має велике практичне значення, бо можна розумно вибирати початкову зтяжку, при якій запас міцності має найбільше значення. Таким чином, правильний вибір величини початкової зтяжки за інших рівних умов забезпечує найвищий запас міцності, що є умовою надійної роботи з'єднання.

Висновки:

1. При підвищенні податливості деталей системи болта при одночасному збільшенні затяжки веде до зростання запасів міцності.

2. Можливість збільшення податливості самого болта чи шпильки обмежена. Тому доцільне включення до числа деталей системи болта деталей з більшою податливістю при стиску, наприклад пружинних шайб і так далі. Введення таких деталей збільшує запас міцності з'єднання.

Список літератури

1. Иванов М.Н. Детали машин: учебн. для машиностр. спец. вузов . 4-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 1984. 336 с.
2. Невдаха Ю.А., Маломуж Г.І., Хіоні В.З. Дослідження міцності елементів різьби . *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук.праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту*. 2006. Вип. 17. С. 219-222.
3. Павлище В.Т. Основы конструирования та расчетов деталей машин . Київ: Вища школа, 1993. 356 с.
4. Решетов Л.Н. Детали машин: учебн. для студ. Машиностроительных и механических спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 496 с.
5. Гузенков П.Г. Детали машин: учебн. для машиностр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1982. 351 с.
6. Буклагин Д.С., Голубев И.Г. Справочник инженера по техническому сервису машин и оборудования в АПК. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. 604 с.
7. Технологические карты по техническому обслуживанию и текущему ремонту автомобиля КамАЗ типа. М.: Машиностроение, 1992. 360 с.

References

1. Ivanov, M.N. (1984). *Detali mashin [Machine details]*. (4d ed.). Moscow: Vyssh. shk. [in Russian]
2. Nevdakha, Yu.A., Malomuzh, H. I. & Khioni, V.Z. (2006). *Doslidzhennia mitsnosti elementiv riz'by [Study of the strength of threaded elements]*. *Zbirnyk naukovykh prats' Kirovohrads'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v sil's'kohospodars'komu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collection of scientific works of the Kirovohrad National Technical University. Machinery in agricultural production, industrial engineering, automation, Issue 17*, 219-222 [in Ukrainian]
3. Pavlishhe, V.T. (1993). *Osnovi konstruiuvannja ta rozrahunok detalej mashin [Fundamentals of design and calculation of machine parts]*. Kiev: Vishha shkola [in Russian]
4. Reshetov, L.N. (1989). *Detali mashin [Machine details]*. (4d ed.). Moscow: Mashinostroenie [in Russian]
5. Guzenkov, P.G. (1982). *Detali mashin [Machine details]*. Moscow: Vysshaja shkola [in Russian]
6. Buklagin, D.S. & Golubev, I.G. (2003). *Spravochnik inzhenera po tehničeskomu servisu mashin i oborudovanija v APK [Handbook of the engineer on technical service of machines and equipment in the agricultural industry]*. Moscow: FGNU «Rosinformagroteh» [in Russian]
7. *Tehnologicheskie karty po tehničeskaomu obsluzhivaniu i tekushhemu remontu avtomobilja KamAZ tipa [Technological cards for technical maintenance and current repair of a KamAZ type car]*. (1992). Moscow: Mashinostroenie [in Russian]

Yurii Nevdakha, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Volodymyr Pirogov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Nevdakha**, **Liubov Olijnichenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Mykhailo Vasylkovsky**
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Safety Margin of Threaded Connections Operating Under Variable Loads

One of the most common types of plug-in connections are threaded connections. In any machine, unit, the number of parts of threaded connections (bolts, studs, nuts, washers, etc.) is calculated by dozens and hundreds of pieces. It follows from this that the issue of designing and calculating threaded connections is of great importance in the design of machines and devices.

One of the most important elements of bolts and screws is the thread, which is the surface of the protrusion formed during the helical movement of an arbitrary flat contour on the side surface of a cylinder or cone.

Threaded connections are widely used in various mechanisms (internal combustion engines, etc. products). Their use is due to simplicity, high load-bearing capacity, reliability, as well as the convenience of connecting and disconnecting parts.

The calculation of tightened threaded connections operating under alternating stresses is a check calculation. Based on the simplified statement of the problem, the preliminary dimensions of the main elements of the threaded connection are determined. Then the layout of the connecting node is carried out, and after the design is fully determined, they begin to perform the verification calculation.

In recent times, we have seen an increase in the interest of designers in the calculations of threaded connections operating under variable stresses. This is explained by the fact that in most mechanisms, in particular in the automotive industry, threaded connections work under variable stresses, but an incorrectly determined margin of strength of threaded connections leads to breakdowns and destruction of mechanisms. Thus, there is a need to study more accurate calculation formulas for determining the margin of strength of threaded connections, which is the result of a verification calculation.

threaded connections, bolt, load, margin of safety, bearing capacity, reliability

Одержано (Received) 02.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 12.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.316.13

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.37-44)

А.І. Саченко, асп., С.П. Плешков, доц., канд. техн. наук, П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук, В.В. Зінзура, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: artem.sachenko.97@gmail.com

Оптимальне керування режимами розподільних електричних мереж з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні

Робота присвячена удосконаленню системи автоматичного керування режимами роботи розподільних електричних мереж, що містять сонячні електростанції з метою досягнення одночасного зниження рівнів усталеного відхилення напруги, несиметрії напруг на затискачах електроспоживачів за умови максимізації рівня генерації електроенергії сонячною електростанцією. Показано, що таку задачу автоматичного керування найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Обґрунтовано метод вирішення цієї задачі багатокритеріальної оптимізації. Розв'язки зазначеної задачі багатокритеріальної оптимізації можуть бути покладені в основу роботи оптимальної системи автоматичного керування параметрами режиму розподільних електричних мереж, що містять сонячні електростанції.

сонячні електростанції, багатокритеріальна оптимізація, показники якості електричної енергії

Постановка проблеми. Забезпечення нормально допустимих рівнів показників якості електроенергії в розподільних електричних мережах (РЕМ) – це одна з найбільш актуальних проблем, які виникають в процесі проектування та експлуатації сучасних РЕМ. Як відомо, погіршення якості електроенергії призводить до появи таких негативних явищ, збільшення додаткових втрат в елементах електричної мережі, скорочення терміну служби електрообладнання, зменшення продуктивності виробничого обладнання та ін. Найбільш суттєвий негативний вплив на функціонування елементів РЕМ, в тому числі і електроспоживачів, спостерігається при збільшенні рівнів усталеного відхилення та несиметрії напруг понад нормативні значення.

Характерною особливістю розвитку сучасних РЕМ є широке розповсюдження в них установок з відновлюваними джерелами енергії. В РЕМ України найбільшого поширення набули сонячні електростанції (СЕС) [1]. Це, перш за все, зумовлено сприятливими географічними та кліматичними умовами нашої держави. Так, в період з 2019 по 2021 рік загальна встановлена потужність СЕС в РЕМ України збільшилася майже на 50 % (на 1,8 ГВт) [2].

Застосування СЕС в електричних мережах пов'язане з рядом особливостей роботи цих мереж. Так, за деяких обставин, в точці приєднання СЕС до шин РЕМ може відбуватись підвищення рівня усталеного відхилення напруги понад нормативне значення.

Сучасні сонячні інвертори дозволяють здійснювати керування рівнем усталеного відхилення напруги в точці їх приєднання до електричної мережі. Окрім цього, конструктивні особливості побудови інверторів СЕС дозволяють їм змінювати (в певних межах) не лише рівень усталеного відхилення напруги, але й впливати на рівні несиметрії напруг та на параметри режиму реактивної потужності мережі [3].

Зважаючи на це, задача удосконалення САК, реалізація яких дозволить в більш повній мірі врахувати багатофункціональний вплив сонячних інверторів на параметри режиму РЕМ, що містять СЕС, є досить актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В роботі [4] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із сонячними електростанціями, в основу роботи якої покладено двохконтурний метод керування. Реалізація запропонованої в [4] САК дає змогу не лише змінювати рівень напруги на затискачах інвертора СЕС, але й впливати на режим реактивної потужності СЕС. Недоліком описаної в роботі [4] САК є неврахування впливу інвертора СЕС на несиметрію напруги в РЕМ.

В статті [5] запропоновано САК режимом роботи РЕМ із СЕС, що базується на методі ковзного режиму. Застосування такої САК дозволяє дещо підвищити рівень генерації активної потужності СЕС, здійснювати керування перетоками реактивної потужності в РЕМ та впливати на рівні несинусоїдальності напруги. Недоліком описаної в роботі [5] САК, як і у випадку САК [4] є неврахування впливу інвертора СЕС на рівні несиметрії напруг в РЕМ.

В роботі [6] запропонована САК параметрами режиму РЕМ із СЕС, що базується на розв'язках задачі багатокритеріальної оптимізації. Реалізація запропонованої САК дозволяє підвищити рівень генерації активної потужності СЕС за умов дотримання нормально допустимих значень усталеного відхилення напруги. Недоліком описаної в роботі [6] САК є неврахування впливу інвертора СЕС на режими реактивної потужності РЕМ.

Таким чином, загальним недоліком запропонованих в роботах [4-6] САК режимами роботи РЕМ із СЕС є неврахування в повній мірі багатофункціонального впливу цих інверторів на параметри режиму РЕМ (в тому числі і на показники якості електроенергії, що нормують усталене відхилення та несиметрію напруг).

Постановка завдання. Метою даної роботи є удосконалення САК параметрами режиму роботи РЕМ номінальною напругою 10 кВ, що містять СЕС, застосування якої дозволить досягнути одночасного зниження рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруг, та рівня споживання реактивної потужності за умови максимально можливого значення генерації електроенергії.

Виклад основного матеріалу. Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС зображена на рис. 1.

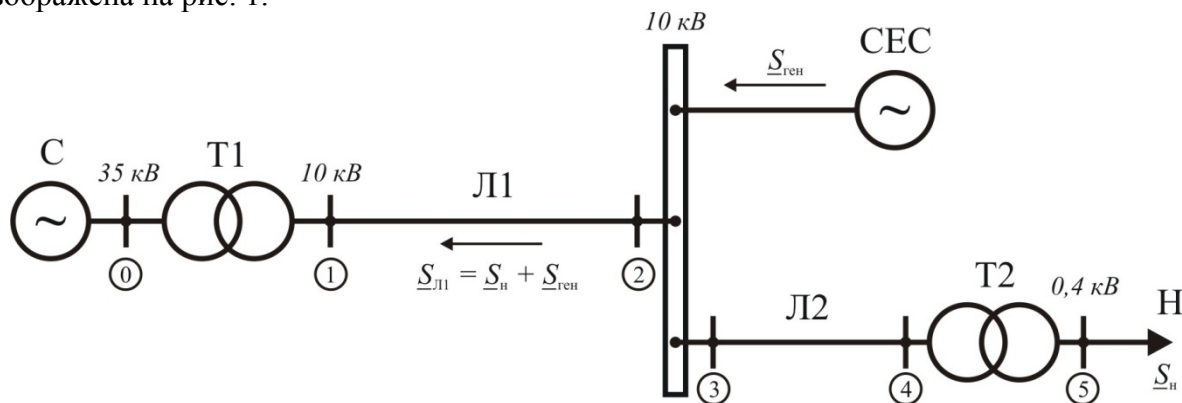


Рисунок 1 – Узагальнена структурна схема РЕМ з СЕС

Джерело: розроблено авторами

На рис. 1: С – енергосистема (ділянка районної електричної мережі, від якої живиться РЕМ); Т1 – знижувальний силовий трансформатор 35/10 кВ; Л1, Л2 – лінії електропередачі номінальною напругою 10 кВ; СЕС – сонячна електростанція; Т2 – знижувальний силовий трансформатор 10/0,4 кВ; Н – узагальнене електричне навантаження електроспоживачів; $\underline{S}_{\text{ген}} = P_{\text{ген}} + jQ_{\text{ген}}$ – повна електрична потужність генерації СЕС; $P_{\text{ген}}$, $Q_{\text{ген}}$ – активна та реактивна потужність генерації СЕС; $\underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{н}} + jQ_{\text{н}}$ – повна електрична потужність навантаження; $P_{\text{н}}$, $Q_{\text{н}}$ – активна та реактивна потужність навантаження; $\underline{S}_{\text{Л1}} = \underline{S}_{\text{ген}} + \underline{S}_{\text{н}} = P_{\text{Л1}} + jQ_{\text{Л1}}$ – повна електрична потужність, що протікає по лінії Л1; $P_{\text{Л1}}$, $Q_{\text{Л1}}$ – активна та реактивна потужність, що протікає по лінії Л1.

Слід зазначити, що значення активної $P_{\text{ген}}$ та реактивної $Q_{\text{ген}}$ потужностей генерації СЕС в розрахунках береться зі знаком «-».

Для РЕМ, схема якої зображена на рис. 1, можна виділити два характерних режими роботи: режим споживання електроенергії ($S_{\text{н}} > S_{\text{ген}}$) та режим генерації електроенергії ($S_{\text{н}} < S_{\text{ген}}$). Найбільш цікавим з точки зору впливу СЕС на параметри РЕМ є режим генерації електроенергії, за якого сумарна потужність на шинах 10 кВ $\underline{S}_{\text{Л1}}$ передається в напрямку енергосистеми. Для зручності подальших математичних виразів позначимо потужність $\underline{S}_{\text{Л1}}$ для режиму генерації як $\underline{S}_{\Sigma\text{ген}} = \underline{S}_{\text{Л1}} = P_{\Sigma\text{ген}} + jQ_{\Sigma\text{ген}}$.

Зважаючи на це задачу автоматичного керування параметрами РЕМ з СЕС можна інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації. Для РЕМ номінальною напругою 10 кВ постановка даної задачі має наступний вигляд:

$$\begin{cases} -P_{\Sigma\text{ген}}(\underline{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ |\operatorname{tg} \varphi(\underline{S}_{\text{ген}})| \rightarrow \min, \\ |\Delta U_1(\underline{S}_{\text{ген}})| \rightarrow \min, \\ U_2(\underline{S}_{\text{ген}}) \rightarrow \min, \\ \underline{S}_{\text{ген}} \in \Omega, \end{cases} \quad (1)$$

де $\underline{S}_{\text{ген}} = (\underline{S}_{\text{ген}A}, \underline{S}_{\text{ген}B}, \underline{S}_{\text{ген}C})$ – вектор фазних потужностей генерації СЕС (вектор керування);

$\underline{S}_{\text{ген}i} = P_{\text{ген}i} + jQ_{\text{ген}i}$, $i = A, B, C$ – комплекс повної потужності генерації СЕС для i -ї фази;

$\Omega \in \mathbb{C}^3 \mid \underline{S}_{\text{ген}i}^{\min} \leq \underline{S}_{\text{ген}i} \leq \underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – область допустимих значень вектора керування $\underline{S}_{\text{ген}}$;

$\underline{S}_{\text{ген}i}^{\min}$, $\underline{S}_{\text{ген}i}^{\max}$, $i = A, B, C$ – мінімально та максимально допустимі значення вектора керування $\underline{S}_{\text{ген}}$;

$\Delta U_1(\underline{S}_{\text{ген}}) = U_1(\underline{S}_{\text{ген}}) - U_{\text{ном}}$ – різниця значень модуля комплексу напруги прямої послідовності $\underline{U}_1$ та номінальної напруги РЕМ $U_{\text{ном}}$;

$\operatorname{tg} \varphi(\underline{S}_{\text{ген}})$ – коефіцієнт реактивної потужності в режимі генерації:

$$\operatorname{tg} \varphi(\underline{S}_{\text{ген}}) = \frac{Q_{\Sigma\text{ген}}(\underline{S}_{\text{ген}})}{P_{\Sigma\text{ген}}(\underline{S}_{\text{ген}})}, \quad (2)$$

$Q_{\Sigma\text{ген}} = \operatorname{Im}(\underline{S}_{\Sigma\text{ген}})$ – трифазна реактивна потужність, що генерується в мережу;

$P_{\Sigma\text{ген}} = \text{Re}(\underline{S}_{\Sigma\text{ген}})$ – трифазна активна потужність, що генерується в мережу.

Комплекс повної трифазної потужності, що генерується в мережу $\underline{S}_{\Sigma\text{ген}}$ визначається за формулою:

$$\underline{S}_{\Sigma\text{ген}} = \underline{S}_{\text{ген}} - \underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 [P_{\text{ген}i} - P_{\text{н}i} + j(Q_{\text{ген}i} - Q_{\text{н}i})] \quad (3)$$

де $\underline{S}_{\text{н}}$ – комплекс повної потужності навантаження:

$$\underline{S}_{\text{н}} = \sum_{i=1}^3 (P_{\text{н}i} + jQ_{\text{н}i}) \quad (4)$$

Значення модуля комплексу напруги прямої послідовності $\underline{U}_1$ визначається за формулою:

$$U_1(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = \left| \frac{1}{3} [\underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) + a\underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) + a^2\underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C})] \right| \quad (5)$$

де $a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ – оператор повороту.

Значення комплексів лінійних напруг $\underline{U}_{AB}$, $\underline{U}_{BC}$, $\underline{U}_{CA}$ в точці приєднання СЕС до РЕМ (т. 2, рис. 1) визначається шляхом вирішення нелінійних рівнянь режиму РЕМ у вигляді балансу струму:

$$\begin{cases} \underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) = \underline{U}_{cAB} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}A} - \underline{S}_{\text{н}A})^*}{\underline{U}_{AB}^*} \cdot \underline{Z}_{cA}, \\ \underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) = \underline{U}_{cBC} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}B} - \underline{S}_{\text{н}B})^*}{\underline{U}_{BC}^*} \cdot \underline{Z}_{cB}, \\ \underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C}) = \underline{U}_{cCA} - \frac{(\underline{S}_{\text{ген}C} - \underline{S}_{\text{н}C})^*}{\underline{U}_{CA}^*} \cdot \underline{Z}_{cC}, \end{cases} \quad (6)$$

де $\underline{U}_{cAB}$, $\underline{U}_{cBC}$, $\underline{U}_{cCA}$ – комплекси лінійних напруг на шинах системи (т. 0, рис. 1):
 $\underline{Z}_{cA}$, $\underline{Z}_{cB}$, $\underline{Z}_{cC}$ – значення комплексів еквівалентних фазних опорів ділянки схеми РЕМ від т. 0 до т. 2 (рис. 1).

Значення модуля комплексу напруги зворотної послідовності визначається за виразом:

$$U_2(\mathbf{S}_{\text{ген}}) = \left| \frac{1}{3} [\underline{U}_{AB}(\underline{S}_{\text{ген}A}) + a^2\underline{U}_{BC}(\underline{S}_{\text{ген}B}) + a\underline{U}_{CA}(\underline{S}_{\text{ген}C})] \right| \quad (7)$$

Слід зазначити, що рівняння (6) належать до класу нелінійних рівнянь функції комплексної змінної, і їх вирішення можливе лише шляхом використання відповідних чисельних методів. Це, в свою чергу, унеможливорює знаходження взаємозв'язку між

значеннями компонент вектора керування $S_{\text{ген}}$ та значеннями лінійних напруг U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} в аналітичній формі.

Як зазначено в роботі [6], найдоцільнішим методом вирішення задач багатокритеріальної оптимізації вигляду (1) є метод наближення до утопічної точки в просторі критеріїв. Для випадку задачі (1) координатами утопічної точки будуть мінімальні значення кожного з критеріїв $Q_{\text{ут}} = (-P_{\Sigma \text{ген} \min}, \text{tg } \varphi_{\min}, \Delta U_{1 \min}, U_{2 \min})$.

Розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації даним методом відбувається в два етапи:

1. Шляхом знаходження мінімуму кожного з критеріїв визначається координати утопічної точки $Q_{\text{ут}} = (-P_{\Sigma \text{ген} \min}, \text{tg } \varphi_{\min}, \Delta U_{1 \min}, U_{2 \min})$ в просторі критеріїв $\{Q\} \subset \mathbb{R}^4$.

2. Шляхом розв'язку задачі мінімізації відстані ρ від утопічної точки до парето-оптимальної множини розв'язків в просторі критеріїв знаходиться кінцевий розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації (1) $S_{\text{ген}}^{\text{opt}}$ в просторі керування $S_{\text{ген}}^{\text{opt}} \subset \mathbb{C}^3$.

В загальному випадку, вираз для визначення відстані ρ має наступний вигляд:

$$\rho_{L^p} = \left(\sum_{i=1}^m |Q_i(S_{\text{ген}}) - Q_{\text{uti}}|^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (8)$$

Як показано в роботі [6], вирішення задачі (1) найдоцільніше здійснювати шляхом використання чебишевської метрики ($p \rightarrow \infty$). За такого підходу задача знаходження кінцевого розв'язку задачі (1) набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \max \left\{ \frac{-P_{\Sigma \text{ген}}(S_{\text{ген}}) - (-P_{\Sigma \text{ген} \min})}{\xi_1}, \frac{|\text{tg } \varphi(S_{\text{ген}})| - \text{tg } \varphi_{\min}}{\xi_2}, \right. \\ \left. \frac{|\Delta U_1(S_{\text{ген}})| - \Delta U_{1 \min}}{\xi_3}, \frac{U_2(S_{\text{ген}}) - U_{2 \min}}{\xi_4} \right\} \rightarrow \min \\ S_{\text{ген}} \in \Omega \end{array} \right. \quad (9)$$

де $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ – вагові коефіцієнти, що враховують відносну важливість кожного з критеріїв.

Таким чином, шляхом застосування методу наближення до утопічної точки в просторі критеріїв розв'язок задачі багатокритеріальної оптимізації (1) зводиться до послідовного вирішення ряду задач скалярної оптимізації. Вирішення зазначених задач скалярної оптимізації найдоцільніше здійснювати шляхом застосування відомих числових методів розв'язку. Як зазначено в роботі [6], досить гарні результати з точки зору точності та швидкості розрахунку спостерігаються при застосуванні методу Нелдера-Міда.

Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації (1) методом наближення до утопічної точки для випадку мінімізації чебишевської відстані, побудована за результатами розрахунку числового тестового прикладу, наведена на рис. 2.

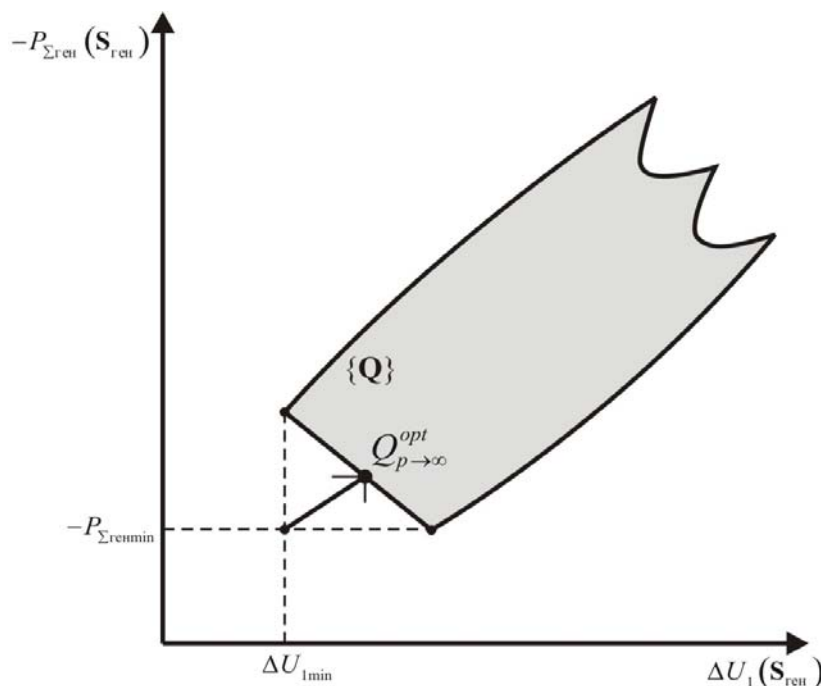


Рисунок 2 – Геометрична інтерпретація розв'язку задачі багатокритеріальної оптимізації методом наближення до утопічної точки для випадку чебишевської метрики

Джерело: розроблено авторами

Слід відмітити, що через неможливість графічного відображення функції чотирьох змінних, на рис. 2 відображена графічна залежність для випадку $|\operatorname{tg} \varphi(S_{\text{ген}})| = \text{const}, U_2(S_{\text{ген}}) = \text{const}$.

Висновки. В результаті проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Зважаючи на можливість багатofункціонального впливу інвертора СЕС на параметри режиму роботи РЕМ одним із найбільш доцільних методів підвищення ефективності роботи РЕМ з СЕС є удосконалення системи автоматичного керування сонячним інвертором.

2. Задачу одночасного зниження рівня усталеного відхилення напруги, рівня несиметрії напруг, та рівня споживання реактивної потужності за умови максимально можливого значення генерації електроенергії в РЕМ з СЕС найдоцільніше інтерпретувати як задачу багатокритеріальної оптимізації.

3. Запропонований в роботі підхід до знаходження розв'язків задачі багатокритеріальної оптимізації може бути покладений в основу функціонування оптимальної САК параметрами режиму РЕМ з СЕС.

Список літератури

1. Солдатенко В.П., Плешков С.П. Автоматичне керування режимами роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 34 (1256). С. 66-70.
2. Зміни встановленої потужності ОЕС України. URL: <https://ua.energy/zagalni-novyny/u-2020-rotsi-vstanovlena-potuzhnist-ves-ta-ses-zrosla-na-41-a-yihnya-chastka-u-strukturi-vyrobnytstva-elektroenergiyi-vdvichi/> (дата звернення: 19.01.2022).
3. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Кравчук С.В., Бандура І.О. Фотоелектричні станції як засіб регулювання перетоків реактивної потужності в електричній системі. *Наукові нотатки : міжвуз.*

- зб. (за галузями знань "Технічні науки"). 2019. Вип. 65. С. 137-141. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_22 (дата звернення: 19.01.2022).
4. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011>
 5. Bahri, H., Aboufatah, M., Guisser, M., Abdelmounim, E., & El Malah, M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. International Review of Automatic Control, 11(6), 293-303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686>
 6. Плешков П. Г., Гарасьова Н.Ю., Солдатенко В.П. Оптимальне керування режимом роботи комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика: зб. наук. пр.* Харків : НТУ "ХПІ". 2018. № 32 (1308). С. 64-70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12>

References

1. Soldatenko, V.P., & Plieshkov, S.P. (2017). Avtomatychne keruvannya rezhymamy roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanyymi dzherelamy enerhiyi [Automatic control of the operation modes of the combined electric power system with renewable energy sources] . Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI». *Zbirnyk naukovykh prats'. Seriya: Problemy udoskonalennya elektrychnykh mashyn i aparativ – Bulletin of NTU "KhPI" – Series: Problems of Electrical Machines and Apparatus Perfection.* Kharkov : NTU "KhPI". Vol. 34. 66-70 [in Ukrainian].
2. Zminy vstanovlenoyi potuzhnosti OES Ukrayiny [Changes in the installed capacity of the United Energy System of Ukraine] Retrieved from <https://ua.energy/zagalni-novyny/u-2020-rotsi-vstanovlenapotuzhnist-ves-ta-ses-zrosla-na-41-a-yihnya-chastka-u-strukturi-vyrobnytstva-elektroenergiyi-vdvichi/> [in Ukrainian]
3. Lezhnyuk, P.D., Komar V.O., Kravchuk S.V., & Bandura I.O. (2019). Fotoelektrychni stantsiyi yak zasib rehulyuvannya peretokiv reaktyvnoyi potuzhnosti v elektrychniy systemi [Photovoltaic stations as a means of regulating the flow of reactive power in the electrical system]. *Naukovi notatky : mizhvuz. zb. (za haluzyamy znan' "Tekhnichni nauky") – Scientific notes: interuniversity. coll. (by fields of knowledge "Technical Sciences")*. Vol. 65. 137-141. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2019_65_22 [in Ukrainian]
4. WAN Qian, Xia Chengjun, Azeddine Houari, Zhao Xue1, Xia Chengjun, Zheng Xiaotian and Huang Chuyin (2020). The Reactive Power Support Strategy based on Dual-loop Control for Three-phase Grid-connected Inverter. 10th International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering (CPEEE 2020), Volume 182. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202018202011> [in English]
5. Bahri, H., Aboufatah, M., Guisser, M., Abdelmounim, E., & El Malah, M. (2018). Sliding mode control of a three phase grid connected photovoltaic system with a nonlinear load. International Review of Automatic Control, 11(6), 293-303. DOI: <https://doi.org/10.15866/ireaco.v11i6.11686> [in English]
6. Plyeshkov, P.H., Haras'ova N.YU., & Soldatenko V.P. (2018). Optymal'ne keruvannya rezhymom roboty kombinovanoi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanyymi dzherelamy enerhiyi [Optimal control of the mode of operation of the combined electric power system with renewable energy sources]. *Visnyk Natsional'noho tekhnichnoho universytetu "KHPI". Ser. : Problemy udoskonaluvannya elektrychnykh mashyn i aparativ. Teoriya i praktyka – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Problems of improving electrical machines and devices. Theory and practice.* Kharkov : NTU "KhPI". Vol. 32. 64-70. DOI: <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2018.32.12> [in Ukrainian].

Artem Sachenko, postgraduate student, **Sergii Plieshkov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Petro Plieshkov**, Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Zinzura**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Central Ukrainian Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Optimal Control of the Modes of Distribution Electrical Networks With Solar Power Plants Under Unbalanced Load

The article is devoted to improving the system of automatic control of modes of distribution electric networks containing solar power plants in order to achieve a simultaneous reduction of steady-state voltage deviations, voltage asymmetry at the terminals of consumers while maximizing the level of electricity generation by solar power plants.

Ensuring normal permissible levels of electricity quality indicators in distribution networks is one of the most pressing issues that arise in the design and operation of modern distribution networks. Deterioration of the

quality of electricity in electrical networks leads to the appearance of such negative phenomena, increase in additional losses in the elements of the electrical network, reduce the service life of electrical equipment, reduce the productivity of production equipment and others. The most significant negative impact on the functioning of the elements of electrical distribution networks, including electricity consumers, is observed with increasing levels of steady-state deviation and voltage asymmetry above the normative values. Modern solar inverters allow you to control the level of steady voltage deviation at the point of their connection to the mains. The design features of the construction of inverters of solar power plants allow them to change (within certain limits) not only the level of steady-state voltage deviation, but also to affect the level of voltage asymmetry and the parameters of the reactive power mode.

In view of this, the task of improving automatic control systems for the distribution of electric networks with solar power plants, the implementation of which will take into account the multifunctional influence of solar inverters on the parameters of these networks is quite relevant.

For the research, a fragment of a typical distribution electrical network with a nominal voltage of 10 kV was used, which contains a solar power plant that connects directly to the 10 kV busbars.

The authors of the article set the problem of controlling the parameters of the mode of distribution electric network with solar power plants in the form of the problem of multicriteria optimization. An approach to solving this problem is also proposed, which is based on the method of solving problems of multicriteria optimization by approaching the utopian point in the space of criteria.

Approximate calculations are carried out, which confirm the possibility of applying the proposed approach to the construction of systems for automatic control of the parameters of the mode of distribution electrical networks with solar power plants

solar power plants, multi-criteria optimization, indicators of the quality of electrical energy

Одержано (Received) 22.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 004.78

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.44-51](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.44-51)

О.В. Присяжнюк, доц., канд. техн. наук, **О.М. Близнюкова**, канд. психол. наук
Центральноукраїнський державний педагогічний університет імені Володимира Винниченка, М. Кропивницький, Україна
e-mail: elena_drobot@ukr.net, bllyus@yahoo.com

Розробка та використання веб додатків для оптимізації процедури проведення навчальної експертизи методом Делфі для задач управління

У статті розглядаються можливості використання веб додатків для навчання студентів організації та проведення колективного оцінювання методом Делфі у задачах управління. Розглянуто модель та технічні аспекти, що виникають при організації онлайн експертизи. Позначені психологічні проблеми, які належить вирішувати при реалізації даного підходу. Запропоновано технологію оптимізації процедури проведення навчальної онлайн експертизи у вигляді веб додатку.

експертна оцінка, метод Делфі, розробка веб додатків

Постановка проблеми. Метод експертних оцінок як науковий інструмент аналізу проблем, що складно формалізуються, в Україні, як і у всьому світі посідає надзвичайно важливе місце. Роль експертного оцінювання засобами онлайн додатків в умовах сучасних суспільно-політичних, економічних, військових, інформаційних та

гуманітарних загроз і викликів значно зросла в багатьох галузях управління, освіти та психології. Практично методи експертного оцінювання реалізуються у вигляді експертиз: індивідуальних і групових, очних і заочних. У зв'язку із зростаючими потребами в отриманні експертних оцінок та обмеженій доступності досвіду та ресурсів спостерігаються тенденції до використання онлайн сервісів для організації та проведенні колективних експертиз. Також слід відмітити важливість навчання майбутніх фахівців з комп'ютерних технологій навичкам проведення та обробки результатів експертного оцінювання, які з одного боку дозволяють формувати фахові компетенції, зокрема, здатність до системного мислення, здатність працювати в команді, здатність приймати обґрунтовані рішення, тощо, а з іншого боку дають досвід розв'язання типових задач управління, які складають суттєвий сегмент потенційних ІТ проектів.

У даній роботі розглядається проблематика оптимізації процесу організації та проведення колективної експертизи в умовах дистанційної взаємодії. Для цього потрібно розробити відповідну технологію, яка дозволяє експертам у зручній для них формі надати оцінки та автоматизувати процедуру їх обробки. Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання низки задач, зокрема проведення опитування експертів, агрегація експертних оцінок, оцінювання міри узгодженості колективної оцінки з індивідуальними, врахування психологічних якостей експертів тощо. Виходячи із широкого розповсюдження Інтернету та охоплення всіх видів управлінської діяльності, дана технологія пропонується у вигляді відповідного веб додатку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні вирішенням проблем експертного оцінювання займаються лише окремі вітчизняні науковці й практики, зокрема, Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк, В.В. Циганок, С.В. Каденко, [1-4]. Питанням формалізації процедур узгодження експертних оцінок приділяється увага у роботах Н.Д. Панкратової [5].

Наразі активно розробляються системи підтримки експертних оцінювань у вигляді веб або мобільних додатків для забезпечення окремих технологічних процесів експертизи, зокрема проведення та обробки експертних оцінювань [6-7]. В першу чергу це стосується кількісних методів експертного оцінювання, оскільки вони відносяться до добре формалізованих задач.

З іншого боку, зарубіжний досвід в галузі сучасних освітніх методів свідчить про тенденції зростання процесів розробки та впровадження електронних навчальних середовищ та їх окремих компонент для візуалізації та моделювання тих чи інших процесів у задачах управління. У роботі французьких дослідників Ф. Тена-Шоле, Дж. Тіксієра [8] наводяться підходи до проектування віртуального навчального середовища для навчання стратегіям прийняття рішень в кризових ситуаціях та пропонується модель навчального полувіртуального середовища для організації колективного експертного оцінювання..

У дослідницькій статті британських вчених О. Сімкоте, Е. Люгер та інших [9] привертається увага на важливій ролі усвідомленості експертів при використанні ними автоматизованих систем для експертного оцінювання, а саме, щоб вони могли розуміти, наглядати та контролювати процес розробки та залучення таких систем в процес експертизи.

Незважаючи на значну кількість робіт, що стосуються розроблення і вдосконалення методів експертного оцінювання та їх формалізації, аналіз останніх досліджень показав, що для успішного вирішення питань щодо оптимізації навчальних процедур проведення експертиз в умовах дистанційного режиму необхідно розробка та впровадження відповідних онлайн технологій.

Постановка завдання Рішення завдань оптимізації процедури проведення навчальної колективної експертизи методом Делфі шляхом розробки та впровадження відповідного веб додатку.

Виклад основного матеріалу. Методи експертних оцінок застосовуються у випадках, коли задача прийняття рішень повністю або частково не піддається формалізації і не може бути розв'язана відомими процедурами. Завдання експерта полягає в тому, щоби маючи знання в певній предметній області, досвід та інтуїцію, оцінити варіанти рішень та вибрати серед них оптимальне. Суть методів колективних експертних оцінок полягає у приведенні сукупності індивідуальних експертних оцінок до єдиної узгодженої оцінки на базі статистичних або алгебраїчних методів. Це складна і відповідальна робота, особливо в тому випадку, коли рішення проблеми має багатокритеріальний характер і не зводиться до досягнення однієї мети. Для організації колективних експертиз використовуються різні методи отримання експертних оцінок: дискусія, анкетування, мозковий штурм, ділова гра та ін.

Взагалі кажучи, вивчення способів та методів експертного оцінювання студентами спеціальності 122 «Комп'ютерні» науки проводиться на протязі всього курсу дисципліни «Системний аналіз та теорія прийняття рішень». Це і генерація варіантів вибору в заданій предметній області, і оцінювання об'єктів вибору з використанням різних форм оцінок: бінарні оцінки, ранжування, безпосередня оцінка у визначеній шкалі.

Колективна експертиза проводиться в рамках вивчення статистичних методів обробки експертних оцінок [10]. Для формування у студентів навичок проведення експертиз та знаходження результуючого рішення на практиці з ними розглядається метод Делфі, як один з найбільш популярних методів колективного оцінювання.

Основні етапи експертного оцінювання на основі методу Делфі:

- 1) уточнення проблем або об'єктів для експертизи;
- 2) формування групи експертів;
- 3) розробка анкети для опитування експертів;
- 4) індивідуальне анкетне опитування експертів;
- 5) математичне опрацювання результатів опитування;
- 6) узгодження колективної оцінки та за необхідністю уточнення експертами своїх оцінок.

Для формування стійкої узагальненої оцінки, етапи 4, 5, 6 можуть проводитися 2-3 рази. Характерною особливістю методу Делфі є зменшення розпорошеності експертних оцінок з кожним наступним туром та їх зростаюча узгодженість.

Для проведення навчальної експертизи студентам пропонуються набір задач, метою яких є оцінювання ступеню впливу окремих чинників на досліджуваний показник певної предметної області [10] з можливістю уточнення об'єктів експертизи.

Формування груп експертів з 4-6 чоловік відбувається із числа студентів, при цьому усі вони виступають одночасно і у ролі експертів, приймаючи участь у предметних групах своїх колег, так і у ролі аналітиків, обробляючи результати особисто організованої експертизи. На цьому етапі експертизи слід провести процедуру визначення ступеню компетентності експерта. На практиці для оцінювання професійних якостей експерта використовується метод самооцінки. Для цього в анкетах розміщують питання, відповіді на які дозволяють встановити об'єктивні (експериментальні, документальні), чи суб'єктивні (евристичні) оцінки експерта.

Ступінь компетентності експертів, зокрема, визначається за формулою:

$$K_k = \frac{K_z + K_a}{2}, \quad (1)$$

де K_z – коефіцієнт ступеня знайомства експерта з проблемою;

$K_z \leq 1$; K_a – коефіцієнт аргументованості рішень експерта, $K_a \leq 1$.

Коефіцієнт ступеня знайомства K_z визначається самооцінкою експерта за десятибальною шкалою і множенням оцінки на 0,1. Для цього в навчальній експертизі використовується шкала оцінок ступеня знайомства експерта з проблемою, представлена таблицею 1:

Таблиця 1 – Ступінь знайомства експерта з проблемою

0 балів	- експерт не знайомий із проблемою;
1 - 3 бали	- погано знайомий, але проблема входить до кола інтересів
4 - 6 балів	- задовільно знайомий, але практично не займається;
7 - 9 балів	- добре знайомий і займається практично;
10 балів	- вузький фахівець із проблеми.

Джерело: розроблено авторами

Для одержання значення K_a використовується шкала аргументованості, приведена в таблиці 2. Експерт відмічає відповідну графу по кожному виді джерел, а потім числа з відзначених граф підсумовуються.

Таблиця 2 – Шкала аргументованості

Джерело аргументів	Ступінь впливу аргументів		
	високий	середній	низький
Теоретичний аналіз	0,3	0,2	0,1
Досвід	0,5	0,4	0,2
Література	0,1	0,08	0,04
Інтуїція	0,05	0,04	0,02

Джерело: розроблено авторами

Наступним кроком мають бути створення анкет та безпосереднє проведення експертизи. При розробці анкети необхідно дотримуватися таких вимог:

- анкета не повинна містити багато питань;
- відповіді на питання не повинні займати багато часу;
- відповіді повинні даватися суворо в заданій шкалі оцінок;
- анкета, як правило, повинна бути анонімною.

Доцільно застосовувати 10 або 100-бальні шкали оцінок із невеличким числом градацій, кожна градація повинна бути однозначно описана. У таблиці 3 представлена універсальна вербально-числова шкала градацій Харінгтона, адаптована до цілей навчальної експертизи.

Таблиця 3 – Вербально-числова шкала оцінки показників якісного характеру

№	Змістовний опис градацій	Числове значення
1.	Дуже низька	0-1
2.	Низька	2-3
3.	Середня	4-5
4.	Висока	6-7
5.	Дуже висока	8-10

Джерело: розроблено авторами

Всі оцінки, отримані в ході опитування групи експертів, зводяться в матрицю:

$$C = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При цьому деякі з оцінок у (2) можуть бути відсутніми, якщо експерт утримався від оцінки якогось чинника.

Узагальнена оцінка важливості чинника обчислюється за формулою:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m c_{ij}}{m_j}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

де M_j – узагальнена оцінка важливості j -го чинника; m_j – кількість експертів, що оцінили j -ий чинник, ($m_j \leq m$); c_{ij} – оцінка в балах, дана i -м експертом j -му чиннику.

З урахуванням коефіцієнта компетентності формула (3) має вигляд:

$$M_j = \frac{\sum_{i=1}^m K_k c_{ij}}{m_j}. \quad (4)$$

Після того, як усі узагальнені оцінки важливості кожного чинника обраховані можна їх проранжувати. Очевидно, що чим важливіший чинник, тим більше його узагальнена оцінка і тим менший ранг йому відводиться у загальному ранжуванні. Важливою є задача визначення надійності результатів обробки. У зв'язку з цим студентам пропонується також оцінити ступень узгодженості думок експертів.

Таким чином, при обробці оцінок експертів отримується експертний висновок про досліджуване явище або процес і формується рішення проблеми, що задається метою експертизи.

Традиційно при проведенні навчальної експертизи для анкетування використовувались як друковані бланки анкет, так і електронний варіант, а для обробки аналітичних даних найчастіше студентами використовувались можливості табличного процесору Excel. В умовах пріоритетної дистанційної взаємодії в студентсько-викладацькій спільноті актуально постало питання розробки онлайн додатку для автоматизованої обробки результатів і реалізації електронного опитування як основного фактору оптимізації процедури проведення навчальної експертизи.

В ході аналізу архітектурних шаблонів для забезпечення роботи режимів аналітик-адміністратор та експерт було вибрано базову модель «клієнт-сервер». З метою навчальної ефективності додатку виявлено ключові вимоги:

1. Можливість формування бланку для експертного оцінювання
2. Можливість заповнення бланку експертизи та бланку самооцінки з подальшим внесенням даних у БД
3. Можливість обробки експертних оцінок та агрегування їх у колективну оцінку
4. Можливість редагування платформи
5. Візуалізація результатів експертних оцінювань та колективних рішень.

Повноцінними ролями користувача у системі є адміністратор, який одночасно є аналітиком та експерт. На рисунку 1 представлено діаграму прецедентів, на якій відображено можливі ролі користувачів та дії, які вони можуть виконувати.



Рисунок 1 – Діаграма варіантів використання

Джерело: розроблено автором

Вихідні дані для роботи експертів беруться із бази знань, сформованої на попередніх етапах. Передбачено режим запуску сервера при якому ініціюється запуск програми-сервера і відбувається налаштування неї на роботу з базою знань.

Клієнтські частини програмного забезпечення розсилаються експертам, які беруть участь в експертизі. Клієнтська частина, використовуючи спеціально розроблений інтерфейс, дає експертам оцінити альтернативи та відправити результати оцінки в зворотному напрямку до сервера. Результати усіх індивідуальних оцінювань заносяться у спільну таблицю і використовується надалі аналітиком для знаходження колективного рішення за наведеною моделлю (1)-(4).

Висновки. У дослідженні окреслено технологію організації колективного експертного оцінювання за методом Делфі. Наведено модель та необхідні формалізації. Виявлено коло проблем технічного та когнітивного характеру, які виникають у процесі навчання студентів навичкам проведення експертиз та обробки отриманих результатів у форматі дистанційної взаємодії. Розроблено інформаційну технологію, що заснована на проведенні колективних опитувань та обробці експертних оцінювань. Обґрунтовано доцільність розробки та впровадження систем підтримки експертного оцінювання у вигляді веб додатків.

Впровадження розробленої інформаційної технології експертного оцінювання у вигляді веб додатку дозволить студентам засвоїти прийоми проведення експертизи на змістовному та технічному рівні. Перспектива подальших досліджень – це створення цілісного програмного комплексу із охопленням більшості формалізованих методів прийняття колективних рішень та розміщення його у вільному доступі Інтернет.

Список літератури

1. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Експертні технології прийняття рішень: Монографія. Київ: ТОВ «Маклаут», 2008, 444 с. URI: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/56847> (дата звернення: 28.08.2022).
2. Гнатієнко Г.М., Снитюк В.Є. Математичне та програмне забезпечення задач обробки експертної інформації при проведенні іспитів. *Штучний інтелект*. 2010. № 3. С. 638-647. URI: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/56847> (дата звернення: 28.08.2022).
3. Циганок В.В., Качанов П.Т., Каденко С.В., Андрійчук О.В., Гоменюк Г.А. Експериментальний аналіз технології експертного оцінювання. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2012. Т. 14. № 1. С. 91-100. URI: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/50564> (дата звернення: 26.08.2022).
4. Каденко С.В., Циганок В.В. Підходи до оцінки ефективності експертних методів. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2019. Т. 21. № 2. С. 56-71. DOI: <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2019.21.2.180456>.
5. Панкратова Н.Д., Малафеева Л.Ю. Формализация согласования экспертных оценок при реализации метода Делфи. *Кибернетика и системный анализ*. 2012. Т. 48. № 5. С. 82-94. URI: <http://www.kibernetika.org/volumes/2012/numbers/05/articles/07/7.pdf> (дата звернення: 29.08.2022).
6. Колодний В.В., Зелінська Д.О., Гірдвайніс В.А. Інформаційна технологія колективного прийняття рішень з вибором індивідуальних інструментів оцінювання альтернатив. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2021. Т. 50. № 1. С. 22-30. DOI: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-50-1-22-30>.
7. Петяк Ю. Ф. Методика опитування експертів для виявлення факторів інформаційної безпеки мобільних пристроїв. *Наукові записки [Української академії друкарства]. Серія : Технічні науки*. 2015. № 1. С. 23-29. - URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nztexn_2015_1_5. (дата звернення 28.08.2022).
8. Tena-Chollet F., Tixier Jr., Dandrieux A. Slangen P. Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool. *Safety Sciencer*. 2016. Vol. 97. P.144-153. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01534398/document> (Lastaccessed: 27.11.2020).
9. Simkute A., Luger E., B. Jones, M. Evans, R. Jones Explainability for experts: A design framework for making algorithms supporting expert decisions more explainable. *Journal of Responsible Technology*. 2021. Vol. 7-8. Article 100017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jrt.2021.100017>.
10. Присяжнюк О.В. Практикум з теорії прийняття рішень: навч. посіб. Кропивницький: ЦДПУ імені Володимира Винниченка, 2018. 76 с.

References

1. Hnatiienko, H. M. & Snytiuk, V. Ye. (2008). *Ekspertni tekhnolohii pryjniattia rishen'*. [Expert decision-making technologies]. Kyiv: LCC «Maklaut» [in Ukraine].
2. Hnatiienko, H. M. & Snytiuk, V. Ye. (2010). Matematychnе ta prohramne zabezpechennia zadach obrobky ekspertnoi informatsii pry provedenni ispytiv [Mathematical and software support for expert information processing problems during exams]. *Shtuchnyi intelekt – Artificial intelligence, Vol.3*, 638-647 [in Ukraine].
3. Tsyhanok, V.V., Kachanov, P.T., Kadenko, S.V., Andriichuk, O.V. & Homeniuk, H.A. (2012). Eksperymentalnyi analiz tekhnolohii ekspertnoho otsiniuvannia [Experimental analysis of expert evaluation technology]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh – Data Recording, Storage & Processing, Vol. 14, 1*, 91-100 [in Ukraine].
4. Kadenko, S.V. & Tsyhanok, V.V. (2019). Pidkhody do otsinky efektyvnosti ekspertnykh metodiv [Approaches to evaluating the effectiveness of expert methods]. *Reiestratsiia, zberihannia i obrobka danykh – Data Recording, Storage & Processing, Vol. 14, 1*, 91-100 [in Ukraine].
5. Pankratova, N.D. & Malafieieva, L.Iu. (2012). Formalyzatsiia sohlasovanyia ekspertnykh otsenok pry realizatsii metoda Delfy [Formalization of coordination of expert assessments in the implementation of the Delphi method]. *Kybernetyka y sistemnyi analiz – Cybernetics and systemi analysis, Vol. 48, 5*, 82-94 [in Russian].
6. Kolodnyi, V.V., Zelinska, D.O. & Hirdvainis, V.A. (2021). Informatsiina tekhnolohiia kolektyvnoho pryiniattia rishen z vyborom indyvidualnykh instrumentiv otsiniuvannia alternatyv [Information technology of collective decision-making with the choice of individual alternative evaluation tools]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia – Information technology and computer engineering, Vol 50, 1*, 22-30 [in Ukraine].

7. Petiak, Yu. F. (2015). Metodyka opytuvannia ekspertiv dlia vyavlennia faktoriv informatsiinoi bezpeky mobilnykh prystroiv [Method of an expert survey to identify the information security factors for mobile devices]. *Naukovi zapysky Ukrainskoi akademii drukarstva. Seriya : Tekhnichni nauky – Scientific Papers Ukrainian Academy of Printin. Series Technical sciences, 1*, 23-29 [in Ukraine].
8. Tena-Chollet, F., Tixier, Jr., Dandrieux, A. & Slangen, P. (2016). Training decision-makers: Existing strategies for natural and technological crisis management and specifications of an improved simulation-based tool. *Safety Sciencer, Vol. 97*, 144-153 [in English].
9. Simkute, A., Luger, E., Jones, B., Evans, M. & Jones, R. (2021). Explainability for experts: A design framework for making algorithms supporting expert decisions more explainable. *Journal of Responsible Technolog, Vol. 7-8. Article 100017* [in English].
10. Prysiazhniuk, O.V. (2018). *Praktykum z teorii pryiniattia rishen [Workshop on the theory of decision-making]*. Kropyvnytskyi: CUSPU [in Ukraine].

Olena Prysiazhniuk, Assoc. Prof., PhD tech.sci., **Olena Blyzniukova**, PhD psychol.sci.

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State Pedagogical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Development and Use of Web Applications for Optimization the Procedure of Conducting Educational Expertise Using the Delphi Method for Management Tasks

The purpose of this article is to research the possibilities of optimization of the process of organizing and conducting educational expertise in conditions of remote interaction. The main task is the development of effective and convenient information technology for conducting expert evaluation in the form of a web application. Additional challenges include elucidating key features of the application architecture that can potentially ensure their educational effectiveness.

The technology of organizing expert evaluation in management tasks is assigned. The main stages of conducting an expertise using the Delphi method are characterised and the necessary formalizations are given. A range of technical and cognitive problems that arise in the process of teaching students the skills of conducting expertise and processing the obtained results in the format of remote interaction has been identified. Information technology based on conducting collective surveys and processing expert evaluations has been developed. The key requirements for the software application, which can potentially ensure their educational effectiveness, have been clarified. Prototyping the application at the conceptual level using UML-modeling tools. The expediency of developing and implementing expert evaluation support systems in the form of web applications while learning decision-making theory disciplines is substantiated.

The implementation of the information technology of expert assessment developed by the authors in the form of a web application will allow students to master the methods of conducting an expertise at a substantive and technical level. The prospect of further research is the creation of a complete software complex covering most of the formalized methods of collective decision-making and placing it in the Internet for free access.

expert evaluation, Delphi method, web application development

Одержано (Received) 31.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 11.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

В.П. Квасніков, проф., д-р техн. наук, **Д.А. Катаєв**, асп.

Національний авіаційний університет, Київ, Україна

e-mail: 627627@stud.nau.edu.ua

Методи підвищення точності вимірювань за допомогою координатно-вимірювальної руки

В статті розроблено алгоритми програмного забезпечення контролю вимірювань координатно-вимірювальної руки для проведення дистанційних вимірювань. Запропоновано алгоритми оцінки точності проведення дистанційних вимірювань деталей із складною геометричною формою. Описано принцип роботи V-образних щупів. Проведено критичний аналіз специфікації вимог до точності для вимірювань деталей із складною геометричною формою. Досліджено основні джерела похибок вимірювань за допомогою координатно-вимірювальної руки.

координатна вимірювальна техніка, координатно-вимірювальна рука, геометричні допуски, безконтактний щуп, дистанційні вимірювання

Постановка проблеми. Оптичні вимірювання мають багато переваг у порівнянні зі звичайними; контактні вимірювання [1]. Координатно-вимірювальна рука, що використовуються для вимірювання деталей із складною геометричною формою, може бути оснащена жорсткими щупами, сенсорними щупами або безконтактними V-образними щупами [2-9]. Найбільшого розповсюдження в наш час набули безконтактні щупи для вимірювань деталей із складною геометричною формою через їх зручність у використанні, багатофункціональність та достатню швидкодію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найчастіше для перевірки кінцевого продукту використовуються спеціальні повірочні міри (контрольні калібри). Цей вид перевірки найбільш тісно пов'язаний з профілем будь-яких поверхневих допусків [12, 13]. Деталь відповідає вимогам, якщо вона відповідає контрольному калібру, тобто будь-яка його частина не виступає за краї контрольного калібру, а точки кріплення елемента знаходяться в певних положеннях, відповідних допуску на калібру. Контрольний калібр дозволяє перевірити, чи відповідає вимірювальна деталь вимогам, але не дає значень відхилень, які необхідні, наприклад, для дослідження у режимі статичного процесу контролю можливостей процесу.

Постановка завдання. У промисловій практиці специфікація вимог до точності виготовлення деталі зі складною просторовою формою все ще недостатньо точна, що часто призводить до значних відхилень від заданої форми. Оскільки номінальна форма деталі зі складною геометрією визначається характерними точками, актуальною стає задача стандартизації допусків до положень цих точок та удосконалення процесу контролю точності вимірювань.

Виклад основного матеріалу. Автоматизація виробничих процесів та проведення метрологічних робіт зокрема, вимагає впровадження спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, G-PAD [10]). Безконтактні щупи використовуються для вимірювання деталей зі складною геометрією різного діаметру та виготовлених з будь-якого матеріалу. Наприклад, Romer пропонує безконтактні щупи 6 розмірів, що охоплюють діаметр елементів до 130 мм [11]. Результати вимірювань складних деталей, надані програмним забезпеченням, що використовується

з вимірювальними кронштейнами, оснащеними V-подібним щупом, складаються з довжин і кутів між прямими частинами елемента. Програмне забезпечення також може розраховувати поправки для параметрів згинальних верстатів. Завдяки системі кодування V-образні датчики можна замінювати під час вимірювання без необхідності перекваліфікації щупа [10].

Стандартний спосіб визначення розмірів деталі зі складною просторовою формою полягає в наданні координат вимірювальних точок (ВТ) в системі координат деталі і радіусів вигину (рис.1).

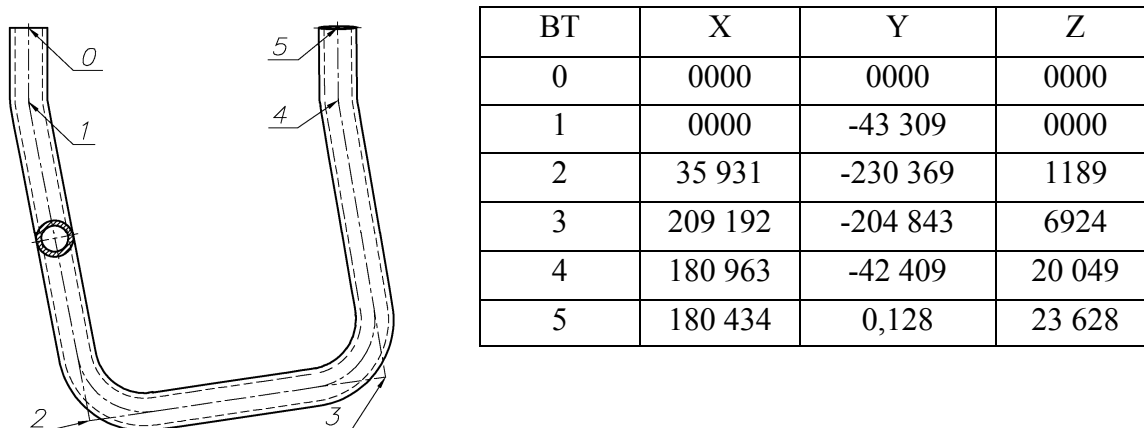


Рисунок 1 – Розміри гнутих елементів; простий приклад креслення з таблицею координат
Джерело: розроблено автором

На рис. 2 представлена схема V-образного щупа що оснащений двома лазерними системами, що складаються з випромінювача лазерного променя і детектора.

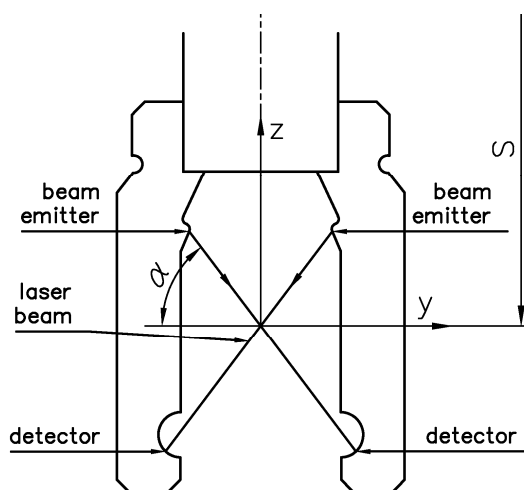


Рисунок 2 – Схема V-образного щупа з розрахунковими параметрами S і α
Джерело: розроблено автором

Конструктивними параметрами V-образного щупа є: відстань S точки перетину балок від останнього з'єднання вимірювального кронштейна та кут α . Орієнтація щупа характеризується вектором його осі у системі координат щупа $u = [0, 0, 1]$ і вектором нормалі площини променів у системі координат щупа $v = [1, 0, 0]$. Вектори напрямку для окремих променів у системі координат щупа: $w_1 = [0, \cos\alpha, \sin\alpha]$, $w_2 = [0, \cos\alpha, -\sin\alpha]$.

Відповідна модель, що дозволяє розрахувати положення та орієнтацію щупа під час зондування в системі координат координатно-виміральної руки, заснована на моделі прямої кінематики (рис. 3) за допомогою конвенції Денавіта-Гартенберга (1) [14-17].

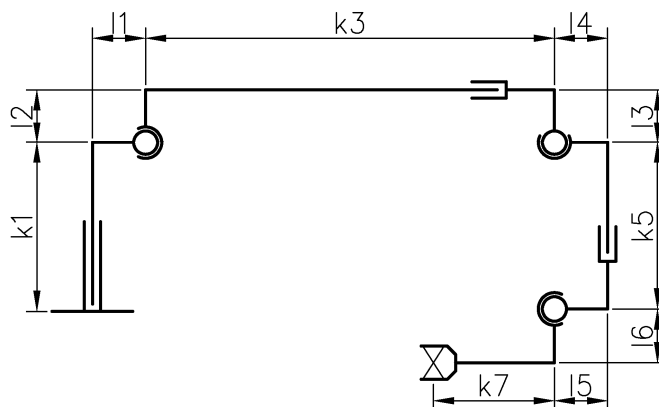


Рисунок 3 – Кінематична модель вимірального плеча, що використовується для аналізу похибок вимірювань елементів

Джерело: розроблено автором

Матриця координатного положення одного суглоба має вигляд:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & l_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & l_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & k_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Положення та орієнтація V-щупа наведено в матриці T моделі Денавіта-Гартенберга (необхідній для моделювання), що є результатом матриць перетворення [18-20]:

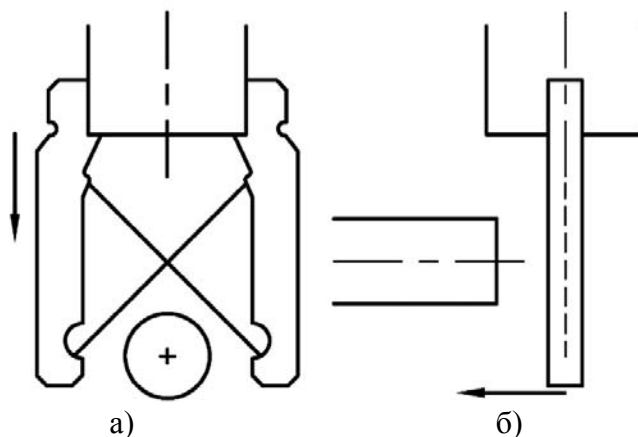
$$T = A_1 \cdot \dots \cdot A_n. \quad (2)$$

Координати характерної точки щупа (точка перетину балок для V-образного щупа) наведені в елементах T_{14} , T_{24} , T_{34} , а орієнтація щупа (вектори напрямку осей) – у таких елементах: X вектор осі – (T_{11}, T_{21}, T_{31}) , вектор осі Y – (T_{12}, T_{22}, T_{32}) , вектор осі Z – (T_{13}, T_{23}, T_{33}) .

V-щуп генерує вимірвальні сигнали, коли будь-який з лазерних променів переривається, а також коли промінь повторно з'єднає випромінювач і детектор. У той же момент програмне забезпечення записує положення та орієнтацію датчика, а також номер променя, який генерував сигнал.

Під час руху щупа по відношенню до вимірюваної деталі, як у напрямку до деталі, так і у зворотному, послідовно мають місце наступні ситуації (рис. 4):

- поступає сигнал від обох детекторів;
- поступає сигнал лише від першого детектора;
- від обох детекторів не поступає сигналу;
- поступає сигнал лише від другого детектора;
- поступає сигнал від обох детекторів при початку зворотного руху.



а) вимірювання точки осі, б) визначення кінцевої точки елемента

Рисунок 4 – Відносне положення та орієнтація щупа та зігнутого елемента під час

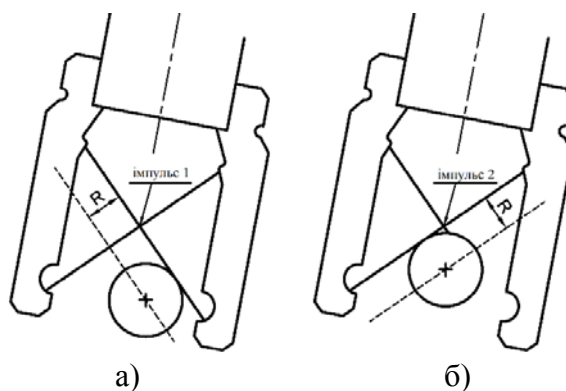
Джерело: розроблено автором

Під час вимірювання точок осі деталі оператор має вирівняти щуп перпендикулярно осі вимірюваного елемента і вести датчик уздовж прямої лінії, не змінюючи його орієнтацію (рис. 4,а). Крім того, для визначення положення кінцевих точок деталі необхідно перемістити щуп до кінця елемента, зберігаючи його правильну орієнтацію щодо осі вимірювальної деталі (площина балок, перпендикулярна до осі елемента) (рис. 4,б). Оскільки виконання цих вимог у виробничих умовах з достатньою точністю неможливо, з'являється невизначеність вимірювання.

Для зменшення невизначеності та підвищення точності вимірювань запропоновано наступний метод: припустимо, що V-образний датчик можна переміщати точно вздовж прямої лінії в площині, перпендикулярній осі елемента, і що діаметр деталі відомий (діаметр вимірюваного елемента вводиться користувачем перед вимірюванням), то для визначення координат точки осі деталі достатньо переміщати щуп до тих пір, поки послідовно обидва променю не будуть порушені.

Координати точки осі обчислюються з перетину двох прямих, паралельних лазерним променям, і зміщуються в площині променів (у відповідному напрямку) на значення радіусу деталі (рис. 5,а). Можна довести, що можливий поворот (під час вимірювання) щупа навколо осі елемента не вносить жодної похибки (рис. 5,б).

Неправильне значення діаметра або переміщення щупа без збереження перпендикулярної орієнтації площини балок щодо осі елемента призводить до похибки вимірюваного положення елемента в напрямку зондування.



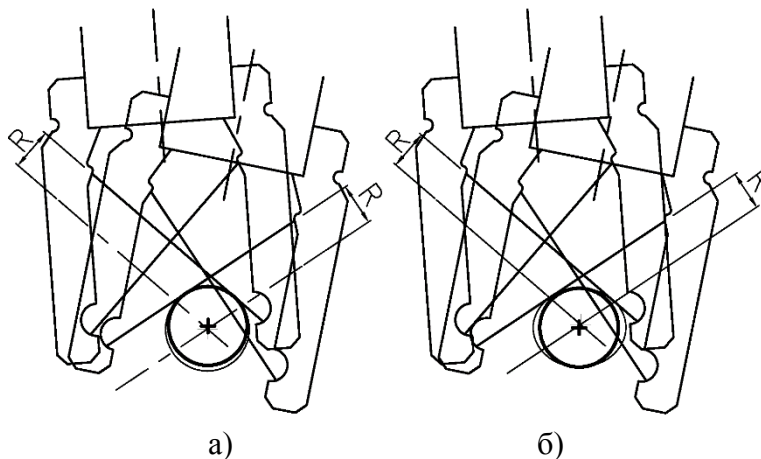
а) переривання першого променю, б) переривання другого променю

Рисунок 5 – Алгоритм визначення точки осі елемента на основі відомого радіусу елемента R і вимірювальних сигналів, що генеруються при перериванні 2 лазерних променів

Джерело: розроблено автором

Враховуючи той факт, що V-образний щуп не переміщується в одній площині, зазначені прямі також не лежать в одній площині, тому для обчислення точки осі необхідно обчислити площину проекції (наближення площини перпендикулярно до осі елемента), на якому точка осі повинна бути обчислена з спроектованих прямих.

На точність вимірювання за допомогою V-образного щупа впливають, серед іншого, реальне значення діаметра вимірюваного елемента деталі (яке вводиться користувачем) і реальна орієнтація датчика (відмінність від перпендикуляра) по відношенню до деталі вісь (рис, 6).



а) неправильне значення діаметра елемента, б) нахил площини V-образного щупа щодо осі елемента

Рисунок 6 – Пояснення джерел похибки вимірювання

Джерело: розроблено автором

Якщо реальний діаметр елемента відрізняється від значення, введеного в програмне забезпечення, або пластина V-образного датчика не перпендикулярна до осі елемента, то вимірювана точка осі буде зміщена відносно реальної точки осі.

Наступний метод підвищення точності полягає у тому, що у повній послідовності руху в одному напрямку точку осі можна обчислити двічі, а її координати можна обчислити як середнє з двох записаних точок. У повній послідовності «вперед-назад» точку осі можна обчислити 4 рази і в якості кінцевого результату береться середнє з 4 результатів, що додатково підвищує точність.

Використовуючи один із запропонованих методів, прямий фрагмент деталі можна розрахувати на наступному кроці як пряму, побудовану з двох або більше точок. Є можливість визначити прямий фрагмент деталі за один крок, розв'язавши тривимірне рівняння.

У зв'язку з тим, що вимірювання проводяться на 2х ділянках, виходить відповідно з обраною точністю вісім або шістнадцять дотичних до елемента із заданим діаметром точок вимірювання. Визначення осі прямолінійного фрагмента деталі із складною просторовою формою передбачає розв'язування наступної математичної задачі: знайти пряму, яка віддалена від кожної з 8 або 16 прямих приблизно на однакову відстань (радіус елемента).

Відстань d між прямою k , визначеною точкою K і вектором $\mathbf{u}$, і прямою l , визначеною точкою L і вектором $\mathbf{v}$, можна виразити наступною формулою

$$d = \frac{|(K - L) \cdot (\mathbf{u} \times \mathbf{v})|}{|\mathbf{u} \times \mathbf{v}|}. \quad (SEQrown \setminus *ARABIC3)$$

Невідомі параметри L і $\mathbf{v}$ прямої l , що представляє прямий відрізок осі деталі, можна обчислити шляхом мінімізації суми квадратів відстаней 8 (або 16) прямих K_i від прямої l (рис. 7).

$$\sum_{i=1}^{8(16)} \left(\frac{(K - L) \cdot (u \times v)}{|u \times v|} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (4)$$

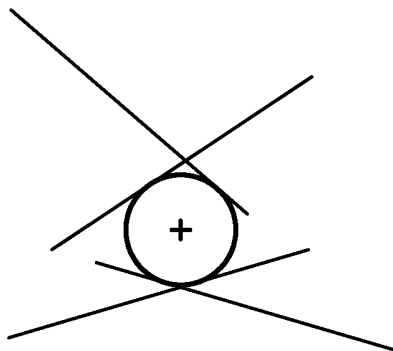


Рисунок 7 – Моделювання результатів вимірювань (тангенціальних прямих) для однієї вимірювальної ділянки в режимі вимірювання «одинарна точність»

Джерело: розроблено автором

Завдяки відомим параметрам V-образного щупа (кут променів і вектор нормалі площини балок) прямі k_i можуть бути визначені за показаннями шарнірних датчиків і характеристичними точками V-образного щупа K_i (перетин променів) та вектори визначення V-образного щупа (напрямки променів) у момент генерації вимірювальних сигналів.

Для вимірювання гнутих елементів найчастіше використовується наступний алгоритм. Після визначення прямих відрізків осі зігнутого елемента розраховуються точки перетину окремих відрізків. Оскільки дійсні осі прямих відрізків не перетинаються, програмні алгоритми в результаті перетину зазвичай дають середню точку найкоротшої лінії, що з'єднує осі.

Для визначення кінцевих точок вимірюваного елемента необхідно перемістити V-образний щуп у напрямку до торців деталі вздовж її осі, щоб балки перетнули торець вимірювального елемента. Але даний алгоритм має цілий ряд недоліків, основним серед яких є точність позиціонування щупа відносно координат деталі.

Запропоновано наступний алгоритм вимірювання деталей складної геометричної форми за допомогою координатно-вимірювальної руки (рис.8):

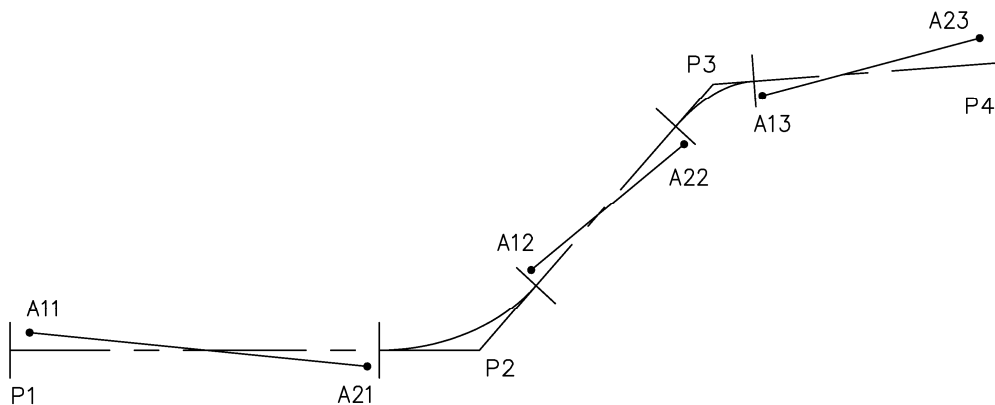


Рисунок 8 – Графічне пояснення алгоритму розрахунку відхилення

Джерело: розроблено автором

1. вимірювання осі прямих відрізків деталі за допомогою запропонованого методу;

2. обчислення точки A_{ij} ($i = 1 \dots 2$; j – залежно від кількості прямих відрізків) осі біля кінців прямих відрізків деталі;

3. розрахунок матриці перетворення системи координат, що є результатом найкращого прилягання множини точок A_{ij} до номінальної осі криволінійної ділянки деталі, визначеної характерними точками, причому критерієм підгонки є сума квадратів відстаней α_{ij} між точками A_{ij} і прямими лініями, що визначаються сусідніми вимірювальними точками P_j і P_{j+1}

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^2 \frac{a_{ij}^2 + b_{ij}^2 + c_{ij}^2}{l_{ij}^2} \rightarrow \min, \quad (SEQrown \setminus *ARABIC5)$$

$$\begin{aligned} a_{ij} &= (y_{P_j} - y_{A_{ij}})(z_{P_{(j+1)}} - z_{P_j}) - (z_{P_j} - z_{A_{ij}})(y_{P_{(j+1)}} - y_{P_j}), \\ b_{ij} &= (z_{P_j} - z_{A_{ij}})(x_{P_{(j+1)}} - x_{P_j}) - (x_{P_j} - x_{A_{ij}})(z_{P_{(j+1)}} - z_{P_j}), \\ c_{ij} &= (x_{P_j} - x_{A_{ij}})(y_{P_{(j+1)}} - y_{P_j}) - (y_{P_j} - y_{A_{ij}})(x_{P_{(j+1)}} - x_{P_j}), \end{aligned} \quad (6)$$

$$l_j^2 = (x_{P_{(j+1)}} - x_{P_j})^2 + (y_{P_{(j+1)}} - y_{P_j})^2 + (z_{P_{(j+1)}} - z_{P_j})^2. \quad (7)$$

4. обчислення відстані d_{ij} усіх розрахованих точок осей і номінальної осі

$$d_{ij} = \frac{\sqrt{a_{ij}^2 + b_{ij}^2 + c_{ij}^2}}{l_j}. \quad (SEQrown \setminus *ARABIC8)$$

5. розрахунок відхилення поверхні як подвоєну найбільшу відстань d_{ij}

$$\Delta = 2 \cdot \max(d_{ij}). \quad (3)$$

6. визначення координати кінцевих точок і проектування їх на номінальну вісь;

7. розрахунок відхилення положення кінцевих точок (приблизно розглядається як положення торців) за допомогою подвоєного значення відстані цих точок до їх відповідного номінального положення.

Висновки. Були представлені алгоритми, що використовуються в програмному забезпеченні координатно-вимірювальної руки з V-образними щупами. Було запропоновано методи підвищення точності метрологічних робіт при виготовленні деталей складної геометричної форми будь-якого допуску поверхні без системи прив'язки до координат деталі.

Розроблено методи вимірювання для координатно-вимірювальної руки, оснащених безконтактними щупами, та декілька варіантів оцінки результатів вимірювань для деталей складної просторової форми. На основі результатів дослідження визначено найважливіші джерела похибки вимірювань.

Список лїтератури

1. Технологические основы контроля на координатно-измерительных машинах / Б. С. Бражкин, Н. И. Исаев, А. А. Кудинов, В. С. Миротворский; под общ. ред. А. А. Кудинова. М.: Миттель Пресс, 2014. 149 с.
2. Gao H, Zhang ML and Zhang XJ. Review on key technology of manipulator absolute positioning accuracy calibration. *Application Research of Computers* . 2017; 34(9): 2570–2576.
3. Гречихин С. В. Разработка процесса приемочного контроля с использованием координатно-измерительной машины детали «Корпус редуктора»: выпускная квалификационная работа . Рос. гос. проф.-пед. ун-т, Ин-т инж.-пед. образования, Каф. технологии машиностроения, сертификации и методики проф. обучения. Екатеринбург, 2017. 68 с.
4. Li L, Yang H, Jiang L, et al. Optimal measurement area determination algorithm of articulated arm measuring machine based on improved FOA. *Measurement and Control*. 2020; 53(9–10): 2146–2158.
5. Мурачѳв Д. А., Черепанов М. А. Методика измерения параметров на координатно-измерительной машине GLOBAL CLASSIC 05.05.05 . *Молодой ученый*. 2016. No12.3. С. 53-58
6. Lu Y, YuLMandGuoB. Calibration of industrial robot structure parameters based on closed dimensional chain. *Chinese Journal of Scientific Instrument* . 2018; 39(02): 3846. (in Chinese)
7. Чапала О.В. Координатно-измерительные машины и их применение . Новайнфо. 2016. No 57. URL: <http://novainfo.ru/article/10054> (дата обращения: 14.08.2022).
8. Li RJ, Fan KC and Huang QX. A long-stroke 3D contact scanning probe for micro/nano coordinate measuring machine. *Precision Engineering*. 2016; 43: 220–229.
9. Зубарев Ю.М., Косаревский С.В. Автоматизация координатных измерений в машиностроении: учебное пособие . Изд. 3-е, стер. Санкт-Петербург :Лань, 2017. 159
10. Гречников Ф.В., Захаров О.В., Королев А.А. Направления повышения производительности и точности контроля сложных поверхностей на координатно-измерительных машинах . Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта. Москва: ИПУ РАН, 2016. С. 223-225.
11. Graham T. Smith . Machine Tool Metrology . An Industrial Handbook Springer International Publishing . Switzerland. 2016.
12. Этингоф М.И. Автоматический размерный контроль на металлорежущих станках . М.: АПР, 2016. 336 с.

References

1. Brazhkin B.S., Isaev, N.I., Kudinov, A.A. & Mirotvorskij, V.S. (2014). Tehnologicheskie osnovy kontrolja na koordinatno-izmeritel'nyh mashinah [Technological foundations of control on coordinate measuring machines] . A. A. Kudinova (Ed.). Moskow: Mittel' Press [in Russian].
2. Gao, H, Zhang, ML & Zhang, XJ. (2017). Review on key technology of manipulator absolute positioning accuracy calibration. *Application Research of Computers*, 34(9): 2570–2576 [in English].
3. Grechihin, S.V. (2017). Razrabotka processa priemochnogo kontrolja s ispol'zovaniem koordinatno-izmeritel'noj mashiny detali «Korpus reduktora»: vypusknaja kvalifikacionnaja rabota [Development of an acceptance control process using a coordinate measuring machine for the “Reducer Housing” part: final qualification work]. Ros. gos. prof.-ped. un-t, In-t inzh.-ped. obrazovanija, Kaf. tehnologii mashinostroenija, sertifikacii i metodiki prof. obuchenija. Ekaterinburg [in Russian].
4. Li L, Yang H, Jiang L, et al. (2020). Optimal measurement area determination algorithm of articulated arm measuring machine based on improved FOA. *Measurement and Control*; 53(9–10): 2146–2158 [in English].
5. Murachjov, D.A. & Cherepanov, M.A. (2016). Metodika izmerenija parametrov na koordinatno-izmeritel'noj mashine GLOBAL CLASSIC 05.05.05 [Technique for measuring parameters on coordinate measuring machine GLOBAL CLASSIC 05.05.05]. *Molodoj uchenyj – Young scientist*, 12.3, 53-58 [in Russian].
6. Lu Y, YuLMandGuoB. Calibration of industrial robot structure parameters based on closed dimensional chain. *Chinese Journal of Scientific Instrument* 2018; 39(02): 3846. [in Chinese].
7. Chapala, O.V. (2016). Koordinatno-izmeritel'nye mashiny i ih primenenie [. Coordinate measuring machines and their applications]. Novainfo. No 57. Retrieved from <http://novainfo.ru/article/10054> [in Russian].
8. Li RJ, Fan KC & Huang QX. (2016). A long-stroke 3D contact scanning probe for micro/nano coordinate measuring machine. *Precision Engineering*; 43: 220–229 [in English].
9. Zubarev, Ju.M. & Kosarevskij, S.V. 2017. *Avtomatizacija koordinatnyh izmerenij v mashinostroenii: uchebnoe posobie* [Automation of coordinate measurements in mechanical engineering]. 3d ed, . Sankt-Peterburg :Lan' [in Russian].
10. Grechnikov, F.V., Zaharov, O.V. & Korolev, A.A. (2016). Napravlenija povyshenija proizvoditel'nosti i tochnosti kontrolja slozhnyh poverhnostej na koordinatno-izmeritel'nyh mashinah [Directions for improving

- the productivity and accuracy of control of complex surfaces on coordinate measuring machines]. *Sistemy proektirovanija, tehnologicheskij podgotovki proizvodstva i upravlenija jetapami zhiznennogo cikla promyshlennogo produkta – Systems of design, technological preparation of production and management of the stages of the life cycle of an industrial product*. Moskva: IPU RAN, S. 223-225 [in Russian].
11. Graham, T. (2016). *Smith Machine Tool Metrology*. Smith An Industrial Handbook Springer International Publishing Switzerland [in English].
 12. Jetingof, M.I. (2016). *Avtomaticeskij razmernyj kontrol' na metallovezhushhih stankah [Automatic dimensional control on metal-cutting machines]*. Moscow: APR [in Russian].

Volodymyr Kvasnikov, Prof., DSc., **Denis Kataiev**, post-graduate
National Aviation University, Kyiv, Ukraine, 627627@stud.nau.edu.ua

Methods of Increasing the Accuracy of Measuring with the Help of a Coordinate-Measuring Hand

In industrial practice, the specification of requirements for the accuracy of manufacturing a part with a complex spatial shape is still not accurate enough, which often leads to significant deviations from the given shape. Since the nominal shape of a part with a complex geometry is determined by characteristic points, the task of standardizing the tolerances to the positions of these points and improving the measurement accuracy control process becomes urgent.

The article has developed algorithms for the control of measuring measures of the measuring and measuring hand for remote measurements. Algorithms for assessing the accuracy of remote measurements of parts with complex geometric shape are proposed.

The principle of operation of V-shaped probes is described. A critical analysis of the specification of requirements for accuracy for measuring parts with complex geometric shapes was carried out. The main sources of measurement errors are investigated by means of a coordinate-measuring hand.

Based on the results of the study, the most important sources of measurement error were identified.

coordinate measuring equipment, coordinate-measuring hand, geometric tolerances, contactless probe, remote measurements

Одержано (Received) 07.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 16.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 621.317

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.60-69](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.60-69)

Д.М. Квашук, доц., канд. екон. наук, **В.М. Єгунько**
Національний авіаційний університет, Київ, Україна
e-mail: dmytro.kvashuk@npp.nau.edu.ua, sv@nau.edu.ua

Аналіз методів корекції похибок вимірювальних приладів

В роботі проводиться аналіз шляхів забезпечення точності вимірювальних приладів з використанням методів корекції похибок. Проведено аналіз різних методів корекції похибок, що викликані статичними та динамічними факторами. Досліджено зворотні математичні моделі вимірювальних каналів, в якості яких використовуються інтерполяційні поліноми Лагранжа. Розглядаються способи застосування таких моделей у методах зразкових сигналів та у тестових методах підвищення точності. Запропоновано вдосконалення тестового методу коригування похибки. Обґрунтовано ефективність даного вдосконалення для застосування у складі інформаційно-вимірювальної системи. Показано, що найважливішими напрямками підвищення ефективності такої системи є забезпечення необхідної експериментальної бази, а також точність налаштування алгоритмів корекції.

похибка, вимірювання, корекція похибки, регулювання, перетворювач, зворотній зв'язок

© Д.М.Квашук, В.М. Єгунько, 2022

Постановка проблеми. Збільшення точності вимірювальних приладів обумовлено потребою в оптимізації енергетичних ресурсів України, оскільки саме вимірювальні прилади відіграють ключову роль в оптимізації роботи електричних машин на промислових підприємствах окремих галузей. Крім того, якість оброблюваної продукції, також залежить від точності автоматизованих систем управління, підтримання яких вимагає корегування точності. Усе це, потребує покращення систем корегування похибок, як на рівні апаратної частини приладу, так і методологічної. Вже існуючі методи значно покращують роботу з управління енергетичними системами, але разом з тим існує необхідність в збільшенні їх точності та швидкодії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед багатьох факторів впливу на точність вимірювальних перетворювачів, можна виділити наступні: вібрація, нестабільність напруги, температура. Дослідження питань коригування похибок в роботі [1] дозволило розробити алгоритм керування робочими органами верстата, які компенсують його температурну похибку з використанням зворотного зв'язку та спеціального алгоритму внесення відповідних поправок. В даному випадку корекція полягає в тому, що на вхід вимірювального перетворювача подається тестовий сигнал певної інтенсивності. За реакцією вимірювального перетворювача на цей сигнал визначають значення його похибки. Потім приймається рішення про введення поправки шляхом регулювання одного з параметрів інформаційного перетворювача.

На практиці найчастіше зустрічаються завдання пов'язані з корекцією адитивної та мультиплікативної складових похибок вимірювальних перетворювачів, які складають абсолютну похибку $\Delta(x)$, поточне значення якої можна описати наступним виразом:

$$\Delta(X) = \Delta_0 + \gamma_0 x, \quad (1)$$

де Δ_0 – адитивна похибка;

$\gamma_0 x$ – мультиплікативна похибка.

При адитивній корекції похибки вимірювальних засобів, зменшення похибки здійснюється за допомогою зміщення функції перетворення (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурна схема засобу вимірювання з адитивною корекцією похибки

Джерело: розроблено автором на основі джерела [2]

На рис. 1 відображено одну з найбільш розповсюджених структурних схем засобів вимірювання з адитивною корекцією. У цій схемі операція виділення сигналу похибки ΔX відбувається в результаті одночасного, або різночасового віднімання двох сигналів – вхідного X та зворотного y_k . Він підсилений допоміжним каналом, який видає різницевий сигнал y_2 , що використовується для введення поправок у засіб вимірювання.

Засоби вимірювання з мультиплікативною корекцією похибок здійснюється за рахунок виділення похибок вимірювання та управління коефіцієнтом перетворення з метою мінімізації похибки (рис. 2).



Рисунок 2 – Структурна схема засобу вимірювання з мультиплікативною корекцією похибки
Джерело: розроблено автором на основі джерела [3]

Характеристика перетворення такого способу має вигляд:

$$Y = (K + K_s S)X + D_X, \quad (2)$$

де K – коефіцієнт перетворення засобу вимірювання;

$K_s S$ – зміна коефіцієнта перетворення засобів вимірювання під дією сигналу S

У такий спосіб можна коригувати адитивні та мультиплікативні похибки, проте при переважанні адитивної похибки корекція здійснюється лише в одній точці шкали засобу вимірювання.

Корекція похибки може бути здійснена з використанням корекції сигналу. Для практичної реалізації даного способу необхідно мати надмірність швидкодії та набір зразкових сигналів (рис. 3).

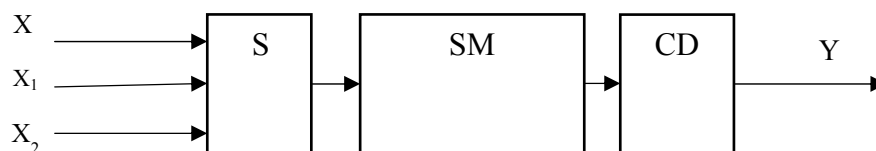


Рисунок 3 – Корекція похибки з використанням способу зразкових сигналів
Джерело: розроблено автором на основі джерела [4]

На рис. 3 представлено блок зразкових значень S , куди передаються по черзі вхідні сигнали $x_1 \dots x_n$, після порівняння вони передаються до системи вимірювання, обробка яких може бути описана системою лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} y_0 = a_1 + a_2 x \\ y_1 = a_1 + a_2 x_1, \\ y_2 = a_1 + a_2 x_2 \end{cases} \quad (3)$$

де a_1, a_2 – коефіцієнти характеристики перетворення системи вимірювання.

Вирішив відповідну систему рівнянь отримаємо:

$$x = x_2 (y_0 - y_1) / (y_2 - y_1) - x_1 (y_2 - y_0) / (y_2 - y_1), \quad (4)$$

В даному випадку значення x залежить від зміни параметрів характеристик перетворення. Таким чином, знижується як адитивна, так і мультиплікативна складові похибки. Високу ефективність такого методу можна спостерігати, коли значення x та

коефіцієнти a_1 і a_2 не змінюються за час, який необхідний для отримання одного результату вимірювання.

В роботі [5] досліджувалась ефективність алгоритмів адитивної та мультиплікативної корекції похибок, спрямованих на усунення впливу інструментальної похибки, що дозволило встановити діапазони змін для кожного способу. В результаті оцінки способів усунення впливу інструментальної похибки, авторами було введено відповідні поправочні коефіцієнти η^a та η^m , що являють собою відносні значення ймовірностей помилкових рішень: $P_{ном}^* = P_{ном} + \Delta P_{ном}$, до корекції та після її проведення:

$$\eta^a = \frac{P_{ном} + \Delta P_{ном}}{P_{ном} + \Delta P_{ном}^a} = \frac{1 + \mu}{1 + \frac{\mu}{\tau^a}} = 1 + \frac{\mu(\tau^a - 1)}{\mu + \tau^a}, \quad (5)$$

$$\eta^m = \frac{P_{ном} + \Delta P_{ном}}{P_{ном} + \Delta P_{ном}^m} = \frac{1 + \mu}{1 + \frac{\mu}{\tau^m}} = 1 + \frac{\mu(\tau^m - 1)}{\mu + \tau^m}, \quad (6)$$

$$\text{де } \mu = \frac{\Delta P_{ном}}{\Delta P}, \tau^a = \frac{\Delta P_{ном}}{\Delta P_{ном}^a}, \tau^m = \frac{\Delta P_{ном}}{\Delta P_{ном}^m};$$

η^a – поправочний коефіцієнт адитивної похибки;

η^m – поправочний коефіцієнт мультиплікативної похибки;

$P_{ном}$ – ймовірність помилкових значень.

Таким чином, для покращення потреб коригування похибки необхідні ефективні алгоритмічні методи підвищення точності вимірів. До таких можна віднести методи зразкових сигналів та тестові методи, в основі яких лежить функціональне перетворення засобів вимірювання під час виконання циклу спеціально організованих вимірів. Відповідно, структуру вимірювального каналу, або системи можна представити у вигляді функціональної моделі:

$$Y = F(X, a_0, a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (7)$$

де X – вхідна величина;

Y – вихідна величина;

$a_0, a_1, \dots, a_n$ – параметри математичної моделі, яку найчастіше представляють у вигляді функції перетворення степного поліному:

$$Y = \sum_{j=0}^n a_j X^j, \quad (8)$$

де n – порядок поліному.

При цьому кількість зразкових величин, що використовуються для ідентифікації, або тестів не менше $(n+1)$.

Розглядаючи характеристики швидкодії вимірювальних засобів, не можливо оминати зворотні математичні моделі, які використовуються для формування каналів зворотного зв'язку. До таких можна віднести інтерполяційну модель Лагранжа [6]:

$$X = \sum_{j=0}^n L_j(Y_x) \cdot F_j(X), \quad (9)$$

де X – значення вимірюваної величини;

Y_x – значення вихідної величини вимірювального каналу, що відповідає значенню X на його вході;

j – номер вузла інтерполяції;

n – порядок інтерполяційного полінома;

$F_j(X)$ – значення вхідної величини вимірювального каналу в j -му вузлі інтерполяції.

$$L_j(Y_x) = \frac{\prod_{\substack{i=0, j=0 \\ i \neq j}}^n (Y_x - Y_i)}{\prod_{\substack{i=0, j=0 \\ i \neq j}}^n (Y_j - Y_i)}, \quad (10)$$

де $L_j(Y_x)$ – многочлен Лагранжа;

Y_j, Y_i – значення вихідної величини у вузлах інтерполяції;

На практиці найбільше розглядаються лінійні залежності. Так, розглядаючи $F_j(X) = M_j + K_j \cdot X$, як лінійну функцію, де: M_j, K_j – постійні та відомі параметри j -го впливу на вході вимірювального каналу, дозволяє її застосовувати для обробки зразкових сигналів, а також тестових методів підвищення точності. При цьому можливі такі варіанти: $M_j \neq 0, K_j = 0$, в такому випадку на вхід подається зразкова дія, що формується за допомогою міри, значення якої дорівнює M_j ; $M_j \neq 0, K_j = 0$, або $F_j(X) = X + M_j$, в такому випадку на вході формується адитивний тест, в якому зразкова величина дорівнює M_j ; $M_j = 0, K_j \neq 0, K_j \neq 1$, або $F_j(X) = K_j \cdot X$, в такому випадку на вході формується мультиплікативний тест; $M_j \neq 0, K_j \neq 0, K_j \neq 1$, в такому випадку формується комбінований тест, який містить адитивну та мультиплікативну складові.

Використовуючи формулу (9) з урахуванням (10), можна отримати розрахунок зразкових сигналів (рис. 3), а також для тестових методів підвищення точності. При цьому слід враховувати, що загальна кількість вимірювань дорівнює $(n+2)$ і включає одне безпосереднє вимірювання X :

$$X = \frac{\sum_{j=0}^n L_j(Y_x) \cdot M_j}{1 - \sum_{j=0}^n L_j(Y_x) \cdot M_j}, \quad (11)$$

Зважаючи на можливості коригування вихідного сигналу, існує ряд факторів впливу на точність таких коригувальних механізмів, що вимагає додаткових заходів пов'язаних із виключенням впливу на результат вимірювань окремих параметрів вимірювального перетворювача. Тому, існують підходи до вимірювань за допомогою перетворення спеціальних тестових сигналів та обробки результатів перетворень за певним алгоритмом, що дозволяють на своїй базі створювати вимірювальні системи для вимірювань, як електричних, так і неелектричних величин. Сутність тестових методів підвищення точності вимірювань полягає у визначенні параметрів статичної функції перетворення за допомогою додаткових перетворень тестів, які функціонально пов'язані з вимірюваною величиною [6]. При реалізації тестових методів процес вимірювання складається з $n+1$ тактів, де n – кількість використовуваних тестів. У першому такті перетворюється вимірювана величина, далі у n додаткових тактах

перетворюються тести $A_1(x)$, $A_2(x)$, $A_3(x)$, ..., $A_n(x)$, кожен з яких є функцією вимірюваної величини. Результати перетворень y_1 , y_2 , ..., y_n можуть бути представлені у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = a_1 + a_2 A_1(x) + \dots + a_n A_1(x)^{n-1} \\ y_2 = a_1 + a_2 A_2(x) + \dots + a_n A_2(x)^{n-1} \\ y_n = a_1 + a_2 A_n(x) + \dots + a_n A_n(x)^{n-1} \end{cases} \quad (12)$$

З метою реалізації тестового алгоритму підвищення точності вимірювань необхідно визначити параметри a_1 , a_2 , ..., a_n статичної функції перетворення засобу вимірювання із системи рівнянь (12). Структурна схема вимірювальної системи із використанням тестового методу збільшення точності описана в роботі [6] (рис. 5).

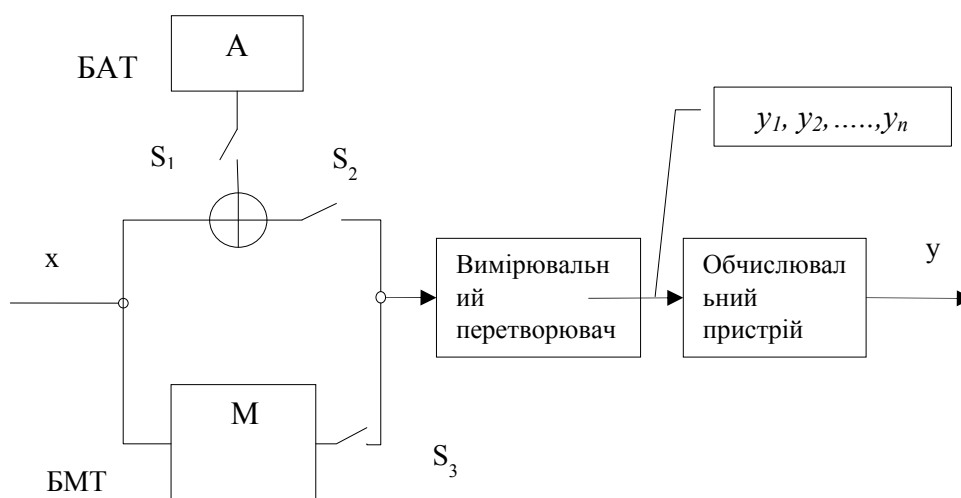


Рисунок 5 – Структурна схема вимірювальної системи алгоритму тестового методу
Джерело: розроблено автором на основі джерел, [1], [4], [6].

На рис. 5 представлено блок адитивного тесту (БАТ), блок мультиплікативного тесту (БМТ), обчислювальний пристрій, вимірювальний перетворювач та ключів (S_1 - S_3). Вимірювання складається з трьох тактів. У першому такті ключі розімкнуті, при цьому на вхід подається тільки вимірювана величина. У другому такті ключ S_1 замикається і на вхід подається адитивний тест $A+k$, який формується блоком адитивного тесту. Під час третього такту ключ S_1 розмикається, а S_2 замикається, забезпечуючи підключення до входу вимірювального мультиплікативного перетворювача тесту $M \cdot x$, що формується блоком мультиплікативного тесту. Для отримання значення вимірювальної величини слід вирішити систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = a_1 + a_2 x \\ y_2 = a_1 + a_2 (x + A), \\ y_3 = a_1 + a_2 Mx \end{cases} \quad (13)$$

Значення вимірювальної величини буде дорівнювати:

$$Y = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{A}{M - 1}. \quad (14)$$

В такому випадку, похибка блоків формування тестів буде представлено, як суму абсолютної похибки Δ_A , що обумовлена відмінністю реального значення

постійної складової адитивного тесту від номінального, абсолютної похибки Δ_M , як відмінності реального значення коефіцієнта перетворення БМТ від номінального, а також вагових коефіцієнтів k_0, k_1 . Вагові коефіцієнти можуть бути визначені наступним співвідношенням:

$$\begin{cases} k_0 = \frac{y_3 - y_1}{(y_2 - y_1) \cdot (M - 1)} \\ k_1 = \frac{y_3 - y_1 \cdot A}{(y_2 - y_1) \cdot (M - 1)^2} \end{cases}, \quad (15)$$

з урахуванням якого, загальна похибка блоків формування тестів буде мати вираз:

$$\Delta = \Delta_A \cdot k_0 + \Delta_M \cdot k_1, \quad (16)$$

Відносна похибка представлена наступним чином:

$$\delta = \frac{1}{A} \cdot \Delta_A - \frac{1}{M - 1} \cdot \Delta_M. \quad (17)$$

Разом з тим, враховуючи, що результат вимірювання залежить від параметрів адитивного та мультиплікативного тестів, їх стабільність визначає і результуючу похибку.

Постановка завдання. Дослідити методи корекції похибки. Запропонувати вдосконалення тестового методу корегування похибки у складі інформаційної системи.

Вдосконалення тестового методу. Враховуючи, що точність тестового методу залежить від точності адитивного та мультиплікативного тестів, вдосконалення такого методу може полягати розробці алгоритму, що дозволить усунути вплив параметрів тестів на результат вимірювань. Це, в свою чергу дозволить створювати вимірювальні системи, які мають більш високу точність.

Усунення впливу параметра мультиплікативного тесту може бути здійснено із додаванням додаткового перетворення. В такому випадку вимірювальний процес буде складатися із чотирьох тактів. Відмінність від класичної схеми (рис. 5), буде полягати у додаванні четвертого такту, де при замкнутому ключі S_2 будуть замикатися ключі S_1 та S_3 . В такому випадку до входу вимірювального перетворювача буде підключений тест типу $M \cdot (x + A)$:

$$Y = \frac{y_3 - y_2}{(y_3' - y_2') - (y_3 - y_2)} \cdot M, \quad (14)$$

де y_2 – результат перетворення вимірюваної величини;

y_3, y_2', y_3' – результати перетворення тестів $M \cdot x; x + A; M \cdot (x + A)$. В такому випадку, результат виміру не залежить від коефіцієнта M мультиплікативного перетворення, але залежить від параметра адитивного A , адитивного тесту.

Усунення впливу параметра адитивного тесту може бути здійснено шляхом введення зворотного перетворювача, вихідний сигнал в такому випадку буде мати вигляд:

$$Y = \frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} \cdot \frac{\beta \cdot y_2}{M}, \quad (15)$$

де β – коефіцієнт перетворення зворотного перетворювача.

Усунення параметрів адитивного та мультиплікативного впливу параметрів тестів може бути реалізовано із додаванням двох зворотних перетворювачів (рис. 6)

Так, вимірювальна схема із вдосконалим методом підвищення точності, включає в себе блок мультиплікативного тесту з коефіцієнтом перетворення M та блок адитивного тесту, функцію якого виконує два зворотних перетворювача з коефіцієнтами перетворення β_1 і β_2 , вимірювальний перетворювач ВП та обчислювальний пристрій ОП. Рівняння перетворювальних тестів у відповідності до програмних тактів та стан ключів зведено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівняння перетворювальних тестів та стан ключів

№ такту	Рівняння	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
1.	$y_1 = ax + b$				
2.	$y_2 = \frac{ax + b}{1 - b\beta_1}$				
3.	$y_3 = \frac{ax + b}{1 - b\beta_1\beta_2}$				
4.	$y_4 = \frac{ax + b}{1 - b\beta_2}$				
5.	$y_5 = \frac{(a + b) \cdot (M + x)}{(1 - b) \cdot (K + \beta_1)}$				
6.	$y_6 = \frac{(a + b) \cdot (M + x)}{(1 - b) \cdot (K + \beta_2)}$				

Джерело: розроблено автором на основі джерел [1], [4]

Вирішивши систему рівнянь, що описують перетворення вхідних величин вимірювального перетворювача в кожному такті вимірювання, можна отримати скориговане значення вимірюваної величини.

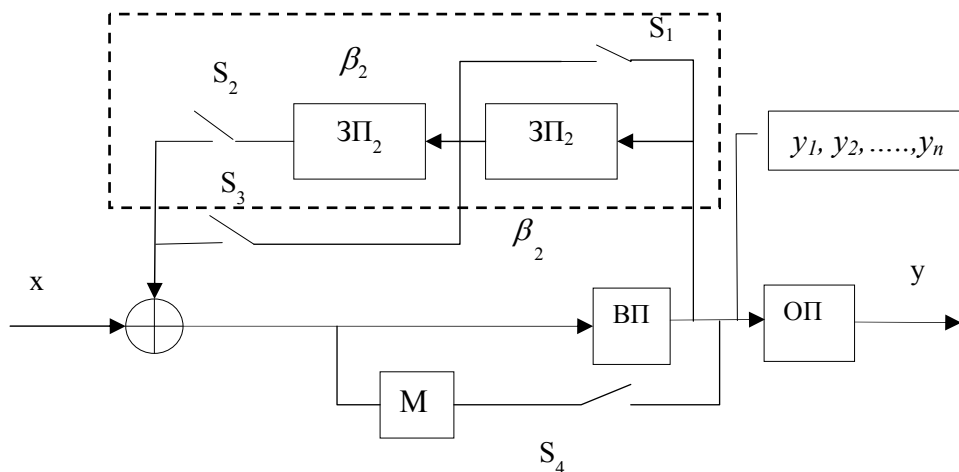


Рисунок 6 – Структурна схема вдосконаленої вимірювальної системи тестового методу

Джерело: розроблено автором на основі джерел [1], [4].

Висновки. В результаті аналізу методів корегування похибок вимірюваних засобів визначено, що для покращення потреб коригування необхідні ефективні алгоритмічні методи підвищення точності вимірів. До таких можна віднести методи зразкових сигналів та тестові методи, в основі яких лежить функціональне

перетворення засобів вимірювання під час виконання циклу спеціально організованих вимірів.

Запропонований спосіб усунення впливу параметрів адитивної та мультиплікативної складової вимірювання на точність тестового методу шляхом створення додаткових зворотних перетворювачів та системи рівнянь, що описують перетворення вхідних величин вимірювального перетворювача в кожному такті вимірювання, може використовуватись для отримання скоригованого значення вимірювальної величини.

Список літератури

1. Кулинич Ю.М., Тепляков А.Н., Электрические измерения: учеб. пособие. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2018. 114 с.
2. Метрологія у галузі зв'язку. Книга 1. Загальні електрорадіовимірювання: посіб. / Л.В. Коломієць та ін. Одеса: ТОВ «ВМВ», 2009. 480 с.
3. Shi, D., Tylavsky, D. J., & Logic, N. (2012). An adaptive method for detection and correction of errors in PMU measurements. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 1575-1583.
4. Кириченко Е. Эффективность аддитивной и мультипликативной коррекции погрешностей при диагностировании. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні : наук.-техн. зб.* 2003. Вип. 6. С. 20-24.
5. Купер В. Я., Рубцов М. Г. Алгоритмические методы повышения точности измерений на основе обратных интерполяционных моделей. *Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки.* 2010. 7. С. 67-72.
6. Бромберг Э.М., Куликовский К.Л. Тестовые методы повышения точности измерений. М.: Энергия, 1978. 176 с.

References

1. Kulinich YU.M., Teplyakov A.N. (2018) Elektricheskiye izmereniya [Electrical measurements]. *Ucheb. posobiye, M.: FGBU DPO «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte»* [in Russian].
2. Balashov, V.O., Dashchenko, O.F. & Kvasnikov, V.P. (2009). Metrolohiya u haluzi zv'yazku. Zahal'ni elektroradiovimiryuvannya [Metrology in the field of communication. General electroradio measurements]. TOV «VMV», Knyha 1, P. 480. [in Ukraine]
3. Shi, D., Tylavsky, D. J., & Logic, N. (2012). An adaptive method for detection and correction of errors in PMU measurements. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 3(4), 1575-1583. [in English].
4. Kirichenko, Ye. (2003) Effektivnost' additivnoy i mul'tiplikativnoy korrektsii pogreshnostey pri diagnostirovani [Effectiveness of additive and multiplicative correction of errors in diagnosis]. *Pravove, normativne ta metrolohichne zabezpechennya systemy zakhystu informatsiyi v Ukrayini: naukovotekhnichnyy zbirnyk – Legal, regulatory and metrological support of the information protection system in Ukraine: science and technology. coll, Vol. 6*, 20-24. [in Ukraine]
5. Kuper, V.YA. & Rubtsov, M.G. (2010). Algoritmicheskiye metody povysheniya tochnosti izmereniy na osnove obratnykh interpolatsionnykh modeley [Algorithmic methods for improving the accuracy of measurements based on inverse interpolation models]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskiye nauki – Bulletin of the Samara State Technical University. Series: Technical sciences, Vol. 7*, 67-72 [in Russian]
6. Bromberg, E.M. & Kulikovskiy, K.L. (1978). *Testovyye metody povysheniya tochnosti izmereniy* [Test methods for improving the accuracy of measurements]. Moscow: Energiya [in Russian]

Dmytro Kvashuk, Assoc. Prof., PhD econ. sci., **Vasyl Yegunko**, Head of Department
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

Analysis of Methods of Error Correction of Measuring Devices

The article is devoted to the study of methods for correcting errors of measuring devices. Features of the application of correction of multiplicative and additive component errors are considered. The article investigated the methods of correcting the errors of the measuring instruments as part of the measuring systems. This made it possible to find ways to improve the accuracy of measurements. Sample signal methods and test methods based

on the functional transformation of measuring devices during a cycle of specially organized measurements were studied.

An analysis of various error correction methods caused by static and dynamic factors has been carried out. Literary sources were studied, which consider ways to eliminate the influence of instrumental error. Thus, to eliminate the instrumental error, separate correction coefficients representing the relative values of the probabilities of erroneous decisions were considered. During the study, inverse mathematical models of measuring channels were considered, as which Lagrange interpolation polynomials are used.

A method of eliminating the influence of the parameters of the additive and multiplicative component of the measurement on the accuracy of the test method is proposed by creating additional inverse converters and a system of equations describing the transformation of the input values of the measuring converter in each measuring cycle, which can be used to obtain the adjusted value of the measured value. The effectiveness of this improvement for use as part of the information and measurement system is substantiated. It is shown that the most important directions for improving the efficiency of such a system are the provision of the necessary experimental base, as well as the accuracy of setting correction algorithms.

error, measurement, error correction, regulation, transducer, feedback

Одержано (Received) 04.07.2022

Прорецензовано (Reviewed) 06.08.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 004.8/681.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.70-76](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.70-76)

Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук, **Л.І. Поліщук**, ст. викл., **О.К. Коноплицька-Слободенюк**, викл.

*Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
e-mail: aron70@ukr.net*

Огляд інтерфейсів сучасного BIOS та особливості його налаштування

В статті проведено огляд аналіз інтерфейсів сучасної BIOS. Показано, що у зв'язку з великою кількістю виробників апаратного і програмного забезпечення існує безліч різновидів BIOS, що відрізняються один від одного інтерфейсом і назвою функцій. Різні BIOS пропонують користувачеві різний набір можливостей для налаштування системи: В одних цих можливостей більш ніж достатньо, в той час як інші таких можливостей не надають зовсім.

Оскільки сучасні комп'ютери є найскладнішими електронними пристроями, що складаються з десятків компонентів, кожен з яких у свою чергу побудований з мільйонів складових, то будь-яка помилка може призвести до збою або до повної відмови роботи комп'ютера. Якщо прошивка BIOS вимагає певних навичок і знань, то первинні налаштування цілком під силу середньому користувачеві. Більш того, розуміння правил експлуатації комп'ютера є необхідним для грамотного його використання.

користувач, комп'ютер, BIOS, інтерфейс

Постановка проблеми. BIOS - це вбудоване в чіп невелике (від 256 Кб) спеціальне низькорівневе програмне забезпечення, якому відводиться роль збирача інформації про систему і визначення підключеного обладнання. BIOS зберігається на окремій мікросхемі - постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП або ROM). Його призначення – на початковій стадії завантаження забезпечує взаємозв'язок і керування між різними пристроями ПК[1,2,3].

У зв'язку з великою кількістю виробників апаратного і програмного забезпечення існує безліч різновидів BIOS, що відрізняються один від одного інтерфейсом і назвою функцій. Різні BIOS пропонують користувачеві різний набір можливостей для налаштування системи: в одних (таких як Award або AMI) цих можливостей більш ніж достатньо, в той час як інші (наприклад, Phoenix) таких можливостей не надає зовсім.

Слід також відзначити той факт, що всі BIOS різні і це залежить від їх функціональних характеристик та особливостей певної материнської плати. Відповідно налаштування в таких випадках теж будуть відрізнятися. Це наслідок того, що кожна окрема модель материнської плати має свій персональний BIOS. Але, те, що стосується основної частини налаштувань, то для всіх вони будуть однаковими [1,2, 4-8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час серед розробників BIOS для персональних комп'ютерів найбільш відомі три фірми.

По-перше, це American Megatrends, Inc. За часів 386-х процесорів BIOS розробки цієї фірми (AMI BIOS) стояли практично на всіх комп'ютерах. Його із задоволенням використовують такі відомі виробники материнських плат, як ASUS, Gigabyte, MSI, ESC та інші[1,9,10].

Другий виробник – Intel. Деякий час тому на своїх материнських платах вона використовувала модифікований BIOS виробництва American Megatrends, Inc. Зараз на сучасних материнських платах використовується вже власний Intel BIOS. Тут треба зауважити, що на відміну від інших компаній-розроблювачів BIOS, Intel використовує свої напрацювання лише на власних материнських платах.

І третій – Phoenix Technologies. На теперішній час BIOS Phoenix Technologies (торгові марки – Award BIOS, Phoenix Award BIOS, Phoenix Award Workstation BIOS) використовуються практично всіма виробниками материнських плат. Він навіть більш популярний (особливо у виробників материнських плат другого ешелону), ніж AMI BIOS [11-13].

Переважає більшість актуальних версій BIOS має текстовий інтерфейс і керування відбувається з допомогою клавіатури. Тут існує два типи, які відрізняються не тільки структурою, а й кольором меню своїх налаштувань

Перший тип – це Award BIOS і меню даного виду будуть виглядати як на рис.1. Як видно це червоний фон з білими написами. Другий тип – це Ami BIOS і меню такого типу будуть виглядати так як на рис. 2 : тут переважають сірі та сині кольори, тому два типи неможливо сплутати.



Рисунок 1 – Award BIOS

Джерело: розроблено автором

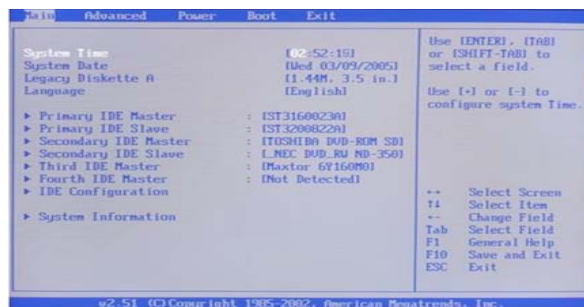


Рисунок 2 – Ami BIOS

Джерело: розроблено автором

Слід також відзначити той факт, що всі BIOS різні і це залежить від їх функціональних характеристик та особливостей певної материнської плати. Відповідно налаштування в таких випадках теж будуть відрізнятися. Це наслідок того, що кожна окрема модель материнської плати має свій персональний BIOS. Але, те, що стосується основної частини налаштувань, то для всіх вони будуть однаковими.

Система UEFI, комплекс специфікацій, що з'явився як «завантажувальна ініціатива Інтел» (Intel Boot Initiative) в 1998 році. Причиною народження ініціативи стало те, що обмеження, обумовлені BIOS, стали відчутно гальмувати динаміку удосконалення обчислювальних систем на основі новітніх в ту пору інтеловських процесорів Itanium.

У той час як BIOS по суті своїй є вельми жорстким і фактично незмінним за змістом кодом прошивки спеціального BIOS-чіпа, система UEFI - має гнучко програмований інтерфейс (рис.3).

Цей інтерфейс розташований поверх всіх апаратних компонентів комп'ютера з їх власними прошивками мікрокоду. На відміну від завантажувального коду BIOS, який завжди жорстко прошитий у відповідному чіпі на системній платі, більш великі за розміром коди UEFI знаходяться в спеціальній директорії / EFI /, місце фізичного розташування якої може бути найрізноманітнішим: від мікросхеми пам'яті на платі або розділу на жорсткому диску комп'ютера до зовнішнього мережевого сховища.



Рисунок 3 – Интерфейс системы UEFI

Джерело: розроблено автором

В результаті настільки гнучкого підходу система UEFI стає чимось на зразок сильно полегшеної, але цілком самостійної операційної системи (ОС) [12.13].

В принципі, в кожній з основних на сьогодні ОС (Windows, OS X, Linux) вже є підтримка завантаження через UEFI.

Постановка завдання. Надійна та ефективна робота ПК неможлива без правильно сконфігурованого BIOS. Конфлікт між новітнім устаткуванням і застарілим кодом чіпа – річ досить часта. У такому разі вихід один – потрібно оновлювати BIOS.

Оновлення BIOS може бути корисно як для збільшення продуктивності і стійкості ОС, так і для коректного розпізнавання процесорів, сумісності з новими жорсткими дисками, відеокартами та іншими компонентами. Процес оновлення BIOS на професійному жаргоні комп'ютерників називається «прошивкою». Для оновлення BIOS краще всього використовувати послуги сервісного центру, де неодмінно допоможуть і встановлять найсвіжішу версію BIOS [12.13].

Причиною здійснення прошивки можуть бути:

- заміна встановленого в ПК процесора на більш потужний, про який плата «нічого не знає», але технологічно здатна його використовувати;
- нові жорсткі диски великого об'єму не розпізнаються материнською платою, а при оновленні BIOS можуть з нею співпрацювати, бо за роботу з вбудованим контролером жорстких дисків відповідає саме BIOS;
- недостатні можливості налаштування системи. Не всі BIOS мають такі важливі параметри, як, наприклад, AGP Fast Writes або SBA. А в новій версії прошивки ці установки можуть бути.

Вкрай важливо при оновленні BIOS керуватися такими правилами:

- завжди читати документацію до плати. Найчастіше, якщо плата підтримує роботу з якоюсь просунутою технологією перепрошивки, то процес роботи з нею чітко описаний у документації;
- часто до bin-файлу з прошивкою додається readme-файл, в якому наведено список відмінностей цієї версії мікропрограми від попередніх. Обов'язково вивчити цю інформацію, перш ніж звертатися до комп'ютера і шукати в BIOS нові можливості;
- виконувати процедуру в максимально стабільних умовах, особливо це стосується енергопостачання – бажано використовувати джерело безперебійного живлення;

- якщо система "розігнана", необхідно повернути її в штатний режим;
- якщо в процесі оновлення BIOS відбуваються неполадки, ні в якому разі не можна вимикати комп'ютер. Необхідно повторити процес або прописати старий образ, збережений спочатку. Якщо і це не допоможе, потрібно звернутися до фахівців, щоб замінити сам чіп, в якому міститься BIOS;
- для захисту від невдалої прошивки рекомендується також зберегти саму утиліту і образ на завантажувальний диск.

Виклад основного матеріалу. Під час завантаження комп'ютера BIOS забезпечує запуск багатьох системних подій автоматично. Найпершим "прокидається" центральний процесор (CPU) і зчитує інструкції з чіпа BIOS. Дані інструкції запускають послідовності тестувань, які скорочено називаються POST.

POST-перевірка складових ПК є важливою частиною роботи BIOS, при виконанні якої здійснюється сканування і налаштування всього апаратного забезпечення.

Спочатку формується логічна архітектура комп'ютера. Подається живлення на всі чіпсети, в їх регістрах встановлюються потрібні значення. Далі визначається обсяг ОЗП (цей процес можна спостерігати на екрані), включається клавіатура, розпізнаються порти. На наступному етапі визначаються блокові пристрої – жорсткі диски IDE і SCSI. Для пристроїв SCSI процедура дещо ускладнюється наявністю власної BIOS, яка бере на себе роботу з відповідним обладнанням та має власну програму налаштування. На заключній стадії відбувається відображення підсумкової інформації.

Після закінчення роботи POST BIOS шукає завантажувальний запис. Цей запис, в залежності від налаштувань, знаходиться, як правило, на першому або другому жорсткому диску. Після того як завантажувальний запис знайдено, він завантажується в пам'ять – і їй передається керування.

Якщо в процесі тестування в налаштуваннях SETUP BIOS були виявлені помилки, система проінформує відповідним повідомленням та звуковим сигналом. Якщо є помилки, то вони можуть проявитися вже на цих стадіях, і до запуску ОС справа не дійде. Якщо проблема не критична, зазвичай після натискання клавіші F1 можна продовжити завантаження [1,2,13].

У процесі цих POST-тестів BIOS порівнює дані системної конфігурації з інформацією, що зберігається в CMOS – спеціальному чіпі, розташованому на системній платі. CMOS-чіп оновлює інформацію, яка в ньому зберігається, всякий раз, коли встановлюється який-небудь новий компонент комп'ютера. Таким чином, він завжди містить найостанніші відомості про системні компоненти.

З пам'яті завантажується системна конфігурація і драйвери пристроїв. Після передачі управління завантажувачу BIOS, періодично виконуючи різні корисні функції (хоча останнім часом ОС Windows все більше і більше бере на себе виконання таких функцій).

Коли ОС завантажена, якщо комп'ютер працює під управлінням Windows, запускаються програми папки "Автозавантаження". Якщо в налаштуваннях SETUP BIOS є помилки, то вони проявляються на цих стадіях, і запуск ОС не відбудеться. Але можливі й інші прояви неправильної налаштування BIOS – повільна або нестабільна робота системи, раптові перезавантаження і т.д. [1,2,4-8].

Єдиного стандарту інтерфейсу програми BIOS Setup не існує. Однак деяка логічна однаковість, як наслідок єдиної виконуваної задачі присутня. BIOS займається ініціалізацією всіх пристроїв комп'ютера, заносючи в їх регістри визначені значення.

Від того, як саме налаштована BIOS того чи іншого пристрою, залежить швидкодія і стабільність усієї системи.

Для здійснення налаштування BIOS відразу після включення живлення, необхідно подивитися на нижню частину екрану. Тут знаходиться ідентифікаційний запис про версію BIOS, наприклад: Press DEL to enter SETUP.

Це означає, що, своєчасно натиснувши при завантаженні клавішу або F2, відкриється вікно з головним меню утиліти SETUP BIOS, що містить опції налаштування параметрів ПК. Зміна налаштувань в BIOS Setup дозволяє змінювати значення, які завантажуються в реєстри різних пристроїв, насамперед чіпсета материнської плати.

Програма налаштування BIOS розділена на певні блоки, кожен з яких дозволяє настроїти відповідні групи параметрів [1,2,13]. Розглянемо кожен з них коротко.

Standart CMOS Features – тут можна налаштувати поточну системну дату, переглянути встановлені накопичувачі і змінити їх пріоритети по відношенню один до одного.

Advanced BIOS Features (BIOS Features Setup) – тут визначені загальні налаштування, що стосуються центрального процесора (ЦП) і кешу.

Integrated Peripherals (I/O Devices Configurations) – властивості і додаткові функції вбудованих пристроїв, інтерфейсів і портів.

Power Management Setup – управління енергоспоживанням.

PnP/PCI Configurations – цей розділ дозволяє розподілити системні ресурси, прив'язати лінії запиту IRQ до плат розширення.

PC Health Status (Hardware Monitor) – температура процесора, швидкість обертання вентиляторів і т.д [12,13].

Висновки. Сучасні комп'ютери є складними електронними пристроями, що складаються з десятків компонентів, кожен з яких у свою чергу побудований з мільйонів складових і будь-яка помилка може призвести до збою або до повної відмови роботи ПК

Якщо прошивка BIOS вимагає певних навичок і знань, то первинні налаштування цілком під силу середньому користувачеві. Більш того, розуміння правил включення комп'ютера необхідно для грамотного його використання. При зміні налаштувань потрібно бути обережним, так як у випадку встановлення невідповідних параметрів вся система може просто вийти з ладу.

Потрібно звернути увагу на кілька простих порад:

- до початку налаштування системи за допомогою BIOS потрібно зберегти всю важливу інформацію;

- обов'язково запам'ятати виставлене і змінене значення параметра. У разі виникнення проблем у роботі системи буде можливо повернути колишнє значення;

- не змінювати невідомі значення параметрів, а попередньо уточнити їх значення;

- не змінювати одночасно декілька параметрів, не пов'язаних один з одним тому, що при виникненні збою буде складно визначити, яке значення було встановлено невірно;

- уникати редагування розділу Hard Disk Utility, що зустрічається в застарілих версіях BIOS. Це може нашкодити сучасному жорсткому диску.

Список літератури

1. Голотенко О.С. Архітектура комп'ютерних систем: конспект лекцій для студентів усіх форм навчання з курсу «Архітектура комп'ютерних систем». Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. 120 с.
2. Тарарака В.Д. Т19 Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2018. 383 с.
3. Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С. Сучасні напрямки комп'ютерної та мікропроцесорної техніки. Розділ 1. Основні тенденції розвитку комп'ютерної і мікропроцесорної техніки. Розділ 2 Характеристики ARM і Cortex процесорів: конспект лекцій для студ. спец. 171 Електроніка, спеціалізації «Електронні компоненти та системи». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 68 с.
4. Кавун С.В., Сорбат І.В. Архітектура комп'ютерів. Особливості використання комп'ютерів в ІС : навч.посіб. Харків : Вид. ХНЕУ, 2010. 256 с.
5. Мартін Р. Чиста архітектура. Фабула, 2019. 368 с.
6. Тарарака В.Д. Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир: ЖДТУ, 2018. 383с.
7. Матвієнко М.П., Розен В.П., Закладний О.М. Архітектура комп'ютерів: навч. посіб. К.: Ліра-К, 2019. 264 с.
8. Сидоренко В.В., Минайленко Р.М., Михайлов С.В. Архітектура комп'ютерів: метод. рекомендації для студ. денної та заочної форми навч. за спеціальністю 123 “Комп'ютерна інженерія”. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 63 с.
9. Рикалюк Р.Є. Галамага Л.Б., Селіверстов Р.Г. Лабораторний (симуляційний) практикум з курсу «Архітектура комп'ютерних систем». Ч. 2. Львів: Видавн. центр Львів. ун-ту, 2017. 33 с.
10. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів: лаб. практикум / В.М. Єфимець та ін. К: НАУ, 2013. 64с.
11. Bartlett J. Programming from the Ground Up. URL: [http:// www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-\(J.-Bartlett\).html](http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-(J.-Bartlett).html) (дата звернення: 02.08.2022)
12. Світ електронних схем. URL: <http://ua.nauchebe.net> (дата звернення: 02.08.2022)
13. Дистанційна освіта ЦНТУ. URL: <http://moodle.kntu.kr.ua/my/> (дата звернення: 04.08.2022)

References

1. Holotenko, O.S. (2016). *Arkhitektura komp'iuternykh system* [Architecture of computer systems]. Ternopil' : Vyd-vo TNTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].
2. Tararaka, V.D. (2018). *T19 Arkhitektura komp'iuternykh system* [T19 Architecture of computer systems: study guide]. Zhytomyr : ZhDTU [in Ukrainian].
3. Tereshchenko, T. O. & Yamnenko, Yu.S. (2020). Modern directions of computer and microprocessor technology Section 1. Main trends in the development of computer and microprocessor technology. Chapter 2 Characteristics of ARM and Cortex processors: lecture notes. [Electronic resource]: for students. specialties 171 Electronics, specializations "Electronic components and systems" / KPI named after Igor Sikorskyi; structure, – Electronic text data 1 file: 5.248 MB). Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi [in Ukrainian].
4. Kavun S.V. & Sorbat, I.V. (2010). *Arkhitektura komp'iuteriv. Osoblyvosti vykorystannia komp'iuteriv v IS* [Computer architecture. Peculiarities of using computers in IS]. Kharkiv: Ed. Khneu [in Ukrainian].
5. Martin, R. (2019). *Chysta arkhitektura* [Pure architecture]. Fabula [in Ukrainian].
6. Tararaka, V.D. (2018). *Arkhitektura komp'iuternykh system* [Architecture of computer systems] . Zhytomyr: Zhdtu [in Ukrainian].
7. Matvienko, M.P., Rosen, V.P., Zakladnyi, O.M. & Matvienko, M.P. (2019). *Arkhitektura komp'iuteriv* [Computer architecture] . Kyiv: Lira-K [in Ukrainian].
8. Sydorenko, V.V., Mynaylenko, R.M. & Mykhaylov, S.V. (2019). *Arkhitektura komp'iuteriv: metod. rekomend. dlia stud. dennoi ta zaochnoi formy navch. za spetsial'nistiu 123 “Komp'iuterna inzheneriia”* [Computer architecture: methodical recommendations for full-time and part-time students in the specialty 123 "Computer engineering"] . Kropyvnytskyi: National Technical University [in Ukrainian].
9. Rykalyuk, R.E., Galamaga, L.B. & Seliverstov, R.G. (2017). *Laboratornyj (symuliatyjnyj) praktykum z kursu «Arkhitektura komp'iuternykh system»*. [Laboratory (simulation) workshop on the course "Architecture of computer systems"]. Part 2 . Lviv: Publishing House. center of Lviv. University [in Ukrainian].

10. Organizers, V.M., Yefimets, E.V. & Krasovska et al. (2013). Komp'iuterna skhemotekhnika ta arkhitektura komp'iuteriv [Computer circuitry and computer architecture. Laboratory workshop] . Kyiv: NAU, [in Ukrainian].
11. Bartlett J. Programming from the Ground Up. *freebookcentre.net*. Retrieved from [http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-from-the-Ground-Up-\(J.-Bartlett\).html](http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-from-the-Ground-Up-(J.-Bartlett).html) [in English].
13. The world of electronic circuits. Retrieved from mode: <http://ua.nauchebe.net> [in Ukrainian].
14. Distance education of the National Technical University of Ukraine. *moodle.kntu.kr.ua*. Retrieved from <http://moodle.kntu.kr.ua/my/> [in Ukrainian].

Roman Minailenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Liudmyla Polishchuk**, Senior Lecturer, **Oksana Konopliiska-Slobodenyuk**, lecturer

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Overview of Modern BIOS Interfaces and Features of Its Configuration

The article provides an overview and analysis of modern BIOS interfaces. It is shown that due to the large number of hardware and software manufacturers, there are many types of BIOS that differ from each other in terms of interface and function names. Different BIOSes offer the user a different set of options for configuring the system: Some of these options are more than enough, while others do not provide such options at all.

Since modern computers are the most complex electronic devices, consisting of dozens of components, each of which in turn is built from millions of components, any mistake can lead to a failure or complete failure of the computer.

If the BIOS firmware requires certain skills and knowledge, then the initial settings are quite within the power of the average user. Moreover, understanding the rules of computer operation is necessary for its competent use.

You need to pay attention to a few simple tips:

- before starting system setup using BIOS, you need to save all important information;
- be sure to remember the set and changed value of the parameter. In case of problems in the system, it will be possible to return the previous value;
- do not change unknown parameter values, but specify their values beforehand;
- do not change several unrelated parameters at the same time, because in the event of a failure it will be difficult to determine which value was set incorrectly;
- avoid editing the Hard Disk Utility section found in outdated BIOS versions. This can damage a modern hard drive.

It is extremely important to follow these rules when updating the BIOS:

- always read the documentation for the board. Most often, if the board supports work with some advanced flashing technology, the process of working with it is clearly described in the documentation;
- often a readme file is added to the bin file with the firmware, which lists the differences between this version of the firmware and the previous ones. Be sure to study this information before turning to the computer and looking for new options in the BIOS;
- perform the procedure in the most stable conditions, especially when it comes to power supply - it is preferable to use an uninterrupted power source;
- if the system is "overclocked", it is necessary to return it to normal mode;
- if problems occur during the BIOS update process, do not turn off the computer in any case. It is necessary to repeat the process or overwrite the old image that was saved first. If this does not help, you need to contact specialists to replace the chip itself, which contains the BIOS;
- to protect against failed firmware, it is recommended to also save the utility itself and the image to the boot disk.

user, computer, BIOS, interface

Одержано (Received) 07.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 15.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

В.С. Гермак, викл., **Р.М. Минайленко**, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: aron70@ukr.net

Проблема захисту обміну даними між мікропроцесорними пристроями в системах IoT

В статті проведено аналіз методів протидії ботнет в системах IoT. Сьогодні, інтернет речей став популярним терміном для опису сценаріїв, у яких інтернетз'єднання і обчислювальна здатність поширюються на безліч об'єктів, пристроїв, датчиків і т.д.

Основною концепцією IoT є можливість підключення всіляких об'єктів (речей), які людина може використовувати в повсякденному житті. Ці об'єкти (речі) повинні бути оснащені вбудованими датчиками або сенсорами, які мають можливість обробляти інформацію, що надходить з навколишнього середовища, обмінюватися нею і виконувати певні дії в залежності від отриманої інформації.

Відсутність на даний час стандартів для захисту таких автономних мереж дещо сповільнює впровадження інтернету речей у повсякденне життя, тому у швидкозростаючій галузі IoT-технологій, яка застосовується у всьому світі є численна кількість вразливостей. Захист інформації та конфіденційність є однією з пріоритетних складових під час вибору певної системи. Тому без належної впевненості в безпеці і приватності даних користувача система IoT буде неконкурентноспроможною.

користувач, система IoT, ботнет, захист інформації

Постановка проблеми. Термін «Інтернет речей» (IoT) вперше був введений Кевіном Ештоном щоб описати систему, в якій фізичні об'єкти могли бути пов'язані з датчиками і мережею Інтернет. Ештон ввів цей термін, щоб проілюструвати можливості радіочастотної ідентифікації (RFID), яка використовується в корпоративних системах поставок, щоб порахувати і відстежити товари без потреби в людському втручанні. Сьогодні, інтернет речей став популярним терміном для опису сценаріїв, у яких інтернет з'єднання і обчислювальна здатність поширюються на безліч об'єктів, пристроїв, датчиків і т.д [1, 2, 3].

Основною концепцією IoT є можливість підключення всіляких об'єктів (речей), які людина може використовувати в повсякденному житті, наприклад, холодильник, кондиціонер, автомобіль, велосипед і навіть взуття. Всі ці об'єкти (речі) повинні бути оснащені вбудованими датчиками або сенсорами, які мають можливість обробляти інформацію, що надходить з навколишнього середовища, обмінюватися нею і виконувати певні дії в залежності від отриманої інформації. Прикладом впровадження такої концепції є система «розумний будинок» або «розумна теплиця». Такі системи аналізують дані навколишнього середовища і в залежності від показників регулюють, наприклад, температуру в середині приміщення без втручання людини [4, 5, 6-15].

Відсутність на даний час стандартів для захисту мереж таких автономних систем певною мірою сповільнює впровадження інтернету речей у повсякденне життя. Тому у швидкозростаючій галузі IoT-технологій, яка застосовується у всьому світі є численна кількість вразливостей. Захист інформації та конфіденційність є однією з пріоритетних складових під час вибору системи споживачем. Без належної впевненості в безпеці і приватності даних користувача система IoT буде не конкурентноспроможною [3, 5, 16, 17].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день інтернету речей приділяється увага на найвищому рівні, зокрема починаючи з 2009 року у Брюсселі при підтримці Єврокомісії проходять конференції Annual Internet of Things, де виступають з доповідями єврокомісари, науковці та керівники провідних ІТ-компаній. За прогнозами аналітиків у найближчі роки очікується справжній бум інтернету речей. Так, за прогнозами Gartner, до 2022 року кількість підключених до всесвітньої мережі пристроїв становитиме 29 мільярдів, а дохід від продажу обладнання, програмного забезпечення та послуг становитиме 2,9 трлн дол. Деякі інші аналітичні агентства висловлюють ще більш оптимістичні прогнози [17-21].

Для об'єднання повсякденних речей у мережу потрібні декілька технологій:

- для ідентифікації кожного об'єкту потрібна проста та компактна технологія, яка б мала можливість збирати та накопичувати інформацію про певний предмет. Певною мірою це можна забезпечити за допомогою мікросхем RFID (Radio-Frequency Identification), які здатні без власного джерела струму передавати інформацію пристроям зчитування. Як альтернатива до даної технології для ідентифікації об'єктів можуть використовуватись QR- коди. Для визначення точного місця знаходження речі можна застосувати технологію GPS, яка вже використовується у смартфонах та навігаторах.

- для відслідковування змін стану елемента або оточуючого середовища об'єкти повинні оснащуватися сенсорами.

- для обробки та накопичення даних з сенсорів потрібен вбудований малогабаритний обчислювальний пристрій (наприклад Raspberry Pi, Intel Edison)

- для обміну інформацією між пристроями можуть бути використані технології бездротових мереж (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, 6LoWPAN).

Інтеграція з Інтернетом має на увазі те, що пристрої будуть використовувати IP-адресу як унікальний ідентифікатор. Проте, через обмежені адресні простори в IPv4 (що дозволяє використовувати 4,3 мільярда унікальних адрес), об'єктам IP доведеться використовувати IPv6, який забезпечує унікальними адресами мережевого рівня не менше 300 млн пристроїв на одного жителя Землі. Об'єктами в IP будуть не тільки пристрої із сенсорними можливостями, а і виконавчі пристрої (наприклад, лампочки або замки, з можливістю керування через Інтернет). Майбутнє інтернету речей буде неможливим без підтримки IPv6, тобто глобальне впровадження IPv6 у найближчі роки буде мати вирішальне значення для успішного розвитку IP в майбутньому.

Для бездротової передачі даних важливу роль в побудові інтернету речей відіграють наступні характеристики [3, 5, 6]:

- ефективність;
- відмовостійкість;
- адаптивність;
- можливість самоорганізації.

В зв'язку з цим потрібно звернути увагу на стандарт *IEEE 802.15.4*, який використовується для керування енергоефективними персональними мережами, і є основою для протоколів ZigBee, WiFi, Bluetooth, 6LoWPAN.

Серед провідних технологій важливу роль у розповсюдженні інтернету речей відіграють рішення PLC – технології побудови мереж передачі даних по лініях електропередач, оскільки у багатьох додатках присутній доступ до електромереж (наприклад, торгові автомати, банкомати, інтелектуальні лічильники, контролери освітлення).

Постановка завдання. «Розумних» пристроїв стає все більше і за прогнозами, до 2022 року їх кількість в кілька разів перевищить населення планети. Однак виробники все ще приділяють недостатньо уваги їх безпеці: немає нагадувань про

необхідність зміни стандартних паролів при першому налаштуванні, немає повідомлень про появу нових версій прошивок, а сам процес оновлення може бути складний для звичайного користувача. Все це робить IoT-пристрої бажаною ціллю для зловмисників. Тому що їх простіше заразити ніж персональний комп'ютер і при цьому вони можуть займати далеко не останнє місце в домашній інфраструктурі: одні керують усім інтернет-трафіком, інші можуть знімати відео, а треті керують іншими пристроями (наприклад, кліматична установка).

Шкідливе ПЗ для «розумних» пристроїв розвивається не тільки кількісно, але і якісно. В арсеналі зловмисників з'являється все більше експлойтів, які використовуються для самопоширення, а заражені пристрої використовуються для крадіжки персональних даних, видобутку крипто валюти і т.д. [9, 10, 21].

Є декілька простих порад, які можуть мінімізувати ризик зараження пристроїв IoT:

- закрити доступ із зовнішньої мережі до пристрою;
- періодичне перезавантаження допоможе позбутися від уже встановлених шкідників (але в більшості випадків ризик повторного зараження залишається);
- регулярна перевірка наявності нових версій прошивки та оновлення пристрою;
- використання складних паролів довжиною не менше 8 символів, що включають в себе букви різного регістра, цифри та спецсимволи;
- зміна заводських паролів після першого запуску пристрою, під час першого налаштування (навіть якщо пристрій про це не просить);
- закрити / заблокувати «зайві» порти, якщо є така можливість. Наприклад, якщо немає необхідності підключатись до роутера по Telnet (порт tcp варто відключити, щоб перекрити зловмисникам можливу лазівку).

Дані поради можуть лише частково усунути проблеми та вразливості пристроїв інтернету речей, але це не вирішує проблему загалом, бо принцип розробки інтернету речей залишається, а значить і нові вразливості будуть знайдені зловмисниками. Тому потрібно віднайти можливість вирішення проблеми безпеки IoT пристроїв, що дозволить відрізати легкий шлях їх ураження, що призведе до подорожчання продажі ботнет як послуги [3, 7, 20].

Отримані результати аналізу IoT, основних вразливостей та методів їх використання показали що:

- джерелом загроз для інтернету речей найчастіше є людина або група людей, вмотивована фінансово, політично або ж ідейно;
- вразливості, які використовуються зловмисниками найчастіше – спричинені низкою недоліків на етапі розробки IoT пристроїв;
- за останні декілька років більшість атак на IoT мали на меті інфікувати пристрій для послідовного створення ботнет;
- з 2016 року при атаках на IoT пристрої більше 20% атак використовують ботнет Mirai та його модифікації;

На даному етапі розвитку технології IoT – не існує міжнародного стандарту розробки пристроїв та систем інтернету речей, тож їх захищеність є не вирішеним питанням кібербезпеки.

Таким чином, необхідно провести аналіз проблеми безпеки IoT і знайти спосіб системно вирішити найбільш поширену та критичну проблему в системах інтернету речей, а саме – ботнет [3, 5, 20, 21].

Виклад основного матеріалу. Традиційні способи боротьби з ботнет, частіше всього, обмежуються виявленням слабого місця в їх інфраструктурі, для маніпуляції

або блокування. Найпоширеніший спосіб полягає в тому, щоб співпрацювати з провайдером Інтернет-послуг для отримання доступу та вимкнення центрального компонента, результатом чого буде втрата контролю ботнетом-власником і він більше не зможе наказувати. Такі дії часто виконуються під час надзвичайної реакції на інцидент, який вже відбувається, наприклад – атака DDoS. Хоча цей набір дій і виявився ефективним (наприклад, припинення роботи сервера C&C на базі IRC забороняє ботам отримувати команди та машини, які вже беруть участь у нападі рано чи пізно перезавантажуються), але він вимагає доступу до ПК і співпраці з відповідними установами [4-9, 21].

Класичні заходи протидії ботнетам мають три напрямки для атаки:

1. Сервер керування (C&C).
2. Ботнет-трафік.
3. Заражені комп'ютери.

Відключення сервера C&C

Найбільш перспективним підходом є видалення бази ботнету, якою є сервер C&C. Вимкнення C&C хоста дозволяє вивести з ладу весь ботнет за один раз. Але це можливо тільки при виконання наступних умов:

1. Ботнет використовує централізовану структуру.
2. Розташування сервера C&C відоме.
3. Провайдер співпрацює.

Якщо не виконано хоча б одна з цих умов, сервер C&C не може бути видалений. Новіші ботнети більше не покладаються на централізовану структуру. Вони використовують функцію однорангової мережі (P2P) або multiproxy структури для приховування свого походження. Таким чином, малоімовірно є можливість знаходження розташування C&C сервера. Якщо використовуються декілька фіксованих серверів – всі вони повинні бути вилучені. Коли відомо про місцезнаходження, провайдер, який надає сервер C&C, теж повинен співпрацювати. Дуже часто ботнети контролюються з кулестійких хостерів, які не реагують на запити про зловживання або переміщують сервер до дочірніх партнерських компаній, поки не спаде тиск на хостинг. Організації, які відстежують атаки в Інтернеті, отримують багато посилань на можливі сервери C&C, але вони не в змозі обробляти, стежити та перевіряти дії проти кожного запиту про C&C окремо.

Виведення серверів C&C з ладу не завжди схоже на видалення кореня ботнету. Так як заражені комп'ютери також можуть містити функціональні можливості для автономного розповсюдження, а також іншу логіку, яка виконується у разі відключення C&C. Це створює додатковий трафік і може спричинити масштабне зараження обчислювальних пристроїв [9, 10, 11-14].

Розмивання зловмисного трафіку

Якщо сервер C & C не може бути вимкнений, іншим варіантом може бути переспрямування зловмисного трафіку на свердловини. Свердловини записують шкідливий трафік, аналізують його, а потім перенаправляють таким чином, що він не може досягти початкової мети призначення. Одним з прикладів використання свердловин є DDoS нуль-маршрутизація. У випадку, якщо спостерігається трафік, що належить до спроби реалізації DDoS, він скидається, а іноді підраховується для подальшого аналізу. Нуль-маршрутизація DDoS на кордонних маршрутизаторах є перспективним підходом для пом'якшення атак DDoS, але тут з'являються проблеми з надійністю ідентифікації трафіку, пов'язаного з атакою, та розчленуванням потоків даних високої пропускної спроможності на ранніх стадіях. Це можливо, як правило, лише на рівні інтернетпровайдера [15, 19].

Очищення заражених систем

Найбільш стійким контрзаходом проти ботнетів є очищення всіх заражених систем та видалення встановлених ботів. Хоч це і впливає на потужність ботнету, та є найбільш складним в управлінні методом протидії. На сьогоднішній день власники або адміністратори несуть відповідальність за те, щоб їхні системи були чисті від інфекцій. Йдеться лише про рекомендації та технічну консультацію. Оскільки більшість користувачів навіть не знають про зараження своєї ЕОМ, не кажучи вже про можливість видалення зловмисного програмного забезпечення, тож глобальне очищення неможливе. Величезні рекламні кампанії про Conficker та кількість ще заражених систем показують, що навіть при інтенсивних попередженнях – чекати від простих користувачів якихось дій для повного очищення не варто.

Стандартна рекомендація щодо захисту систем від ботнет полягає в тому, щоб використовувати брандмауери та сучасне антивірусне програмне забезпечення (AV). Брандмауери є профілактичною функцією, яка в багатьох випадках блокує зовнішні атаки. Зростаюча кількість вразливостей drive-by-exploits, використовує помилки в браузері користувача для зараження системи та мобільність шкідливих даних на ноутбуках або USB-накопичувачах, відкриває цілий ряд нових векторів зараження, які обходять брандмауери. Антивірусне програмне забезпечення – реактивна функція. Перш ніж віно зможе виявляти щонебудь, підписи мають бути доступними, і шкідливі дані повинні бути на цільовому комп'ютері. Якщо підписів не існує, то систему не можна захистити. Тести різних AV-баз показали, що деякі показники виявлення становлять менше ніж 80%. Після зараження системи бот може розповсюджувати та виконувати шкідливі дії, доки AV-підписи не стануть доступні і зможуть бути використані. Часто AV-бази застаріли і регулярно не оновлюються. Крім того, різні боти вимикають AV-сканери або ховаються такими шляхами, які неможливо виявити звичайними сканерами [19-21].

Загалом, глобальна очистка, яка потрібна щоб ефективно відняти владу у ботнетів, виглядає нездійсненною.

У минулому були дискусії, в яких експерти заявили, що припинення роботи серверів C&C стає марним, оскільки вони майже завжди будуть замінені новими, більш захищеними системами. Ця прискорена гонка озброєнь в кінцевому рахунку призведе до складної технології ботнету швидше. Позитивний підхід залишає потенційну цільову зону наодинці з існуючою загрозою, а обмеження методів пом'якшення наслідків для уникнення або блокування поточних атак - це визнання безсилля. Тому потрібно поєднувати класичні методи боротьби з додатковими проактивними стратегіями [5-10].

Проактивні заходи та стратегії

Класичні контрзаходи є дуже хорошими кроками для пом'якшення впливу ботнет, але останні події показують, що вони малоефективні. Новіші ботнети використовують більш складні технології і заперечують використання класичних контрзаходів через складності, описані вище. Незважаючи на те, що нові структури, представлені останніми ботнетами, ускладнюють застосування класичних контрзаходів, вони відкриті для більш агресивної контртактики [14, 17].

Дослідження структури ботнет часто є першим кроком для пошуку початкової точки для можливих контрзаходів. Характерною властивістю всіх ботнет є те, що вони повинні дозволяти новим машинам, які працюють на ненадійних платформах, приєднатися до мережі. Це важливий аспект для підходів до контрзаходів: не обмежуватися лише діяльністю ззовні – можна приєднатися до мережі, виконувати дослідження, будучи частиною інфраструктури самостійно, і навіть можна містити ботнет або зруйнувати його зсередини. Крім того, боти поширюються, щоб заразити більше систем і збільшувати мережу. Зразки шкідливого програмного забезпечення,

які важко отримати, можуть бути проаналізовані (напр. за допомогою реверсінжинірингу), щоб дізнатися про їх внутрішні компоненти. Дізнавшись про функціональні особливості бота, часто можна створити фальшивий бот, який стане частиною ботнета для спостереження або перешкоджання внутрішнім зв'язкам. Ця процедура можлива, тому що вся інформація про початкове завантаження повинна включатись в бінарні файли шкідливого програмного забезпечення і може бути клонована [4, 7, 14].

Наступальні стратегії можна розділити на три різні категорії:

- пом'якшення наслідків;
- маніпулювання;
- експлуатація.

Ступінь можливої відповідної дії залежить частіше всього від топології використовуваної ботнетом. Зокрема, децентралізовані та рухомі топології можуть залишити лише декілька шансів на подібні контрзаходи.

Стратегії для пом'якшення наслідків є нападними технічними засобами, які уповільнюють роботу ботнетів за рахунок витрачання їх ресурсів. Прикладом можуть бути тимчасові спроби DoS на сервери C&C, створення з'єднань з зараженими машинами або блокування зловмисних доменів.

Стратегії маніпулювання використовують командний рівень [2, 8, 20]. Знання про командні протоколи мають важливе значення для маніпулювання та введення команд. Необхідні знання про протоколи включають використання криптографії. Незважаючи на те, що криптографія може повністю заперечувати перевірку обміну даними про ботнети, але приклад дослідження Waledac показує, як цього можна досягти, навіть якщо використовуються криптографічні методи, такі як RSA та AES.

Можливими маніпуляціями можуть бути зміна або видалення команд DDoS або спаму, а також команд для завантаження та виконання програм, що дозволяє віддалене очищення зараженого пристрою.

Менш агресивні варіанти, ніж виконання програм на віддалених комп'ютерах, можуть полягати у вилученні зібраних особистих даних, таких як кредитні картки чи банківські реквізити, заміни їх підробленою інформацією або у команді, яка зупиняє збір таких даних.

Експлуатація – це особлива стратегія, яка використовує помилки, знайдені в ботах. Подібно помилкам в інших продуктах, їх можна використовувати для виконання дій на заражених машинах. Дана стратегія є найпотужнішою, але і ризикованою, оскільки вразливості можуть легко привести до пошкодження або виходу з ладу систем та пристроїв [2, 20].

Не кожна стратегія може бути застосована до певного ботнету. Деякі з них значною мірою залежать від топології ботнету.

Атака на адресний рівень

Обговорюючи стратегії, спрямовані на маршрутизацію та адресний рівень інфраструктури ботнету – важливо зрозуміти, що механізм маршрутизації, який використовується ботнетом, необхідний для адреси хостів або C&C серверів відповідно. Командний рівень, навпаки, працює на поверхні схеми адресації, щоб забезпечити комунікаційну мережу, яка накладається на взаємопов'язані пристрої.

Найпоширеніший спосіб, коли бот звертається до центрального сервера C&C, – це ім'я DNS, яке перенаправляє до IP-адреси – адресація відбувається у два етапи. Кожна фаза становить потенційну відправну точку для втручання [3, 5, 20].

Наприклад, запити DNS зазвичай обробляються локальним DNS-resolver, який, пересилає запит на авторитетний DNS-сервер. Цим локальним resolver'ом керує адміністратор сайту, і його легко запрограмувати, щоб повернути створену відповідь

на конкретні запити. Те саме стосується і маршрутизації IP. Локальні маршрутизатори можуть бути обладнані елементами таблиці маршрутизації для відключення певних адрес або перенаправлення їх на різні вузли (sinkholing - це термін для перенаправлення спроб підключення до спеціального сервера для ідентифікації заражених машин). Як наслідок, обидва кроки приводять до того, що боти в локальній мережі не можуть зв'язатися з оригінальним сервером С&С, і навіть можуть керуватися псевдосервером. Таке втручання, завжди вимагає стратегії «man in the middle». Проте, не завжди необхідно змінювати конфігурацію вбудованих пристроїв. Існують підходи, які демонструють динаміку модифікації відповідного мережевого трафіку.

Сучасні ботнети використовують більш складні схеми адресації, які також працюють як накладна мережа на базі IP-Інтернету.

Прикладами можуть слугувати однорангові мережі. Вони мають свою власну схему адресації з метою збільшення гнучкості та децентралізації. Для проникнення в адресний рівень таких ботнет необхідна стратегічна позиція. Загальний підхід полягає у введенні ретельно відстеженого та керованого вузла, який є ідеальним клоном оригіналу [1, 3, 19,21].

Якщо С&С серверів не можна досягти фізично, вони повинні бути доступними через Інтернет, оскільки ботам потрібно зв'язуватись з ними для отримання команд. Це може бути використано для послаблення ботнету шляхом створення DoS на сервер. Тоді контрольований союзником DDoS зробить сервер недоступним. Крім того, ботнети часто покладаються на технологію, яка є слабкою до конкретних атак.

Наприклад, протокол транспортного рівня TCP. Черга резервного копіювання TCP-сервера С&С може бути заповнена спробами з'єднання, викликати умови відмови в обслуговуванні, перетворюючи зброю ботнету проти нього. Це особливо корисно для більшості бот-серверів на базі HTTP, де встановлюються нові зв'язки для кожного командного запиту. Були оцінені різні комбінації служб і операційних систем та знайдена атака TCP DoS, якою можна легко керувати не задіюючи великі ресурси. Під час дослідження можна було достовірно зменшити ймовірність встановлення з'єднань із TCP-серверами до менш ніж 5% тільки з однією наступальною ЕОМ. Один хост може тримати чергу резервної копії служби жертви, блокуючи всі подальші спроби з'єднання і тим самим заважаючи ботам отримувати або надслати запити команд. Така операція може бути розроблена таким чином, щоб неможливо було розрізнити спроби з'єднання з тими, які продукуються ботами. В результаті, будь-яка контрдія, що має на меті заблокувати запити, також заблокує всі "законні" боти. Ці випробування показали, що одна ЕОМ може тримати службу TCP і підтримувати з'єднання як можна довше. Така атака призводить до зменшення кількості ботів, здатних зв'язатися з сервером С&С і брати участь у зловмисних діях [5, 15-21].

Ще одна подібна атака – це флуд посилення або мережі, де знаходиться сервер С&С з пакетами, які споживають всю доступну пропускну здатність. Проте, очевидно, така операція потребує більше ресурсів, тому що потрібно відправляти більше пакетів. Атака віддзеркалення може бути використана для підвищення інтенсивності відправленого трафіку, однак, це потребує підключення сторонніх ресурсів та дозволу власників сайтів.

Атака на командний рівень

Напад на командний рівень ботнет вимагає знання протоколу, який використовується. Простим прикладом може бути мережа на базі IRC, де команда видалення наказує ботам вилучати себе з заражених систем. Багато класичних ботів реалізують таку інструкцію [7, 8, 9]. Впровадження команди вимагає або керування сервером С&С, або боти повинні бути перенаправлені на інший сервер, виконавши

атаку на адресний рівень, який потім поширює інструкцію з видалення. Інші боти не мають можливості видалення, але пропонують функції оновлення, які можуть бути використані для заміни шкідливого програмного забезпечення на безпечну прошивку або програму, яка сканує та видаляє бот.

У поєднанні з проникненням на рівень адрес, стають можливими інші підходи: оригінальні команди можна прослуховувати, перехоплювати та модифікувати. Спеціальний протокол дозволяє здійснити такі перевірки, метою яких є унеможливлення таких маніпуляцій. Однак подібні заходи поки в ботнетах не були виявлені.

Загалом, для того, щоб насправді проводити атаку для проникнення у ботнет, необхідна комбінація дій як з адресацією, так і з командним рівнем. Переадресація ботів на контрольований сервер або для знешкодження, або для того, щоб наказати їм виконувати самознищення, ймовірно, є одним з найбільш ефективних контрзаходів на рівні інфраструктури [15, 21].

Експлуатація ботнет системи речей

Стратегії, які базуються на експлуатації використовують той факт, що навіть ботнети містять помилки та дефекти програмування, що призводить до вразливостей, які можуть бути використані для отримання контролю над центральним компонентом (наприклад, C&C-сервером) або через пристрої, заражені ботнетом. Такі вразливості можуть варіюватися від неправильної конфігурації до прогалин в безпеці програмного забезпечення, наприклад, перезавантаження буфера, яке можна виконати дистанційно.

Стратегії пом'якшення наслідків та маніпулювання не є агресивною для самих заражених машин. Винятком є команди, які завантажують та виконують програми. Експлуатація помилок є ще більш агресивною, ніж виконання регулярних програм, оскільки експлуатаційний код часто потребує спеціальної адаптації до цільової операційної системи та мови. Фреймворки, такі як metasploit, допомагають розробляти загальний експлуатаційний код, та існує ще більший ризик того, що віддалені системи будуть виведені з ладу. Це слід враховувати, особливо в сценаріях, де заражені системи контролюють критичні інфраструктури [3, 7, 10].

Перш ніж використовувати помилки, необхідно знайти заражені системи. Для децентралізованих топологій їх можна перерахувати шляхом підрахунку спроб підключення до введених ботів. У прямих топологіях ця інформація може бути витягнута з даних осідання. Інші варіанти - це використання honeypots, підписів IDS або сканерів, які сканують діапазони мереж, в пошуках заражених пристроїв..

Достовірні вразливості в ботах знаходили і раніше. Багато варіантів Rbot та Sdbot мають однакову кодову базу, яка містить вразливі функції, подібні до них. Потенційним способом знищення ботнетів стане виявлення заражених машин, використання вразливості в боті та ін'єкцій виконавчого коду, вимикаючого шкідливі програми. Вразливий код все ще можна знайти у свіжому шкідливому програмному забезпеченні. Conficker.B використовує MD6 криптографічну хеш-функцію для своїх цифрових підписів. Було встановлено, що алгоритм MD6 містить вразливість буферного розриву та може бути виправлений у випуску оновлення, яке було негайно включено в Conficker.C. Хоча ця специфічна вразливість в Conficker.B не була використана, це показало, що навіть складне шкідливе програмне забезпечення не захищено від критичних прогалин безпеки.

Допомога проактивної стратегії протидії

Кількість технічно прийнятних стратегій показує, що існує безліч можливостей активно діяти проти ботнетів, перш ніж вони завдадуть шкоди. Хоча це є технічно можливим, на практиці слід враховувати етичні та юридичні проблеми, які виникають у цих стратегіях.

Загальним викликом щодо багатьох наступальних підходів є те, що вони повинні виконуватися максимально приховано. Команди розробників ботнетів можуть протидіяти особливим спробам зменшення наслідків атак. Можливості маніпуляції можуть бути застарілими при невеликих змінах протоколу або використання цифрових підписів. Крім того, помилки, які використовуються зазвичай можна виправити за короткий час. У випадку, якщо ботнет потрібно вимкнути, це потрібно зробити глобально і швидко, щоб не залишати команді, яка контролює ботнет будь-якого часу для проведення контрзаходів [4, 15].

Експерти вважають, що переслідування розробників ботнету навряд чи матиме сильний вплив на глобальну загрозу. Натомість з ботнетами потрібно боротися на технічному рівні. Проактивні заходи повинні бути зроблені спільними зусиллями груп міжнародної безпеки разом з провладними структурами.

Висновки. Інтернет речей може викликати величезні зміни у повсякденному житті, надавши звичайним користувачам абсолютно новий рівень комфорту. Але якщо елементи такої системи не будуть належним чином захищені від несанкціонованого втручання, за допомогою надійного криптографічного алгоритму, замість користі вони принесуть шкоду, надавши кіберзлочинцям лазівку для підризу інформаційної безпеки.

Оскільки пристрої із вбудованими комп'ютерами зберігають дуже багато інформації про свого власника, зокрема можуть знати його точне місцезнаходження, доступ до такої інформації може допомогти зловмисникам вчинити злочин.

Відсутність на даний час стандартів для захисту таких автономних мереж дещо сповільнює впровадження інтернету речей у повсякденне життя, тому у швидкозростаючій галузі ІОТ-технологій, яка застосовується у всьому світі є численна кількість вразливостей. Захист інформації та конфіденційність є однією з пріоритетних складових під час вибору споживачем системи. Без належної впевненості в безпеці і приватності даних користувача система ІоТ буде не конкурентноспроможною.

На сьогоднішній день рівень успішності контрзаходів ботнету залежить в основному від організаційних та політичних загальних умов. З огляду на те, що налагодження співпраці або дипломатичних угод вимагає часу, можна прийти до висновку, що встановлення відповідних відносин, що легітиміє співпрацю для спільних дій, не підходить як спеціальна схема боротьби з поточними нападами [7-10].

Ситуація посилюється, враховуючи, що сучасні інфраструктури ботнету не підпадають під відповідальність одного суб'єкта. Натомість, розподілені однорангові мережі працюють у всьому світі, тому вимикання локальних частин (часто не більше, ніж одиничні ЕОМ) не буде ефективним рішенням. В цілому, контрзаходи, які потребують тісної співпраці, сьогодні, як правило, є нездійсненими як з технічних, так і з політичних причин.

Список літератури

1. Check Point Software Tech. LTD . Most Wanted Malware: Attacks Targeting IoT and Networking doubled since, May 2018. URL: <https://blog.checkpoint.com/2018/08/15/julys-most-wanted-malware-attacks-targeting-iot-and-networking-doubled-since-may-2018/>
2. Menachem Domb . An Adaptive Lightweight Security Framework Suited for IoT. URL: <https://www.intechopen.com/books/internet-of-things-technology-applications-and-standardization/an-adaptive-lightweight-security-framework-suited-for-iot>
3. Felix LEDER, Tillmann WERNER, and Peter MARTINI. Institute of Computer Science IV, University of Bonn, Germany . Proactive Botnet Countermeasures – An Offensive Approaches. URL: http://four.cs.uni-bonn.de/fileadmin/user_upload/leder/proactivebotnetcountermeasures.pdf
4. Ivo van der Elzen Jeroen van Heugten . Techniques for detecting compromised IoT devices. URL: <http://www.delaat.net/rp/2016-2017/p59/report.pdf>

5. Manos Antonakakis . Understanding the Mirai Botnet.
6. Rohan Doshi, Noah Apthorpe, Nick Feamster . Machine Learning DDoS Detection for Consumer Internet of Things Devices.
7. Sebastian-Dan Naste . A multidisciplinary study on DDoS attacks in the EU IoT ecosystem.
8. OWASP–«IoT Vulnerabilities Project» URL: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=IoT_Vulnerabilities (last accessed: 22.10.2019).
9. OWASP IoT. Attack Surface Project. URL: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=IoT_Attack_Surface_Areas (last accessed: 22.10.2019)
10. Daniel Elizalde .IoT Hardware – Introduction and Explanation. URL: <https://www.iotforall.com/iot-hardware-introduction-explanation/> (last accessed: 22.10.2019)
11. Earlene Fernandes et al. FlowFence: Practical Data Protection for Emerging IoT Application Frameworks. URL: https://www.usenix.org/system/files/conference/usenixsecurity16/sec16_paper_fernandes.pdf (last accessed: 22.10.2019)
12. HESSELDALH A. The Hacker's Eye View of the Internet of Things. URL: <http://recode.net/2015/04/07/a-hackers-eye-view-of-the-internet-of-things/> (last accessed: 22.10.2019)
13. FERNANDES, E., JUNG, J., AND PRAKASH, A. Security analysis of emerging smart home applications. Ha IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P)
14. Yi home camera. URL: <https://www.yitechnology.com/yi-home-camera> (last accessed: 22.10.2019).
15. Hewlett Packard Enterprise . Internet of things research study. URL: <http://h20195.www2.hp.com/V4/getpdf.aspx/4aa5-4759enw> (last accessed: 22.10.2019).
16. Internet of things (iot) security and privacy recommendations.
17. S. Hilton . Dyn analysis summary of friday october 21 attack. URL: <https://dyn.com/blog/dyn-analysis-summary-of-friday-october-21-attack/> (last accessed: 22.10.2019)
18. V.Chandola, A.Banerjee, V.Kumar . Anomaly detection: A survey.*Technikal Report*. 2007 . Vol. 41. p.3
19. E. Eskin, W. Lee, and W. Stolfo . Modeling system call for intrusion detection using dynamic window sizes.
20. Qin, M. and Hwang, K. 2004. Frequent episode rules for internet anomaly detection. In Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. IEEE Computer Society.
21. M. Miettinen, S. Marchal, I. Hafeez, N. Asokan, A. Sadeghi, S. Tarkoma . Iot sentinel: Automated device-type identification for security enforcement in IoT. Computer Science. 2017. IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS).

References

1. Check Point Software Tech. LTD . Most Wanted Malware: Attacks Targeting IoT and Networking doubled since, May 2018. URL: <https://blog.checkpoint.com/2018/08/15/julys-most-wanted-malware-attacks-targeting-iot-and-networking-doubled-since-may-2018/> [in English].
2. Menachem Domb . An Adaptive Lightweight Security Framework Suited for IoT. URL: <https://www.intechopen.com/books/internet-of-things-technology-applications-and-standardization/an-adaptive-lightweight-security-framework-suited-for-iot> [in English].
3. Felix LEDER, Tillmann WERNER, and Peter MARTINI. Institute of Computer Science IV, University of Bonn, Germany . Proactive Botnet Countermeasures – An Offensive Approaches. URL: http://four.cs.uni-bonn.de/fileadmin/user_upload/leder/proactivebotnetcountermeasures.pdf [in English].
4. Ivo van der Elzen Jeroen van Heugten . Techniques for detecting compromised IoT devices. URL: <http://www.delaat.net/rp/2016-2017/p59/report.pdf> [in English].
5. Manos Antonakakis . Understanding the Mirai Botnet [in English].
6. Rohan Doshi, Noah Apthorpe, Nick Feamster . Machine Learning DDoS Detection for Consumer Internet of Things Devices [in English].
7. Sebastian-Dan Naste . A multidisciplinary study on DDoS attacks in the EU IoT ecosystem. [in English].
8. OWASP–«IoT Vulnerabilities Project» URL: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=IoT_Vulnerabilities [in English].
9. OWASP IoT. Attack Surface Project. URL: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Internet_of_Things_Project#tab=IoT_Attack_Surface_Areas [in English].
10. Daniel Elizalde .IoT Hardware – Introduction and Explanation. URL: <https://www.iotforall.com/iot-hardware-introduction-explanation/> [in English].
11. Earlene Fernandes et al. FlowFence: Practical Data Protection for Emerging IoT Application Frameworks. URL: https://www.usenix.org/system/files/conference/usenixsecurity16/sec16_paper_fernandes.pdf

- ndes.pdf [in English].
12. HESSELDALH A. The Hacker's Eye View of the Internet of Things. URL: <http://recode.net/2015/04/07/a- hackers- eye- view- of- the- internet- of- things/> [in English].
 13. FERNANDES, E., JUNG, J., AND PRAKASH, A. Security analysis of emerging smart home applications. *Ha IEEE Symposium on Security and Privacy (S&P)* [in English].
 14. Yi home camera. URL: <https://www.yitechnology.com/yi- home- camera> [in English].
 15. Hewlett Packard Enterprise . Internet of things research study. URL: <http://h20195.www2.hp.com/V4/getpdf.aspx/4aa5- 4759enw> [in English].
 16. Internet of things (IoT) security and privacy recommendations. Broadband Internet Technical Advisory Group, Inc. 2016. All rights reserved. [in English].
 17. S. Hilton . Dyn analysis summary of friday october 21 attack. (2017). URL: <https://dyn.com/blog/ dyn- analysis- summary- of- friday- october- 21- attack/> [in English].
 18. Chandola, V., Banerjee, A. & Kumar, V. (2007). Anomaly detection: A survey. *Technikal Report..* Vol. 41. p.3
 19. Eskin, E., Lee, W. & Stolfo, W. (2005). Modeling system call for intrusion detection using dynamic window sizes. *International Conference on Networking* [in English].
 20. Qin, M. & Hwang, K. (2004). Frequent episode rules for internet anomaly detection. In *Proceedings of the 3rd IEEE International Symposium on Network Computing and Applications. IEEE Computer Society* [in English].
 21. Miettinen, M., Marchal, S., Hafeez, I., Asokan, N., Sadeghi, A. & Tarkoma, S. (2017). Iot sentinel: Automated device-type identification for security enforcement in IoT. *Computer Science. IEEE 37th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS)* [in English].

Viktoria Germak, lecturer, **Roman Minailenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Kropyvnytskyi, Ukraine

Analysis of Botnet Countermeasures in IoT Systems

The article analyzes the methods of countering botnets in IoT systems. Today, the Internet of Things has become a popular term to describe scenarios in which Internet connectivity and computing power are spread across a multitude of objects, devices, sensors, etc.

The main concept of IoT is the ability to connect all kinds of objects (things) that a person can use in everyday life. These objects (things) must be equipped with built-in sensors or sensors that have the ability to process information coming from the environment, exchange it and perform certain actions depending on the received information.

The current lack of standards for the protection of such autonomous networks somewhat slows down the introduction of the Internet of Things into everyday life, so there are numerous vulnerabilities in the rapidly growing field of IoT technologies, which are used all over the world. Information protection and confidentiality is one of the priority components when choosing a certain system. Therefore, without adequate confidence in the security and privacy of user data, the IoT system will be uncompetitive.

The Internet of Things can cause huge changes in everyday life, bringing a whole new level of comfort to ordinary users. But if the elements of such a system are not properly protected from unauthorized intervention, with the help of a reliable cryptographic algorithm, they will bring harm instead of good, giving cybercriminals a loophole to undermine information security.

Since devices with built-in computers store a lot of information about their owner, including the ability to know their exact location, access to such information can help criminals commit a crime.

To date, the level of success of botnet countermeasures depends mainly on organizational and political general conditions. Given that the establishment of cooperation or diplomatic agreements takes time, it can be concluded that the establishment of appropriate relations that legitimize cooperation for joint action is not suitable as an ad hoc scheme to combat current attacks.

The situation is aggravated, given that modern botnet infrastructures are not under the responsibility of a single entity. In contrast, distributed peer-to-peer networks operate worldwide, so shutting down local parts (often no more than single computers) is not an effective solution. In general, countermeasures that require close cooperation are generally unfeasible today for both technical and political reasons

Experts believe that prosecuting botnet developers is unlikely to have a strong impact on the global threat. Instead, botnets need to be fought on a technical level. Proactive measures should be taken by joint efforts of international security groups together with pro-government structures.

user, IoT system, botnet, information protection

Одержано (Received) 07.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 004.8/681.5

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.88-99](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.88-99)

Р.М. Минайленко, доц., канд. техн. наук, **К.О. Буравченко**, канд. техн. наук,
В.А. Резніченко, викл.

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна
e-mail: aron70@ukr.net

Особливості програмування адаптера послідовного інтерфейсу з використанням електронного емулятора

В статті розглянуто особливості програмування адаптера послідовного інтерфейсу з використанням електронного емулятора. Показано, що програми-емулятори дають можливість провести дослідження та проаналізувати відповідні системи або пристрої.

Демонстраційний експеримент не вичерпує всіх можливостей активного сприйняття студентами досліджуваного явища і не завжди забезпечує отримання ними якісних знань, оскільки його тільки спостерігають, а не проводять самі. А тому демонстрації із залученням програм-емуляторів потрібно доповнювати виконанням студентами лабораторних робіт з їх допомогою. Програмний емулятор дозволяє проводити відповідну роботу і самостійно (позааудиторно), без залучення викладача. Це дозволяє розширити область зв'язку теорії з практикою, привчити студентів до самостійної дослідницької роботи. Крім того, можливість проводити досліди віддалено від ВНЗ вказує на перспективу використання емуляторів для дистанційного навчання.

Програмні моделі загалом дають можливість організувати якісний навчальний процес підготовки фахівців з обчислювальної техніки та комп'ютерних систем
електронний емулятор, інтерфейс, програмна модель, адаптер

Постановка проблеми. Впровадження інформаційних освітніх технологій у навчальних закладах України є одним з головних чинників у підготовці високоякісного фахівця. Найбільш характерною ознакою освіти на сучасному етапі розвитку є її інформатизація, обумовлена насамперед розповсюдженням у навчальних закладах сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, використанням можливостей Інтернет, набуттям і накопиченням фахівцями досвіду використання інформаційних технологій (ІТ) у своїй діяльності.

Дослідження показують, що на сьогоднішній день у вітчизняній системі освіти використовуються апаратні емулятори (стенди) та програмні імітаційні моделі, призначені для вивчення обчислювальної техніки, її складових і процесів, які в ній протікають. Програмні емулятори дозволяють візуалізувати процес програмування мікросхем у спрощеному вигляді.

Програмні моделі демонструють функціональні взаємозв'язки і взаємодію вказаного пристрою, відображають результати його програмування, а також дозволяють користувачу спостерігати за всіма функціями та внутрішніми процесами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Функціональне призначення універсального синхронно-асинхронного прийомопередавача (УСАПП) визначається способами його програмування. Для цього центральний процесор (ЦП) передає в УСАПП ряд керуючих слів після встановлення його в початковий стан.

Керуючі слова розділяються на дві групи:

- команди режиму;
- команди керування;

Команда режиму слідує одразу за встановленням в початковий стан, тобто появою команди RESET. Команда керування повинна слідувати за командою режиму або символами SYNC.

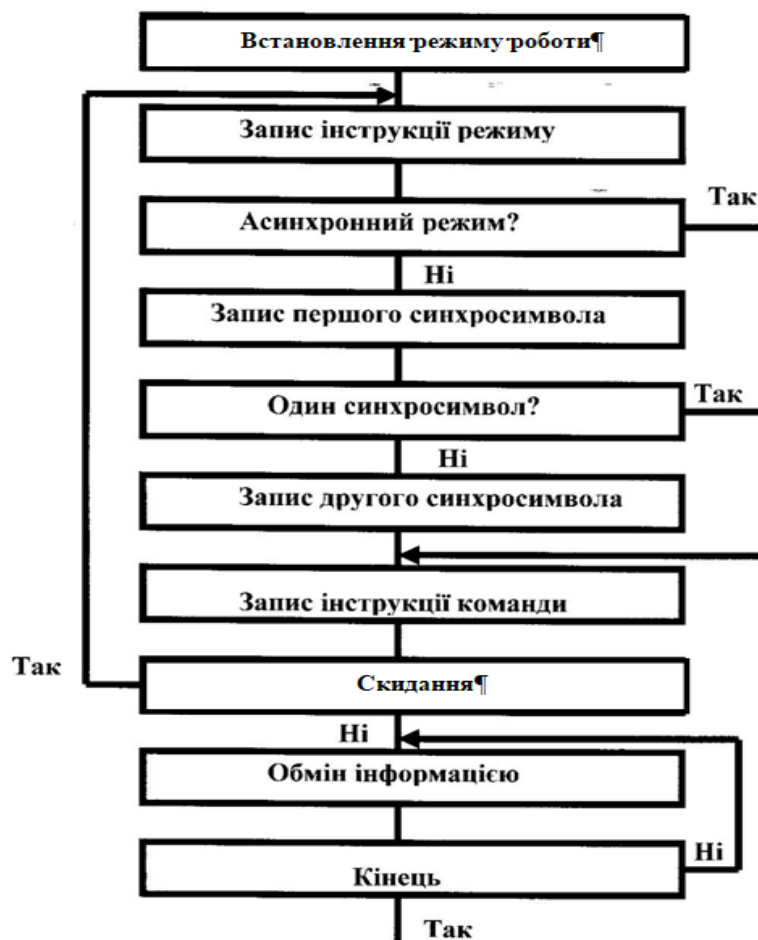


Рисунок 1 – Послідовність програмування УСАПП

Джерело: [2]

Команди керування можуть бути записані в будь-який час роботи.

Для повернення до команди встановлення нового режиму використовують регістр команди керування. Якщо IR у команді керування встановити в 1, то відбудеться повернення до команди режиму.

Таблиця 1 – Операції, обумовлені сигналами керування від МП

Операція	Сигнали керування			
	C/D	RD	WR	CS
Читання даних з УСАПП на D(7-0)	0	0	1	0
Запис даних з D(7-0) в УСАПП	0	1	0	0
Читання слова стану з УСАПП на D(7~0)	1	0	1	0
Запис керуючого слова D(7-0) в УСАПП	1	1	0	0
Відключення УСАПП від D(7-0)	X	1	1	0
Відключення УСАПП від D(7-0)	X	X	X	1
Примітка X — будь-який стан сигналу.				

Джерело: [2]

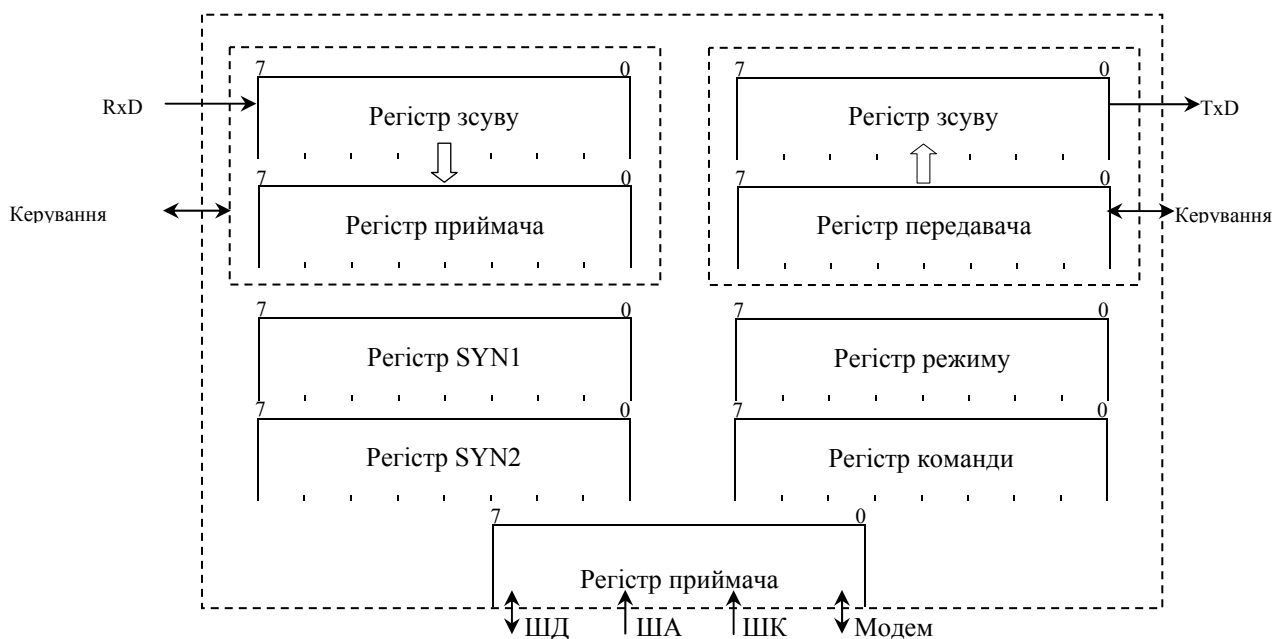


Рисунок 2 – Послідовність програмування УСАПП

Джерело: [6]

Команда режиму визначає основні робочі характеристики адаптера.

Команда керування виконує наступні функції:

- а) встановлення операції вводу або виводу;
- б) скидання тригерів прапорців помилок;
- в) керування модемом.

Читання стану.

Ця операція дозволяє ЦП в довільний час роботи зчитувати стан адаптера з метою виявлення помилок, а також сканувати запити зовнішніх пристроїв. Читання стану виконується якщо сигнал CD встановлений в стан логічної 1.

Передача/прийом даних.

Після того як слово режиму запрограмує потрібний режим адаптера і при необхідності будуть завантажені один або два синхроімпульси – адаптер готовий до обміну даними. Завантаження відповідного керуючого слова визначає передачу або приймання інформації адаптером. Рівень лог. 1 на TxRDY сигналізує ЦП про те, що адаптер готовий до прийому сигналу. Після запису символу в адаптер рівень TxRDY встановлюється в лог. 0. Адаптер може також приймати послідовні дані від модему або пристрою в/в і по завершенню прийому адаптер встановлює на RxRDY рівень лог. 1, що служить сигналом для ЦП про готовність адаптера передати йому цей символ. Адаптер не може почати передачу до тих пір поки розряд TXEN у команді керування не встановлений в лог. 1 і не отримав сигнал гашення даних.

Асинхронний режим (передача).

При передачі даних адаптер до перетвореного послідовного коду слова даних додає спочатку стартовий біт, а в кінці стоповий. Крім того якщо контроль парності передбачений у команді режиму, перед стоп-бітом встановлюється біт перевірки на парність, або непарність. Передача даних здійснюється через вихід TXD. Послідовні дані видаються передавачем на вихід по спаду TXC/ з частотою 1.16 або 1.64 від частоти TXC/. Вихід TXD після передачі слова даних і при відсутності слідуючого символа переходить в стан лог. 1, поки нові дані не надійдуть вів ЦП. У команді

керування передбачена можливість переводу виходу TXD, при відсутності даних, у стан логічного 0.

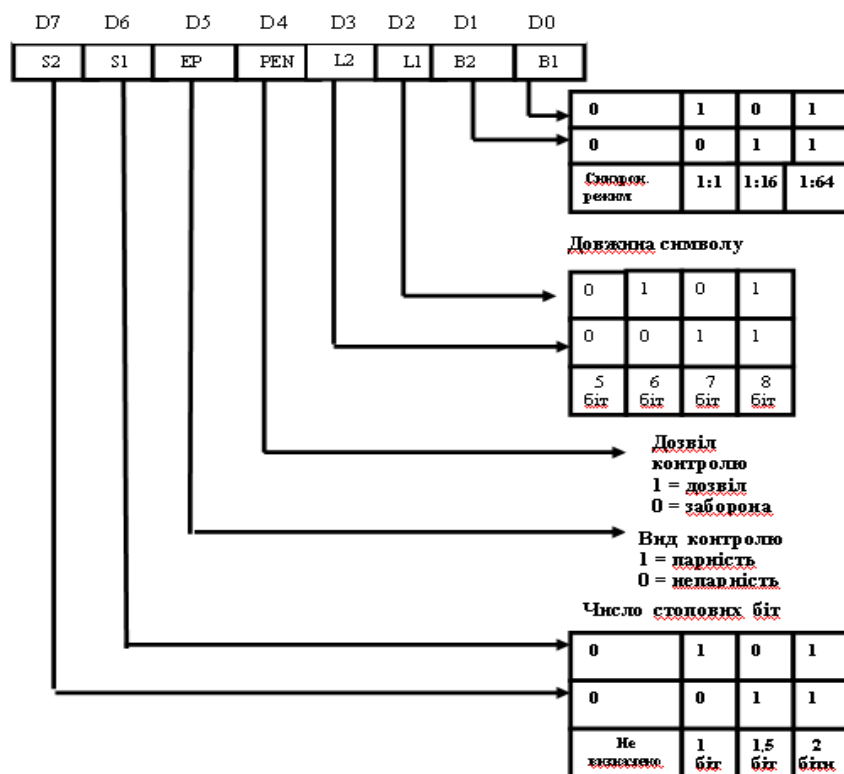


Рисунок 3 – Формат команди асинхронного режиму

Джерело: [6]

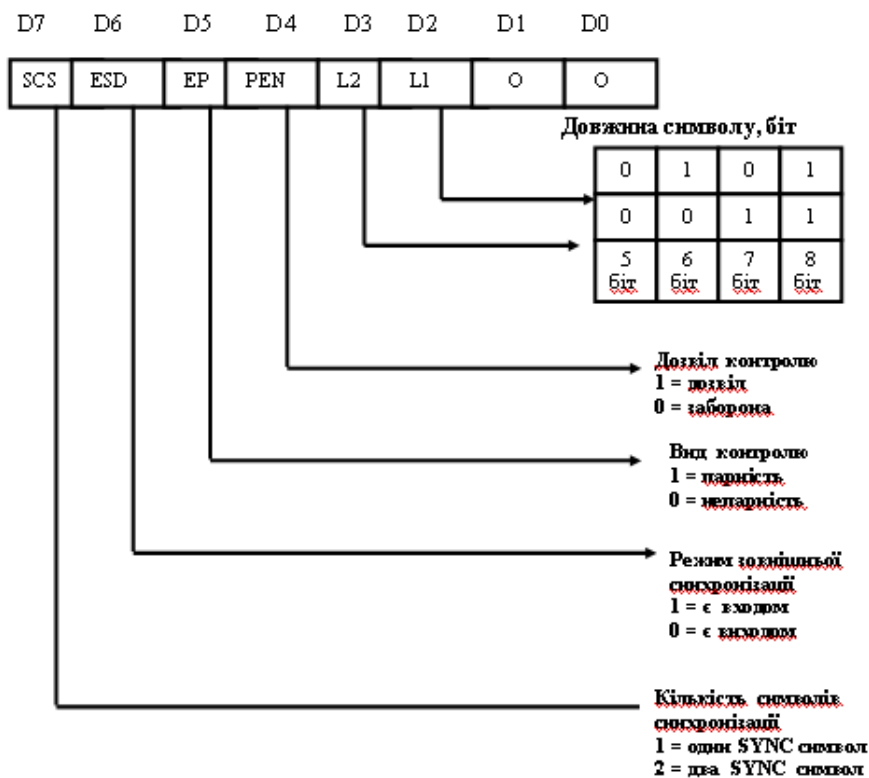


Рисунок 4-Формат команди синхронного режиму

Джерело: [6]

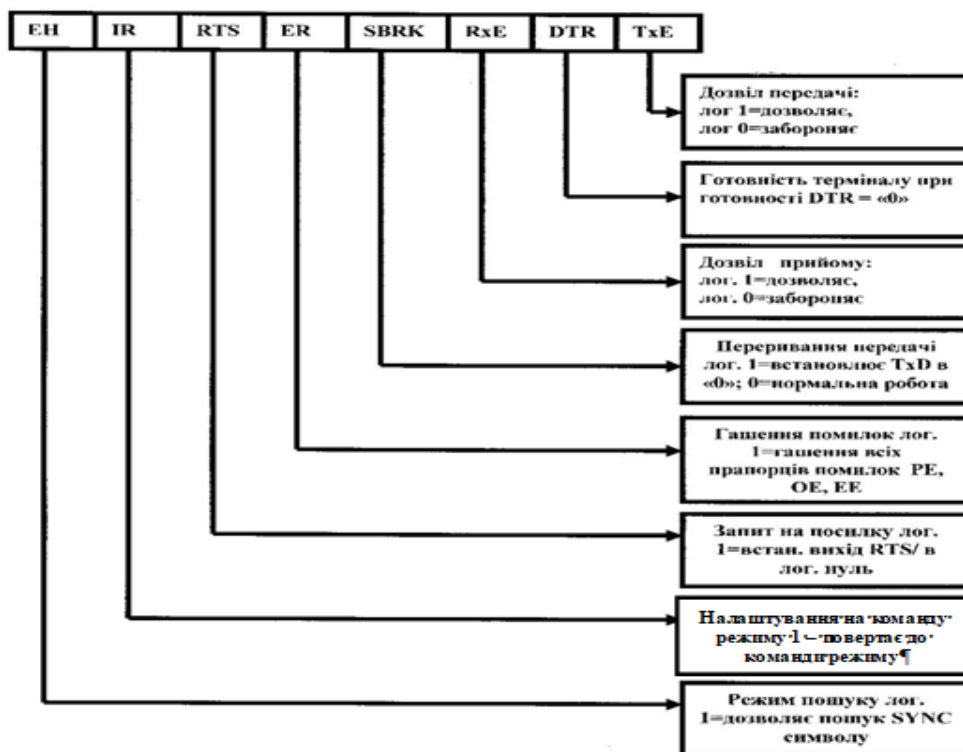


Рисунок 5 – Формат команди керування

Джерело: [6]

Асинхронний режим (прийм.)

Рівень на вході RXD знаходиться в стані логічної 1. Спад сигналу на цьому вході свідчить про появу старт-біта. Достовірність біта контролюється повторним стробуванням. Повторне знізходження рівня логічного 0 свідчить про достовірність стартового біта. При цьому при спаданні RXD/ запускається лічильник, який відраховує задану програмно довжину слова даних, біт парності і стоп-біти. Дані приймаються в послідовному коді по фронту RXC/. При знаходженні помилки по парності встановлюється прапорець помилки по парності. Після прийняття стоп-біта адаптер здійснює передачу прийнятого символу у паралельному коді у буфер даних для передачі у ЦП. При цьому сигнал RxRDY встановлюється в логічну 1 і поточна інформація записується у буфер, стираючи попередню. Всі прапорці помилок скидаються командою керування.

Адресація портів KP580BB51

KP580BB51 ініціюється після надходження сигналу рівня логічного 0 на контакт входів мікросхеми коли адреси порту введення/виведення (в/в) на адресних лініях знаходяться в діапазоні EC..EF. Для адресації використовуються розряди з 2-го по 7-й.

Молодший розряд адреси A0 керує входом CD.

адреса пристрою в/в	команда	функція	направлення
ED або EF	виведення	команда	ЦП > УСАПП
EC або EE	виведення	дані	ЦП > УСАПП
ED або EF	введення	стан	УСАПП > ЦП
EC або EE	введення	дані	УСАПП > ЦП

Джерело: розроблено автором

Організація переривання за допомогою KP580BB51.

Для організації переривання можна використати вихід готовності приймача RxRDY. Крім цього можна використати вихід готовності передавача TxRDY, або вихід TXE.

TxRDY – логічна 1 коли адаптер готовий до приймання символів від ЦП.

RxRDY - логічна 1 коли адаптер має символ готовий до передачі в ЦП.

TXE - логічна 1 коли в буфері відсутні дані.

Виходи TxRDY, TXE керуються бітом дозволу прийому у команді керування.

Постановка завдання. Створення програм-емуляторів і послідовне їх використання в навчальному процесі дає можливість проводити дослідження та аналізувати відповідні системи або пристрої.

Демонстраційний експеримент не вичерпує всіх можливостей активного сприйняття студентами досліджуваного явища і не завжди забезпечує отримання ними якісних знань, оскільки за ним тільки спостерігають, а не проводять самі учні. Тому демонстрації із залученням програм-емуляторів потрібно доповнювати виконанням студентами лабораторних робіт з їх використанням. Програмний емулятор дозволяє проводити дослідження і самостійно (позааудиторно), тобто без залучення викладача. Це дозволяє розширити область зв'язку теорії з практикою, привчити студентів до самостійної дослідницької роботи. Крім того, можливість проводити досліди віддалено від ВНЗ вказує на перспективу використання емуляторів для дистанційного навчання.

Використання програм-емуляторів дасть можливість організувати якісний навчальний процес підготовки фахівців з обчислювальної техніки та комп'ютерних систем.

Виклад основного матеріалу. Програмований послідовний інтерфейс забезпечує передачу і приймання інформації рівнями транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ), або тактовими сигналами. Вибір каналів прийому/передачі здійснюється завдяки програмно керованим рівням DTR і RTS адаптера.

За допомогою емулятора програмованого адаптеру послідовного інтерфейсу I8251 прослідкуємо процес програмування пристрою. Загальний вигляд емулятора представлений на рис.6 (vv51.exe).

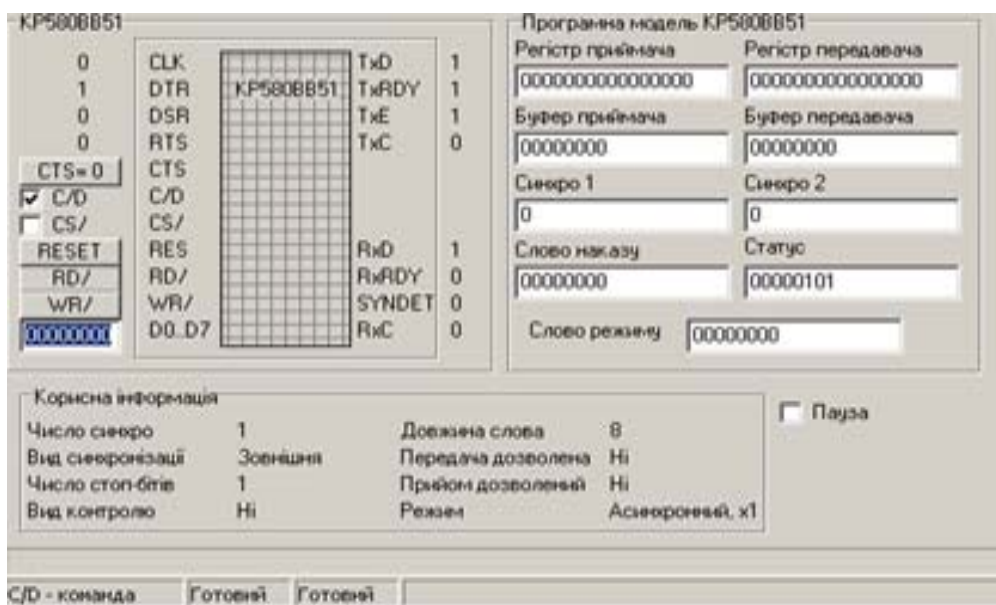


Рисунок 6 - Загальний вигляд емулятора УСАПІ I8251

Джерело: розроблено автором

адреса пристрою в/в	команда	функція	напрявлення
ED або EF	виведення	команда	ЦП > УСАПП
ЕС або EE	виведення	дані	ЦП > УСАПП
ED або EF	введення	стан	УСАПП > ЦП
ЕС або EE	введення	дані	УСАПП > ЦП

Завантаження програми до емулятора

1. Для початку роботи емулятора необхідно завантажити керуюче слово (інструкцію) режиму та керуюче слово (інструкцію) команди. В вікні емулятора натиснемо кнопку «Параметри».

2. У відповідному віконці встановимо $C\backslash D=1(\checkmark)$ та натиснемо кнопку „Reset” тим самим виконаємо скидання адаптера. Після виконаних дій з’явиться вікно , в яке повинні ввести керуюче слово вибраного режиму (рис.7):

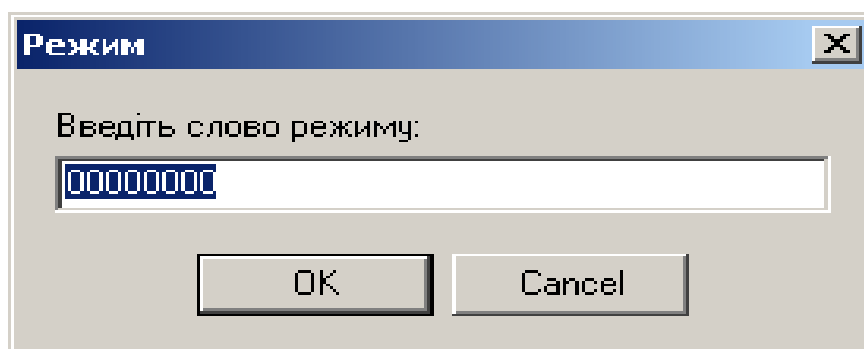


Рисунок 7 – Вікно керуюче слово вибраного режиму

Джерело: розроблено автором

3. Ввести УСР(керуюче слово режиму -) і натиснути кнопку "Ок". В загальному вікні емулятора у віконці «Слово режиму» з’явиться набрана команда.

4. У виділене віконце «D0-D7» введемо УСК (керуюче слово команди) і натиснемо кнопку "WR". Набрана команда з’явиться у віконці «Слово наказу». В вікні «Корисна інформація» відобразиться вибраний режим та параметри посилки.

5. Встановимо $C\backslash D=0$. Введемо слово даних (до віконця «D0-D7») і натиснемо кнопку "WR". Формат даних відобразиться у віконці «Буфер передавача».

5. Натиснемо кнопку CTS (встановимо $CTS=0$) таким чином дозволивши передачу. Дані послідовно будуть передаватися до зовнішнього пристрою (віконце «Регістр передавача». У вікні «Цифровий аналізатор» (рис.8) можна прослідкувати процес передачі. В вікні з зображенням мікросхеми та головними сигналами можна спостерігати за зміною сигналів в процесі роботи адаптера.

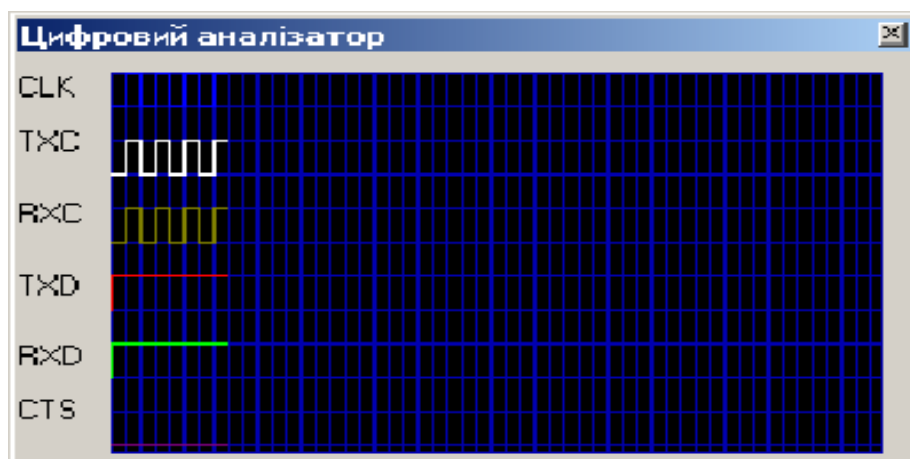


Рисунок 8 – Вікно «Цифровий аналізатор»

Джерело: розроблено автором

Використавши комплекс для програмування адаптеру загальний вигляд якого представлений на рисунку 9 можна набрати та відлагодити програму роботи пристрою. При запуску програми є можливість в покроковому режимі відслідковувати завантаження всіх команд та роботу пристрою, процес програмування якого відображується на індикаторах формату команд, даних та вхідних і вихідних сигналів мікросхеми.



Рисунок 9- Загальний вигляд комплексу програмування адаптеру

Джерело: розроблено автором

Загальний вигляд вікна компілятора показано на рисунку 10:

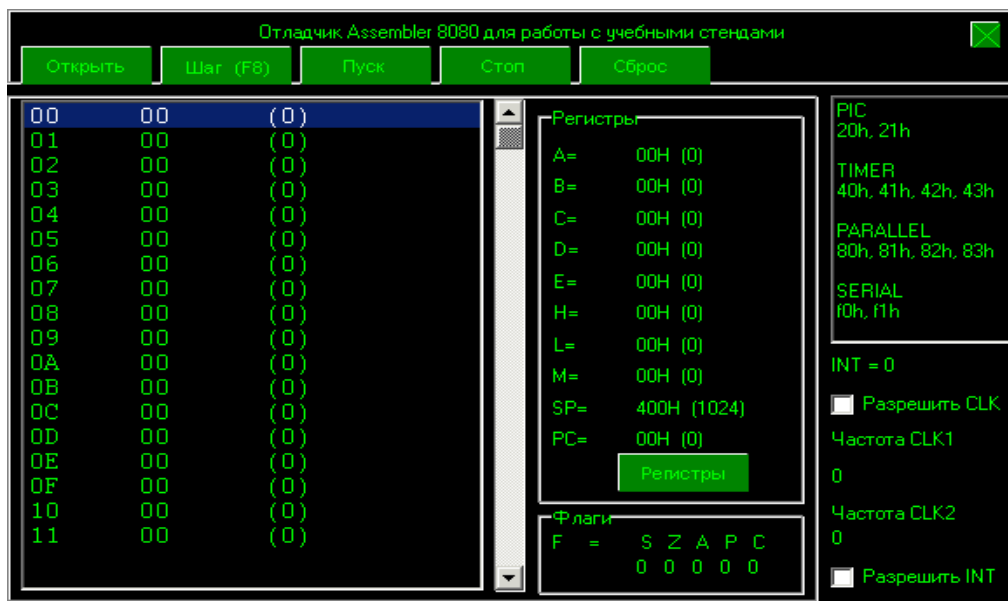


Рисунок 10 – Загальний вигляд вікна компілятора

Джерело: розроблено автором

Висновки. Впровадження інформаційних освітніх технологій у навчальних закладах України є одним з головних чинників у підготовці високоякісного фахівця. Найбільш характерною ознакою освіти на сучасному етапі розвитку є її інформатизація, обумовлена насамперед розповсюдженням у навчальних закладах сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, використанням можливостей Інтернет, набуттям і накопиченням фахівцями досвіду використання інформаційних технологій (ІТ) у своїй діяльності.

Демонстраційний експеримент не вичерпує всіх можливостей активного сприйняття студентами досліджуваних явищ, не завжди забезпечує отримання ними дійових знань, оскільки його тільки спостерігають, а не проводять самі. А тому демонстрації із залученням програм-емуляторів потрібно доповнювати виконанням студентами лабораторних робіт з їх допомогою.

Програмний емулятор дозволяє проводити відповідну роботу і самостійно (позааудиторно), без залучення викладача. Це дозволяє розширити область зв'язку теорії з практикою, привчити студентів до самостійної дослідницької роботи. Крім того, можливість проводити досліди віддалено від ВНЗ вказує на перспективу використання емуляторів для дистанційного навчання. Програмні моделі загалом дають можливість організувати якісний навчальний процес підготовки фахівців з обчислювальної техніки та комп'ютерних систем

Список літератури

1. Бабич М.П., Жуков І.А. Комп'ютерна схемотехніка, МК-Пресс, 2004. 412с.
2. Матвієнко М. П., Розен В.П. Комп'ютерна схемотехніка: навч. посіб. К.: Видавництво "Ліра-К", 2016. 192с.
3. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. ОСНОВИ ТВОРЕННЯ МАШИН / за редакцією О.В. Горика. Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. 448 с.
4. Рябенський В.М. Жуйков В.Я. Ямненко Ю.С. Заграничний А.В. Схемотехніка: Пристрої цифрової електроніки Електронний підручник для вищих навчальних закладів. Київ, 2016. 400 с.
5. Матвієнко М.П. Комп'ютерна схемотехніка: навч. посіб. К.: Видавництво "Ліра-К", 2013. 192 с.
6. Колонтаєвський Ю. П., Сосков А. Г. Промислова електроніка: Теорія і практикум: підручник / за ред. А. Г. Соскова. К.: Каравела, 2013. 496 с.

7. Матвієнко М.П. Основи електротехніки та електроніки: підручник. К.: Видавництво "Ліра-К" , 2016. 228 с.
8. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів. Лабораторний практикум / Єфимець В.М. та ін. К.: НАУ, 2013. 64с.
9. Комп'ютерна схемотехніка: підручник / Азаров О.Д. та ін. Вінниця: ВНТУ, 2018. 230 с
10. Комп'ютерна схемотехніка: методичні рекомендації для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю 123 "Комп'ютерна інженерія"/ уклад. Сидоренко В.В., Минайленко Р.М., Михайлов С.В. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 72 с.
http://citforum.ck.ua/database/advanced_intro (дата звернення: 01.09.2022)
11. ХНАДУ "Файловий архів". URL: <http://files.khadi.kharkov.ua/mekhatronikitransportnikh-zasobiv.html>
Конспекти лекцій, методичні вказівки.
12. Світ електронних схем. URL : <http://ua.nauchebe.net> <http://asm.shadrinsk.net> (дата звернення: 01.09.2022)
13. Голотенко О.С. Архітектура комп'ютерних систем: конспект лекцій для студентів усіх форм навчання з курсу «Архітектура комп'ютерних систем». Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016 . 120 с.
14. Тарарака В.Д. Т19 Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2018. 383 с
15. Терещенко Т.О., Ямненко Ю.С. Сучасні напрямки комп'ютерної та мікропроцесорної техніки. Розділ 1. Основні тенденції розвитку комп'ютерної і мікропроцесорної техніки. Розділ 2 Характеристики ARM і Cortex процесорів: конспект лекцій : для студ. спеціальності 171 Електроніка, спеціалізації «Електронні компоненти та системи» . КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 68 с.
16. Кавун С.В., Сорбат І.В. Архітектура комп'ютерів. Особливості використання комп'ютерів в ІС : навч. посіб. Харків : Вид. ХНЕУ, 2010. 256 с.
17. Мартін Р. Чиста архітектура. Фабула, 2019. 368 с
18. Тарарака В.Д. Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир: ЖДТУ, 2018. 383 с.
19. Матвієнко М.П., Розен В.П., Закладний О.М. Архітектура комп'ютерів: навч. посіб. К. : Ліра-К, 2019. 264 с.
20. Сидоренко В.В., Минайленко Р.М., Михайлов С.В. Архітектура комп'ютерів: методичні рекомендації для студентів денної та заочної форми навчання за спеціальністю 123 "Комп'ютерна інженерія". Кропивницький: ЦНТУ, 2019. 63 с.
21. Рикалюк Р.Є., Галамага Л.Б., Селіверстов Р.Г. Лабораторний (симуляційний) практикум з курсу «Архітектура комп'ютерних систем». Ч. 2 . Львів: Видавн. центр Львів. ун-ту, 2017. 33 с
22. Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів. Лабораторний практикум / В.М. Єфимець, С.В. Красовська та ін. К: НАУ, 2013. 64с.
23. Bartlett J. Programming from the Ground Up. URL: [http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-\(J.-Bartlett\).html](http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-(J.-Bartlett).html) (дата звернення: 06.09.2022)
24. Світ електронних схем: веб-сайт. URL: <http://ua.nauchebe.net> (дата звернення: 06.09.2022)

References

1. Babich, M.P. & Zhukov, I.A. (2004). *Komp'iuterna skhemotekhnika* [Computer circuit engineering], MK-Press [in Ukrainian].
2. Matvienko, M.P. & Rosen, V.P. (2016). *Komp'iuterna skhemotekhnika* [Computer circuitry]. Kyiv: Lira-K Publishing House [in Ukrainian].
3. Buchynskiy, M.Ya., Horyk, O.V., Chernyavskiy, A.M. & Yakhin, S.V. (2017). OSNOVY TVORENNYA MASHYN [FUNDAMENTALS OF MACHINE CREATION]. O.V. Horyk (Eds.). Kharkiv: "NTMT" Publishing House [in Ukrainian].
4. Ryabenky, V.M., Zhuykov, V.Ya., Yamnenko, Yu.S. & Zagranichnyi, A.V. (2016). Skhemotekhnika: Prystroji tsyfrovoi elektronik [Schemotechnika: Devices of digital electronics]. *Electronic textbook for higher educational institutions*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Matvienko, M.P. (2013). *Komp'iuterna skhemotekhnika* [Computer circuitry]. Kyiv: Vydavnytstvo "Lira-K" [in Ukrainian].
6. Kolontaievs'kyj, Yu.P. & Soskov, A.H. (2013). Promyslova elektronika: Teoriia i praktykum [Industrial electronics: Theory and practice] . A.G. Soskova (Ed.). Kyiv: Karavela [in Ukrainian].
7. Matviienko, M.P. (2016). *Osnovy elektrotekhniki ta elektroniki* [Basics of electrical engineering and electronics]. Kyiv: Vydavnytstvo "Lira-K" [in Ukrainian].

8. Yefymets', V.M. et al. (2013). *Komp'iuterna skhemotekhnika ta arkhitektura komp'iuteriv. Laboratornyj praktykum* [Computer circuitry and computer architecture. Laboratory workshop] Kyiv: NAU [in Ukrainian].
9. Azarov, O.D. et al. (2018). *Komp'iuterna skhemotekhnika:[Computer circuitry]* . Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
10. Sydorenko, V.V., Mynajlenko, R.M. & Mykhajlov, S.V (2019). *Komp'iuterna skhemotekhnika: metodychni rekomendatsii dlja studentiv dennoi ta zaochnoi formy navchannia za spetsial'nistiu 123 "Komp'iuterna inzheneriia"* [Computer circuit engineering: methodical recommendations for full-time and part-time students in the specialty 123 "Computer engineering". Retrieved from http://citforum.ck.ua/database/advanced_intro [in Ukrainian].
11. KhNADU . *Fajlovyj arkhiv* [File Archive]. Retrieved from <http://files.khadi.kharkov.ua/mekhatronikitransportnikh-zasobiv.html> Konspekty leksij, metodychni vkazivky [in Ukrainian].
12. *Svit elektronnykh skhem* [The world of electronic circuits]. Retrieved from <http://ua.nauchebe.net> <http://asm.shadrinsk.net> [in Ukrainian].
13. Holotenko, O.S. (2016). *Arkhitektura komp'iuternykh system: konspekt leksij dlja studentiv usikh form navchannia z kursu «Arkhitektura komp'iuternykh system»* [Architecture of computer systems: summary of lectures for students of all forms of education from the course "Architecture of computer systems"]. Ternopil' : Vyd-vo TNTU imeni Ivana Puliuia [in Ukrainian].
14. Tararaka, V.D. (2018). *T19 Arkhitektura komp'iuternykh system* [T19 Architecture of computer systems]. Zhytomyr : ZhDTU, [in Ukrainian].
15. Tereschenko, T.O. & Yamnenko, Yu.S. (2020). *Suchasni napriamky komp'iuternoi ta mikroprotsesornoi tekhniky Rozdil 1. Osnovni tendentsii rozvytku komp'iuternoi i mikroprotsesornoi tekhniky. Rozdil 2 Kharakterystyky ARM i Cortex protsesoriv: konspekt leksij : dlja stud. spetsial'nosti 171 Elektronika, spetsializatsii «Elektronni komponenty ta systemy»* [Modern trends in computer and microprocessor technology Section 1. Main trends in the development of computer and microprocessor technology. Chapter 2 Characteristics of ARM and Cortex processors: lecture notes. [Electronic resource]: for students. specialties 171 Electronics, specializations "Electronic components and systems" /T. O. Tereshchenko, Yu.S. Yamnenko; KPI named after Igor Sikorskyi; structure]. KPI im. Ihoria Sikors'koho. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikors'koho [in Ukrainian].
16. Kavun, S.V. & Sorbat, I.V. (2010). *Arkhitektura komp'iuteriv. Osoblyvosti vykorystannia komp'iuteriv v IS* [Computer architecture. Peculiarities of the use of computers in IS]. Kharkiv : Vyd. KhNEU, [in Ukrainian].
17. Martin, R. (2019). *Chysta arkhitektura* [Pure architecture]. Fabula, [in Ukrainian].
18. Tararaka, V.D. (2018). *Arkhitektura komp'iuternykh system* [Architecture of computer systems]: navchal'nyj posibnyk. Zhytomyr: ZhDTU [in Ukrainian].
19. Matviienko, M.P., Rozen, V.P. & Zakladnyj, O.M. (2019). *Arkhitektura komp'iuteriv* [Computer architecture]. K. : Lira-K [in Ukrainian].
20. Sydorenko, V.V., Mynajlenko, R.M. & Mykhajlov, S.V. (2019). *Arkhitektura komp'iuteriv* [Computer architecture]. Kropyvnyts'kyj: TsNTU [in Ukrainian].
21. Rykaliuk, R.Ye., Halamaha, L.B. & Seliverstov, R.H. (2017). *Laboratornyj (symuliatychnyj) praktykum z kursu «Arkhitektura komp'iuternykh system»* [Laboratory (simulation) workshop on the course "Architecture of computer systems".]. Part 2. L'viv: Vydavn. tsentr L'viv. un-tu, [in Ukrainian].
22. Yefymets', V.M., Krasovska, Ye.V. et al. (2013). *Komp'iuterna skhemotekhnika ta arkhitektura komp'iuteriv. Laboratornyj praktykum* [Computer circuitry and computer architecture. Laboratory workshop]. Kyiv: NAU [in Ukrainian].
23. Bartlett J. *Programming from the Ground Up*. Retrieved from [http:// www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-\(J.-Bartlett\).html](http://www.freebookcentre.net/ComputerScience-BooksDownload/Programming-fromthe-Ground-Up-(J.-Bartlett).html) [in English].
24. *Svit elektronnykh skhem: web sait* [The world of electronic circuits: web site]. Retrieved from <http://ua.nauchebe.net> [in Ukrainian].

Roman Minailenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kostiantyn Buravchenko**, PhD tech. sci., **Vitalii Reznichenko**, Lecturer

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Features of Serial Interface Adapter Programming Using an Electronic Emulator

The article discusses the features of serial interface adapter programming using an electronic emulator. Emulators have been shown to enable research and analysis of relevant systems or devices.

A demonstration experiment does not exhaust all the possibilities of active perception of the studied phenomenon by students and does not always ensure that they obtain quality knowledge, since it is only

observed, and not carried out themselves. Therefore, demonstrations involving emulator programs should be supplemented by students performing laboratory work with their help. The software emulator allows you to carry out relevant work independently (outside the classroom), without the involvement of a teacher. This makes it possible to expand the field of connection between theory and practice, to accustom students to independent research work. In addition, the possibility of conducting experiments remotely from educational institutions points to the prospect of using emulators for distance learning.

The implementation of information and educational technologies in educational institutions of Ukraine is one of the main factors in training a high-quality specialist. The most characteristic feature of education at the current stage of development is its informatization, due primarily to the spread of modern computer technology and software in educational institutions, the use of Internet capabilities, the acquisition and accumulation of experience by specialists in the use of information technologies (IT) in their activities.

Software models in general make it possible to organize a high-quality educational process of training specialists in computing and computer systems.

electronic emulator, interface, software model, adapter

Одержано (Received) 14.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.08.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 697.133

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.100-109](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.100-109)

І.В. Савеленко, доц., канд. техн. наук, **К.Г. Петрова**, доц., канд. техн. наук, **С.В. Серебренніков**, проф., канд. техн. наук, **О.І. Сіріков**, доц., канд. техн. наук
Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: kateflash27@gmail.com

Формування оптимальних енергетичних та теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій будівель

Досліджено особливості впливу термоізоляційних матеріалів на теплотехнічні та енергетичні показники огорожувальних конструкцій будівлі. Виявлено протилежний вплив густини деяких утеплювачів на опір теплопередачі. Методом експертних оцінок за техніко-енергетичним, фінансовим та екологічним критеріями обґрунтовано комплекс заходів з термомодернізації огорожувальних конструкцій. Доведено, що за нормативних значень опорів теплопередачі матеріалів огорожувальних конструкцій, без модернізації інженерних систем, досягти рекомендованого класу "С" енергоефективності будівлі не можливо.

огорожувальні конструкції, термомодернізація, теплофізичні показники, енергоефективність будівлі

Постановка проблеми. Енергетичний баланс України засвідчує, що понад 30 % загальної кількості енергії споживає житловий сектор, з них 80 % – на потреби опалення. Це пов'язане із заниженим рівнем енергоефективності огорожувальних конструкцій житлових будівель та незадовільним технічним станом інженерних мереж. Така ситуація вимагає нагального пошуку науково обґрунтованих інженерних рішень щодо термомодернізації існуючих будівель, яка б дозволила зменшити загальне енергоспоживання за дотримання житлових норм. Розроблення та впровадження інноваційних заходів з підвищення рівня енергоефективності житлових будівель з урахуванням кліматичних, географічних, інфраструктурних та інших особливостей України, дозволить істотно скоротити споживання теплової енергії і зміцнити енергетичну безпеку держави.

На сьогодні, дискусійними залишаються питання, пов'язані з альтернативами вибору термоізоляційних матеріалів, їх конструктивних параметрів та неоднозначністю впливу на теплотехнічні й енергетичні показники будівлі. Це обумовлює актуальність науково-інженерних досліджень, спрямованих на виявлення та обґрунтування мінімально необхідної низки енергоощадних заходів для забезпечення прийнятного рівня енергоефективності типових будівель.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Термічний опір огорожувальних конструкцій більшості житлових будівель 1960-1990 років забудови у 2-4 рази менший за нормативні вимоги [1]. Дослідження роботи [2] свідчать, що до 65 % теплової енергії втрачається через огорожувальні конструкції внаслідок недостатніх термозахисних властивостей, з них: через стіни, покриття та перекриття – до 70%, а через вікна та двері – близько 30%. У [2] обґрунтовано проектні та будівельно-технологічні рішення для підвищення енергоефективності будівель за рахунок одночасного утеплення фасадів та модернізації системи центрального опалення.

Аналіз енергетичної ефективності конструктивних матеріалів для додаткової теплової ізоляції стін цегляних, панельних та крупноблочних житлових будівель показаний у [3].

Порівняння теплофізичних властивостей мінеральної вати та пінополістиролу, зміна питомих тепловтрат приміщення у разі утеплення окремої кімнати, розглянуто в [4]; втім, невисвітленим залишився вплив термомодернізації всіх інших складових огорожувальних конструкцій.

У роботі [5] запропоновано метод поліоптимального визначення варіанту термомодернізації будівлі за двома критеріями – загальної вартості термомодернізації та енергетичного ефекту, проте, неврахованою залишилася низка важливих показників, наприклад, – питомих викидів парникових газів CO_2 .

Дослідження у роботі [6] присвячені аналізу варіантів термомодернізації реального житлового будинку з точки зору оптимізації регулювання енергоспоживання, – визначено оптимальну товщину ізоляції стін та даху за показником чистої теперішньої вартості (NPV). Втім, технічні аспекти термомодернізації в роботі [6] взагалі не розглянуто.

У [7] виявлено суперечності в черговості впровадження енергоефективних заходів при їхньому ранжуванні за різними критеріями. Доведено, що ранжування заходів треба проводити за сукупністю техніко-економічних критеріїв із використанням методу експертних оцінок.

Аналізування джерел [2-7] показало їхню локальну спрямованість і підтвердило необхідність подальшого дослідження питань щодо комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій та диференціального впливу кожного окремого заходу на теплофізичні та енергетичні показники будівель. Це дозволить обґрунтовувати оптимальний перелік впроваджуваних заходів в умовах обмеженого фінансування для забезпечення житлових норм та класу енергетичної ефективності "С" і вищого.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій з обґрунтуванням оптимального складу енергоощадних заходів для досягнення максимальної енергоефективності будівель за мінімального фінансування.

Виклад основного матеріалу. Об'єктом дослідження обрано типову 9-поверхову 4-під'їзду блочну житлову будівлю з неопалюваними горищем та технічним підпіллям. Прямокутна будівля зорієнтована фасадами на північ та південь. Геометричні параметри будівлі: загальна площа – $8626,7 \text{ м}^2$, загальний об'єм – 38160 м^3 , опалювальна площа – $A_f = 8363,9 \text{ м}^2$, опалювальний об'єм – $25091,6 \text{ м}^3$.

Теплофізичні параметри будівлі показано в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики огорожувальних конструкцій будівлі

Вид огорожувальної конструкції	Опір теплопередачі, ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$)/Вт		Площа A , м^2
	існуюче значення	мінімальні вимоги	
Зовнішні стіни	1,103	3,3	4616,4
Суміщені перекриття	0,488	6	112,0
Перекриття неопалюваного горища	0,726	4,95	1011
Перекриття неопалюваного підвалу	1,47	3,75	1060
Вікна	0,408	0,75	1620,5
Зовнішні двері	0,217	0,6	29,94

Джерело: розроблено авторами

Технічний стан огорожувальних конструкцій: зовнішні стіни будівлі виконані з керамзитобетонних блоків завтовшки 430 мм; загальна площа вікон становить 24 % від площі фасаду. Частина вікон: дерев'яні (16 %), ПВХ 1-камерні і 2-камерні – по 42 %. Зовнішні входні двері – металеві, утеплені, тамбуровані.

З табл. 1 видно, що зведений опір теплопередачі елементів огорожувальних конструкцій не відповідає мінімальним вимогам.

Аналізування результатів утеплення непрозорих огорожувальних конструкцій.

Розрахунки термічного опору стін фасадів будівлі виконано для варіантів утеплення завтовшки 0,05; 0,1; 0,15 та 0,2 м за незмінних значень термоопорів інших елементів:

– плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною: $\rho_0=75$; 100; 125 та 150 кг/м³;

– плитами зі спіненого пінополістиролу густиною: $\rho_0=15$; 25; 35; 50 кг/м³;

– плитами з екструдованого пінополістиролу густиною: $\rho_0=30$ та 35 кг/м³.

Опір теплопередачі $R_{\Sigma HP}$ через елемент оболонки будівлі становить:

$$R_{\Sigma HP} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{n=1}^N \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (1)$$

де α_B, α_3 – коефіцієнти тепловіддачі з внутрішньої та зовнішньої сторін стіни;

δ_k – товщина n -го шару, м;

λ_k – теплопровідність n -го шару, Вт/(м·К).

Тоді, відповідно до (1), зведений опір теплопередачі крізь стіну із шаром утеплювача з мінеральної вати на основі базальтового волокна густиною $\rho_0=75$ кг/м³ завтовшки $\delta=0,05$ м становитиме $R_{\Sigma HP}=2,028$ м²·К/Вт. У розрахунках прийнято: $\delta_1=0,4$ м – товщина керамзитобетону теплопровідністю $\lambda_1=0,41$ Вт/(м·К); $\delta_2=0,03$ м – товщина цементно-піщаної штукатурки з $\lambda_2=0,87$ Вт/(м·К); $\delta_3=0,05$ м – товщина шару утеплювача з мінеральної вати теплопровідністю $\lambda_3=0,047$ Вт/(м·К).

Результати розрахунків за (1) для інших типів утеплювача показано на рис. 1-3 (пунктиром позначено нормативний рівень опору R_{HP}).

Цікаво, що збільшення густини утеплювача впливає на термічний опір стін по-різному – густина мінеральної вати на основі базальтового волокна та екструдованого пінополістиролу впливають протилежним чином до впливу спіненого пінополістиролу; тобто утеплювач з мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу потрібно обирати з найменшою густиною ρ_0 , натомість, утеплювач зі спіненого пінополістиролу – з якнайбільшою ρ_0 .

Збільшення товщини шару утеплювача очікувано підвищує термічний опір стін, – товщина у 0,15 м гарантовано забезпечить нормативне значення термічного опору стін $R_{HP} \geq 3,3$ м²·К/Вт [1] за будь-якого матеріалу утеплювача (рис. 1-3).

Необхідно наголосити на проблемі, яку створює "клаптикове" утеплення окремих квартир житлових будівель, причому, переважну більшість його здійснюють утеплювачем завтовшки 0,05...0,1 м, що не забезпечує нормативного значення термічного опору стін, але створює «містки холоду», які внаслідок перепаду температур призводять до тріщин в конструкціях та викликають утворення конденсату.

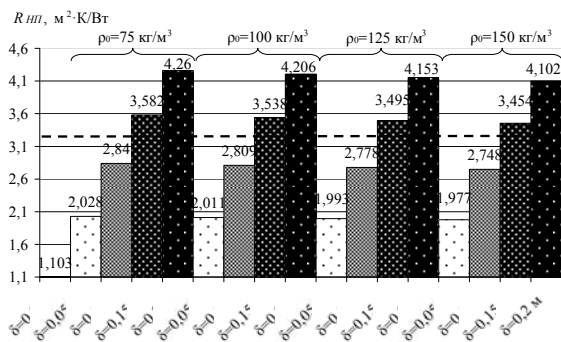


Рисунок 1 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами мінеральної вати на основі базальтового волокна з $\rho_0=75; 100; 125; 150 \text{ кг/м}^3$ та $\delta=0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2 \text{ м}$

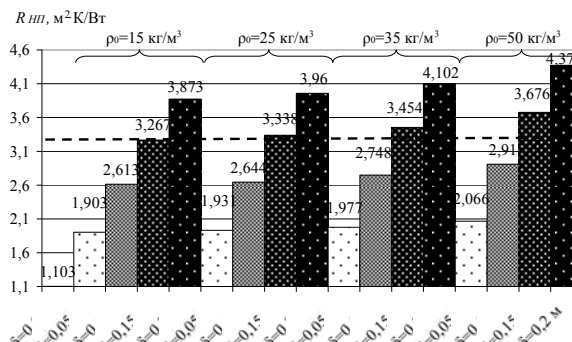


Рисунок 2 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами зі спіненого пінополістиролу з $\rho_0=15; 25; 35; 50 \text{ кг/м}^3$ та $\delta=0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2 \text{ м}$

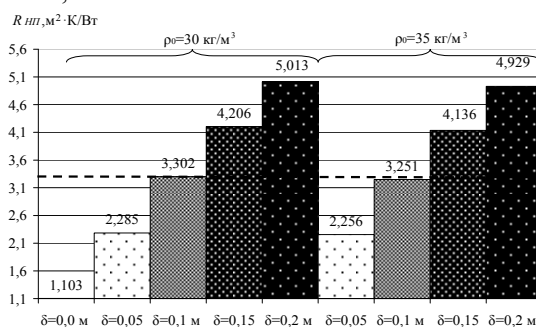


Рисунок 3 – Термічний опір стін для варіантів утеплення плитами з екструдованого пінополістиролу з густиною $\rho_0=30$ та 35 кг/м^3 та завтовшки $0,05, 0,1, 0,15$ та $0,2 \text{ м}$

Джерело: розроблено авторами

До показників енергетичної ефективності будівлі належать: питоме енергоспоживання (EP) при опаленні, охолодженні, постачанні гарячої води, освітленні, вентиляції, первинна енергія та викиди парникових газів. Найбільш інтегральним енергетичним показником є питома енергопотреба (EA) на опалення, охолодження, та постачання гарячої води, тому, для порівняння обраних варіантів утеплення було розраховано EP та EA , кВт·год/м²:

$$EP = EP_{H.use} + EP_{C.use} + EP_{DHW.use}, \quad (2)$$

де $EP_{H.use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні;

$EP_{C.use}$ – при охолодженні;

$EP_{DHW.use}$ – на гаряче водопостачання.

Графіки EP для 11 різних варіантів утеплення стін, за незмінного стану інших елементів огорожувальних конструкцій показані на рис. 4. Значення EP для різних типів теплоізоляції вишикувано по мірі їх зменшення.

Графік енергоспоживання EP (1) пролягає вище за енергопотребу EA (2) на величину тепловтрат ΔE : $EP = EA + \Delta E$.

Видно, що найбільш ефективними є утеплення: зі спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15 \text{ м}$ з максимальною $\rho_0=50 \text{ кг/м}^3$, з мінеральної вати $\delta=0,15 \text{ м}$ з мінімальною $\rho_0=75 \text{ кг/м}^3$; або екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1 \text{ м}$ з $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$.

Характерною особливістю теплоізоляційних матеріалів є відносна близькість значень опорів теплопередачі для різних матеріалів та їх густин за однакової товщини. Наприклад, мінеральна вата з ρ_0 більшою на 77 % за ρ_0 спіненого пінополістиролу має однакові з ним термічні властивості. У всіх випадках мінімальна товщина шару

утеплювача має бути $\delta \geq 0,15$ м, і лише екструдований пінополістирол $\rho_0=30$ кг/м³ дозволяє використовувати $\delta = 0,1$ м.

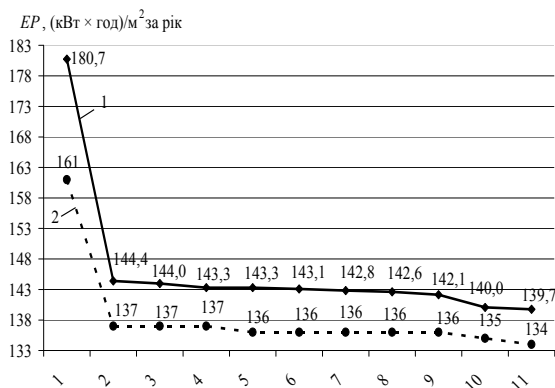


Рисунок 4 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від поточного стану стін будівлі: 1 – початковий стан; 2, 3, 4, 9 – утеплення шаром спіненого пінополістиролу завтовшки $\delta=0,15$ м відповідно з густинами 15; 25; 35 та 50 кг/м³; 5, 6, 7, 8 – утеплення шаром мінеральної вати $\delta=0,15$ м з густинами 150; 125; 100; 75 кг/м³; 10 – утеплюючий шар з екструдованого пінополістиролу $\delta=0,1$ м густиною 30 кг/м³; 11 – $\delta=0,15$ м густиною 35 кг/м³

Джерело: розроблено авторами

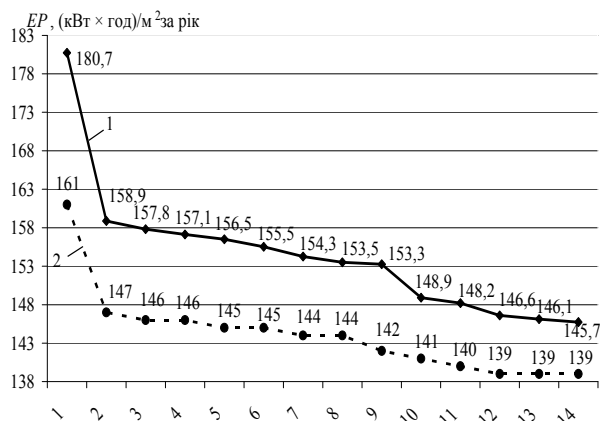


Рисунок 5 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів вікон: 1 – початковий стан; для двокамерних ПВХ типу: 2 – 4М1-12-4М1-12-4і (газ Kr 100%); 6 – 4М1-10-4М1-10-4і (гази Ar 50%, Kr 50%); 7 – таке ж (Ar 75%, Kr 25%); 9 – Ar 100%; 8 – 4і-10-4М1-10-4і (з повітрям); 10 – Ar 25%, Kr 75%; 11 – Ar 50%, Kr 50%; 12 – Ar 75%, Kr 25%; 14 – Ar 100%; 3 – 4М1-10-4М1-10-4К (гази Ar 25%, Kr 75%); 4 – таке ж (Ar 50%, Kr 50%); 5 – Ar 75%, Kr 25%; 13 – Ar 100%

Результати досліджень доводять, що збільшення термічного опору непрозорих огорожувальних конструкцій лише на 1 % (з 3,267 до 3,302 м²·К/Вт) дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 20-23%. Завдяки цьому можна стверджувати, що у першу чергу необхідно проводити термомодернізацію стін фасадів будівлі (за умови $K_{скління} \leq 0,25$).

Аналізування результатів заміни світлопрозорих огорожувальних конструкцій. На разі, близько чверті вікон будівлі (23 %) мають нормативний термічний опір.

Залежність EP для 14 варіантів заміни неенергоефективних вікон показано на рис. 5.

З порівняння варіантів видно, що, найбільш ефективними є двокамерні ПВХ вікна типу: 4М1-10-4М1-10-4К (газ Ar 100%) і 4і-10-4М1-10-4і (Ar 100%); а найгіршим є вікно типу 4М1-12-4М1-12-4і (газ Kr 100%), яке поступається навіть вікну без газонаповнення типу 4і-10-4М1-10-4і (з повітрям), у разі подвійного і-покриття.

Відзначимо, що збільшення термічного опору вікон на 43 % (з 0,77 до 1,35 м²·К/Вт) дозволяє зменшити EA будівлі на 8,7-13,7%, а EP – на 12,1-19,4%.

Аналізування результатів утеплення горищного перекриття. Графіки зміни питомої енергопотребі та енергоспоживання при опаленні, охолодженні та гарячому водопостачанні для 7 варіантів утеплення технічного поверху показано на рис. 6.

Утеплення горищного перекриття дозволяє зменшити EA будівлі на 14,9-16,8%, а EP – на 7,6%. Зазначимо, що вплив теплофізичних властивостей різних утеплювачів нівелюється, а варіювання термічного опору шару утеплювача (від 5,58 до 6,13 м²·К/Вт) не дає очікуваного ефекту. Це обумовлено замалою площею огорожувальної конструкції та низькою часткою у структурі теплових втрат будівлі.

Аналізування результатів утеплення перекриття неопалюваного підвалу.

Результати утеплення перекриття неопалюваного підвалу різними типами утеплювача показані на рис. 7. Збільшення термічного опору утеплення перекриття підвалу дозволяє зменшити EP на 0,1 %. Ефективність всіх варіантів утеплення є практично однаковою, втім, кращим є екструдований пінополістирол з $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$.

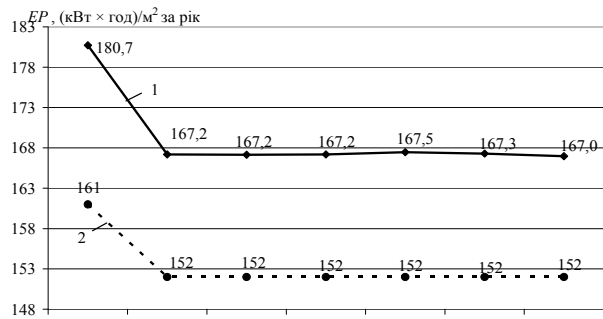


Рисунок 6 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення горища: 1 – початковий стан; 2, 4 – мінеральною ватою $\delta=0,25 \text{ м}$ з $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 відповідно; 3 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,25 \text{ м}$ та $\rho_0=35 \text{ кг/м}^3$; 5 – спіненим пінополістиролом $\delta=0,2 \text{ м}$ та $\rho_0=50 \text{ кг/м}^3$; 6, 7 – екструдованим пінополістиролом $\delta=0,2 \text{ м}$ з $\rho_0=30$ та 35 кг/м^3

Джерело: розроблено авторами

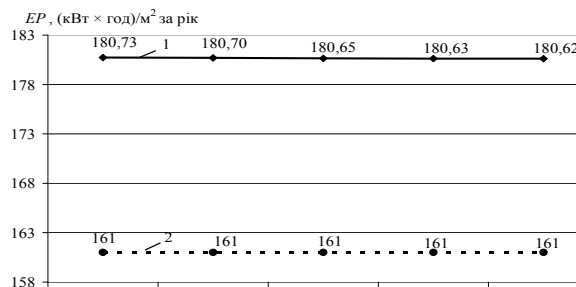


Рисунок 7 – Зміна EP (крива 1) та EA (2) від варіантів утеплення перекриття неопалюваного підвалу: 1 – початковий стан будівлі; для утеплювачів завтовшки $\delta=0,1 \text{ м}$: 2, 3 – з мінеральної вати відповідно з густиною $\rho_0=30$ та 40 кг/м^3 ; 4, 5 – з екструдованого пінополістиролу з $\rho_0=35$ та 30 кг/м^3

Аналізування результатів комплексної термомодернізації будівлі. Вибір оптимальної низки заходів у складі комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій здійснено шляхом їх ранжування із застосуванням методу експертних оцінок. Рейтинг впроваджуваних заходів оцінювали 10 експертів – фахівців з енергоаудиту, які визначали пріоритет заходу за наступними критеріями:

- техніко-енергетичний (вплив на питоме енергоспоживання й клас енергоефективності будівлі);
- фінансовий (вартість впровадження заходу);
- екологічний (безпечність та зменшення емісії CO_2).

Степінь узгодженості думок експертів перевіряли із застосуванням статистичного оброблення результатів. Розраховано коефіцієнти: конкордації W і Пірсона (розрахунковий $\chi^2_{\text{розр}} = W \cdot m \cdot (k-1)$, де $m=10$ – кількість експертів, k – число розглянутих варіантів у кожному із заходів (наприклад, для утеплення стін $k=11$) та критичний $\chi^2_{\text{кр}}=16,9$ для 5 % рівня значимості та кількості степенів свободи $\gamma = k-1=10$), які підтвердили наявність узгодженості думок експертів, оскільки у всіх випадках ($W=0,6444\dots0,9167$, $\chi^2_{\text{розр}} = 33,411\dots58,956$) $\chi^2_{\text{розр}} > \chi^2_{\text{кр}}$.

Отже, для комплексної термомодернізації обрано наступний варіант:

- 1) утеплення стін мінеральною ватою з $\rho_0=75 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,15 \text{ м}$;
- 2) заміна вікон на двокамерні ПВХ типу 4i-10-4M1-10-4i (газ Ar 100%);
- 3) утеплення технічного поверху мінеральною ватою з $\rho_0=40 \text{ кг/м}^3$, $\delta=0,25 \text{ м}$;
- 4) утеплення перекриття неопалюваного підвалу екструдованим пінополістиролом густиною $\rho_0=30 \text{ кг/м}^3$ завтовшки $\delta=0,1 \text{ м}$.

Визначимо теплофізичні та енергетичні показники будівлі до та після комплексної термомодернізації (табл. 2, 3).

Клас енергетичної ефективності будівель визначали за показником загального питомого енергоспоживання при опаленні, охолодженні та постачанні гарячої води ($EP=97,68$ кВт·год /м²): для класу "D" – $87 < EP_D < 109$ [1].

Таблиця 2 – Теплотехнічні та геометричні характеристики огорожувальних конструкцій до та після комплексної термомодернізації

№ з/п	Вид огорожувальної конструкції	Значення опору теплопередачі, м ² ·К/Вт		
		До модернізації	Після термомодернізації	Мінімальні вимоги
1	Зовнішні стіни	1,103	3,57	3,3
2	Горищне перекриття	0,726	5,678	4,95
3	Перекриття підвалу	1,47	4,74	3,75
4	Вікна	0,408	1,112	0,75

Джерело: розроблено автором

Таблиця 3 – Показники енергетичної ефективності будівлі

Назва показника	До термомодернізації	Після термомодернізації
EA на опалення, охолодження, гаряче водопостачання, кВт·год/м ³ за рік	161	108
EP на опалення, гаряче водопостачання та охолодження будівлі, кВт·год /м ³ за рік	180,73	97,68
Питоме споживання первинної енергії, кВт·год /м ² за рік	314,54	206,57
Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	62,30	40,70
Клас енергетичної ефективності будівлі	G	D

Джерело: розроблено автором

Встановлено, що запропонований комплекс заходів дозволить зменшити EA на 32,9 %, EP – на 45,9 %, споживання первинної енергії – на 34,3 % та викиди парникових газів – на 34,7 %, підвищивши клас енергетичної ефективності з G до D.

Аналізування різних варіантів термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі (табл. 4) показало, що найбільшого заощадження теплової енергії (51%) можна досягти шляхом саме комплексної термомодернізації. Впровадження енергоефективних вікон (п.3 в табл. 4) дозволить зменшити EP на 19,5 %. Заходи зі збільшення опору теплопередачі стін (п.2 табл. 4) здатні забезпечити до 24 % заощадження тепла. Замалу економію спостерігаємо у разі утеплення перекриття неопалювального горища (8,6 %) та неопалювального підвалу (0,1 %).

Встановлено, що за нормативних значень опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій, можна досягти класу F в результаті утеплення лише стін або ж заміни вікон на енергоефективні, максимально ж досяжного класу D енергоефективності будівлі – тільки у разі комплексної модернізації.

Досягти рекомендованого класу "C" шляхом подальшого збільшення термічних опорів огорожувальних конструкцій не можливо, – для цього необхідно також модернізувати інженерні системи будівлі.

Таблиця 4 – Енергетичні показники будівлі для 6 варіантів термомодернізації

№ з/п	Варіант модернізації огорожувальних конструкцій	Витрати теплоти на опалення будинку, кВт·год	Споживання енергії на опалення/охолодження та гарячу воду, кВт·год/м ³	Клас енергоефективності	Питомі викиди парникових газів, кг/м ² за рік	Питоме споживання первинної енергії, кВт·г/м ²
1	Вихідний стан	1 326 274	180,7	G	62,3	314,5
2	Утеплення стін	1 015 291	142,6	F	52,4	265
3	Заміна вікон	1 067 984	148,9	F	54,1	273,2
4	Утеплення горищ	1 212 763	167,2	G	58,8	296,9
5	Утеплення підвалу	1 325 340	180,6	G	62,3	314,5
6	Комплексна термомодернізація будівлі	647 950	97,7	D	40,7	206,6

Джерело: розроблено автором

Висновки.

1. Збільшення густини утеплюючих матеріалів впливає на термічний опір стін по різному – густина мінеральної вати на основі базальтового волокна та екструдованого пінополістиролу впливає протилежно до спіненого пінополістиролу, тобто утеплювач з мінеральної вати або екструдованого пінополістиролу потрібно обирати з найменшою густиною, натомість, утеплювач зі спіненого пінополістиролу – з якнайбільшою.

2. Поелементне аналізування складових огорожувальних конструкцій показало, що у разі окремого впровадження заходів можна зменшити витрати теплової енергії на 0,07...23 %, причому збільшення термічного опору стін на 1 % дозволяє зменшити енергоспоживання на 20...23%. Тому в пріоритеті є термомодернізація саме стін фасадів будівель (за умови, що коефіцієнт скління $K \leq 0,25$).

3. Обґрунтовано оптимальну низку заходів з комплексної термомодернізації огорожувальних конструкцій будівлі з використанням методу експертних оцінок за техніко-енергетичним, фінансовим та екологічним критеріями. Розрахунки підтвердили, що комплексна термомодернізація дозволить зменшити значення питомої енергопотребності та питомих викидів парникових газів у 1,5 рази, питомого споживання теплової енергії – у 1,9 рази та підвищити клас енергоефективності будівлі з G до D.

4. Встановлено, що нормативні значення опорів теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій максимально забезпечують лише клас "D" енергоефективності будівлі. Досягти рекомендованого класу "C" та вищого шляхом подальшого збільшення термічних опорів огорожувальних конструкцій не можливо, – необхідно модернізувати також інженерні системи будівлі.

Список літератури

1. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. [Чинний від 2016-07-08]. Київ, 2016. 30 с. (Національний стандарт України).
2. Фаренюк Г.Г., Філоненко О. І., Олексієнко О. Б., Лещенко М. В. Особливості комплексної термомодернізації громадських будівель. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2013. Вип. 49. С. 232 – 238.
3. Yeromin A., Kolosov A. Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation of thermomodernization. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, No. 8 (91). P. 49–57. DOI:10.15587/1729–4061.2018.123021

4. Фощ А.В. Термомодернізація будівель – ресурс енергозбереження в Україні. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 65, С. 137 – 141.
5. Zender-Swiercz E., Piotrowski J. Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. Structure and Environment: Architecture. *Civil Engineering, Environmental Engineering and Energy*. 2013. Vol. 5, No. 3. P. 37–40.
6. Weglarz A., Gilewski P. A Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 862–865. DOI:10.1016/j.proeng.2016.08.194
7. Плешков П.Г., Серебренников С.В., Петрова К.Г., Савеленко І.В., Сіріков О.І. Проблеми визначення ефективності та ранжування енергоощадних заходів на об'єктах бюджетної сфери. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб.наук. пр.* 2019. Вип. 1 (32). С. 166 –172.

References

1. *DBN V.2.6-31:2016. Teplova izoliatsiia budivel*. [National Standard 2.6–31:2016. thermal insulation of buildings]. Kyiv, Minregion Ukrai'ny, 2016. 30 p. [in Ukrainian].
2. Farenjuk, H.H., Filonenko, O.I., Oleksienko, O.B. & Leshchenko, M.V. (2013). Osoblyvosti kompleksnoi termomodernizatsii hromadskykh budivel [Features of complex thermo-modernization of public buildings]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Collection of Scientific Works*, 49, 232–238. [in Ukrainian].
3. Yeromin, A. & Kolosov, A. (2018). Modeling of energy efficient solutions regarding the heating system and the facade heat insulation in the implementation of thermomodernization. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (8(91)), 49–57. doi:10.15587/1729–4061.2018.123021 [in English].
4. Foshch, A.V. (2016). Termomodernizatsiia budivel – resurs enerhozberezhennia v Ukraini [Thermal modernization of buildings is a resource of energy saving in Ukraine]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury - Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture Collection of Scientific Works*, 65, 137–141. [in Ukrainian].
5. Zender-Swiercz, E., Piotrowski, J. (2013). Thermomodernization a building and its impact on the indoor microclimate. Structure and Environment: Architecture. *Civil Engineering. Environmental Engineering and Energy*. 5, 3, 37-40. [in Ukrainian].
6. Weglarz, A. & Gilewski, P. A (2016). Method of Evaluation of Polioptimal Thermomodernization Schemes of Buildings. *Procedia Engineering*, 53, 862–865. doi:10.1016/j.proeng.2016.08.194 [in English].
7. Plieskov, P.G., Serebrennikov, S.V., Petrova, K.G. & Savelenko, I.V. (2019). Problemy vyznachennia efektyvnosti ta ranzhuvannia enerhooschadnykh zakhodiv na ob'iektakh biudzhethnoi sfery [Problems of determining the efficiency and ranking of energy-saving measures at the objects of the budget sphere]. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky- Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 1 (32), 166-172. [in Ukrainian].

Ivan Savelenko, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kateryna Petrova**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Sergiy Serebrennikov**, Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Sirikov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Shaping up Thermophysical and Energy Characteristics of Buildings During Thermal Modernization of Enclosing Structures

The purpose of the work is to study of options for thermal modernization of enclosing structures with a justification of the optimal composition of energy-saving measures to achieve maximum energy efficiency of buildings. Ukraine's energy balance shows that more than 30% of the total energy is consumed by the residential sector, of which up to 80% goes to heating. This is due to the low level of energy efficiency of the enclosing structures of residential buildings, as well as the unsatisfactory technical condition of utilities, due to physical wear and tear and obsolescence. The peculiarities of the influence of the type of thermal insulation materials and their characteristics on the thermal and energy performance of the building are investigated. It was found that the increase in the density of insulation affects the thermal resistance of walls in different ways - the density of mineral wool and extruded polystyrene have the opposite effect of foamed polystyrene, ie insulation of mineral wool or extruded polystyrene should be chosen with the lowest density. Element-by-element analysis of the components of enclosing structures proved that their impact differs significantly, in the case of separate implementation of measures can reduce heat consumption by 0.07... 23%, and the priority is to modernize the walls of building facades (provided that the glazing ratio $K \leq 0,25$).

Measures of complex thermal modernization of enclosing structures are substantiated by the method of expert assessments according to technical-energy, financial and ecological criteria. Calculations confirm that the complex thermal modernization will reduce the value of specific energy consumption and specific greenhouse gas emissions by 1.5 times, specific heat consumption - by 1.9 times, increase the energy efficiency class of the building from G to D.

It is shown that the normative values of heat transfer resistances of external enclosing structures will provide only the class D energy efficiency of the building. It is not possible to achieve the recommended class "C" and higher by further increasing the thermal resistance of the enclosing structures - it is necessary to modernize the engineering systems of the building.

thermal modernization, enclosing constructions, thermophysical indicators, energy efficiency of the building

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 620.193, 628.312, 622.276.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.109-118](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.109-118)

В.М. Сероглазов, асп.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури, м. Харків, Україна
e-mail: wladimir.sr.m@gmail.com*

Корозія бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві нафтовидобувного підприємства

Наявність сірководню в водних експлуатаційних середовищах вказує на дуже високу вірогідність розвитку в надводній зволоженій частині споруди біогенної сірчаноокислотної агресії – впливу сірчаної кислоти, що утворюють тіонові бактерії. Привабливим середовищем для накопичення сірководню шляхом мікробіологічної сульфатредукції є пластові води на об'єктах нафтовидобутку, особливо на ділянках водного господарства, де відбувається тривале відстоювання. З діяльністю сульфатредукуючих бактерій пов'язано близько 80% втрат від корозії нафтопромислового обладнання. Мета роботи – ідентифікація виду й кінетичних показників корозії бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві підприємства з видобутку нафти. В експериментальних дослідженнях вивчали зразки бетону, які відібрали з верхньої надводної частини нафтопасток на досліджуваному об'єкті нафтовидобутку, розташованому в Дніпровсько-Донецькій западині. Результати хімічного дослідження зразків бетону (зменшення рН, накопичення сполук сульфуру та вилужування сполук кальцію) свідчили про те, що бетон уражений біогенною сірчаноокислотною агресією. На підставі даних, визначених за допомогою корозиметра бетону, розраховані швидкість мікробіологічної корозії бетону – до 0,08 мм/рік, й глибина дифузії біогенних кислот – до 1,9 мм. Розрахована середньорічна концентрація сірководню в атмосфері, що впливає на бетон становила 3,4 – 5,4 мг/м³, що перевищує ГДК робочої зони в нафто-газовій галузі.

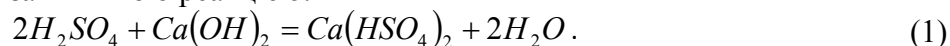
об'єкти нафтовидобутку, водне господарство, бетон, сірководень, біогенна сірчаноокислотно агресія, швидкість корозії

Постановка проблеми. Біогенна сірчаноокислотно корозія бетону є постійним ризиком для споруд водного господарства, в яких в експлуатаційних середовищах присутній сірководень і його похідні. Ці сполуки утворюються в спорудах, де формуються глибоко анаеробні умови (гравітаційний поділ, трубопроводи з ламінарною течією води), а вода містить органічні сполуки та сульфати [1-7]. Найбільш

агресивним біогенним середовищем, яке впливає на надводні частини споруд водовідведення, є плівкова конденсатна волога. Її корозійну агресивність формує життєдіяльність тіонових бактерій (аеробний хемосинтез) шляхом накопичення протонів та солевмісту [3, 8, 9]. Потужність корозійного процесу така, що трансформуються не тільки цементні гідрати, а й окремі мінерали дрібного і великого заповнювача [3, 8, 10-16]. За проведенням аналізом циклу нафтовидобувного підприємства, наведені процеси притаманні об'єктам водного господарства таких підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динаміку кислотної корозії бетону об'єктивно відбиває накопичення біогенних кислот, що можна контролювати за накопиченням протонів – значенню рН зразків [3]. У вихідному бетоні рН дорівнює 12,1-12,5, а процесі корозії знижується, досягаючи при глибокому ураженні значень нижче 1. В експериментальних дослідженнях [3] були встановлені кореляційні залежності між рН бетону (вірніше порової вологи бетону), що знаходиться в умовах мікробної сірчано-кислотної агресії, та його основними показниками: експлуатаційними, структурними, хімічними, фізико-хімічними, мікробіологічними матеріалознавчими.

Сірчана кислота, утворена тіобацилами при аеробному хемосинтезі в плівковій конденсатній волозі на поверхні бетону, взаємодіє з цементними гідратами (розчиненням СаО) за хімічною реакцією:



Біогенна сірчано-кислотна агресія перетворює СаО на $Ca(HSO_4)_2$, що призводить до втрати міцності бетону. Цей процес супроводжується дифузійною міграцією H_2SO_4 від поверхні бетону всередину, хімічною реакцією та відкладенням її продуктів у порах кородованого бетону [3-5].

Для опису корозійного руйнування бетону в мережах водовідведення та оцінки глибини корозійного ураження (h_K) було запропоновано формулу [17, 18]:

$$h_K = 1,1 \sqrt{2D \frac{C_1^0}{C_1^*} t_a + \delta^2} - \delta, \quad (2)$$

де D – ефективний коефіцієнт дифузії, $cm^2/год$;

C_1^0 – концентрація діючої H_2SO_4 , $кг/м^3$;

C_1^* – концентрація H_2SO_4 на фронті корозії, $кг/м^3$;

δ – відстані дифузії агресивної сірчаної кислоти углиб неушкодженого бетону за фронт корозії, $см$;

t_a – тривалість кислотної агресії, $год$.

Цю формулу було перетворено при представленні концентрації діючої сірчаної кислоти через концентрацію протонів в агресивному середовищі, точніше через від'ємний логарифм концентрації протонів – рН [3, 13]:

$$\begin{aligned} h_K &= \sqrt{29,27 \cdot 10^{-4} \cdot 0,57 \cdot 48 \cdot 10^{-pH} D_K t_a + \delta^2} - \delta = \\ &= \sqrt{817,51 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-pH} D_K t_a + \delta^2} - \delta, \end{aligned} \quad (3)$$

На підставі аналізу науково-технічної літератури можливо зробити висновок, що ранню ідентифікацію біогенної сірчано-кислотної агресії бетону можливо зробити за наявністю наступних ознак:

- підкислення (зниження рН) бетону;
- накопичення сульфурі;
- накопичення сульфатів;
- підвищення рухливості кальцію;
- поява в бетоні гіпсу двоховодного.

Зазначені показники виявляє хімічний та фізико-хімічний аналіз бетону, який спирається на хімізм корозійного процесу. Таке дослідження також дозволяє використовувати хімічні показники для визначення показників хімічної кінетики та хімічної термодинаміки.

Високий вміст сірководню в воді та викиди сірководню в атмосферне повітря притаманні водному господарству об'єктів видобутку нафти [19, 20]. Пластові води є привабливим середовищем для розвитку сульфатредуючих бактерій, що утворюють сірководень, особливо на ділянках водного господарства, де відбувається тривале відстоювання або в трубопроводах з ламінарною течією. Практика експлуатації нафтопромислового обладнання нафтових свердловин, ємностей, нафтопроводів показує, що одним з основних чинників аварій (30%) і передчасного виходу їх з ладу є корозія зовнішніх і внутрішніх поверхонь стінок труб, яка особливо інтенсифікується при насиченні їх сірководнем і вуглекислим газом. Відомо, що близько 80% втрат від корозії нафтопромислового обладнання пов'язано з діяльністю сульфатредуючих бактерій [19].

Постановка завдання. Таким чином, метою роботи є ідентифікація виду й кінетичних показників корозії бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві підприємства з видобутку нафти. В експериментальних дослідженнях вивчали зразки бетону, які відібрали з верхньої надводної частини нафтопасток на досліджуваному об'єкті нафтовидобутку, розташованому в Дніпровсько-Донецькій западині.

Виклад основного матеріалу. Зразки бетону досліджували пошарово: глибиною 0,4 – 0,6, мм (в середньому 0,5 мм та 4-6 мм (в середньому 5 мм)). Перед аналізом виконували пробопідготовку зразків: доводили до повітряно-сухого стану, подрібнювали, пропускали крізь сито с круглими отворами діаметром 1-2 мм і зберігали в пакетах. В зразках бетону хімічними методами за методиками, рекомендованими нормативними документами України та науково-технічною літературою, визначали: загальну концентрацію сульфурі за ДСТУ ISO 22016:2018 «Определение серы в огнеупорных изделиях и сырье гравиметрическим, фотометрическим и титриметрическим методами (ISO 22016:2015, IDT)» фотометричним методом [21], концентрацію сульфатів осадженням іону сульфату розчином хлористого барію та зважуванням прожареного залишку, загальну концентрацію кальцію комплексонометрично на реакції взаємодії катіонів кальцію з трилоном Б (комплексом III) та концентрацію рухливого кальцію визначали в водних витяжках з подрібненого бетону. спектрофотометрично на атомно- абсорбційний спектрофотометр Varian Spectr AA-200 [22-27]. За допомогою потенціометричного обладнання встановлювали окисно-відновний потенціал порової вологи (Eh) на зволоженій поверхні бетону та рН бетону. Для вимірювання цих показників твердофазним сурм'яно-оксидним електродом використали прилад Коррозіметр бетону, сертифікований в Україні [28, 29].

Візуальне обстеження зразків бетону, відібраних з надводної частини непрацюючої та працюючої нафтопасток свідчили, що конструктивний матеріал має не властивий бетону яскраво-білий колір. Це свідчить про перетворення ураженої частини

конструкції з утворенням (при урахуванні найможливіших агресивних впливів) гіпсу двоводного ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Результати хімічного дослідження зразків бетону надводної частини нафтопасток водного господарства промислового підприємства представлені в табл. 1, підтвердили це припущення. Як видно з представлених даних, усі бетонні зразки зазнали кислотної агресії: рН зразків бетону надводної частини нафтопасток значно нижче, ніж рН контрольного зразка. Аналіз вмісту сульфуру та сульфатів в бетоні надводної частини нафтопасток показав надзвичайне зростання цих показників порівняно з контрольним. Наприклад, концентрація загального сульфуру в зразку 2 в 10 разів перевищувала його концентрацію в контрольному зразку. До того ж сульфур в зразках бетону представлений сульфуром сульфатів. Ці характеристики одностайно свідчили про агресивний вплив на бетон сірчаної кислоти.

Таблиця 1 – Результати визначення хімічних показників в зразках бетону надводної частини нафтопасток

Зразок бетону	Концентрація при глибині, мм									
	0,5					0,5				
	pH	S, %	S-SO ₄ , %	Ca, %	Ca рух., %	pH	S, %	S-SO ₄ , %	Ca, %	Ca рух., %
1	6,15	1,7	1,6	3,7	1,2	10,5	0,21	0,19	8,3	1,06
2	5,5	2,1	2,0	3,5	1,25	9,7	0,30	0,25	7,6	1,12
3	6,2	1,6	1,4	3,6	1,2	10,8	0,14	0,13	8,3	1,09
Міськ.каналіз.трубопро від. [3]						4,2	4,0	4,0	2,0	1,0
Контроль	10,0	0,2	0,2	10,2	0	12,0	0,2	0,2	10,5	0

Джерело: розроблено автором

Вона є результатом окиснення сірководню, що розчиняється в конденсатній волозі на поверхні бетонних конструкцій, тіоновими бактеріями в сірчану кислоту. Причому в усіх зразках динаміка рН, концентрації сульфуру та сульфатів в бетоні абсолютно однакова; чим нижче рН (більше глибина ураження корозією), тим більше концентрація загального сульфуру та сульфуру сульфатів.

Динаміка сполук кальцію в досліджених зразках бетону має залежність обернену динаміці сполук сульфуру: чим нижче рН бетону тим нижче концентрація загального кальцію. Тобто вплив біогенної сірчаної кислоти вилучає кальцій з бетону і кардинально (в 3-4 рази) зменшує його концентрацію. Це підтверджує і концентрація рухливого кальцію.

Як видно, із збільшенням глибини ураження (зменшення рН) рухливість кальцію підвищується і збільшується концентрація рухливого кальцію. Серед трьох досліджених зразків найбільшого впливу та зміни визначених хімічних характеристик зазнав бетон зразка 2 (відкрита частина діючої нафтопастки). Агресивність середовища відповідно СНіП 2.03.11-85 слабоагресивне.

Зразки, відібрані з закритої частини нафтопастки, вражені корозією дещо менше, оскільки закриття негерметичне, викиди відбуваються, проте вони менші. Зразок 3, відібрано з верхньої частини нафтопастки, яка не працює вже 10 років. Його стан свідчать про те, що свого часу відбулось його глибоке ураження, але за 20 років відсутності впливів воно було кардинально нейтралізоване дощовими змивами.

Розрахунок глибини дифузії біогенних кислот практично співпадає із глибиною зразків, на якій спостерігається значення рН, що співпадає з рН контрольних зразків, які не зазнали агресивного впливу (табл. 2).

Таблиця 2 – Результати розрахунку корозійного ураження бетону нафтопасток водного господарства об'єкту нафтовидобутку за визначеними значеннями рН бетону

Зразки бетону	Введ. в експлуат.	Середнє значення ОВП, мВ	рН плівкової води бетону	D, см ² /го д	Глибина дифузії біоген. к-т, мм	Швидкість корозії, мм/рік
1	1980	-305	6,15	0,006	1,50	0,06
2	2002	-266	5,5	0,0078	1,86	0,08
3	2002	-314	6,25	0,005	1,45	0,05

Джерело: розроблено автором

В якості експлуатаційного середовища, яке містить сірководень, що викидається з водного середовища, та впливає на бетонні конструкції надводної частини нафтопастки, прийняли газо-повітряний шар висотою 1 м над водним середовищем цієї споруди. Визначення швидкості корозії бетону дозволяє розрахувати середньорічну концентрацію сірководню в експлуатаційному середовищі, що впливає на бетон за формулою, розробленою [3]:

$$S_{AH_2S} = \frac{V_{кор} \cdot S_{надвод.част.} \cdot M_{H_2S} m_{цпиг}}{M_{CaO} W_A \cdot \beta} \cdot \frac{p \cdot a \cdot b}{c \cdot k}, \quad (4)$$

де $V_{кор}$ – швидкість корозії бетону, мм/рік;

$S_{надвод.част.}$ – площа надводної частини, м²;

M_{H_2S} та M_{CaO} – молекулярні маси H₂S і оксиду кальцію відповідно, г/моль;

$m_{цпиг}$ – маса цементу, що необхідна для приготування 1 м³ бетону, кг;

W_A – об'єм газо-повітряного середовища, що впливає на батон, м³;

β – коефіцієнт масопереносу H₂S, діб⁻¹;

p – частка CaO в цементі, що вступив в реакцію з H₂SO₄ на конкретній ділянці, долі, 0,6;

a – перерахунковий коефіцієнт кг/мг, 10⁶;

b – коефіцієнт, який враховує стікання частини H₂SO₄ зі стін в водне середовище, 1,2;

c – перерахунковий коефіцієнт рік/діб, 365;

k – перерахунковий коефіцієнт мм/м, 1000.

$S_{надвод.част.}$ враховує площу поверхонь по ширині нафтопастки (12х2) м², по довжині нафтопастки (24х2)м² та 95% покриття нафтопастки, усього 347,6 м²

$$W_A = 288 \text{ м}^2 \times 1 \text{ м} = 288 \text{ м}^3.$$

$$m_{цпиг} = 450 \text{ кг};$$

β за усередненими значеннями, встановленими в колекторах міської каналізації [3], становить 9,6 діб⁻¹.

При проведенні розрахунків робили певні допущення:

- швидкість корозії однакова для всіх бетонних надводних поверхонь;
- концентрація сірководню в газо-повітряному середовищі над нафтопасткою однакова по всьому об'єму середовища.

Результати виконаних розрахунків представлені в табл.3.

Таблиця 3 – Розрахунок концентрації сірководню в газо-повітряному середовищі, що впливає на надводну частину нафтопастки за активністю біогенної сірчаноокислотної корозії цього бетону

Зразок бетону	Швидкість корозії, мм/рік	Середньорічна концентрація сірководню в експлуатаційному середовищі, мг/м ³
1	0,06	4,1
2	0,08	5,4
3	0,05	3,4

Джерело: розроблено автором

В роботі [4] приведена залежність між концентрацією сірководню в газоподібному експлуатаційному середовищі та швидкістю корозії бетону в системах водовідведення. Але ця залежність встановлена для дуже високих значень швидкості корозії бетону (більше 1 мм/рік) та концентрації сірководню (більше 20 мг/м³). Тому для перевірки одержаних даних (табл. 3) скористались даними науково-технічної літератури [3, 9, 11] і побудували графічну залежність між концентрацією сірководню в газоподібному експлуатаційному середовищі та швидкістю корозії бетону в системах водовідведення при низьких значеннях цих чинників (рис.1).

Необхідно зазначити, що розрахована концентрація сірководню над водним середовищем в нафтопастці перевищує ГДК робочої зони за цим забрудненням для підприємств нафтовидобувної промисловості (3 мг/м³).

Висновки.

1. Встановлено, що всі досліджені бетонні зразки зазнали кислотної агресії (рН зразків бетону на 4,0-5,5 одиниць нижчий, ніж рН контрольного зразка), а вміст сульфуру, представленого практично тільки сульфатами, в бетоні надводної частини нафтопасток в 10 разів перевищувала його концентрацію в контрольному зразку, що одноставно свідчило про агресивний вплив на бетон сірчаної кислоти і утворення в ньому гіпсу. Наявність сірководню в експлуатаційних середовищах вказувало на дуже високу вірогідність розвитку в надводній зволоженій частині споруди асоціації тіобацил продуцентів біогенної сірчаної кислоти.

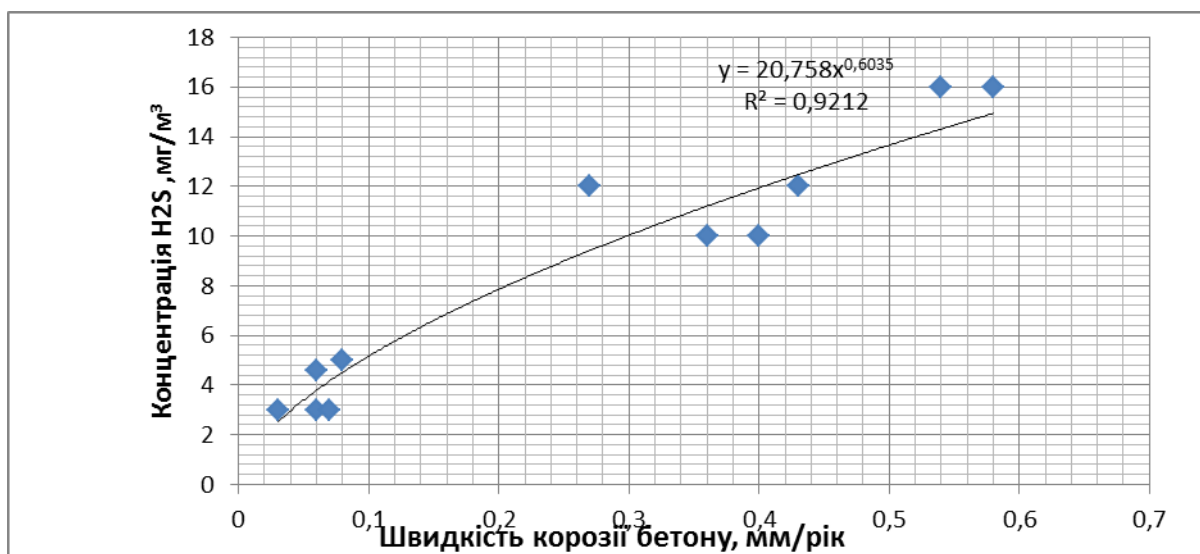


Рисунок 1 – Вплив концентрації сірководню на швидкість біогенної сірчаноокислотної корозії бетону
Джерело: [3, 9, 11]

2. Експериментально встановлена динаміка сполук кальцію в досліджених зразках бетону свідчила про його вилужування агресивною сірчаною кислотою: чим нижче рН бетону тим нижче концентрація загального кальцію і вище концентрація рухливого кальцію.

3. Накопичення в кородуючому бетоні кислот, сульфур, сульфатів, збільшення концентрації рухливого кальцію сполук сірки та наявність в експлуатаційному середовищі, що впливає на бетон, сірководню свідчили про те, що бетон уражений біогенною сірчаною кислотою.

4. На підставі даних, визначених за допомогою корозиметра бетону, розраховані характеристики експлуатаційної довговічності бетонних конструкцій, що перебувають в умовах біогенної сірчаною кислотою агресії: ступінь агресивності рідкого середовища (плівкової конденсатної вологи на бетоні) – слабоагресивне, швидкість мікробіологічної корозії бетону – до 0,08 мм/рік, глибину дифузії в бетон біогенних кислот – до 1,9 мм.

5. На підставі результатів визначення швидкості корозії бетону надводної частини нафтопастки розраховали середньорічну концентрацію сірководню в атмосфері, що впливає на бетон (газо-повітряний шар висотою 1 м над водним середовищем цієї споруди). В діючій нафтопастці середньорічна концентрація сірководню в експлуатаційному середовищі становила 3,4 – 5,4 мг/м³, що перевищує ГДК робочої зони в нафто-газовій галузі за цим забрудненням.

Список літератури

1. Гончаренко Д.Ф. Эксплуатация, ремонт и восстановление сетей водоотведения: монография. Харьков: Консум, 2008. 400 с.
2. Васильев В.М., Панкова Г.А., Столбихин Ю.В. Разрушение канализационных тоннелей и сооружений на них вследствие микробиологической коррозии. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2013. № 9. С. 67-76.
3. Юрченко В.А. Развитие научно-технологических основ эксплуатации сооружений канализации в условиях биохимического окисления неорганических соединений: дисс.... д-ра техн. наук: 05.23.04 . УГНИИ „УкрВОДГЕО”. Харьков, 2007. 426 с.
4. Дрозд Г.Я., Зотов Н.И., Маслак В.Н. Канализационные трубопроводы: надежность, диагностика, санация . Донецк: ИЭП НАН Украины, 2003. 260 с.
5. Розенталь Н.К. Коррозия и защита бетонных и железобетонных конструкций сооружений очистки сточных вод. *Бетон и железобетон. Оборудование, материалы, технология*, 2011. № 1. С. 96-103.
6. Basista M. Weglewski W. Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction. М.,; Belgrade, *Theoret. Appl. Mech.* 2008. Vol. 35. №. 1-3. P. 29-52.
7. Stein D. Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers / Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. Germany. 2001. 804 p.
8. Гончаренко Д. Ф., Алейникова А. И., Гудилин Р. И. Канализационные тоннели и коллекторы – на пороге экологической катастрофы. *Науковий вісник будівництва*. 2018. № 4 (93). С. 110–115.
9. Бригада О.В. Моніторинг показників експлуатації водовідвідних споруд з залізобетону: автореф...дис...канд. техн. наук: 05.23.04 . Харківський нац.ун-т будівництва та архітектури. Харків, 2013. 24 с.
10. Микробная коррозия и ее возбудители / Е.И. Андреюк, В.И. Билай, Э.З. Коваль, И.А. Козлова. Киев: Наукова думка, 1980. 287с.
11. Захист атмосферного повітря від забруднення викидами сірководню з каналізаційних мереж. / Коваленко А.В., Юрченко В.О., Бригада Е.В., Лебедева Е.С. *Науковий вісник будівництва*. 2014. Вип. 3(77). С. 218-223.
12. Monteny, J. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete / Monteny, J., Vinckeb E., Beeldensc A., De Belied N., Taerwea L., Van Gemertc D. and Verstraeteb W. *Cement and Concrete Research*. 2000. Vol. 30. № 4. P. 623-634.
13. Юрченко В.А., Бригада Е.В. Кинетические характеристики микробиологической коррозии бетона в сетях водоотведения. *Вода и экология. Проблемы и решения*. 2014. № 1. С.51-61.
14. Журавская Н.Е., Шевченко К.В., Журавский Д.А. Биоповреждения бетонных конструкций,

- мероприятия по восстановлению . *Проблемы современного строительства* : материалы Международной научно-технической конференции, Минск, 28 мая 2020 г. / редкол.: В. Ф. Зверев, С. М. Коледа. Минск : БНТУ, 2020. С. 229-237.
15. Ахмадуллин Р.Р. Повышение долговечности железобетона в условиях сероводородной коррозии : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.05 . Уфим. гос. нефтяной ун-т. Уфа, 2006. 154 с.
 16. Кантор П.Л. Повышение долговечности железобетона водоотводящих коллекторов : дис.... канд. техн. наук : 05.23.05 . Уфим. гос. нефтяной ун-т. Уфа, 2012. 143 с.
 17. Рекомендации по оценке степени коррозионного воздействия слабоагрессивных кислых сред на бетон. М.: НИИЖБ, 1986. 14 с.
 18. Математическая модель коррозии бетонов в жидких средах. / Гусев Б.В., Файвусович А.С., Степанова В.Ф., Розенталь Н.К. . *Изв. вузов. Строительство*. 1998. № 4-5. С. 56-60.
 19. Сахабудинов Р.З. Разработка технологических процессов сбора, подготовки и транспортировки углеводородного сырья с минимальными потерями углеводородов и выбросами вредных веществ в атмосферу: дис. доктора наук: 25.00.17 . Татарский НИПИ нефти. Бугульма, 2001. 268 с
 20. Рабартдинов З.Р. Научно-методическое обоснование использования сероводорода как реперной компоненты в процессах нефтедобычи: автореф...дис. канд. техн. наук: 25.00.17 . ОАО НПФ «Геофизика». Уфа, 2013. 24 с.
 21. ДСТУ ISO 22016:2018. Определение серы в огнеупорных изделиях и сырье гравиметрическим, фотометрическим и титриметрическим методами. (ISO 22016:2015, IDT). ГП «УкрНИУЦ».
 22. ГОСТ 5382-91. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. [Взамен ГОСТ 5382-73, ГОСТ 9552-76. Введ. 01.07.91]. Цементы. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1994. С. 46-144.
 23. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
 24. Химический анализ горных пород и минералов. / Под ред. Н.П.Попова и И.А.Столяровой. М.: Недра, 1974. 248 с.
 25. Попов Л.Н. Лабораторные испытания строительных материалов и изделий. М.: Высшая школа, 1984. 116 с.
 26. ДСТУ 7909:2015 . Якість ґрунту. Визначення сульфат-іона у водній витяжці.
 27. ДСТУ 7945:2015 . Якість ґрунту. Визначення іонів кальцію і магнію у водній витяжці.
 28. Пристрій для визначення параметрів стану споруд із бетону, які зазнають впливу сірчаноокисlotної агресії "Корозиметр бетону": пат. 25294 України : МПК 2006 G01F 23/28 (Україна). у 2006 133612006; заявл 18.12.2006; опубл. 10.08.2007. Бюл. №12. 8 с.
 29. Спосіб визначення ступеня агресивності експлуатаційного середовища по відношенню до споруд із бетону, які зазнають впливу біогенної сірчаноокисlotної агресії : пат. 50558 Україна : МПК 7 C12M1/00/ .№ 2002021123; заявл. 12.02.2002; опубл. 15.10.02. Бюл. № 10. 6 с.

References

1. Goncharenko, D.F. (2008). *Ekspluatatsiya, remont i vosstanovleniye setey vodootvedeniya* [Operation, repair and restoration of sewerage networks]. Kharkov: Konsum [in Russian].
2. Vasiliev, V.M., Pankova, G.A. & Stolbikhin, Yu.V. (2013). Razrusheniye kanalizatsionnykh tonney i sooruzheniy na nikh vsledstviye mikrobiologicheskoy korrozii. [Destruction of sewer tunnels and structures on them due to microbiological corrosion.]. *Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika – Water supply and sanitary engineering*, 9, 67-76. [in Russian].
3. Yurchenko, V.A. (2007). Razvitiye nauchno-tekhnologicheskikh osnov ekspluatatsii sooruzheniy kanalizatsii v usloviyakh biokhimicheskogo okisleniya neorganicheskikh soyedineniy. [Development of scientific and technological foundations for the operation of sewerage facilities under conditions of biochemical oxidation of inorganic compounds] *Doctor's thesis*. UGNII „UkrVODGEO”. Kharkov [in Russian].
4. Drozd, G.Y. (2003). *Kanalizatsionnyye truboprovody: nadezhnost', diagnostika, sanatsiya*. [Sewer pipelines: reliability, diagnostics, sanitation]. Donetsk: IEP NAS of Ukraine [in Russian].
5. Rosenthal N.K. (2011). Korroziya i zashchita betonnykh i zhelezobetonnykh konstruktsey sooruzheniy ochestki stochnykh vod. [Corrosion and protection of concrete and reinforced concrete structures of wastewater treatment facilities. *Beton i zhelezobeton – Concrete and reinforced concrete. Equipment, materials, technology*, 1, 96-103. [in Russian].
6. Basista, M. & Weglewski, W. (2008). Micromechanical modelling of sulphate corrosion in concrete: influence of ettringite forming reaction. M.,: Belgrade, *Theoret. Appl. Mech. Vol. 35. №. 1-3*. P. 29-52. [in English].

7. Stein, D. (2001). Rehabilitation and Maintenance of Drains and Sewers / Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Ruhr-University Bochum (RUB), Faculty of Civil Engineering. Germany. 804 p. [in English].
8. Goncharenko, D. F., Aleinikova, A. I. & Gudilin, R. I. (2018). Kanalizatsionnyye tonneli i kollektory – na poroge ekologicheskoy katastrofy. [Sewer tunnels and collectors - on the verge of ecological catastrophe.]. *Naukovy visnyk budivnytstva – Scientific bulletin of everyday life*, (93), 110–115 [in Russian].
9. Bryhada, O.V. (2013). Monitorynh pokaznykiv ekspluatsiyi vodovidvidnykh sporud z zalizobetonu. [Monitoring of indicators of exploitation of drainage structures made of reinforced concrete] . *Candidate's thesis*. Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture. Kharkiv [in Ukrainian].
10. Andreyuk, E.I., Bilay, V.I., Koval, E.Z. & Kozlova, I.A. (1980). *Mikrobnaya korroziya i yeye vzbuditeli*. [Microbial corrosion and its pathogens]. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].
11. Kovalenko, A.V., Yurchenko, V.O., Bryhada, E.V. & Lebedeva, E.S. (2014). Zakhyst atmosfernoho povitrya vid zabrudnennya vykydamy sirkovodnyu z kanalizatsiynykh merezh. [Protection of atmospheric air from pollution by hydrogen sulfide emissions from sewage networks]. *Naukovy visnyk budivnytstva – Scientific bulletin of construction, Issue 3(77)*, 218-223. [in Ukrainian].
12. Monteny, J. (2000). Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete / Monteny, J., Vinckebe E., Beeldens A., De Belie N., Taerwe L., Van Gemert D. and Verstraete W. *Cement and Concrete Research. Vol. 30. № 4. P. 623-634*. [in English].
13. Yurchenko, V.A. & Bryhada, E.V. (2014). Kineticheskiye kharakteristiki mikrobiologicheskoy korrozii betona v setyakh vodootvedeniya. [Kinetic characteristics of microbiological corrosion of concrete in sewer networks]. *Voda i jekologiya. Problemy i resheniya – Water and ecology. Problems and solutions. I*. 51-61 [in Ukrainian].
14. Zhuravskaya, N. E., Shevchenko, K.V. & Zhuravsky, D.A. (2020). Biopovrezhdeniya betonnykh konstruktsey, meropriyatiya po vosstanovleniyu. [Biodamage of concrete structures, restoration measures]. *Problems of modern construction: Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya* (28 maja 2020 g.) – International Scientific and Technical Conference (pp. 229-237), Minsk: BNTU [in Russian].
15. Akhmadullin, R.R. (2006). Povysheniye dolgovechnosti zhelezobetona v usloviyakh serovodorodnoy korrozii. [Increasing the durability of reinforced concrete under conditions of hydrogen sulfide corrosion]. *Candidate's thesis*. Ufim. state oil un-t. Ufa, 154 p. [in Russian].
16. Kantor, P.L. (2012). Povysheniye dolgovechnosti zhelezobetona vodootvodyashchikh kollektorov. [Increasing the durability of reinforced concrete drainage collectors] . *Candidate's thesis*. Ufa, 143 p. [in Russian].
17. Rekomendatsii po otsenke stepeni korrozionnogo vozdeystviya slaboagressivnykh kislykh sred na beton. [Recommendations for assessing the degree of corrosive effect of slightly aggressive acid environments on concrete]. (1986). Moscow: NIIZhB [in Russian].
18. Gusev, B.V., Faivusovich, A.S., Stepanova, V.F. & Rozental, N.K. (1998). Matematicheskaya model' korrozii betonov v zhidkikh sredakh. [Mathematical model of concrete corrosion in liquid media]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – Izv. universities. Construction, No. 4*, 56-60. [in Russian].
19. Sakhabutdinov, R.Z. (2001). Razrabotka tekhnologicheskikh protsessov sbora, podgotovki i transportirovki uglevodorodnogo syr'ya s minimal'nymi poteryami uglevodorodov i vybrosami vrednykh veshchestv v atmosferu. [Development of technological processes for the collection, preparation and transportation of hydrocarbon raw materials with minimal losses of hydrocarbons and emissions of harmful substances into the atmosphere] . *Doctor's thesis*. Bugulma. 268 p. [in Russian].
20. Rabartdinov Z.R. (2013). Nauchno-metodicheskoye obosnovaniye ispol'zovaniya serovodoroda kak repornykh komponenty v protsessakh nefteobychi. [Scientific and methodological substantiation of the use of hydrogen sulfide as a reference component in oil production processes] . *Extended abstract of candidate's thesis*. OJSC NPF "Geophysics". Ufa. 24 p. [in Russian].
21. DSTU ISO 22016:2018 Determination of sulfur in refractory products and raw materials by gravimetric, photometric and titrimetric methods (ISO 22016: 2015, IDT). [in Ukrainian].
22. GOST 5382-91. Cements and materials for cement production. Methods of chemical analysis. Instead of GOST 5382-73, GOST 9552-76. Introduction 07/01/91 // Cements. Test methods. Moscow: Publishing house of standards, 1994 S. 46-144. [in Russian].
23. Arinushkina, E.V. (1970). *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv*. [Guide to the chemical analysis of soils]. Moscow: Publishing house of Moscow State University [in Russian].
24. Ed. Popova, N.P. & Stolyarova, I.A. (1974). *Khimicheskii analiz gornykh porod i mineralov*. [Chemical analysis of rocks and minerals]. Moscow: Nedra [in Russian].

25. Popov, L.N. (1984). *Laboratornyye ispytaniya stroitel'nykh materialov i izdeliy*. [Laboratory testing of building materials and products]. Moscow: Higher school [in Russian].
26. DSTU 7909:2015 Soil quality. Determination of sulfate ion in aqueous extract. [in Ukrainian].
27. DSTU 7945:2015 Soil quality. Determination of calcium and magnesium ions in water extract. [in Ukrainian].
28. Yurchenko V.O., Korinko I.V., Mykhaylenko V.G., Kovalenko O.M., Piligrim S.S., Zelenskyi B.K., Bryhada O.V., Onatskyi P.I., Borisevich D.E. (2006). Prystriy dlya vyznachennya parametriv stanu sporud iz betonu, yaki zaznayut' vplyvu sirchanokyslotnoyi ahresiyi "Korozymetr betonu". [The device for determining the parameters of the condition of concrete structures that are affected by sulfuric acid aggression "Concrete Corrosimeter"]. Patent 25294 of Ukraine IPC 2006 G01F 23/28 (Ukraine). - u 2006 133612006. Application 18.12.2006. Publ. 10.08.2007. Bul. No. 12. - 8 s. [in Ukrainian].
29. Korinko I.V., Yurchenko V.O., Babushkin V.I., Klein Y.B., Piligrim S.S., Zelenskyi B.K., Kovalenko O.M. (2002). Sposib vyznachennya stupenya ahresyvnosti ekspluatatsiynoho seredovyscha po vidnoshennyu do sporud iz betonu, yaki zaznayut' vplyvu biohennoyi sirchanokyslotnoyi ahresiyi. [The method of determining the degree of aggressiveness of the operating environment to concrete structures exposed to biogenic sulfuric acid aggression]. Patent of Ukraine No. 50558 IPC 7 C12M1/00/. (Ukraine). - 2002021123. Application 12.02.2002. Publ. 15.10.02. Bul. No. 10. - 6 p. [in Ukrainian].

Volodymyr Sierohlazov, post-graduate

Kharkiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, Ukraine.

Concrete Corrosion of the Above-water Part of the Oil Trap in the Water Management of Oil-and-gas Facilities

The purpose of the work is to identify the type and kinetic indicators of concrete corrosion of the surface part of the oil trap in the water management of oil-and-gas facilities.

Biogenic sulfuric acid concrete corrosion is a constant risk for water management facilities, in which hydrogen sulfide and its derivatives are present in the operating environment. Based on the analysis of the cycle of the oil production enterprise, the above processes are inherent in the water management of oil-and-gas facilities. The presence of hydrogen sulfide in water operating environments indicates a very high probability of the development of biogenic sulfuric acid aggression in the above-water moistened part of the structure - the influence of sulfuric acid produced by thion bacteria. An attractive environment for the accumulation of hydrogen sulfide by microbiological sulfate reduction is reservoir water at oil production sites, especially at water management sites where long-term sedimentation occurs. About 80% of losses from corrosion of oil industry equipment are associated with the activity of sulfate-reducing bacteria. In the experimental studies, concrete samples were studied, which were taken from the upper surface of the oil traps at the studied oil production facility located in the Dnipro-Donetsk depression.

The results of a chemical study of concrete samples (decrease in pH, accumulation of sulfur compounds, and leaching of calcium compounds) indicated that the concrete is affected by biogenic sulfuric acid aggression. The experimentally determined dynamics of calcium compounds in the studied concrete samples indicated its leaching by aggressive sulfuric acid: the lower the pH of concrete, the lower the concentration of total calcium and the higher the concentration of mobile calcium. Based on data determined using a concrete corrosionmeter, the rate of microbiological corrosion of concrete was calculated - up to 0.08 mm/year, and the depth of diffusion of biogenic acids - up to 1.9 mm. The calculated average annual concentration of hydrogen sulfide in the atmosphere affecting concrete was 3.4 - 5.4 mg/m³, which exceeds the MPC of the working zone in the oil and gas industry.

oil-and-gas facilities, wastewater, concrete, hydrogen-sulfide, acid aggression

Одержано (Received) 17.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 21.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 621.98.04:621.313.333 DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.119-126](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.119-126)

Р.В. Телюта, доц., канд. техн. наук, **В.В. Клименко**, проф., д-р техн. наук,
О.В. Скрипник, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна
e-mail: teliuta.r@gmail.com*

А.В. Телюта, викл.

Кропивницький аграрний фаховий коледж, м. Кропивницький, Україна

Енергоефективність системи подрібнення твердих рослинних відходів для виробництва біопаливних пелет

Виробництво біопаливних пелет потребує значних енергозатрат під час їх виробництва. На первинному технологічному етапі, а саме подрібненні твердих рослинних відходів, спостерігаються значні втрати електричної енергії пов'язані з нерівномірністю завантаження подрібнювача, яке здійснюється для більшості виробництв малої продуктивності в ручному режимі. Запропоновано методику та алгоритм для визначення максимальної енергоефективності системи подрібнення відходів у функції залежності коефіцієнта завантаження електродвигуна подрібнювача при різних значеннях прикладеної напруги. За результатами досліджень пропонується розробити пристрій керування величиною прикладеної напруги при змінних завантаженнях електроприводу, що дозволить зменшити споживання енергії електродвигуном та підвищити його енергоефективність на 4-6 %.

Запропоновану методику можливо також використати при проведенні діагностики електродвигуна подрібнювача, що знаходиться в процесі експлуатації технологічної лінії виробництва пелет.
енергоефективність, біопаливні пелети, електродвигун, подрібнювач твердих рослинних відходів

Постановка проблеми. Біомаса у вигляді твердих рослинних відходів (ТРВ) є одним із найбільш доступних джерел для енергетичного використання в сфері відновлювальної енергетики [1]. Розповсюдженням є застосування біопалива, виготовленого з твердих рослинних відходів, у вигляді пелет та брикетів [1,2].

Технологічний процес виробництва пелет умовно можна розділити на етапи: 1) попередньої підготовки, що включає процеси подрібнення ТРВ, сушіння та кондиціювання; 2) пресування; 3) охолодження, розфасовка і упаковка отриманих пелет.

В залежності від фізико-механічних характеристик ТРВ витрати електроенергії в процесі їх подрібнення можуть складати 40...60 % від загальних витрат електроенергії при виробництві пелет.

Одними із основних виробників пелет з ТРВ, що їх використовують для власних потреб, є невеликі фермерські господарства та малі сільськогосподарські підприємства. В системах подрібнення ТРВ таких виробників спостерігається значна нерівномірність процесу завантаження рослинних відходів в систему і часто вона працює в режимах, які суттєво відрізняються від номінальних, але більшість використовуваних при цьому електроприводів робочих машин не оснащені сучасними засобами з енергозбереження. Внаслідок цього, спостерігається підвищене споживання електричної енергії, через відсутність встановлених засобів регулювання

експлуатаційних режимів роботи електродвигунів при змінному завантаженні робочих машин, що особливо характерно для первинного етапу процесу подрібнення рослинних відходів.

Тому підвищення енергоефективності системи подрібнення твердих рослинних відходів для виробництва біопаливних пелет є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вивчення втрат активної потужності ΔP в асинхронному електродвигуні (АД) при різних режимах розглядалося в роботі [3], а в системі електродвигун – робоча машина в роботі [4].

Методика визначення енергетичної оцінки режимів роботи електродвигуна розглянута в [5]. У роботі [6] представлено рішення оптимального керування трифазним АД в якому баланс енерговтрат залежить від крутного моменту та режиму завантаження. Енергозберігаючі режими роботи АД при змінному завантаженні були розглянуто в роботі [7]. Результати дослідження електромеханічних і теплових процесів при різних значеннях навантаження АД та живлячої напруги, а також аналіз втрат в цих процесах представлені в роботі [8].

В роботі [9] проведено дослідження енергозбереження та енергоефективності в технологічному процесі післяжнивної обробки зерна з використанням зерноочисних установок. Визначено, що енергоефективність процесу очищення зерна можна оцінити лише тоді, коли всі машини з АД працюють на одній виробничій лінії та узгоджені за продуктивністю.

Аналіз наведених вище робіт показав, що енергоефективність використання АД в процесі його роботи можна визначити через втрати активної енергії, які суттєво залежать від його конструктивного виконання, рівня завантаження та режимів роботи при його експлуатації.

Як було вказано вище, при експлуатації АД подрібнювачів ТРВ в складі маломасштабного виробництва пелет, які в подальшому використовуються в господарствах для власного споживання, спостерігається значна нерівномірність процесу завантаження рослинних відходів в систему і часто вона працює в постійно змінних режимах, що суттєво відрізняються від номінальних.

Проте у згаданих вище дослідженнях не приділено достатньої уваги вивченню питання оптимізації енергоефективності АД при його експлуатації на протязі повного часу роботи згідно технологічного циклу при постійно змінних режимах завантаження та при змінних значеннях величини прикладеної напруги до АД.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження енергоефективності системи подрібнення ТРВ для виробництва біопаливних пелет.

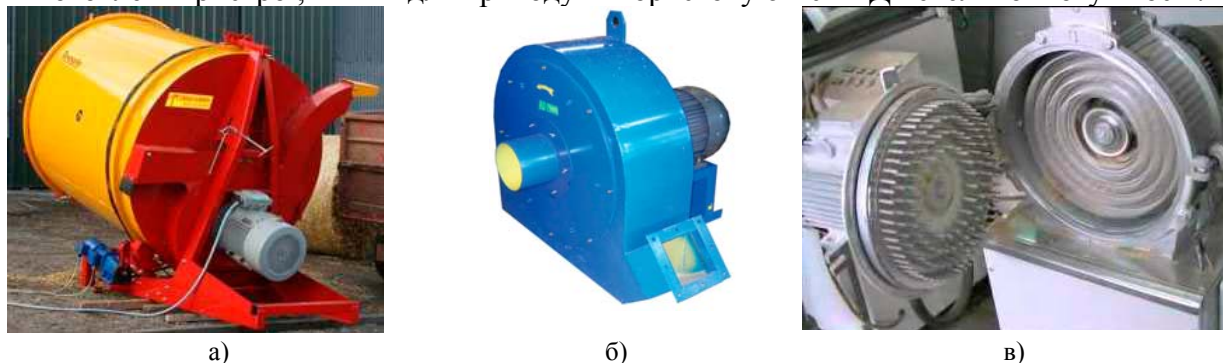
Завданням роботи є визначення оптимальних енергоефективних режимів роботи АД подрібнювача ТРВ в складі маломасштабного виробництва пелет при постійно змінних режимах завантаження та при змінних значеннях величини прикладеної напруги до АД.

Виклад основного матеріалу. Енергоефективність процесу підготовки та подрібнення в значній мірі впливає на подальші технологічні операції та споживання і витрати електричної енергії в загальному процесі виробництва пелет.

Подрібнення рослинних відходів (соломи, лушпиння соняшнику, очерету, стебел камишу, сіна, люцерни тощо) до фракції 5...10 мм здійснюється подрібнювальними та соломорізальними машинами (рис. 1а). Для подрібнення рослинних відходів (соломи, лушпиння, тирси, тощо) до фракції 0,5...1,5 мм перед подачею до преса в лініях гранулювання та брикетування можуть застосовуватись молоткові типи дробарок (рис. 1б), а до рівня 5...10 мкм використовують дезінтегратори (рис. 1в). Загалом продуктивність лінії з виробництва пелет, можна умовно розподілити на

низькопродуктивні до 200 кг/год, середньопроодуктивні до 500 кг/год та високопродуктивні понад 500 кг/год.

Інколи в малих господарствах для подрібнення ТРВ застосовують власно виготовлені пристрої, в яких для приводу використовуються АД невеликої потужності.



а) – приклад подрібнювальної машини до фракції 5...10 мм; б) – до фракції 0,5х1,5 мм; в) – до фракції 5х10 мкм

Рисунок 1 – Подрібнювачі рослинних відходів

Джерело: розроблено авторами [1]

Втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні залежать від коефіцієнта завантаження робочої машини κ_z :

$$\kappa_z = \frac{Q}{Q_n}, \quad (1)$$

де Q – фактична продуктивність робочої машини;

Q_n – номінальна продуктивність робочої машини.

Для характеристики енергоефективності електродвигуна системи електроприводу подрібнювача будемо використовувати коефіцієнт корисної дії κ_e , записаний у модифікованому вигляді:

$$\kappa_e = 1 - \kappa_\phi \frac{P_2}{P_1}, \quad (2)$$

де $\kappa_\phi = \Delta P / P_2$ – коефіцієнт втрати активної потужності

ΔP – втрати активної потужності в електродвигуні, Вт;

P_2 – активна потужність, яка передається з валу електродвигуна робочій машині, Вт.

P_1 – активна потужність, що споживається первинною обмоткою з мережі, Вт.

Зменшити втрати та підвищити енергоефективність роботи системи подрібнення можна шляхом регулювання завантаження електропривода за величинами струму навантаження або ковзання електродвигуна [3]. Ковзання s при номінальній напрузі електродвигуна залежить від моменту рушання робочої машини m_0 , коефіцієнта його завантаження κ_z та номінального ковзання s_n . Реальне значення ковзання для діючої системи подрібнення можливо встановити тільки експериментальним шляхом в процесі роботи виробництва.

В електричних мережах, що використовуються в системах для енергопостачання об'єктів сільськогосподарського призначення, часто спостерігається нерівномірність значення напруги, яка значним чином впливає на роботу електрообладнання. При зниженні, підвищенні чи несиметрії напруги в мережі від номінального значення, активна потужність на валу асинхронного двигуна практично не змінюється, але це призводить до зміни значень втрати активної потужності та зайвих витрат електричної енергії.

Визначити втрати активної потужності ΔP при заданому κ_3 робочої машини можна на основі рівняння кругової діаграми комплексу повної потужності у функції ковзання при різних заданих кратностях прикладеної напруги до номінальної електродвигуна κ_U .

На рисунку 2 приведені розраховані в якості прикладу значення залежності ΔP в електродвигуні подрібнювача для електродвигуна серії АІР номінальною потужністю 4 кВт від κ_3 при різних значеннях κ_U , а на рисунку 3 показані залежності κ_6 від κ_3 електродвигуна робочої машини також при різних значеннях κ_U , вигляд яких аналогічний отриманим у роботі [8].

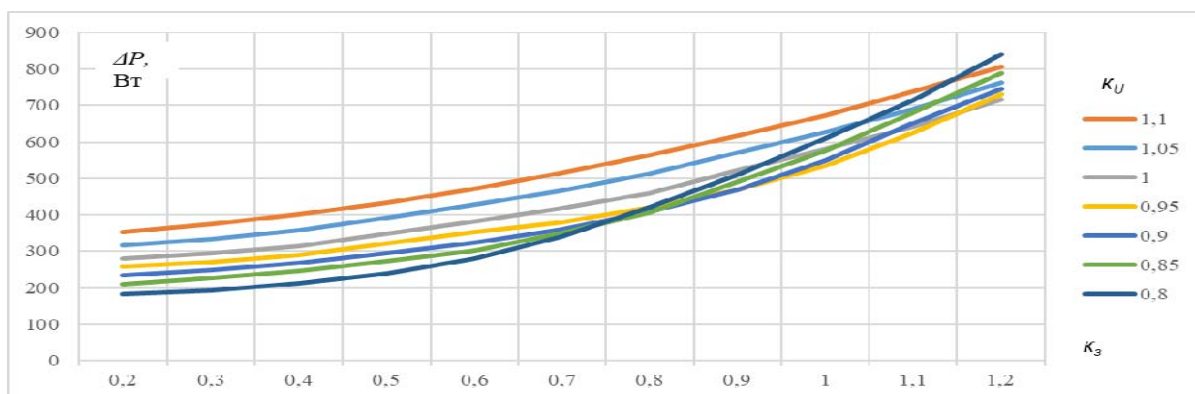


Рисунок 2 – Залежність ΔP в асинхронному електродвигуні у функції коефіцієнта κ_3 робочої машини при різних значеннях коефіцієнта прикладеної напруги κ_U .

Джерело: розроблено авторами

Аналіз залежностей на рисунку 2 показує, що при певних значеннях κ_3 робочої машини та вибраній величині напруги, існують області, в яких ΔP менше, ніж при номінальній напрузі.

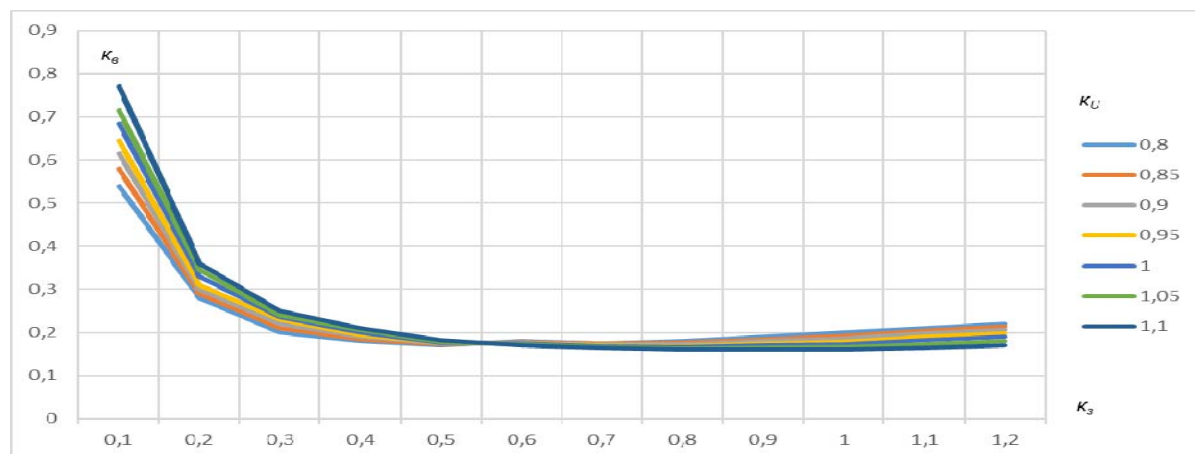


Рисунок 3 - Залежність коефіцієнта втрат κ_6 в електродвигуні у функції коефіцієнта κ_3 робочої машини при різних значеннях коефіцієнта прикладеної напруги κ_U .

Джерело: розроблено авторами

З графіків, наведених на рисунку 3 видно, якщо κ_3 знаходиться в межах від 0,1 до 0,5 то відбувається зменшення значення κ_6 , при зростанні κ_3 від 0,5 до 0,7 коефіцієнт κ_6 досягає своїх мінімальних значень при умові, що напруга близька до номінальної і збільшені κ_3 від 0,7 до 1,1 κ_6 буде збільшуватися при зменшені подачі напруги на електродвигун.

Для визначення енергоефективного режиму роботи електродвигуна системи подрібнення твердих рослинних відходів у виробництві біопаливних пелет пропонується методика та наступний алгоритм її використання:

1. Вимірюється для встановленого електродвигуна значення ковзання s .
2. Розраховується κ_3 електродвигуна для даної робочої машини:

$$\kappa_3 = \frac{\left(\frac{1-s}{s_H} - m_0\right)s + m_0 s_H}{1-s}, \quad (3)$$

3. Розраховується s електродвигуна при розрахованому значенні κ_3 та при заданих значеннях напруги U :

$$s = \frac{k_3 - m_0 s_H}{\frac{1-s_H}{s_H} k_U^2 + k_3 - m_0}, \quad (4)$$

4. Розраховуються загальні втрати ΔP при різних значеннях U :

$$\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m = k_U^2 \Delta P_{c.H} + 3(R_1' + R_2'') \cdot \left(\frac{k_U^2 U_H^2}{\left(R_1' + \frac{R_2''}{s}\right)^2 + (X_1' + X_2'')^2} \right), \quad (5)$$

де ΔP_c – втрати активної потужності в намагнічуючому контурі електродвигуна;

ΔP_m – втрати активної потужності в обмотках електродвигуна;

R_1' , R_2'' , X_1' , X_2'' – параметри схеми заміщення однієї фази асинхронного електродвигуна, Ом;

5. Знаходимо значення κ_e при якому вони будуть максимальними, рис. 5.

$$\kappa_e \rightarrow \kappa_{e,max}. \quad (6)$$

Вищенаведений алгоритм використовувався для визначення енергоефективності електроприводу подрібнювача потужністю 4 кВт, за графіком його завантаження на протязі восьмигодинної робочої зміни, наданим фермерським господарством.

Залежність κ_e з врахуванням κ_3 за період восьмигодинної робочої зміни та при різних значеннях U зображено на рисунку 4.

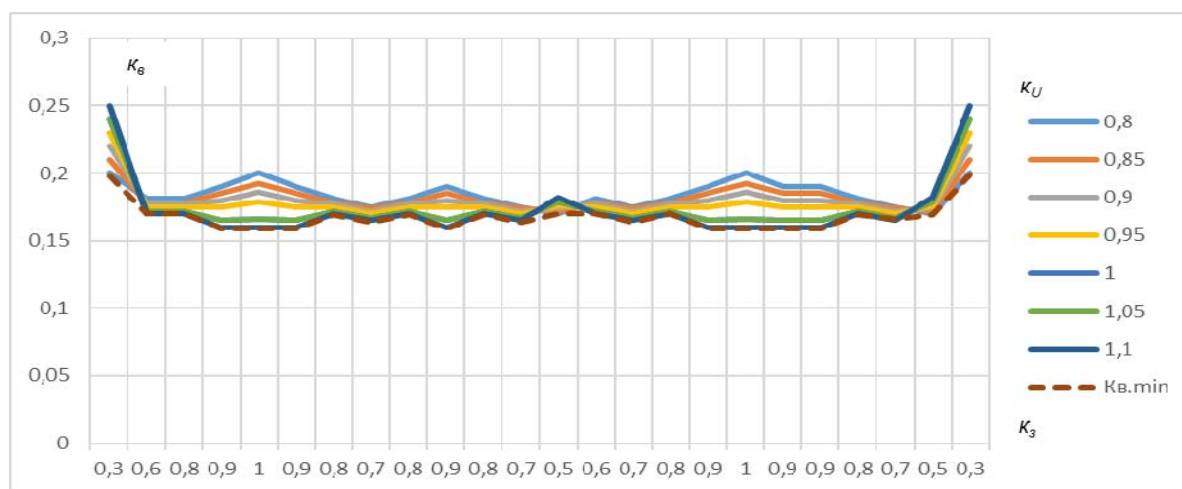


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта втрат κ_e від коефіцієнта κ_3 з врахуванням коефіцієнта прикладеної напруги κ_U .

Джерело: розроблено авторами

Аналіз графіків наведених на рисунок 4 показує, що при κ_3 до 0,7 відбувається зменшення значення κ_e , а при κ_3 більше 0,7 буде збільшуватися κ_e при зменшенні подачі напруги на електродвигун.

Залежність κ_e з врахуванням κ_3 за період восьмигодинної робочої зміни та при різних значеннях κ_U зображено на рисунку 5.

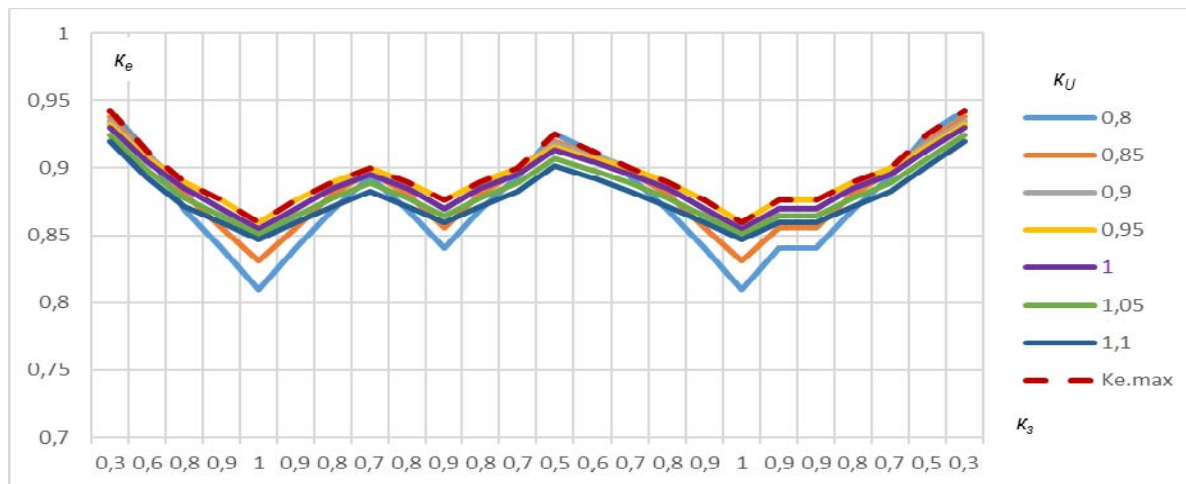


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнта енергоефективності κ_e від коефіцієнта завантаження κ_3 при різних коефіцієнтах прикладеної напруги κ_U .

Джерело: розроблено авторами

Енергоефективність подрібнювача буде збільшуватися коли в недовантажених режимах роботи електродвигуна при значеннях κ_3 до 0,7 подавати κ_U менше номінального значення та буде зменшуватися при збільшенні значення κ_3 від 0,7 при значеннях κ_U відмінних від номінального.

Запропонована методика дозволяє визначати κ_e та κ_e в асинхронному електродвигуні подрібнювача у функції κ_3 та рівня κ_U . Аналіз отриманих графіків залежності κ_e показує, що вона носить нелінійний характер і, її використання дозволяє забезпечити енергоефективний режим роботи електродвигуна шляхом визначення оптимального рівня κ_U при змінному κ_3 .

На основі запропонованого підходу пропонується розробити та впровадити пристрій для підвищення енергоефективності системи приводу подрібнювача рослинних відходів шляхом підтримання оптимальних значень прикладеної напруги до електродвигуна при змінному режимі завантаження подрібнювача.

Очікується, що при його впровадженні зменшиться споживання електричної енергії приводом подрібнювача, а енергоефективність підвищиться на 4-6 %. Дану методику можливо також використати при проведенні діагностики електродвигуна подрібнювача, що знаходиться в процесі експлуатації технологічної лінії виробництва пелет.

Висновки.

1. Запропоновано методика та алгоритм визначення енергоефективності системи подрібнення твердих рослинних відходів для виробництва біопаливних пелет. На їх основі можна визначати області мінімальних значень κ_e та максимальних κ_e у функції коефіцієнта завантаження електродвигуна робочої машини при різних значеннях прикладеної напруги.

2. Досліджено енергоефективність АД типу АИР номінальною потужністю 4 кВт подрібнювача ТРВ при його роботі за графіком завантаження на протязі

восьмигодинної робочої зміни, наданим фермерським господарством. Визначено, що при значеннях κ_z в межах від 0,1 до 0,5 відбувається зменшення значення κ_e при зниженні κ_U , при значеннях κ_z від 0,5 до 0,7 коефіцієнт кв за номінальної напруги досягає своїх мінімальних значень та при зростанні κ_z від 0,7 до 1,0 κ_e буде збільшуватися при зменшенні подачі напруги на електродвигун.

3. Аналіз результатів проведених досліджень показав, що при $\kappa_z < 0,7$ та $\kappa_U < \kappa_{U_{ном}}$ енергоефективність подрібнювача буде збільшуватися. При цьому спостерігається деяке зниження енергоефективності при значеннях $\kappa_z > 0,7$ та $\kappa_U \neq \kappa_{U_{ном}}$.

4. За результатами досліджень пропонується розробити пристрій керування величиною прикладеної напруги при змінних завантаженнях впровадження якого, дозволить зменшити споживання енергії приводом подрібнювача та підвищити енергоефективність на 4-6 %.

Список літератури

1. Технологічні основи виготовлення біопалива з рослинних відходів та їх композитів: монографія / Клименко В. В., Кравченко В. І., Боков В. М., Гуцул В. І. / за ред. В.В. Клименка. Кропивницький: ПП «Ексклюзив-Систем», 2017. 162 с.
2. Recent developments in biomass pelletization - A review / Stelte, W., Sanadi, A.R., Shang, L., Holm, J.K., Ahrenfeldt, J., and Henriksen, U.B. BioRes. 2012, 7(3), P.4451-4490. <https://bioresources.Cnr.ncsu.edu/resources/recent-developments-in-biomass-pelletization-a-review/>.
3. Овчаров С. В., Стребков А. А. Исследование потерь активной энергии в асинхронном электродвигателе в эксплуатационных условиях. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. Т. 2, № 8 (74). С. 22-28.
4. Постникова М.В., Телюта Р.В. Исследование потерь активной мощности в системе «электродвигатель – рабочая машина». *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип. 11, т.3. С.165-172.
5. Овчаров С. В., Стребков А. А. Разработка методики энергетической оценки эксплуатационных режимов работы силового электрооборудования. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. 3 (1). С. 21-26.
6. Optimization of Electric Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses / N. T. Hung [et al.]. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2014. P. 497-507.
7. Телюта А. В., Телюта Р. В., Каліч В. М. Енергозберігаючий режим роботи асинхронного електродвигуна. *Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження (присвячена 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету)* : матеріали І Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 1-2 червня 2021 р. Полтава. ПДАУ, 2021. С. 22-25.
8. Енергозберігаючі режими роботи асинхронних електродвигунів при змінному завантаженні. / С.О. Квітка, О.Ю. Вовк, О.А. Стребков, А.А. Волошина. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2019. Вип. 19, т. 3. С. 142-150.
9. Improving Energy Efficiency of Grain Cleaning Technology / Bazaluk, O., Postnikova, M., Halko, S., Mikhailov, E., Kovalov, O., Suprun, O., Nitsenko, V. *Applied Sciences*, 12 (10), 5190. P.1-12. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.

References

1. Klymenko, V.V., Kravchenko, V.I., Bokov, V.I. & Hutsul, V.I. (2017). *Tekhnologichni osnovy vyhotovlennia biopalyva z roslinnykh vidkhodiv ta yikh kompozytiv* [Technological bases of biofuel production from vegetable waste and their composites]. Kropyvnytskyi: PE "Exclusive-System" [in Ukrainian].
2. Stelte, W., Sanadi, A. R., Shang, L., Holm, J. K., Ahrenfeldt, J., & Henriksen, U. B. (2012). Recent developments in biomass pelletization - A review, BioRes, 7(3), pp.4451-4490. Retrieved from <https://bioresources.Cnr.ncsu.edu/resources/recent-developments-in-biomass-pelletization-a-review/>.
3. Ovcharov, S.V. & Strebkov, A.A. (2017). Issledovaniye poter aktivnoy energii v asinkhronnom elektrodvigatеле v ekspluatatsionnykh usloviyakh [Study of active energy losses in an asynchronous electric motor under operating conditions]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy*. – East European Journal of Advanced Technologies, 2, 8 (84), 22-28 [in Ukrainian].

4. Postnikova, M.V. & Teliuta, R.V. (2011). Issledovanie poter aktivnoy moshhnosti v sisteme «jelektrodvigatel – rabochaya mashina» elektrodvigatele [Study of active power losses in the electric motor-working machine system]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu. – Practice of the Taurian State Agrotechnological University, Vol. 11, 3*, 165-172 [in Ukrainian].
5. Ovcharov, S.V. & Strebkov, A.A. (2015). Razrabotka metodiki energeticheskoy otsenki ekspluatatsionnykh rezhimov raboty silovogo elektrooborudovaniya [Development of a methodology for energy assessment of operating modes of power electrical equipment]. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva – Technological audit and production reserves, 3 (1)*, 21-26 [in Ukrainian].
6. Hung, N.T. et al. (2014). Energy in Three-Phase Induction Motor by Balancing of Torque and Flux Dependent Losses. Lecture Notes in Electrical Engineering, pp. 497-507 [in English].
7. Teliuta, A.V., Teliuta, R.V. & Kalich, V.M. (2021). Enerhozberihaiuchy rezhym roboty asynkhronnoho elektrodvyhuna [Energy saving mode of operation of asynchronous electric motor]. – New technologies in agroengineering: problems and prospects of implementation (dedicated to the 55th anniversary of the founding of the Faculty of Engineering and Technology of Poltava State Agrarian University): I Vseukr. nauk.-prakt. internet-konf., (1-2 chervnia 2021 r.) – I All-Ukrainian. Scientific&Practical Internet conference (pp. 289-291). Poltava. PSAU [in Ukrainian].
8. Kvitka, S.O., Vovk, O. Yu., Strebkov, A.A. & Voloshyna, A.A. (2019). Enerhozberihaiuchy rezhymy roboty asynkhronnykh elektrodvyhuniv pry zminnomu zavantazhenni [Energy saving modes of operation of asynchronous electric motors at variable loading]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu – Practice of the Taurian State Agrotechnological University, Vol. 19, 3*, 142-150 [in Ukrainian].
9. Bazaluk, O., Postnikova, M., Halko, S., Mikhailov, E., Kovalov, O., Suprun, O., ... & Nitsenko. (2022). Improving Energy Efficiency of Grain Cleaning Technology. *Applied Sciences, 12 (10)*, 5190. pp.1-12. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/app12105190> [in English].

Ruslan Teliuta, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Vasyl Klymenko**, Prof., DSc., **Oleksandr Skrypnyk**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Anna Teliuta, Lecturer

Kropyvnytskyi Agricultural Vocational College, Kropyvnytskyi, Ukraine

Energy Efficiency of Solid Vegetable Waste Shredding System for Biofuel Pellets Production

The production of biofuel pellets requires significant energy consumption during their production. At the primary technological stage of production: grinding of solid vegetable waste (SVW), electricity costs can be, depending on the physical and mechanical characteristics of SVW, 40... 60% of the total electricity consumed for the production of pellets. Significant losses of electric energy are observed during grinding due to uneven loading of the shredder and operation of the electric motor of its drive in constantly changing modes. This is especially true for small productions when downloading is done manually. This paper proposes a method and algorithm for determining the maximum values of the energy efficiency of the SRW grinding system for the production of biofuel pellets as a function of the load factor of the electric motor of the working machine at different values of applied voltage.

As a result of research of an asynchronous electric motor with a nominal power of 4 kW SVW shredder during its operation according to the loading schedule during the eight-hour work shift provided by the farm, it was determined that control of applied voltage at variable loads will reduce energy consumption and increase the energy efficiency of the shredder by 4...6%. According to the results of research, it is proposed to develop a device for controlling the magnitude of the applied voltage at variable loads, the implementation of which will reduce energy consumption by the shredder drive.

The proposed technique can also be used in the diagnosis of the electric motor of the shredder, which is in the process of operation of the technological line of production of pellets.

energy efficiency, biofuel pellets, electric motor, solid vegetable waste shredder

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук

Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна

e-mail: andrespartak@ukr.net

З.А. Лімонт

Дніпровський національний університет ім. Олеса Гончара, м. Дніпро, Україна

Кузовні машини для внесення твердих органічних добрив: потужність на привод робочих органів і пропускна спроможність машин

Мета статті полягала у з'ясуванні впливу пропускної спроможності кузовних машин для внесення твердих органічних добрив на потужність для привода робочих органів цих машин від вала відбору потужності трактора. Методика дослідження базувалася на аналізі існуючих кузовних машин для внесення твердих органічних добрив з використанням інформації підприємств-виробників на території колишнього Радянського Союзу і сучасної України. Узагальнення одержаної інформації здійснено на засадах кореляційно-регресійного аналізу та з використанням стандартних комп'ютерних програм. Відносну потужність визначали як відношення споживаної потужності до пропускної спроможності машин. Вирівнювання експериментальних значень споживаної і розрахунково-експериментальних значень відносної потужності залежно від пропускної спроможності машин за прямолінійними і криволінійними функціями з розрахунком R^2 -коефіцієнта засвідчило про зміну споживаної і відносної потужності залежно від пропускної спроможності за рівняннями відповідно зростаючої експоненти і спадної гіперболи. З підвищенням пропускної спроможності понад 16 кг/с темп зниження відносної потужності значно уповільнюється.

кузовні машини для внесення твердих органічних добрив, споживана і відносна потужність для привода робочих органів, пропускна спроможність, кореляція, рівняння регресії

Постановка проблеми. Серед агротехнічних прийомів і заходів, що спрямовані на одержання високих врожаїв сільськогосподарських культур, велике значення має забезпеченість ґрунту поживними речовинами. За літературними даними одним із джерел поживних макро- і мікроелементів для рослин є тверді органічні добрива тваринного походження, які позитивно впливають на родючість і властивості ґрунту. Серед існуючих технологічних схем внесення твердих органічних добрив однією із доцільних вважають прямоточну технологічну схему. За цієї схеми на безпосередньому розподілі добрив по поверхні поля застосовують кузовні машини.

В розрахунках з комплектування і вибору режимів роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) у складі з кузовними машинами для внесення твердих органічних добрив (ТОД) важливо знати потужність, яку споживають на привод робочі органи машин від вала відбору потужності (ВВП) трактора. Крім того слід мати інформацію про відносну потужність на привод робочих органів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одними з перших публікацій, в яких висвітлювалися питання, що пов'язані з визначенням споживаної потужності для роботи кузовних машин з внесення ТОД і відповідно для привода робочих органів цих машин від ВВП трактора, були книги І.В. Павловського [1] і В.І. Якубаускаса [2] та стаття Я.Г. Озола [3], що вийшли з друку майже 50 років тому і дещо більше означеного часу. Деякі питання з проектування кузовних машин для внесення ТОД висвітлені з підручнику [4] і навчальному посібнику [5] по сільськогосподарських машинах.

В останні роки відома низка публікацій з дослідження кузовної машини для внесення ТОД, що виконані С.М. Геруком і С.М. Хоменком та їх співавторами і зокрема [6], де охарактеризована потужність, яку споживають експериментальні зразки робочих органів кузовної машини, та визначені деякі з параметрів подрібнювального барабана і швидкість руху транспортера, за яких мінімізується споживана потужність.

О.А. Романащенко самостійно і у співавторстві змодельовував процес внесення ТОД та визначив оптимальні параметри роботи МТА з внесення добрив розкиданням та ін. У праці В.І. Мельника і О.А. Романащенко [7], крім іншого, здійснено енергетичне оцінювання кузовних машин для внесення ТОД.

Експериментальні дослідження і визначення деяких показників роботи кузовної машини ПРТ-10 для внесення ТОД з двобарабанным навісним пристроєм здійснив С.І. Павленко [8]. В дослідженні зокрема визначене середнє значення споживаної потужності та з'ясована питома енергоємність робочого процесу залежно від кінематичних показників і взаємного розташування досліджуваних робочих органів.

При проектуванні технологічного процесу внесення ТОД кузовними машинами розрізняють споживану (кВт) і питому в розрахунку на один м захвату робочої машини (кВт/м) потужності. Стосовно кузовних машин для внесення ТОД питома потужність включає [9] потужність на тягу машини та привод робочих органів від ВВП трактора і коливається в межах 3,1–7,1 кВт/м. Потужність на привод робочих органів становить більшу частину в енергетичному балансі кузовних машин. За даними [10] питома потужність на привод робочих органів від ВВП трактора розкидача органічних добрив ПРТ-10 знаходиться в межах 4–6 кВт/м.

За технічною характеристикою кузовних машин для внесення ТОД (гноєрозкидачів) виробництва підприємствами на теренах колишнього Радянського Союзу ширина внесення ТОД змінюється від 4 до 12 м, а пропускна спроможність машин за розрахунками коливається в більш широких межах. Оскільки пропускна спроможність кузовних машин для внесення ТОД коливається в більш широких межах, ніж ширина внесення добрив, то на нашу думку замість питомої витрати потужності (кВт/м) доречніше використати відношення споживаної потужності на привод робочих органів до пропускної спроможності машин. Таку потужність пропонуємо назвати відносною потужністю на привод робочих органів від ВВП трактора.

З наведеного огляду проведених досліджень і наявних публікацій видно, що в них поки що ще обмаль інформації щодо узагальнення відомостей про споживану потужність та відсутні відомості про відносну потужність на привод робочих органів гноєрозкидачів від ВВП трактора.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення впливу пропускної спроможності кузовних машин для внесення ТОД на споживану і відносну потужність для привода робочих органів цих машин від ВВП трактора. Завдання дослідження: 1) охарактеризувати за основними статистичними показниками емпіричні розподіли споживаної і відносної потужності на привод робочих органів машин від ВВП трактора та розподіл пропускної спроможності машин; 2) виявити якісні парні зв'язки споживаної і відносної потужності з пропускною спроможністю кузовних машин для внесення ТОД; 3) дослідити кількісну зміну споживаної і відносної потужності залежно від пропускної спроможності кузовних машин для внесення ТОД; 4) обґрунтувати модельні рівняння регресії споживаної $N_{од}$ і відносної $N_{вq}$ потужності на привод робочих органів кузовних машин від ВВП трактора на пропускну спроможність q_c цих машин; 5) побудувати кореляційне поле значень $N_{од}$ і q_c та $N_{вq}$ і q_c , модельні лінії криволінійної регресії $N_{од}$ на q_c і $N_{вq}$ на q_c ; 6) проаналізувати графіки зміни $N_{од}$ і $N_{вq}$ залежно від q_c та зробити відповідні висновки і дати рекомендації-поради виробникам

щодо комплектування парку сільськогосподарських машин підприємств доцільними за проведеним дослідженням кузовними машинами для внесення ТОД.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єкт дослідження – кузовні машини для внесення ТОД. Обсяг статистичної вибірки становив 21 марку кузовних машин для внесення ТОД виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу і сучасної України.

Методика дослідження полягала в аналізі існуючих кузовних машин для внесення ТОД з використанням інформації підприємств-виробників цих машин. Інформацію про споживану потужність на привод робочих органів машин вибирали з відповідних літературних джерел. В дослідженні крім споживаної потужності оцінювали і відносну потужність на привод робочих органів від ВВП трактора, яку визначали з відношення споживаної потужності до пропускної спроможності машин. Пропускную спроможність визначали як секундну подачу добрив в кг на робочі органи кузовних машин. Вихідними даними при цьому була продуктивність кузовних машин для внесення ТОД за годину основного часу в тоннах внесених добрив (т/год), що наведена в технічній характеристиці відповідних машин.

Узагальнення зібраної інформації здійснено на засадах кореляційно-регресійного аналізу та з використанням стандартних комп'ютерних програм. В дослідженні споживана і відносна потужність прийняті за результативні ознаки, а за факторіальну – прийнята пропускна спроможність машин.

Виклад основного матеріалу. Розмах варіювання пропускної спроможності машин коливався в межах 2,11–36,11 кг/с за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 19,01 і 9,57 кг/с та коефіцієнта варіації розподілу 50,3%. Споживана потужність на привод робочих органів машин від ВВП трактора змінювалася від 11,7 до 72,2 кВт, а середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення цієї потужності дорівнювали відповідно 27,5 і 16,27 кВт за коефіцієнта варіації 59,2%. Розподіл відносної потужності мав розмах варіювання від 0,98 до 6,63 кВт/(кг/с), а середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення цього розподілу становили відповідно 1,89 і 1,51 кВт/(кг/с) за найбільшого коефіцієнта варіації, що дорівнював 79,9%.

Коефіцієнт кореляції між споживаною потужністю і пропускною спроможністю машин мав додатне значення 0,556, а між відотною потужністю і тією ж факторіальною ознакою – від'ємне, що дорівнювало мінус 0,668. Кореляційні відношення споживаної та відотної потужностей на пропускну спроможність набували значень відповідно 0,636 і 0,875. Оскільки в досліджуваних зв'язках кореляційні відношення перевищують значення коефіцієнтів кореляції, то між результативними і факторіальною ознаками можливий нелінійний зв'язок, за якого із підвищенням пропускної спроможності q_c (кг/с) машин споживана потужність $N_{од}$ (кВт) зростає, а відносна $N_{вq}$ (кВт·с/кг) зменшується за криволінійними залежностями.

Одним із способів з'ясування характеру і форми кількісного зв'язку між результативною і факторіальною ознакою є визначення спостережуваного (розрахункового) t -критерію Стюдента. Спостережувані (розрахункові) t -критерії Стюдента t_p визначали за обчисленими коефіцієнтами кореляції між $N_{од}$ і q_c та $N_{вq}$ і q_c . За розрахунками t_p стосовно пошуку характеру зв'язку між $N_{од}$ і q_c становив 3,51. Розрахунковий t -критерій стосовно пошуку характеру зв'язку між $N_{вq}$ і q_c становив 3,91. Табличний t -критерій Стюдента за числа ступенів вільності 19 по рівню довірчої ймовірності 0,95 за відповідними таблицями [11] дорівнює $t_T = 2,09$. Оскільки розрахункові t -критерії більші табличного, то по рівню довірчої ймовірності 0,95 лінійні моделі досліджуваних регресій узгоджуються з експериментальними даними.

Продовжимо перевірку лінійності моделей регресії за різницею квадратів кореляційних відношень η і квадратів коефіцієнтів кореляції r , тобто $(\eta^2 - r^2)$ та обчисленням критерію криволінійності [12]. Якщо $(\eta^2 - r^2) < 0,1$ і розрахований критерій криволінійності менше 2, то досліджувані залежності вважають лінійними. В досліджуваних випадках $(\eta^2 - r^2)$ дорівнює відповідно 0,036 і 0,319, а розрахований критерій криволінійності дорівнює в тій же послідовності 0,326 і 1,08. Отже, за останніми розрахованими критеріями, як і за t -критерієм, зміна $N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ залежно від q_c має описуватися лінійними залежностями.

Проте графічне подання відповідних потужностей і пропускної спроможності машин швидше свідчить про нелінійний зв'язок між досліджуваними ознаками. Розрахункова і графічна перевірка лінійності досліджуваних зв'язків не дозволила однозначно визначитися з їх характером і формою. Зроблена спроба з'ясувати це питання шляхом вирівнювання експериментальних значень потужностей залежно від q_c рівняннями прямих і низкою криволінійних функцій. За R^2 -коефіцієнтом найкраще наближення експериментальних даних до їх вирівняних значень забезпечила апроксимація зміни $N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ залежно від q_c рівняннями відповідно зростаючої експоненти ($R^2 = 0,309$) і спадної гіперболи ($R^2 = 0,446$), що є криволінійними функціями.

З'ясовані модельні рівняння криволінійної регресії споживаної $N_{\text{од}}$ (кВт) і відносної $N_{\text{вк}}$ в кВт/(кг/с) потужності на привод робочих органів кузовних машин для внесення ТОД по пропускній спроможності q_c (кг/с) машин крім коефіцієнтів кореляції r і кореляційних відношень η та R^2 -коефіцієнтів характеризували також показником оцінювання вирівнювання $\lambda_{\text{пв}}$ експериментальних значень $N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ вирівняними потужностями за відповідними апроксимуючими залежностями та помилками S_y рівнянь регресії і коефіцієнтами детермінації k_d .

Модельне рівняння криволінійної регресії $N_{\text{од}}$ на q_c за зростаючою експонентою має вигляд:

$$N_{\text{од}} = 12,706 \exp(0,0356267 q_c) \quad (1)$$

при $r = 0,556$; $\eta = 0,636$; $R^2 = 0,309$; $\lambda_{\text{пв}} = 0,410$; $S_y = 13,62$ кВт і $k_d = 0,404$,
а модельне рівняння криволінійної регресії $N_{\text{вк}}$ на q_c за спадною гіперболою відповідно:

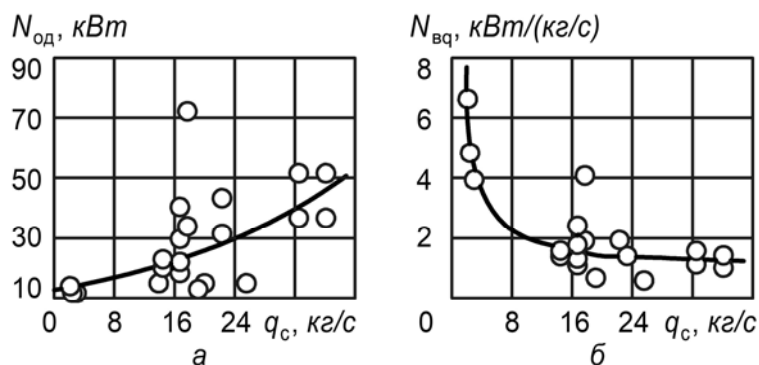
$$N_{\text{вк}} = 0,973 + 10,398 / q_c \quad (2)$$

при $r = -0,668$; $\eta = 0,875$; $R^2 = 0,446$; $\lambda_{\text{пв}} = 0,412$; $S_y = 7,12$ кВт/(кг/с) і $k_d = 0,766$.

Показник оцінювання вирівнювання «експериментальних» значень $N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ залежно від q_c дещо перевищує умову задовільної апроксимації, але за значеннями вимірників кореляційного зв'язку між результативними і факторіальною ознаками визначені рівняння регресії належним чином характеризують характер і форму кількісного зв'язку між досліджуваними потужностями і пропускною спроможністю машин. В рівнянні (1) зміни $N_{\text{од}}$ залежно від q_c перший член, що із заокругленням дорівнює 12,71, визначає за результатами опрацювання «експериментальних» даних мінімальну споживану потужність в кВт на привод робочих органів від ВВП трактора. Наближене до цього значення $N_{\text{од}}$, що дорівнює 11,7 та 14,0 кВт, властиве гноєрозкидачам ППТУ-3,5 та РПТМ-2,0А, за їх пропускної спроможності відповідно 2,42 і 2,11 кг/с. Одне з наближених до максимального значення $N_{\text{од}}$ біжуче значення $N_{\text{од}}$, що дорівнює 51,5 кВт, властиве гноєрозкидачу ПРТ-16, пропускна спроможність

якого за розрахунками становить 36,11 кг/с.

Асимптота рівняння (2), що описує зміну $N_{\text{вк}}$ залежно від q_c , із заокругленням дорівнює 1,0 і визначає мінімальне значення відносної потужності $N_{\text{вк}}$ в кВт/(кг/с) на привод робочих органів від ВВП трактора за рахунок підвищення пропускної спроможності кузовних машин для внесення ТОД. За одного із мінімальних значень $N_{\text{вк}}$, що властиве гноєрозкидачу ПРТ-16 і дорівнює 1,43 кВт/(кг/с), q_c наближене до максимальних значень і дорівнює 36,11 кг/с. Для деяких кузовних машин $N_{\text{вк}} = 0,59$ кВт/(кг/с) при $q_c = 25,55$ кг/с та 0,75 кВт/(кг/с) при $q_c = 20$ кг/с. На рисунку наведені кореляційні поля значень результативних ознак $N_{\text{од}}$ та $N_{\text{вк}}$ і факторіальної ознаки q_c та побудовані за рівняннями (1) і (2) модельні лінії криволінійної регресії за відповідно зростаючою експонентою (а) і спадною гіперболою (б).



$N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ – відповідно споживана і відносна потужність на привод робочих органів кузовних машин (КМ) для внесення твердих органічних добрив (ТОД) від вала відбору потужності трактора; q_c – пропускна спроможність КМ для внесення ТОД

Рисунок 1 – Вплив пропускної спроможності q_c кузовних машин для внесення твердих органічних добрив на споживану $N_{\text{од}}$ (а) і відносну $N_{\text{вк}}$ (б) потужність на привод робочих органів машин від вала відбору потужності трактора

Джерело: розроблено авторами

З рисунка (позиція «а») за поведінкою експоненти простежується, що в межах збільшення q_c до 16 кг/с споживана потужність зростає майже прямолінійно, а з подальшим збільшенням q_c понад 16 кг/с у прийнятому для побудови рисунка масштабі зростає дещо швидше. З наведеної на рисунку (позиція «б») спадної гіперболи, що описує зміну відносної потужності залежно від q_c , видно, що темп зниження $N_{\text{вк}}$ значно уповільнюється при збільшенні q_c понад 8 кг/с та продовжує знижуватися при збільшенні q_c від 8 до 16 кг/с. З подальшим збільшенням q_c відносна потужність продовжує знижуватися, але це зниження знаходиться в межах помилки рівняння (2).

Якщо зміну $N_{\text{од}}$ і $N_{\text{вк}}$ залежно від q_c подати рівняннями прямолінійної регресії відповідно з додатним ($R^2 = 0,309$) і від'ємним ($R^2 = 0,466$) кутовими коефіцієнтами, то за значеннями цих коефіцієнтів з підвищенням q_c на одиницю в межах досліджуваної її зміни $N_{\text{од}}$ зростає на 0,922 кВт, тобто майже на 1 кВт, а $N_{\text{вк}}$ зменшується на 0,106 кВт/(кг/с) за вільних членів рівнянь прямолінійної регресії відповідно 11,36 кВт і 4,04 кВт/(кг/с). За значеннями коефіцієнтів детермінації варіація споживаної потужності і варіація відносної потужності на привод робочих органів кузовних машин для внесення ТОД від ВВП трактора відповідно на 40,4 і 76,6% причинно зумовлені варіацією пропускної спроможності машин.

Висновки. Отримані в результаті дослідження статистичні моделі зміни споживаної і відносної потужності на привод робочих органів кузовних машин для внесення ТОД залежно від пропускної спроможності машин можуть бути використані

при розрахунках і проектуванні машин для удобрення ґрунту та їх виборі при комплектуванні парку сільськогосподарських машин в аграрних підприємствах.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку варто спрямувати на опрацювання передумов проектування кузовних машин для внесення твердих органічних добрив та їх використання в технологічному процесі удобрення ґрунту при вирощуванні сільськогосподарських культур в реальних умовах функціонування аграрних підприємств.

Список літератури

1. Павловский И.В. Основы проектирования машин для внесения удобрений в почву. Москва: Машиностроение, 1965. 214 с.
2. Якубаускас В.И. Технологические основы механизированного внесения удобрений. Москва: Колос, 1973. 231 с.
3. Озол Я.Г. Выбор оптимальных параметров навозоразбрасывателей. *Тракторы и сельхозмашины*. 1965. № 4. С. 20–22.
4. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підр. / Войтюк Д.Г. та ін.; за ред. Д.Г. Войтюка. Київ: Вища освіта, 2005. 464 с.
5. Войтюк Д.Г., Ягун С.С., Довжик М.Я. Сільськогосподарські машини: навч. посіб. / за ред. Д.Г. Войтюка. Суми: Університетська Книга, 2008. 543 с.
6. Хоменко С.М., Герук С.М., Міненко С.В., Савченко В.М. Результати лабораторних досліджень робочих органів машини для внесення органічних засобів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Технічні науки. Механізація сільськогосподарського виробництва*. Харків, 2012. Вип. 124. Т. 1. С. 121–125.
7. Мельник В.І., Романашенко О.А. Енергетична оцінка комплексів машин при внесенні добрив. *Інженерія природокористування: наук. журн. / засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2016. № 1 (5). С. 118–121.
8. Павленко С.І. Експериментальні дослідження показників роботи розкидача органічних добрив ПРТ-10 із двобарабаним навісним пристроєм. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів: наук. журн. засн.: Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2018. № 14. С. 156–164.
9. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы. Москва: Колос, 1980. 671 с.
10. Довідник сільського інженера / Гречкосій В.Д. та ін.; за ред. В.Д. Гречкосія. Київ: Урожай, 1991. 400 с.
11. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та, 1972. 292 с.
12. Венецкий И.Г., Венецкая В.И. Основные математико-статистические понятия и формулы в экономическом анализе: справочник. Москва: Статистика, 1979. 448 с.

References

1. Pavlovskij, I.V. (1965). *Osnovy proektirovaniya mashin dlja vnesenija udobrenij v pochvu* [Soil Fertilizer Design Fundamentals]. Moskva: Mashinostroenie [in Russian].
2. Jakubauskas, V.I. (1973). *Tehnologicheskie osnovy mehanizirovannogo vnesenija udobrenij* [Technological foundations of mechanized fertilization]. Moskva: Kolos[in Russian].
3. Ozol, Ja.G. (1965). Vybory optimal'nyh parametrov navozorazbrasyvatelej [The choice of optimal parameters of manure spreaders]. *Traktory i sel'hoz mashiny – Tractors and agricultural machines, Issue 4*, 20–22 [in Russian].
4. Vojtiuk, D.H. et al. (2005). Sil's'kohospodars'ki mashyny. Osnovy teorii ta rozrakhunku [Agricultural machinery. Basics of theory and calculation]. D.H. Vojtiuka (Ed.). Kyiv: Vyscha osvita [in Ukrainian].
5. Vojtiuk, D.H., Yahun, S.S. & Dovzhyk, M.Ya. (2008). *Sil's'kohospodars'ki mashyny* [Agricultural machinery]. D.H. Vojtiuka (Ed.). Sumy: Universytets'ka Knyha [in Ukrainian].
6. Khomenko, S.M., Heruk, S.M., Minenko, S.V. & Savchenko, V.M. (2012). Rezultaty laboratornykh doslidzhen' robochykh orhaniv mashyny dlja vnesennia orhanichnykh zasobiv [The results of laboratory studies of the working organs of the machine for applying organic agents]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva im. Petra Vasylenka. Tekhnichni nauky*.

- Mekhanizatsiia sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva – Bulletin of Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasylenko. Technical sciences. Mechanization of agricultural production, Issue 124, Vol. 1, 121–125 [in Ukrainian].*
7. Mel'nyk, V.I. & Romanashenko, O.A. (2016). Enerhetychna otsinka kompleksiv mashyn pry vnesenni dobryv [Energy assessment of machine complexes during fertilizer application] . *Inzheneriia pryrodokorystuvannia: nauk. zhurn – Engineering of nature management: science. journal, № 1 (5), 118–121 [in Ukrainian].*
 8. Pavlenko, S.I. (2018). Eksperymental'ni doslidzhennia pokaznykiv roboty rozkydacha orhanichnykh dobryv PRT-10 iz dvobarabannym navisnym prystroiem [Experimental studies of performance indicators of the spreader of organic fertilizers PRT-10 with a two-drum attachment device]. *Tekhnichnij servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv: nauk. zhurn. zasn. – Technical service of agro-industrial, forestry and transport complexes: science. journal base, 14, 156–164 [in Ukrainian].*
 9. Klenyn, N.Y. & Sakun, V.A. (1980). *Sel'skokhoziajstvennye y melyorativnye mashyny. Elementy teoryi rabochykh protsessov, raschet reghulyrovannykh parametrov y rezhymov raboty Agricultural and reclamation machines. [Elements of the theory of work processes, calculation of control parameters and operating modes].* Moskva: Kolos, [in Russian].
 10. Grechkosij, V.D. et al. (1991). *Dovidnik sil's'kogo inzhenera [Handbook of the rural engineer].* V.D. Grechkosija (Ed.). Kiïv: Urozhaj [in Ukrainian].
 11. Dmitriev, E.A. (1972). *Matematicheskaja statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science].* Moskva: Izd-vo Moskov. un-ta [in Russian].
 12. Veneckij, I.G. & Veneckaja, V.I. (1979). *Osnovnye matematiko-statisticheskie ponjatija i formuly v jekonomicheskom analize [Basic mathematical and statistical concepts and formulas in economic analysis].* Moskva: Statistika [in Russian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.
Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine.

Body Machines for the Application of Solid Organic Fertilizers: the Power to Drive the Working Bodies and the Capacity of the Machines

The purpose of the article was to find out the effect of the capacity of body machines for applying solid organic fertilizers on the power to drive the working bodies of these machines from the power take-off shaft of the tractor. The research methodology was based on the analysis of existing body machines for the application of solid organic fertilizers using information from manufacturers in the former Soviet Union and modern Ukraine. The generalization of the obtained information was carried out on the basis of correlation-regression analysis and with the use of standard computer programs the relative power was defined as the ratio of power consumption to machine capacity.

The scope of variation of machine capacity, consumption and relative power to drive the working bodies of the studied mechanization is determined, the arithmetic mean, standard deviation and coefficients of variation of factorial and performance characteristics are calculated. The correlation coefficients between power consumption and relative power and machine capacity have positive values of 0.556 and 0.668, respectively. The correlation between power consumption and relative capacity per capacity is 0.636 and 0.875, respectively. A nonlinear relationship is possible from the analysis of the values of correlation coefficients and correlation relations between the studied performance and factorial features.

The alignment of experimental values of consumption and calculated-experimental values of relative power depending on the capacity of machines for rectilinear and curvilinear functions with the calculation of R^2 -coefficient showed a change in consumption and relative power depending on capacity by equations of increasing exponent and decreasing hyperbole. With an increase in throughput of more than 16 kg / s, the rate of decrease in relative power slows down significantly.

body machines for applying solid organic fertilizers, power consumption and relative power to drive working bodies, capacity, correlation, regression equations

Одержано (Received) 16.02.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 629.017:631.3

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.134-143](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.134-143)**А.В. Новицький**, доц., канд. техн. наук*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна**e-mail: Novytskyy@nubip.edu.ua*

Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності сільськогосподарської техніки

Представлені етапи Програми забезпечення надійності засобів для приготування і роздавання кормів на стадії експлуатації та обслуговування. Встановлені основні складові етапів реалізації Програми забезпечення надійності. Підтверджена необхідність дослідження експлуатаційної надійності машин як складних технічних систем з використанням кількісних методів розрахунку. Визначені рекомендації для підвищення надійності засобів для приготування і роздавання кормів: підготовка персоналу який займається їх монтажем та експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом; організація системи збирання інформації про надійність; забезпечення системи технічного обслуговування і ремонту; дослідження причин відмов відремонтованих об'єктів; функціонування автоматизованого контролю технічного стану об'єкту.

програма забезпечення надійності, експлуатаційна надійність, засіб для приготування і роздавання кормів, керівні матеріали

Постановка проблеми. Тваринницька галузь має важливе значення для аграрної сфери України, а надійне та ефективне її функціонування є необхідною умовою високих і стійких темпів техніко-економічного зростання нашої держави, забезпечення сировиною промисловості, підвищення якості життя населення та забезпечення його продуктами харчування.

Для реалізації завдань з ефективного виробництва продукції тваринництва особливе місце займає годівля повноцінними кормовими сумішами. Існуючі засоби для приготування і роздавання кормів (ЗПРК) характеризуються різноманітністю конструкцій як самих машин, так і окремих механізмів, що суттєво впливає на їх надійність та ефективність використання.

Ефективне використання ЗПРК – це стійка тенденція технології годівлі худоби на сучасних фермах [8, 25] за великого розмаїття типів, модифікацій, виконань зазначених машин. Лише на європейському ринку техніку для тваринництва, включаючи ЗПРК, представляють близько 30 фірм-виробників із загальним щорічним збутом понад 10 тисяч одиниць машин та обладнання [25].

В останні роки в Україні виробництвом сучасних ЗПРК займається цілий ряд машинобудівних підприємств [6, 25]: ТДВ «Брацлав» [26], ТОВ «Демі-мікс-Україна» [27], ТОВ «Уманьфермаш» [28] та ПАТ «Галещина Машзавод» [29].

Проблема дослідження надійності та ефективності сучасних сільськогосподарської техніки є багатоаспектною та багатогранною, оскільки включає питання їх формування та розвитку, модернізації та інноваційного розвитку, безпосереднього наповнення змісту структури та сукупності процесів, що вони забезпечують [1, 11, 18].

Як показує аналіз літературних джерел, для визначення критеріїв і факторів ефективної експлуатації ЗПРК необхідний новий науковий підхід у дослідженнях, який дає можливість реалізувати надійність машини, адекватно реагувати на поведінку людини-оператора [12, 16, 23], оперативно враховувати зміни зовнішнього середовища, впливати на формування зоотехнічних вимог кормової суміші [5, 11, 21].

Незважаючи на те, що в тваринництві України використовуються різні технології приготування і роздавання кормів, а відповідно різні ЗПРК для їх реалізації, великі аграрні холдинги та компанії використовують машини іноземного виробництва, переважно Seko, Marmix, De Laval, SilokingSporti, Walker, Tatoma та багато інших [6, 25]. Але поряд з великою кількістю заводів-виробників та цілою гаммою сучасних ЗПРК іноземного виробництва, споживачів сільськогосподарської техніки цікавить питання їх обґрунтованого вибору, ефективного і надійного використання, сервісного обслуговування та підтримання працездатності [17, 19, 22].

Як показує аналіз ДСТУ [13, 14], Програма забезпечення надійності (ПЗН) сільськогосподарської техніки повинна передбачати забезпечення основних її властивостей і показників на етапах проектування, виробництва та експлуатації. Разом з тим є цілий ряд положень та науково-практичних підходів, які ще не реалізовані в повній мірі або ж недостатньо розглядалися ПЗН сільськогосподарської техніки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В наукових статтях останніх років визначився комплекс досліджень, який включає удосконалення конструкції та підвищення ефективності використання ЗПРК [1, 7, 15], вивчення технологічних та технічних передумов приготування кормів [8, 18]. Заслужує на увагу ряд наукових статей, що присвячені моніторингу показників надійності сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів на основі вивчення досвіду зарубіжних компаній [6, 25] та моніторингу статистичної інформації про забезпеченість аграрних підприємств машинами та обладнанням для тваринництва [17, 25].

Відомий цілий рід досліджень, що направлені на формування надійності машин та обладнання для тваринництва, як складних біотехнічних систем [18], включаючи складні технічні системи (СТС) «Людина-Машина» («ЛМ») [9, 12], «Людина-Машина-Середовище» («ЛМС») [9, 18] та «Людина-Машина-Тварина» («ЛМТ») [2, 16].

Особливе значення в роботах, що присвячені оцінці та забезпеченню надійності СТС «ЛМ», «ЛМТ», «ЛМС» займає оцінка впливу складової «людина-оператор» на надійність СТС [2, 9, 16].

Для забезпечення ефективності експлуатації та надійності ЗПРК були розроблені логіко-імовірнісні [5, 21] та логіко-імітаційні моделі надійності систем [2, 23].

В цьому аспекті слід також звернути увагу на дослідження, що присвячені вивченню впливу експлуатаційних факторів на технічний стан ЗПРК [19, 24], на ефективність та надійність їх експлуатації [11, 17].

В окремих публікаціях автори пропонують з метою забезпечення показників надійності машин використати результати детального аналізу та синтезу керівних матеріалів на використання машин, включаючи конструкторську, експлуатаційну та ремонтну документацію [6, 22, 24].

Постановка завдання. Метою проведення досліджень є формування ПЗН сільськогосподарської техніки за рахунок заходів керування надійністю.

Виклад основного матеріалу. Програма забезпечення надійності є важливим документом в машинобудуванні та інженерії, що входить до державних стандартів України [13, 14]. ПЗН встановлює комплекс взаємообумовлених організаційно-технічних вимог та заходів, які необхідно проводити на відповідних етапах життєвого

циклу об'єкта дослідження і спрямовані на забезпечення заданих вимог щодо надійності та підвищення надійності [13, 14].

Керування надійністю, згідно ДСТУ [14], передбачає собою цілеспрямовану діяльність щодо обґрунтування, планування, забезпечення, підвищення та підтримки характеристик безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності та збереженості об'єктів дослідження.

Разом з тим, аналіз ПЗН показує, що є цілий ряд положень та науково-практичних підходів, які ще не реалізовані в повній мірі або ж недостатньо розглядались при реалізації заходів забезпечення надійності сільськогосподарської техніки. Слід зазначити, що реалізація заходів забезпечення надійності у форматі ПЗН є актуальною для більшості видів машин та обладнання агропромислового комплексу, включаючи ЗПРК.

Аналіз надійності ЗПРК за результатами формування ПЗН повинен включати наступні етапи [13]: на стадії проектування та розробки; на стадії виготовлення та встановлення; на стадії експлуатації та обслуговування. Науковий і практичний інтерес представляє найбільш відповідальний, третій етап, який передбачає аналіз надійності ЗПРК на стадії експлуатації та обслуговування. Згідно ДСТУ [13, 14] для реалізації ПЗН ЗПРК передбачено виконання наступних етапів робіт щодо аналізу та забезпечення надійності на стадії експлуатації та обслуговування. Аналіз:

- наявності та повноти ПЗН та керівних документів на експлуатацію об'єктів;
- дотримання правил і режимів експлуатації;
- організації системи збирання інформації про надійність об'єкта, складових частин і комплектуючих елементів;
- системи технічного обслуговування та ремонту (СТОР);
- достатності ЗІП (запасних частин, інструментів, приладів);
- функціонування засобів автоматизованого контролю та технічної документації;
- ефективності досліджень причин відмов відремонтованих об'єктів;
- методики навчання персоналу правилам забезпечення надійності в процесі експлуатації та під час проведення ремонту і технічного обслуговування.

Нами проведено аналіз наукових робіт та окремих досліджень, що направлені на оцінку технічного стану машин [19, 22], забезпечення надійності [3, 6, 11], формування ПЗН ЗПРК. Важливе значення для реалізації ПЗН ЗПРК має проведення детального аналізу зазначених етапів стадії експлуатації та обслуговування, та формування основних складових, які є визначальними для керування надійністю.

Основою Програми забезпечення надійності ЗПРК є безпосередньо сформована ПЗН та керівні матеріали на експлуатацію об'єкту дослідження.

Організація системи збирання інформації про надійність ЗПРК, складових частин і комплектуючих елементів повинна включати: встановлення основних показників, за якими проводяться випробування на надійність; призначення планів випробувань на надійність; встановлення достовірності інформації про показники надійності.

До складу комплексу ЗІП входять складальні одиниці, блоки та агрегати, які необхідні для підтримання та відновлення справності та працездатності ЗПРК при технічному обслуговуванні та ремонті. Достатність ЗІП ЗПРК може бути оцінена за наступних умов: при вивченні нормативно-технічної документації; аналізі протоколів випробувань; виходячи з досвіду експлуатації.

Методики навчання персоналу правилам забезпечення надійності включають наступні складові: майстер-класи для операторів машин та слюсарів-ремонтників;

програми підвищення кваліфікації операторів машин та слюсарів-ремонтників; встановлення професійно важливих якостей для працівників.

Оцінка ефективності досліджень причин відмов відремонтованих об'єктів передбачає: встановлення причин виникнення відмов; розподіл відмов за групами складності; визначення трудомісткості усунення відмов.

Система технічного обслуговування і ремонту включає: встановлення періодичності технічного обслуговування і ремонту; розробку схем монтажу-демонтажу деталей та вузлів; розробку маршрутних та операційних карт відновлення працездатності деталей та ремонту агрегатів.

Оцінка наявності та особливостей функціонування автоматизованого контролю та нормативно-технічної документації передбачає інформацію: про можливості діагностування об'єктів дослідження; критерії технічного стану механізмів і вузлів ЗПРК.

Важливим також є етап дотримання правил і режимів експлуатації машини, який включає отримання наступної інформації: про режими введення в експлуатацію та обкатку; вимоги щодо зберігання.

Результатом проведеного аналізу є представлена на рис. 1. Схема реалізації Програми забезпечення надійності засобу для приготування і роздавання кормів. При формуванні ПЗН повинні бути реалізовані складові (рис. 1), які є визначальними для керування надійністю ЗПРК. Необхідно звернути увагу на те, що для ЗПРК, представлені етапи супроводжуються науковими роботами автора представленої статті.

Але слід зазначити, що представлені етапи ПЗН ЗПРК, потребують детального вивчення та аналізу, порівняння та співставлення, теоретичних та експериментальних досліджень для забезпечення надійності. Адже ЗПРК вітчизняного та іноземного виробництва постійно удосконалюються: змінюється їх конструкції; покращуються їх технічні характеристики, зростають вимоги споживачів.

Для вирішення задекларованих ПЗН ЗПРК питань необхідно провести дослідження експлуатаційної надійності ЗПРК як складних технічних систем (ЕН ЗПРК СТС) з використанням кількісних методів: схеми функціональної цілісності; структурних блок-схем надійності [17]; дерева відмов [4, 20]; логіко-імовірнісних моделей надійності [5, 21]; графа станів та переходів [2, 9, 23]; прогнозування надійності [9, 12]; схеми експертної оцінки [16]. За рахунок використання кількісних методів дослідження експлуатаційної надійності ЗПРК як складних технічних систем є можливість комплексного вирішення проблеми їх ефективного використання та підтримання працездатності.

Для реалізації ПЗН необхідно звернути увагу на організацію системи збирання інформації про надійність ЗПРК, включаючи випробування на надійність. Зазначена складова є проблемною, потребує детального вивчення, може бути підсилена інформацією з протоколів випробувань заводів-виробників, сервісних центрів, агрофірм.

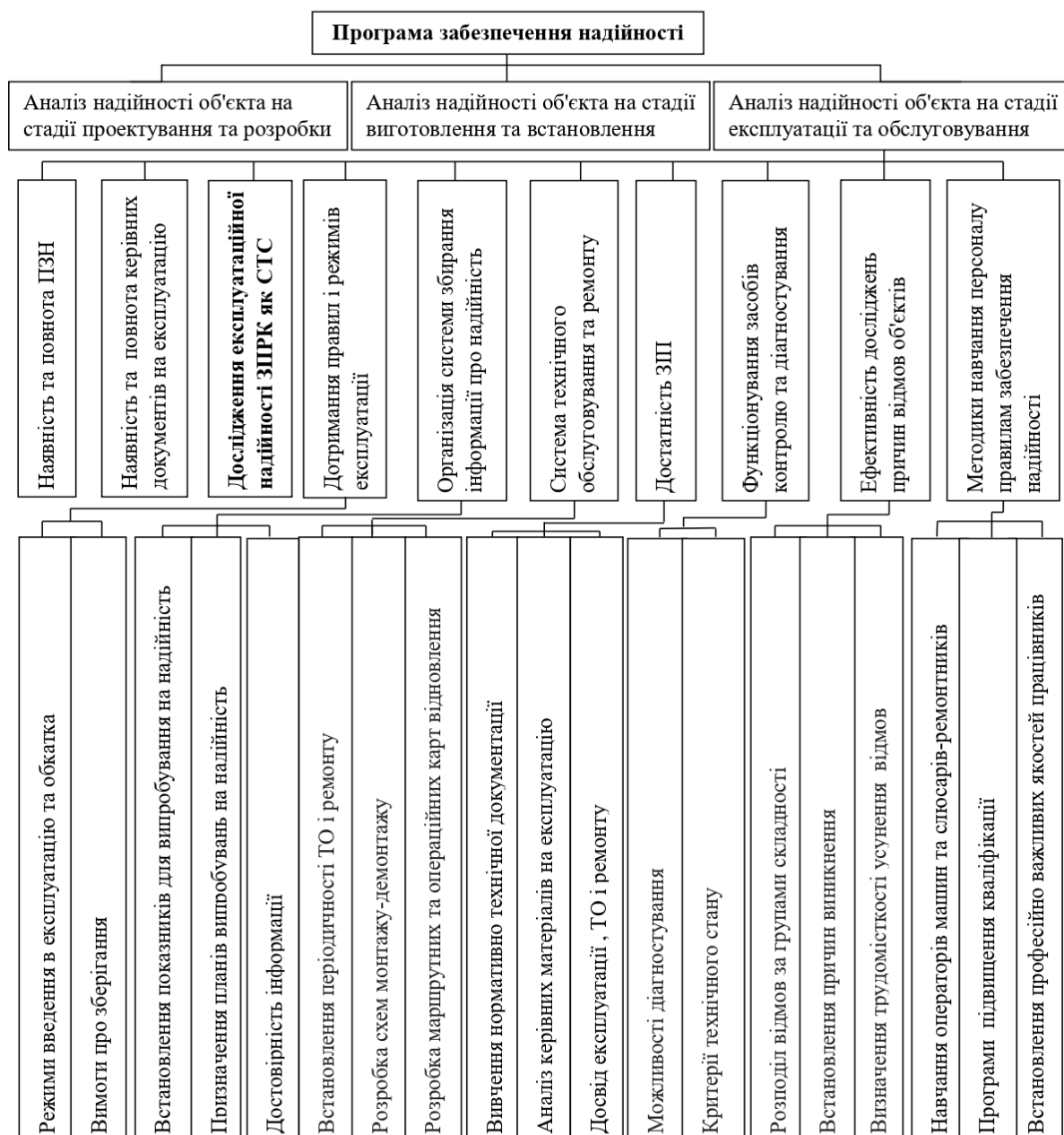


Рисунок 1 – Програма забезпечення надійності засобу для приготування і роздавання кормів
Джерело: розроблено автором

ПЗН ЗПРК передбачає аналіз наявності та особливостей функціонування автоматизованого контролю технічного стану об'єкту дослідження. Важливими і актуальними в напрямі забезпечення надійності ЗПРК як складних технічних систем, могли б бути наукові роботи, в яких досліджувались аспекти інформаційного забезпечення складної сільськогосподарської техніки, та відповідність інженерно-психологічним вимог до машин. В цьому контексті, перспективними є дослідження інженерно-психологічних вимог до механізмів ЗПРК: до засобів відображення інформації; до органів керування; до побудови системи відображення і виведення інформації [3, 6].



Рисунок 2 – Методи дослідження експлуатаційної надійності ЗПРК як складних технічних систем

Джерело: розроблено автором

Широкі перспективи для реалізації ПЗН ЗПРК має використання систем телеметрії. З 2021 року в базовій комплектації сільськогосподарських машин компанії KUNN встановлена система телеметрії [30]. Система телеметрії – це сучасне технологічне рішення, за допомогою якого аграрії можуть отримати інформацію про маршрути виконання технологічних операцій та години роботи агрегату, звіти про виконану роботу за певний період часу та за сезон, рекомендації щодо технічного обслуговування та заміну робочих органів. Зазначена опція дає можливість отримувати корисну інформацію про стан сільськогосподарської техніки та її напрацювання.

Слід звернути також увагу на той факт, що в багатьох керівних матеріалах на експлуатацію ЗПРК [24] відсутня інформація про підготовку персоналу який займається їх монтажем та експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом, зберіганням та утилізацією. ПЗН ЗПРК передбачена розробка методичних підходів до навчання операторів машин, слюсарів сервісної служби та слюсарів-ремонтників правилам забезпечення надійності машин. Саме зазначена складова ПЗН ЗПРК отримала детальне вивчення в наукових статтях [9, 12], в яких підтверджена її актуальність та необхідність подальшого дослідження та впровадження.

Висновки. Розвиток техніки і технологій, складність взаємозв'язків технічних об'єктів, вплив людського фактору викликають необхідність розробки науково-обґрунтованих принципів і єдиних підходів для формування Програми забезпечення надійності ЗПРК.

1. Підтверджена актуальність використання наукового підходу до формування ПЗН ЗПРК.

2. Встановлено, що для окремих керівних матеріалів на експлуатацію ЗПРК відсутня інформація про показники надійності та критерії граничного стану робочих органів.

3. Резервом забезпеченні надійності ЗПРК є методична підготовка персоналу який займається їх монтажем та експлуатацією, технічним обслуговуванням та ремонтом.

4. Потребує детального вивчення організація системи збирання інформації про надійність ЗПРК, включаючи випробування на надійність.

5. Перспективним для реалізації ПЗН ЗПРК є використання систем телеметрії для отримання інформації про стан сільськогосподарської техніки та її напруження.

6. Доцільно в межах реалізації ПЗН ЗПРК забезпечити організацію зворотного зв'язку з етапами проектування та виготовлення.

Список літератури

1. Aulin V., Hrynkiv A., Lyashuk O., Vovk Y., Lysenko S., Holub D., Zamota T., Pankov A., Sokol M., Ratynskiy V., Lavrentieva O., (2020). Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center Communications . *Scientific Letters of the University of Zilina*, 22 (2), pp. 3-14.
2. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics . Journal of Production Research*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174.
3. Novitskiy A., Karabinshos S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics* . Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.
4. Novitskiy Andriy, Bannyi Oleksandr. Аналіз надійності засобів для приготування і роздавання кормів методом дерева відмов. *MOTROL*. Lublin. 2011. Vol. 13B. P. 117–123.
5. Novitskiy Andriy, Bannyi Oleksandr. Логико – вероятностные модели надёжности сложной техники *MOTROL*. Lublin. 2012. Vol. 14. No P. 184 –190.
6. Novitskiy Andriy. Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL*. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 123–128.
7. Pylypaka S.F., Klendii M.B., Trokhaniak V.I., Pastushenko A.S., Novitskiy A.V., (2020), Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series*. №1 (97). 2020. Karaganda. pp. 122–131.
8. Vasyl Khmelovskiy, Volodymyr Otchenashko, Semen Voloshyn, Olena Pinchevska, (2020), Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms. *Proceedings of 18th International Scientific Conference “Engineering for rural development”*. Jelgava, Latvia, pp. 778–783.
9. Zinoviy Ruzhylo, Andriy Novitskii, Dmytro Milko, Volodymyr Bulgakov, Ivan Beloev, Adolfs Rucins. Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava, 2022. pp. 911-917. <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2022/Papers/TF288.pdf>.
10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Ступінь забезпечення надійності та якості пасажирських і вантажних автомобільних перевезень в Україні національними та міжнародними стандартами. *Вісник Інженерної Академії України*. 2016. №3. С. 156–162.
11. Бойко А. І., Новицький А. В. Сучасні проблеми забезпечення надійності машин для приготування і роздавання кормів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільськогосподарства імені Петра Василенка*. 2010. Вип. 100. С. 119–126.
12. Бойко А. І., Новицький А. В., Банний О. О. Оцінка надійності системи «людина-машина» в умовах зниження рівня її працездатності й удосконаленні складової «людина-оператор». *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. Вип. 43, ч. II. С. 32–38.
13. ДСТУ 2861-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Основні положення. Видання офіційне. Держстандарт України. Київ. 16 с.
14. ДСТУ 2863-94. Надійність техніки. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. (2863-94).
15. Ловейкін В. С., Хмельовський В. С., Гудова А. В. Підвищення ефективності роботи мобільних змішувачів-роздавачів кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: механізація і автоматизація виробничих процесів*. 2016. Вип. 10/2 (30). С. 107–111.
16. Новицький А. В., Мельник В. И., Билоус М. С. Формирование профессионально важных качеств инженерно-технического персонала при обслуживании сельскохозяйственной техники. *Сборник научных трудов SWorld*, 18 – 30 Марта. Технические науки. Иваново. 2014. Том 3. С. 63–67.
17. Новицький А. В. Дослідження динаміки зміни показників надійності засобів для приготування і роздачі кормів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2016. Вип. 241. С. 334–338.
18. Новицький А. В. Огляд теоретичних досліджень надійного функціонування складних технічних систем у тваринництві. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і*

- природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. 2016. Вип. 254. Ч. 3. С. 221–335.
19. Новицький А. В., Банний О. О., Бистрий О. М. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан сільськогосподарської техніки. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2021. Vol. 12. No 4. P. 39–46.
 20. Новицький А. В., Кропивко С. В. Оцінка надійності системи приготування та роздавання кормів «людина-машина-середовище» методом дерева відмов. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2011. Вип. 166. Ч. 2. С. 179–186.
 21. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Логіко-імовірнісна модель надійності засобів для приготування і роздавання кормів. *Вісник Сумського національного аграрного університету: Серія: механізація та автоматизація виробничих процесів*. 2016. Вип. 10(2). С. 137 – 141.
 22. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 264 (2017). С. 293–303.
 23. Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & energetics. Journal of Production Research*. 2019. Vol. 10. No. 2. P. 89–96.
 24. Новицький А. В., Харківський І. С., Новицький Ю. А. Моніторинг технічного стану сільськогосподарської техніки за керівними матеріалами на її експлуатацію. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2021. Vol. 12, No 4. P. 85–93.
 25. Новицький А.В., Банний О.О. Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів з досвіду зарубіжних компаній. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. 2020. Vol. 11, No 2. P. 115–124.
 26. Кормозмішувач «Брацлав». URL: <https://bratslav.com/nasha-produkcija/kormosmesitel-braslav>. (дата звернення 01.08.2022).
 27. Кормозмішувачі-для-тваринництва. URL: <https://demi-mix.com.ua/product-category/Кормозмішувачі-для-тваринництва>. (дата звернення 01.08.2022).
 28. Уманьферммаш. URL: <https://fermmash.in.ua/product/razmotchik-rulonov-rr-1>. (дата звернення 29.07.2022).
 29. Кормосмесители. URL: <https://galmash.com.ua/catalog/kormosmesiteli>. (дата звернення 29.07.2022).
 30. Плуги KUHN Multi-Leader тепер з телеметрією в базовій комплектації. URL: <http://milkua.info/uk/post/plugi-kuhn-multi-leader-teper-z-telemetry-v-bazovij-komplektacii>. (дата звернення 29.07.2022).

References

1. Aulin, V., Hrynkiv, A., Lyashuk, O., Vovk, Y., Lysenko, S., Holub, D., Zamota, T., Pankov, A., Sokol, M., Ratynskiy, V. & Lavrentieva, O. (2020). Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the "Uvk Ukraine" company transport and logistics center Communications - *Scientific Letters of the University of Zilina*, 22 (2), pp. 3-14 [in English].
2. Boyko, A. & Novitskiy, A. (2018). Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics . Journal of Production Research*. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174 [in English].
3. Novitskiy, A., & Karabinhosh, S. (2018). Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics , Vol. 9, No. 2*, 241, P. 106-121 [in English].
4. Novitskiy, Andriy & Bannyi, Oleksandr. (2011). Analiz nadiinosti zasobiv dla pryhotuvannia i rozdavannia kormiv metodom dereva vidmov. *MOTROL. Lublin. Vol. 13B. R.* 117–123 [in English].
5. Novitskiy, Andriy & Bannyi, Oleksandr. (2012). Lohyko – veroiatnostnyye modeli nadězhnosti slozhnoi tekhniky *MOTROL. Lublin. Vol. 14. No R.* 184 –190 [in English].
6. Novitskiy, Andriy (2017). Forming reliability of means for preparation and disposal of forage. *MOTROL. Lublin. Vol. 19. No 3. R.* 123–128 [in English].
7. Pylypaka, S.F., Klendii, M.B., Trokhaniak, V.I., Pastushenko, A.S. & Novitskiy, A.V. (2020), Movement of a material particle on an inclined plane all the points of which describe circles in oscillatory motion in the same plane. *Bulletin of the Karaganda University. Mathematics Series. №1 (97)*. Karaganda. p. 122–131 [in English].
8. Vasyly, Khmelovskiy, Volodymyr, Otchenashko, Semen, Voloshyn & Olena, Pinchevska, (2020). Providing processes of preparation and distribution of feed for cattle on animal husbandry farms.

- Engineering for rural development : *Proceedings of 18th International Scientific Conference* . Jelgava, Latvia, pp. 778–783 [in English].
9. Zinoviy, Ruzhylo, Andriy, Novitskii, Dmytro, Milko, Volodymyr, Bulgakov, Ivan, Beloev & Adolfs Rucins. (2022). Mathematical model for reliability assessment of device for preparation and distribution of animal feed as “Man-Machine”. *Engineering for rural development*. 25-27.05.2022 Jelgava, rr. 911-917. Retrieved from <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2022/Papers/TF288.pdf> [in English].
 10. Aulin, V.V., Holub, D.V. & Hrynkiv, A.V. (2016). Stupin zabezpechennia nadiinosti ta yakosti pasazhyrskykh i vantazhnykh avtomobilnykh perevezen v Ukraini natsionalnymi ta mizhnarodnymi standartamy [The degree of ensuring the reliability and quality of passenger and cargo road transportation in Ukraine by national and international standards]. *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy - Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 3. 156–162 [in Ukrainian].
 11. Boiko, A.I. & Novytskyi, A.V. (2010). Suchasni problemy zabezpechennia nadiinosti mashyn dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv [Modern problems of ensuring the reliability of machines for preparing and distributing fodder]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, Issue 100*, 119–126. [in Ukrainian].
 12. Boiko, A.I., Novytskyi, A.V. & Bannyi, O.O. (2013). Otsinka nadiinosti systemy «liudyna-mashyna» v umovakh znyzhennia rivnia yii pratsездatnosti y udoskonalenni skladovoi «liudyna-operator» [Assessment of the reliability of the "man-machine" system in the conditions of a decrease in its efficiency and improvement of the "man-operator" component]. *Konstruiuvannya, vyrobnyctvo ta ekspluatatsiya sil'skohospodars'kykh mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery, Issue. 43, part. II*, 32–38 [in Ukrainian].
 13. Nadiinist tekhniky. Analiz nadiinosti. Osnovni polozhennia. Vydannia ofitsiine. [Reliability of equipment. Reliability analysis. Substantive provisions. The publication is official.] . (1994). *DSTU 2861-94*. Derzhstandart Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].
 14. Nadiinist tekhniky. Prohrama zabezpechennia nadiinosti. Zahalni vymohy [Reliability of equipment. Reliability program. general requirements]. *DSTU 2863-94*. Derzhstandart Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].
 15. Loveikin, V.S., Khmelovskiy, V.S. & Hudova, A.V. (2016). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty mobilnykh zmishuvachiv-rozdavachiv kormiv [Improving the efficiency of mobile mixers-distributors of fodder]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: mekhanizatsiia i avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv – Bulletin of the Sumy National Agrarian University. Series: mechanization and automation of production processes, Issue 10/2 (30)*, 107–111 [in Ukrainian].
 16. Novickij, A.V., Mel'nik, V.I. & Bilous, M.S. (2014). Formirovanie professional'no vazhnykh kachestv inzhenerno-tehnicheskogo personala pri obsluzhivanii sel'skohozajstvennoj tehniky [Formation of professionally important qualities of engineering and technical personnel in the maintenance of agricultural machinery]. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld, (18 – 30 Marta). Tehnicheskie nauki – Collection of scientific papers SWorld. Technical science, Vol. 3*, 63–67 [in Russian].
 17. Novytskyi, A.V. (2016). Doslidzhennia dynamiky zminy pokaznykiv nadiinosti zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdachi kormiv [Study of the dynamics of changes in the reliability indicators of means for the preparation and distribution of fodder]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: agricultural machinery and energy, Issue. 241*, 334–338[in Ukrainian].
 18. Novytskyi, A.V. (2016). Ohliad teoretychnykh doslidzen nadiinoho funktsionuvannia skladnykh tekhnichnykh system u tvarynnystvi [Review of theoretical studies of reliable functioning of complex technical systems in animal husbandry]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: agricultural machinery and energy, Issue 254, part. 3*, 221–335[in Ukrainian].
 19. Novytskyi, A.V., Bannyi, O.O. & Bystryi, O.M. (2021). Doslidzhennia vplyvu ekspluatatsiinykh faktoriv na tekhnichniy stan silskohospodarskoi tekhniky [Study of the influence of operational factors on the technical condition of agricultural machinery]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Vol. 12. No 4*, R. 39–46 [in Ukrainian].
 20. Novytskyi, A.V. & Kropyvko, S.V. (2011). Otsinka nadiinosti systemy pryhotuvannia ta rozdavannia kormiv «liudyna-mashyna-seredovyshche» metodom dereva vidmov [Evaluation of the reliability of the "man-machine-environment" feed preparation and distribution system using the failure tree method]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: agricultural machinery and energy, Issue 166, part. 2*, 179–186 [in Ukrainian].

21. Novytskyi, A.V. & Novytskyi, Yu.A. (2016). Lohiko-imovirnisna model nadiinosti zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv [Logical-probabilistic model of the reliability of means for preparing and distributing fodder]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: Serii: mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkh protsesiv – Bulletin of the Sumy National Agrarian University: Series: mechanization and automation of production processes, Issue 10(2)*, 137 – 141 [in Ukrainian].
22. Novytskyi, A.V. & Novytskyi, Yu.A. (2017). Tekhnichna otsinka spozhyvchikh yakosti silskohospodarskoi tekhniki [Technical assessment of consumer qualities of agricultural machinery]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine. Series: Technology and energy of agricultural industry, Issue 264 (2017)*, 293–303 [in Ukrainian].
23. Novytskyi, A.V. & Ruzhylo, Z.V. (2019). Vyznachennia funktsii hotovnosti system «liudyna – mashyna» pry zrostanti intensyvnopei vidmov [Determining the readiness function of "man-machine" systems with increasing failure intensities]. *Machinery & energetics. Journal of Production Research, Vol. 10, No. 2*, R. 89–96 [in Ukrainian].
24. Novytskyi, A.V., Kharkovskyi, I.S. & Novytskyi, Yu.A. (2021). Monitorynh tekhnichnoho stanu silskohospodarskoi tekhniki za kerivnymy materialamy na yii ekspluatatsiiu [Monitoring of the technical condition of agricultural machinery according to guidance materials for its operation.]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, Vol. 12, No 4*, R. 85–93 [in Ukrainian].
25. Novytskyi, A.V. & Bannyi, O.O. (2020). Nadiinist silskohospodarskoi tekhniki v systemi innovatsiinykh protsesiv z dosvidu zarubizhnykh kompanii [Reliability of agricultural machinery in the system of innovative processes from the experience of foreign companies]. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research, Vol. 11, No 2*, R. 115–124 [in Ukrainian].
26. Kormozmishuvach «Bratslav» [Feed mixer "Bratslav"]. *bratslav.com*. Retrieved from <https://bratslav.com/nasha-produkcija/kormosmesitel-braclav> [in Ukrainian].
27. Kormozmishuvachi-dlia-tvarynnystva [Feed mixers for animal husbandry]. *demi-mix.com.ua*. Retrieved from <https://demi-mix.com.ua/product-category/Kormozmishuvachi-dlia-tvarynnystva> [in Ukrainian].
28. Umanfermmash [Umanfermmash]. *fermmash.in.ua* Retrieved from <https://fermmash.in.ua/product/razmotchik-rulonov-rr-1> [in Ukrainian].
29. Kormosmesytely [Fodder mixers]. *galmash.com.ua*. Retrieved from <https://galmash.com.ua/catalog/kormosmesiteli> [in Ukrainian].
30. Pluhy KUHN Multi-Leader teper z telemetriieiu v bazovii komplektatsii [KUHN Multi-Leader plows now come with telemetry as standard equipment]. *milku.info*. Retrieved from <http://milku.info/uk/post/plugi-kuhn-multi-leader-teper-z-telemetriieiu-v-bazovij-komplektacii> [in Ukrainian].

Andrey Novitskiy, Assoc. Prof., Ph.D. tech. Sciences

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

Methodological Approaches to the Formation of the Program for Ensuring the Reliability of Agricultural Equipment

Modern trends in agriculture involve the use of the latest reliable equipment. The specified requirements are met by samples of equipment manufactured by well-known global and domestic machine-building plants. A part of the agricultural machinery market of Ukraine is occupied by means for preparing and distributing fodder. The effectiveness of the use of agricultural machinery depends on the existing regulatory and technical documentation for its operation and measures to ensure reliability.

The purpose of the research is to increase the efficiency of the operation of agricultural machinery due to the formation and implementation of the Program for ensuring its reliability.

The stages of the Program for ensuring the reliability of means for preparing and distributing fodder at the stage of operation and maintenance are presented. The main components of the implementation stages of the Reliability Assurance Program have been established. The need to study the operational reliability of machines as complex technical systems using quantitative calculation methods is confirmed. Recommendations for increasing the reliability of means for preparing and distributing fodder are defined: training of personnel engaged in their installation and operation, maintenance and repair; organization of the reliability information collection system; maintenance and repair system provision; research into the causes of failures of repaired objects; functioning of the automated control of the facility's technical condition.

reliability program, operational reliability, means for preparing and distributing feed, guidance materials

Одержано (Received) 06.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 17.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 631.331

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.144-156](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.144-156)**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна**e-mail: AulinVV@gmail.com***О.Д. Деркач**, доц., канд. техн. наук, **Д.О. Макаренко**, доц., канд. техн. наук,**Є.С. Муранов**, **Д.І. Крутоус***Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна**e-mail: Derkach_dsau@i.ua, flymakd@gmail.com*

Підвищення довговічності трибоспряжень застосуванням полімерних композиційних матеріалів

Розглянуто зміни геометричних розмірів деталей посівної секції під дією навантажень в процесі експлуатації. Визначення навантаження, що діють у трибоспряженнях посівної секції. Обґрунтовано математичну модель визначення радіальних, кутових зміщень та величини деформацій. Експериментальними дослідженнями встановлено, що швидкість зношування (0,003 г/год) деталей з ПКМ має лінійну залежність від напруження, що дозволяє спрогнозувати ресурс трибоспряжень.

підвищення довговічності, трибоспряження, установочні деформації, полімерно-композиційні матеріали, величина зносу

Постановка проблеми. Обсяг і якість майбутнього урожаю у великій мірі залежить від темпу проведення посівних робіт. У свою чергу темп робіт залежить від: технічного рівня посівного агрегату (ПА), робочої швидкості ПА, тривалості простоїв під час завантаження насінням, добривами, проведення технічного обслуговування (ТО), рівнем організації робіт тощо. В сучасному землеробстві, в агропідприємствах незалежно від розміру земельного банку сівбу намагаються здійснити у найкоротші терміни, у відповідності до агровимог: за 1...2 дні на одному полі. Це потребує використання або значної кількості машинно-тракторних агрегатів, або підвищувати темп робіт.

Аналіз стану питання. Найбільш розповсюдженими шляхами підвищення темпу посівних робіт є збільшення робочої швидкості ПА та мінімізація простоїв. Проте, підвищення робочої швидкості має ряд недоліків, а саме: суттєве зростання затрат енергії на технологічний процес [1] та погіршення якості сівби [2]. Саме рівномірність укладання насіння в посівному ложі та рівномірність загортання насіння по глибині є основними струмуючими факторами підвищення робочої швидкості ПА [3-5]. Якщо якийсь із цих двох факторів не відповідає агровиимогам, робочу швидкість ПА зменшують.

Одним із способів підвищення темпу робіт ПА є розробка необслуговуваних паралелограмних механізмів посівних машин шляхом застосування в трибоспряженнях полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [6, 7]. Застосування ПКМ дозволило зменшити простоювання на ТО за рахунок використання самозмашувальних складових в ПКМ, підвищити точність укладання насіння на задану глибину, підвищити довговічність ПА в цілому. Такі рішення були науково-обґрунтовані [8], а їх застосування отримало подальший розвиток [9]. Авторами запропоновано

модернізувати застосуванням ПКМ ряд посівних машин різного призначення і продуктивності, тобто, різного класу. Серед них такі, наприклад, як John Deere 1895/95, John Deere 7000/7800, Kinze 3000, Gaspardo SP8, Grait Plans ZP 500 та ряд інших сівалок.

Однак, у вказаних вище джерелах, автори схиляються до використання у всіх наведених та інших модернізованих посівних машинах всього двох композитів: УПА-6-30 та УПА-6-40. Тобто, для модернізації паралелограмних механізмів сівалок, що мають різне завантаження протягом року застосовувався однаковий ПКМ. У цьому полягає нераціональність застосування деталей з однаковим ресурсом для сівалок, що мають різне річне завантаження і довговічність.

Постановка завдання. Мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні режимів роботи деталей типового паралелограмного механізму, визначенню величини установочних деформацій та оптимальних режимів роботи деталей з ПКМ.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- теоретично обґрунтувати процес зміни геометричних розмірів деталей;
- уточнити силову картину в спряженнях посівної секції та паралелограмного механізму;
- обґрунтувати оптимальні режими роботи ПКМ.

Методи і методики досліджень. Зміну геометричних розмірів деталей трибоспрями визначали основними аналітичними методами тригонометрії, математичного диференціювання, теоретичної механіки. Рівняння рівноваги розв'язували в середовищі програми MathCad 14.0 (trial version).

Введення складових (графіт, вуглецеві волокна) в структуру полімеру (поліамід) здійснювали методом екструзії за допомогою одношнекового двокомпонентного екструдера ЕКГ-45 з чотирма зонами нагріву.

Виготовлення експериментальних зразків та деталей виконували методом лиття під тиском за оптимальних режимів переробки. Дослідження величини вагового зносу деталей рухомих з'єднань з ПКМ, за умови тертя без мащення, виконували на машині тертя та зношування СМТ-1. Величину вагового зносу, визначали шляхом зважування деталі з ПКМ на аналітичних терезах ВРЛ-200 до, та після дослідження, за методикою наведеною в роботі [7].

Виклад основного матеріалу. *Зміна геометричних розмірів деталей в посівній секції під дією навантажень в процесі експлуатації.* В якості прототипу для визначення силової картини брали посівну секцію сівалки «Turbosem II 19-60» виробництва заводу «Союз-Спецтехніка» (смт. Слобожанське, Дніпропетровська обл.). Схема заміщення, дає змогу більш детально дослідити реакцію рухомих опор в паралелограмному механізмі (рис. 1).

Розглянемо еквівалентну механічну схему в режимі максимальних навантажень. При цьому розміри обмежуються реальними своїми розмірами ланок посівної секції та конструктивними регульовальними кутами даних ланок. В такому випадку: ланки $AB_1=CD$; ланка AB_1B_2 жорстко з'єднана між ланками AB_1 та B_1B_2 , також між даними ланками конструктивно закладений кут γ ; для регулювання жорсткості пружної ланки P_1P_2 ланка AB_1B_2 з'єднана шарнірно з P_1P_2 через жорстку ланку B_1P_1 з регульовальним кутом α ; складальна жорстка ланка B_1DESJ має шарнірні точки для приєднання інших ланок: т. B_1 шарнірно з'єднує ланку CD з B_1DESJ ; т. E шарнірно з'єднує диск з B_1DESJ ; т. S шарнірно з'єднує опорне колесо з B_1DESJ ; ланка JD в т. D шарнірно з'єднується з прикочуючими колесами, притискання прикочуючого колеса до ґрунту регулюється силою пружної ланки U_1U_2 , що кріпиться відповідно до ланки B_1DESJ та JD .

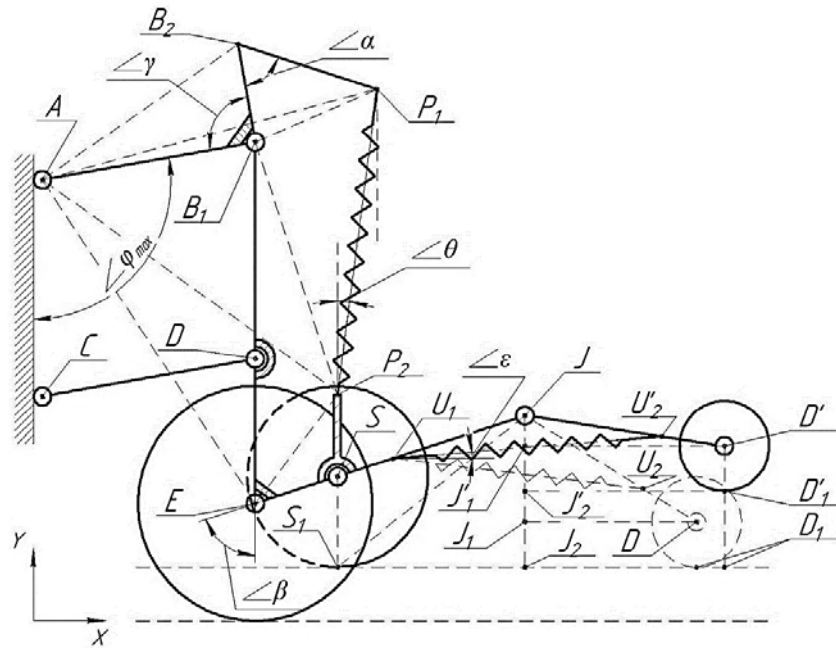


Рисунок 1 – Схематична модель дослідження зміни геометричних розмірів під час експлуатації посівної секції в режимі «максимум» Agro-Союз Turbосем II 19-60
Джерело: [6]

Максимальне навантаження на систему спостерігається, коли є перешкода 20 см по вертикалі, конструктивна особливість секції у її вертикальному переміщенні. В такому випадку паралелограмний механізм потрібно дослідити виходячи з механіко-математичної конструкції. Зміна вихідного кута повинна впливати на зміну пружних ланок, оскільки механізми завжди повинні залишатися нероздільним. Для наочності на рис. 1 є допоміжні лінії позначені пунктирними лініями, а основні ланки звичайними лініями.

Прикладна сила пружної ланки P_1P_2 до паралелограмного механізму діє в точці P_1 вздовж осової лінії даної ланки. За ввідний кут приймемо кут $\varphi_{\max}$, а першу опорну рівноважну точку приймемо т. А. Дія сили в точці P_1 змінюється в залежності від розтягу пружини і прикладених зовнішніх сил.

Також зміна її можлива за рахунок регульовальних та конструктивних кутів α і γ . Зміна цих кутів обумовлює зміну довжини між B_1P_1 , що впливає на пряму прикладання сили відносно опорної точки т. А, а саме AP_1 . Щоб теоретично описати зміну умовних та пружних ланок розглянемо ланку AB_1B_2P : дана ланка має конструктивний кут γ та регульовальний α кут. Зміна конструктивного кута обумовлює зміну довжини умовної ланки AB_2 , величину якої знаходять розглянувши ΔAB_1B_2 , що формується з відповідних ланок паралелограмного механізму. Використовуючи до розглянутого трикутника теорему синусів та косинусів можливо знайти будь-яку невідому ланку та кут даного трикутника, якщо відомо один кут і мінімум дві ланки.

$$AB_2 = \sqrt{(AB_1)^2 + (B_1B_2)^2 - 2 \cdot (AB_1) \cdot (B_1B_2) \cdot \cos(\gamma)}, \quad (1)$$

Кут $\angle (AB_2B_1)$ знаходимо використавши теорему синусів:

$$\angle (AB_2B_1) = \arcsin \left(\frac{(AB_1) \cdot \sin(\gamma)}{(AB_2)} \right). \quad (2)$$

Розглянувши ΔAB_2P_1 , можемо знайти умовну ланку AP_1 та $\angle (AB_2B_1)$:

$$AP_1 = \sqrt{(AB_2)^2 + (B_2P_1)^2 - 2 \cdot (AB_2) \cdot (B_2P_1) \cdot \cos(AB_2P_1 + \alpha)}, \quad (3)$$

$$\angle(B_2AP_1) = \arcsin\left(\frac{(B_2P_1) \cdot \sin(AB_2B_1 + 2)}{(AP_1)}\right). \quad (4)$$

Умовну ланку B_1P_1 знайдемо з ΔAB_1P_1 , але при цьому слід знати $\angle(P_1AB_1)$:

$$\angle P_1AB_1 = (180 - \gamma - \angle(AB_2B_1)) - \angle(B_2AP_1). \quad (5)$$

Розглянувши ΔAB_1P_1 і врахувавши кут $\angle(P_1AB_1)$, маємо:

$$B_1P_1 = \sqrt{(AP_1)^2 + (AB_1)^2 - 2 \cdot (AP_1) \cdot (AB_1) \cdot \cos(\angle P_1AB_1)}. \quad (6)$$

Для знаходження величини та кута $\angle \theta$, що утворюється при розтязі пружної ланки P_1P_2 потрібно розглянути цілий комплекс трикутників з відповідними кутами, що більш детально оцінити паралелограмний механізм.

Точка кріплення пружної ланки P_2P_1 до жорсткої ланки B_1DESJ виконується вертикально співвісно з опорними колесами на відстані SP_2 . Щоб знайти відстань EP_2 розглянемо трикутник ΔEP_2S . В даному трикутнику $\angle(ESP_1)$ можна знайти за виразом:

$$\angle ESP_2 = 180 - \beta. \quad (7)$$

В свою чергу EP_2 визначається за формулою:

$$EP_2 = \sqrt{(ES)^2 + (P_2S)^2 - 2 \cdot (ES) \cdot (P_2S) \cdot \cos(\angle(ESP_2))}; \quad (8)$$

$$\angle(P_2ES) = \arcsin\left(\frac{(P_2S) \cdot \sin(ESP_2)}{(EP_2)}\right). \quad (9)$$

Для визначення умовної ланки P_2B_1 необхідно розглянути ΔEP_2B_1 , в якому кут $\angle(B_1EP_2)$ дорівнює:

$$\angle B_1EP_2 = \beta - \angle P_2ES. \quad (10)$$

Звідки маємо:

$$P_2B_1 = \sqrt{(P_2E)^2 + (B_1E)^2 - 2 \cdot (P_2E) \cdot (B_1E) \cdot \cos(\angle(B_1EP_2))}; \quad (11)$$

$$\angle(EP_2B_1) = \arcsin\left(\frac{(B_1E) \cdot \sin(\angle(P_2EB_1))}{(P_2B_1)}\right). \quad (12)$$

Визначити умовну ланку AP_2 можливо розглянувши ΔAB_1P_2 в якому $\angle(AB_1P_2)$ описується виразом:

$$\angle AB_1P_2 = (180 - \angle B_1EP_2 - \angle EP_2B_1) + (180 - \varphi_{\max}) = 360 - \angle B_1EP_2 - \angle EP_2B_1 - \varphi_{\max}. \quad (13)$$

Значення ланки AP_2 визначається формулою:

$$AP_2 = \sqrt{(AB_1)^2 + (B_1P_2)^2 - 2 \cdot (AB_1) \cdot (B_1P_2) \cdot \cos(\angle AB_1P_2)}; \quad (14)$$

$$\angle(B_1AP_2) = \arcsin\left(\frac{(B_1P_2) \cdot \sin(\angle(AB_1P_2))}{(AP_2)}\right). \quad (15)$$

Щоб визначити видовження пружної ланки P_1P_2 розглянемо трикутник ΔP_1AP_2 в якому $\angle(P_2AP_1)$ можливо знайти за формулою:

$$\angle P_2AP_1 = \angle B_1AP_2 + \angle P_1AB_1. \quad (16)$$

При цьому пружною ланкою є P_1P_2 :

$$P_1P_2 = \sqrt{(AP_2)^2 + (AP_1)^2 - 2 \cdot (AP_2) \cdot (AP_1) \cdot \cos(\angle(P_2AP_1))}, \quad (17)$$

$$\angle(AP_1P_2) = \arcsin\left(\frac{(AP_2) \cdot \sin(\angle P_1AP_2)}{(P_1P_2)}\right), \quad (18)$$

$$\angle(AP_2P_1) = 180 - \angle AP_1P_2 - \angle P_1AP_2. \quad (19)$$

Умовну ланку AE та $\angle(AEB_1)$ визначимо з трикутника ΔAB_1E :

$$AE = \sqrt{(AB_1)^2 + (B_1E)^2 - 2 \cdot (AB_1) \cdot (B_1E) \cdot \cos(\angle AB_1E)}, \quad (20)$$

$$\angle(AEB_1) = \arcsin\left(\frac{(AB_1) \cdot \sin(\angle AB_1E)}{(AE)}\right). \quad (21)$$

В свою чергу значення $\angle(EP_2A)$ отримують розглянувши трикутник ΔAP_2E . Формула для його визначення матиме наступний вираз:

$$\angle(EP_2A) = \arcsin\left(\frac{(AE) \cdot \sin(\angle AEB_1 + \angle B_1EP_2)}{(AP_2)}\right). \quad (22)$$

За даних умов $\angle \theta$ можливо визначати за виразом:

$$\angle \theta = \angle P_1P_2B_1 - (180 - \angle EP_2B_1 - \angle EP_2S). \quad (23)$$

Для умовних жорсткостей ланки JD, та пружною $U_1U'_2$ розглянемо ΔSS_1J , з якого необхідно знайти умовну ланку S_1J і $\angle(SJS_1)$. При цьому $\angle(JSS_1)$ можливо знайти з виразу:

$$\angle(JSS_1) = 180 - \beta; \quad (24)$$

Враховуючи зазначене, маємо:

$$S_1J = \sqrt{(S_1S)^2 + (SJ)^2 - 2 \cdot (S_1S) \cdot (SJ) \cdot \cos(\angle JSS_1)}; \quad (25)$$

$$\angle(SJS_1) = \arcsin\left(\frac{(SS_1) \cdot \sin(\angle S_1SJ)}{(S_1J)}\right). \quad (26)$$

Щоб знайти довжину JJ_2 необхідно розглянути трикутник ΔS_1JJ_2 з якою можливо визначити $\angle(S_1JJ_2)$ та JJ_2 :

$$\angle(S_1JJ_2) = \beta - \angle(SJS_1); \quad (27)$$

$$JJ_2 = S_1J \cdot \cos \angle S_1JJ_2. \quad (28)$$

Зазначимо, що дана ланка створює максимальні навантаження при максимальній перешкоді або нерівноважні поля в вертикальному напрямку. Дана величина становить $20\text{см} = K_1K'_1$ і центр прикотного колеса переміститься з т.К в т.К'. А тому пружною ланку потрібно розглядати з трикутника $\Delta U_1JU'_2$. Щоб знайти пружною ланку $U_1U'_2$ необхідно знайти кут $\angle(U_1JU'_2)$, а щоб знайти даний кут розглянемо трикутник $\Delta JJ'_1K'$. Даний трикутник утворює умовна ланка J'_1K' , яка в т. J'_1 з'єднується з ланкою JJ_2 та $\angle(J'_1JK')$, який матиме вираз:

$$\angle J'_1JK' = \arccos\left(\frac{(J'_1J)}{(JK')}\right), \quad (29)$$

де $J'_1J = JJ_2 - (K_1K'_1 + K'_1K')$, K_1K' – величина перешкоди на шляху посівної секції; D'_1D' – радіус проекції опорного колеса на площину YOX.

$$\angle U_1JU'_2 = \angle SJS_1 + \angle S_1JJ_2. \quad (30)$$

Для визначення довжини пружної ланки $U_1U'_2$ застосуємо вираз:

$$U_1U'_2 = \sqrt{(U_1J)^2 + (JU'_2)^2 - 2 \cdot (U_1J) \cdot (JU'_2) \cdot \cos(\angle U_1JU'_2)}; \quad (31)$$

$$\angle(JU_1U'_2) = \arcsin\left(\frac{(JU'_2) \cdot \sin(\angle U_1JU'_1)}{(U_1U'_2)}\right); \quad (32)$$

$$\angle \varepsilon = 90 - \beta - \angle JU_1U'_2. \quad (33)$$

Використавши геометричні закономірності зміни певних ланок та відповідних кутів, можливо сформулювати рівняння сил, що діють на паралелограмний механізм у їх максимальному значенні.

Силовa картина рухомих шарнірів посівної секції під час максимальних навантажень. Під час формування силової картини паралелограмного механізму ефективно оцінити реакції опори тільки в режимі максимуму, що виникають у посівної секції під час експлуатації. Для цього розглянемо схему навантажень зовнішніми та внутрішніми силами, що діють на деталі даного механізму, з відображенням їх в точках виникнення або прикладання. Відповідна схема силової картини наведена на рис. 2.

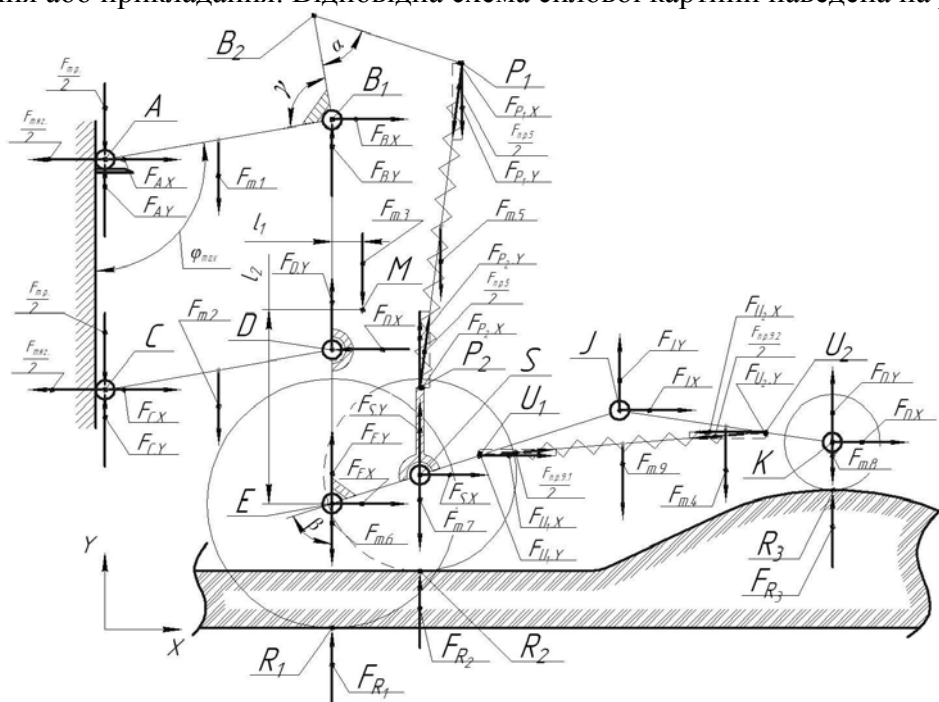


Рисунок 2 – Схема силової картини навантажень паралелограмного механізму у режимі максимуму
Джерело: розроблено авторами

Схема навантажень паралелограмного механізму дає можливість описати стан рівноваги системи паралелограмного механізму. Для цього оберемо першу рівноважну т. А відносно якої сформуємо рівняння моментів зазначених сил, а рівняння сил будемо формувати відносно осі X та Y. Всі сили, що знаходяться під певними кутами до осей відповідно їх розіб'ємо на сили за принципом суперпозиції. Рівняння рівноваги механізму відносно осі Y буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \Sigma Y = 0; & -\frac{F_{m.p}}{2} - \frac{F_{m.p}}{2} + F_{A,Y} + F_{B,Y} - F_{m.1} - F_{P_1,Y} - F_{m.3} + F_{E,Y} + \\ & + F_{D,Y} - F_{m.2} + F_{C,Y} + F_{P_2,Y} + F_{S,Y} - F_{m.7} + F_{U_1,Y} + F_{J,Y} - F_{m.4} - \\ & - F_{m.9} - F_{m.5} - F_{m.6} - F_{U_2,Y} + F_{K,Y} - F_{m.8} + R_1 + R_2 + R_3 = 0. \end{aligned} \quad (34)$$

Рівняння рівноваги механізму відносно осі X буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} \Sigma X = 0; & -\frac{F_{тяг}}{2} - \frac{F_{тяг}}{2} + F_{A,X} + F_{B,X} - F_{P_1,X} + F_{D,X} + F_{C,X} + \\ & + F_{P_2,X} + F_{E,X} + F_{S,X} + F_{U_1,X} + F_{J,X} - F_{U_2,X} + F_{K,X} = 0. \end{aligned} \quad (35)$$

В загальному вигляді рівноважне рівняння моментів відносно точки т. А паралелограмного механізму посівної секції матиме вигляд:

$$\begin{aligned}
 \Sigma M_{m.A} = 0; & -F_{m.5} \cdot \left[\frac{P_1 P_2}{2} \cdot \sin(\angle \theta) \right] - F_{m.1} \cdot \left[\frac{AB_1}{2} \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\
 & + F_{B.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max})] - F_{B.X} \cdot [AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max})] + \\
 & + F_{P_1.X} \cdot [AP_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max} - \angle(P_1 AB_1))] - \\
 & - F_{P_1.Y} \cdot [AP_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max} - \angle(P_1 AB_1))] - \\
 & - F_{m.3} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + l_1] - F_{m.2} \cdot \left[\frac{CD}{2} \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) \right] + \\
 & + F_{D.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max})] - F_{D.X} \cdot [B_1 D - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max})] - \\
 & - \frac{F_{m.6}}{2} \cdot [AC] + F_{CX} \cdot [AC] + F_{EY} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max})] - \\
 & - F_{m.6} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max})] + F_{E.X} \cdot [AE \cdot \cos(\angle(AEB_1))] + \\
 & + F_{P_2.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta)] - \\
 & - F_{P_2.X} \cdot [B_1 E - EP_2 \cdot \cos(\angle(B_1 EP_2)) - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max})] + \\
 & + F_{S.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta)] + \\
 & + F_{S.X} \cdot [B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - ES \cdot \cos(\beta)] - \\
 & - F_{m.7} \cdot [AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta)] + \\
 & + F_{U_1.Y} \cdot [AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) + (EJ - U_1 J) \cdot \sin(\beta)] + \\
 & + F_{U_1.X} \cdot [B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - (EJ - U_1 J) \cdot \cos(\beta)] + \\
 & + F_{J.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta)] + \\
 & + F_{J.X} \cdot [B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - EJ \cdot \cos(\beta)] - \\
 & - F_{m.9} \cdot \left[AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + (EJ - U_1 J) \cdot \sin(\beta) + \frac{U_1 U_2}{2} \cdot \cos(\angle \varepsilon) \right] - \\
 & - F_{m.4} \cdot \left[AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + \frac{JK}{2} \cdot \sin(\angle J_1' JK') \right] - \\
 & - F_{U_2.X} \cdot [B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \angle \varphi_{\max}) - EJ \cdot \sin(\beta) + JU_2 \cdot \cos(\angle(J_1' JK))] - \\
 & - F_{U_2.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JU_2 \cdot \sin(\angle(J_1' JK))] + \\
 & + F_{K.Y} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \angle \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle(J_1' JK))] + \\
 & + F_{K.X} \cdot [B_1 E - AB_1 \cdot \cos(180 - \varphi_{\max}) - EJ \cdot \cos(\beta) + JK \cdot \cos(\angle J_1' JK)] - \\
 & - F_{m.8} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle J_1' JK)] + \\
 & + F_{R_1} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max})] + F_{R_2} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + ES \cdot \sin(\beta)] + \\
 & + F_{R_3} \cdot [AB_1 \cdot \sin(180 - \varphi_{\max}) + EJ \cdot \sin(\beta) + JK \cdot \sin(\angle J_1' JK)] = 0
 \end{aligned} \tag{36}$$

Аналогічно отримаємо рівноважні рівняння моментів відносно точок B₁, C, D, E, S, P₂, J, K, U₁, U₂, т1, т2, т3, т4, R₁, R₂, R₃.

Для остаточного визначення реакцій опор на рухомих з'єднаннях посівної секції комплексу «Turbosem II 19-60». Відобразимо остаточні реальні результати вихідних ланок, що характеризують відтворення у схематичному вигляді паралелограмний механізм: AB₁ = CD = 600 мм; B₁B₂ = 85 мм; B₂P₁ = 75 мм; AC = B₁D = 215 мм; DE = 160 мм; ES = 100 мм; SP₁ = 80 мм; SJ = 200 мм; JD = 200 мм; U₁J = 130 мм; U₂J = 140 мм; U₁J = 130 мм; діаметри диску 400 мм, опорного колеса 400 мм; прикотного колеса 305 мм; $\angle \varphi_{\max} = 65^\circ$; $\angle \alpha = 45^\circ$; $\angle \beta = 72^\circ$; $\angle \gamma = 80^\circ$; l₁ = 100 мм. Значення мас окремих деталей: m₁ = 15 кг; m₂ = 7 кг; m₃ = 9 кг; m₄ = 4 кг; m₅ = 4 кг; m₆ = 8 кг; m₇ = 10 кг; m₈ = 7 кг; m₉ = 1,5 кг. Коефіцієнт жорсткості пружини: P₁P₂ = 162 Н/см; U₁U₂ = 95 Н/см. Також під час експлуатації посівної секції на спряження рухомих з'єднань деталей

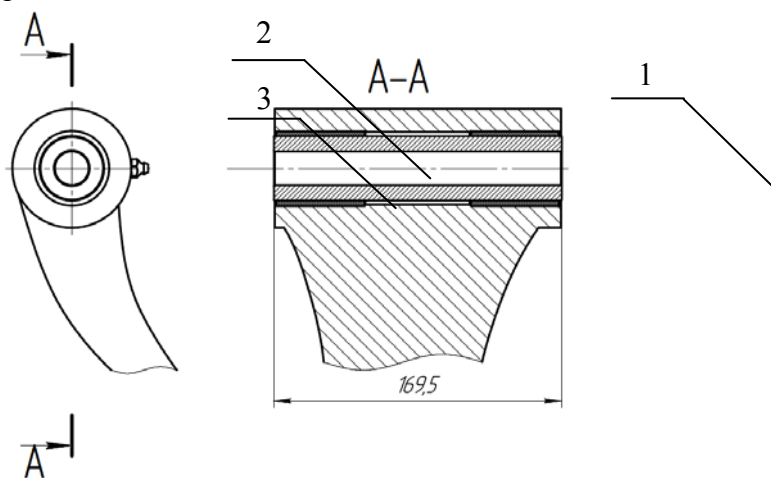
необхідно визначити зовнішні сили які діють на посівну секцію з умови їх максимального впливу. Посівний комплекс Turbosem II 19-60 з тракторами потужністю 310 к.с. з умов експлуатації дані транспортні засоби повинні мати підчас роботи 25% запасу за потужністю. Прийmemo, що в такому випадку максимальна потужність трактора, що діє на агрегат складе 233 к.с. Дана потужність підчас роботи розподіляється на 60 посівних секцій, а на одну секцію підчас посіву буде діяти 3,9 к.с. З технічних умов дана потужність діє при швидкості руху посівного комплексу на швидкості 9 км/год. Щоб визначити силу тяги, що діє на посівну секцію використаємо просту формулу Д. Уатта:

$$W = F \cdot v \Rightarrow F = \frac{W}{v}. \quad (37)$$

За таких умов сила тяги, що буде прикладена до посівної секції складе 1150 Н. На посівні секції також діє сила тяжіння рамної конструкції посівного комплексу. Тому маса посівного комплексу без бункеру також розподіляється між 60 посівними секціями. Загальна маса посівного комплексу 11900 кг. В такому випадку на кожну посівну секцію буде діяти 199 кг, а сила 1952 Н. Сила тяги та ваги рамної конструкції розподіляється порівну між двома кріпленнями посівної секції до рами посівного комплексу.

Підставивши зазначені числові значення в систему рівнянь, отримуємо такі результати силової картини посівної секції комплекс Turbosem II 19-60: $F_{R1} = 3022,5$, $F_{R2} = 2817,8$ Н; $F_{R3} = 941,2$ Н; $R_A = 1663$ Н; $R_{B1} = 2377,3$ Н; $R_C = 1285,9$ Н; $R_D = 1674,5$ Н; $R_E = 2876$ Н; $R_S = 2677,3$ Н; $R_J = 921,1$ Н; $R_D = 893,7$ Н.

Визначення установочних деформацій. Трибоспряження потребують адаптації їх геометричних розмірів відповідно до характеристик та властивостей конкретно обраного ПКМ. Просту заміну сталевих (стандартних) деталей трибоспряження на деталі з ПКМ з аналогічними розмірами виконувати недоцільно. Однією з умов підвищення довговічності деталей з ПКМ, при роботі у рухомих трибоспряженнях, є оптимізація допусків та посадок. Насамперед, це пов'язано із значною деформацією таких деталей за умови використання посадок з натягом. У випадку (рис. 3) коли спряження зовнішнього діаметру деталі 1 та корпусу 2 має посадку з натягом, змінюється внутрішній діаметр деталі 1, запресованої у корпус 2 і виникають так звані установочні деформації. Тому, при розробці або модернізації конструкції рухомих спряжень необхідно заздалегідь розрахувати компенсацію Δ_y установочних деформацій, оскільки вони змінюють зазор між внутрішнім діаметром деталі 1 з ПКМ і віссю 3.



1 – деталь з полімерно-композитного матеріалу; 2 – корпус важеля стійки диску;

3 – вісь рухомого спряження стійки

Рисунок 3 – Схема модернізованого трибоспряження стійки дискової борони Lemken Rubin 12

Джерело: розроблено авторами

Установчу деформацію Δ_y визначають при відомому натягу Δ_H . У відповідності до рекомендацій, викладених в [10, 11], для термопластів з $\nu = 0,5$ уточнена деформація Δ_y дорівнює:

$$\Delta_y = \sqrt{3} \frac{\sigma_T}{E} \cdot \frac{R_T^2}{R_l} \quad (38)$$

де σ_T – границя текучості; E – модуль пружності; R_T – радіус поверхні розподілу пружної та пластичної зони матеріалу підшипника; R_l – внутрішній радіус втулок.

Для області реальних полімерів при $0,3 \leq \nu \leq 0,5$ рекомендуємо для розрахунку компенсацій за рахунок установчих деформацій наступний вираз:

$$\Delta_y = \Delta_H \cdot \frac{2 \cdot (1 - \nu) \cdot k_0}{(1 - 2 \cdot \nu) + k_0^2} \quad (39)$$

де $k_0 = D_0 / D$; D_0 – внутрішній діаметр підшипника; D – зовнішній діаметр підшипника.

Для підшипникових вузлів ковзання доцільно рекомендувати розрахунок максимальної $\Delta_{y \max}$ і мінімальної $\Delta_{y \min}$ компенсації за рахунок установчих деформацій за формулами:

$$\Delta_{y \max} = \Delta_{H \max} \frac{2 \cdot (1 - \nu) \cdot k_0}{(1 - 2 \cdot \nu) + k_0^2} \quad (40)$$

$$\Delta_{y \min} = \Delta_{H \min} \frac{2 \cdot (1 - \nu) \cdot k_0}{(1 - 2 \cdot \nu) + k_0^2} \quad (41)$$

Де значення $\Delta_{H \max}$ та $\Delta_{H \min}$ знаходяться за наведеними нижче формулами:

$$\Delta_{H \max} = D \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_T}{E} \cdot (1 + \nu) \cdot [(1 - \nu) - (1 - 2 \cdot \nu) \ln k_0]; \quad (42)$$

$$\Delta_{H \min} = D \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_T}{E} \cdot (1 + \nu) \cdot \left[(1 - \nu) \left[\left(1 + \frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - \nu} \cdot \ln \frac{1}{k_0} \right) \cdot \left(\frac{3}{1 - 2 \cdot \nu} \right) \right]^{-1} + \frac{1 - 2 \cdot \nu}{2 - \nu} \ln \frac{1}{k_0} \right]; \quad (43)$$

де $\Delta_{H \max}$ – найбільший допустимий натяг; $\Delta_{H \min}$ – найменший допустимий натяг.

Наступним етапом оптимізації системи допусків та посадок, після визначення величини установочної деформації, є обґрунтування оптимального зазору в спряженні «полімерний композит - сталь».

В роботах [7, 8] встановлено, що лінійна швидкість ковзання у трибоспряженнях типу «вал-втулка» зернозбиральних комбайнів, тролейбусів, вантажних автомобілів, посівних та ґрунтообробних машин не перевищує 0,15...0,20 м/с. Це дозволяє використовувати матеріали типу УПА-6-20 (30) у таких трибоспряженнях за умови, що фактор $p \cdot v$ не буде перевищувати значення 2,0 МПа·м/с. Таким чином, основною задачею залишається оптимізації величини зазору у вказаному трибоспряженні типу «вал-втулка» та навантаження, що прикладається до нього. Вплив вказаних показників на довговічність трибоспряження визначали за величиною вагового зносу, шляхом зважування деталі з ПКМ до, та після дослідження [8].

Таблиця 1 – Основні рівні навантаження та величини зазору в спряженні

Показник	Факт	Середній рівень	Крок варіювання	Значення рівнів змінних		
				-1	0	1
P, Н	x1	250	50	200	250	300
S, мкм	x2	300	50	250	300	350

Джерело: розроблено авторами

Результати визначення впливу навантаження та величини зазору в спряженні на величину зносу наведено на рис. 5.

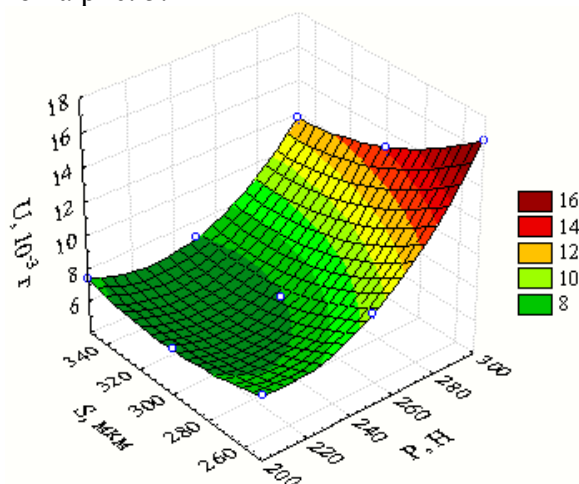


Рисунок 5 – Залежність вагового зносу ПКМ УПА-6-30 від навантаження та величини зазору в спряженні

Джерело: розроблено авторами

Одержані результати, рис. 4 свідчать, що домінуючий вплив на величину зносу має саме величина навантаження. Величина зазору в спряженні, за умови мінімального значення навантаження, впливає на величину зносу не суттєво. Але підвищення навантаження до 250...300 Н призводить до зростання величини зносу незалежно від величини зазору в спряженні. Встановлено, що оптимальний зазор в спряженні, який забезпечує мінімальну величину вагового зносу, становить 300 мкм. Відхилення від вказаної величини зазору з одночасним підвищенням навантаження на трибоспряження більше 250 Н призведе до зменшення ресурсу рухомих з'єднань в декілька разів. Наприклад, за умови зазору в спряженні 250 мкм та навантаження 300 Н, величина зносу зростає в 2,4 рази, у порівнянні з вказаними оптимальними їх значеннями.

Визначення динаміки зношування експериментальних деталей з ПКМ є ключовим етапом прогнозування ресурсу трибоспряжень. Необхідно враховувати, що за ускладнених умов експлуатації навантаження можуть в декілька разів перевищувати номінальні значення. Тому, проведено дослідження динаміки зношування за екстремальних режимів експлуатації, за величини навантаження на трибоспряження – 600 Н. Випробування виконано протягом 150 годин (рис. 6) в режимі тертя без мащення. Особливу увагу приділено режиму припрацювання – перші 10 годин роботи, протягом яких величину зносу визначали кожні 5 годин. В подальшому, визначення величини зносу виконували з інтервалом 25 год роботи.

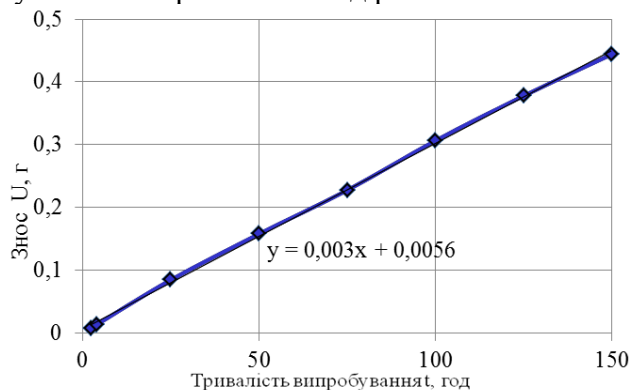


Рисунок 6 – Динаміка зношування експериментальних деталей виготовлених з ПКМ УПА-6-30

Джерело: розроблено авторами

Одержані результати (рис. 6) свідчать, що зношування відбувається стабільно, за характерною лінійною функцією. Встановлено, що швидкість зношування, за вказаних режимів дослідження, становить 0,003 г/год. Враховуючи геометричні розміри деталі з ПКМ та граничне значення зазору в трибоспряженні можна з високою ймовірністю визначити ресурс рухомого трибоспряження. Одержана лінійна функція залежності величини зносу від напрацювання, $y=0,003x+0,0056$, справедлива для матеріалу УПА-6-30 за умови лінійної швидкості ковзання до 0,1 м/с та навантаження на трибоспряження до 600 Н.

Висновки. Викладено методику теоретичного обґрунтування застосування підшипника ковзання в рухомих вузлах посівної секції. Проведений аналіз розрахункової схеми навантаження підшипника ковзання на прикладі сівалки Turbosem П 19-60, за яким визначено величину навантаження на підшипники: $F_{R1} = 3022,5$, $F_{R2} = 2817,8$ Н; $F_{R3} = 941,2$ Н; $R_A = 1663$ Н; $R_{B1} = 2377,3$ Н; $R_C = 1285,9$ Н; $R_D = 1674,5$ Н; $R_E = 2876$ Н; $R_S = 2677,3$ Н; $R_J = 921,1$ Н; $R_D = 893,7$ Н.

Обґрунтовано математичну модель, згідно теорії пружності, для розрахунку зміщень (радіальних, кутових), деформацій (радіальних, осьових), а також нормальної, дотичної напруги для полімерного підшипника по зонах розтягування і стискування із застосуванням моделей для їх реалізації на ПК.

Експериментальними дослідженнями визначені оптимальні значення величини навантаження – 250 Н та зазору – 300 мкм в трибоспряженні «полімерний композит – сталь». Встановлено, що швидкість зношування (0,003 г/год) деталей з ПКМ має лінійну залежність від напрацювання, що дозволяє спрогнозувати ресурс трибоспряжень.

Список літератури

1. Васильченко В., Опалко В. Фактори, які визначають якість сівби. *Журнал «Агроном»*, 2016. <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/> (дата звернення: 24.08.2022).
2. Turan J., Višacki V., Sedlar A., Pantelić S., Findura P., Máchal P., et al. Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Univ. Agric. Silv. Mendelianae Brun.* 2015. 63(1). 137-141. DOI: 10.11118/actaun201563010137.
3. Зубко В.М., Соколік С.П. Дослідження показників точності посіву кукурудзи на зерно пневматичними сівалками. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів.* 2017. Вип. 10. С. 50-54. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2017_10_12 (дата звернення: 27.08.2022).
4. Аулин В.В., Панков А.А., Щеглов А.В. Конструктивно-компоновочные схемы высевальных систем с элементами пневмоники. *Вісник інженерної Академії України*, м.Київ. 2016. №1. С.142-147.
5. Maga J., Křištof K. Effect of drill machine operating speed on quality of sowing and biomass yield. *Agronomy Research.* 15(4), (2017), 1674–1685. <https://doi.org/10.15159/AR.17.019>
6. Посівний комплекс: пат 94776 Україна; опубл. 25.11.2014, Бюл. № 22.
7. Деркач О.Д., Макаренко Д.О., Муранов Є.С., Лободенко А.В. Підвищення довговічності рухомих з'єднань посівних машин впровадженням прогресивних конструкційних матеріалів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.* [Електронний ресурс]. 2021. Вип. 11, том 2.
8. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Центральноукраїнський НТУ. Кропивницький, 2018. 185 с.
9. Кобець А.С. Застосування полімерних композитів в агропромисловому комплексі: монографія. / А.С. Кобець та ін. Дніпро: Журфонд, 2022. 356 с.
10. Босаков, С. В. Метод Ритца в контактных задачах теории упругости: монография. Брест: БрГТУ, 2006. С. 107.
11. Скородинський І.С. Аналіз деформування кусково-однорідного тіла з в'язкопружним проміжним шаром за дії зсувного навантаження. *Приклад. пробл. механіки і математики.* 2008. Вип. 6. С. 175-182.

References

1. Vasylenko, V., & Opalko, V. (2016) Faktory, yaki vyznachaiut yakist sivby [Factors that determine the quality of sowing] *Ahronom – Agronomist*. Retrieved from <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/> [in Ukrainian].
2. Turan, J., Višacki, V., Sedlar, A., Pantelić, S., Findura, P., Máchal, P., et al. (2015). Seeder with Different Seeding Apparatus in Maize Sowing. *Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun*, 63(1), 137-141. DOI: 10.11118/actaun201563010137
3. Zubko, V.M., & Sokolik, S.P. (2017). Doslidzhennia pokaznykiv tochnosti posivu kukurudzy na zerno pnevmatychnymy sivalkamy [Study of indicators of the accuracy of corn seed sowing with pneumatic seed drills] *Bulletin of Sumy NAU. Seriya: Mekhanizatsiia ta avtomatyzatsiia vyrobnychkykh protsesiv*, V.10, 50-54. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsna_mekh_2017_10_12 [in Ukrainian].
4. Aulin, V.V., Pankov, A.A., & Shcheglov, A.V. (2016). Konstruktivno-komponovochnyye skhemy vysevyushchikh sistem s elementami pnevmoniki [Structural and layout diagrams of sowing systems with pneumatic elements]. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 1, 142-147 [in Russian].
5. Maga, J., & Křištof, K. (2017). Effect of drill machine operating speed on quality of sowing and biomass yield. *Agronomy Research* 15(4), 1674–1685. <https://doi.org/10.15159/AR.17.019>
6. Khorishko, V.D., Prokaiev, S.F., Shapoval, O.M., & Derkach, O.D. (2014). Posivnyi kompleks: pat 94776 Ukraina, Biul. № 22.
7. Derkach, O.D. Makarenko, D.O., Muranov, Ye.S., & Lobodenko A.V. (2021). Pidvyshchennia dovhovichnosti rukhomykh ziednan posivnykh mashyn vprovadzhenniam prohresyvnykh konstruktivnykh materialiv [Increasing the durability of movable joints of sowing machines by introducing advanced construction materials]. *Scientific bulletin of Tavriyya State Agro-Technological University*, V. 11, 2. [in Ukrainian].
8. Makarenko, D.O. (2018). Pidvyshchennia dovhovichnosti paralelohramnoho mekhanizmu posivnykh kompleksiv zminoiu konstruktivni rukhomykh ziednan [Increasing the durability of the parallelogram mechanism of sowing complexes by changing the design of movable joints]. *Candidate's thesis*. Kropyvnytskyi [in Ukrainian].
9. Kobets, A.S., Derkach, O.D., Chyhvintseva, O.P., Kabat, O.S., Rula, I.V., Dudin, V.Iu., Makarenko, D.O., et al. (2022). *Zastosuvannia polimernykh kompozytiv v ahropromyslovomu kompleksi [Application of polymer composites in the agro-industrial complex]*. Dnipro: Zhurfond [in Ukrainian].
10. Bosakov, S.V. (2006). *Metod Rittsa v kontaktnykh zadachakh teorii uprugosti [Ritz in contact problems of elasticity theory]*. Brest: BrGTU [in Russian].
11. Skorodnynskyi, I.S. (2008). Analiz deformuvannia kuskovo-odnorodnoho tila z viazkoprzhnym promizhnym sharom za dii zsuvnogo navantazhennia [Analysis of the deformation of a piece-homogeneous body with a viscoelastic intermediate layer under the action of a shear load]. *Prykladni problemy mekhaniky i matematyky – Applied problems of mechanics and mathematics*, V. 6, 175-182. [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Andrey Grinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Oleksii Derkach, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmytro Makarenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yevhen Muranov**, **Dmytro Krutous**

Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine

Increasing the Durability of Tribocouplers Using Polymer Composite Materials

The purpose of the work is the theoretical substantiation of the operating modes of the parts of a typical parallelogram mechanism, the determination of the magnitude of the initial deformations and the optimal operating modes of the parts made of polymer-composite materials.

Changes in the geometric dimensions of parts of the sowing section under the influence of loads during operation are considered. Determination of the load acting in the tribo couplings of the sowing section of the "Turbosem II 19-60" complex. The mathematical model for determining radial, angular displacements and the magnitude of deformations due to design features and loads on movable couplings is substantiated. The methodology for determining the maximum and minimum compensation of installation deformations for parts made of polymer-composite materials is proposed. Experimental studies have established that the rate of wear (0.003 g/h) of PCM parts has a linear dependence on working life, which allows predicting the resource of tribo couplers. Taking into account the geometric dimensions of the PCM part and the limit value of the gap in the tribo-coupling, it is possible to determine the resource of the moving tribo-coupling with high probability. The obtained linear function of the dependence of the amount of wear on the working life is valid for the material

UPA-6-30, under the condition of a linear sliding speed of up to 0.1 m/s and a load on the tribo coupler up to 600 N.

Experimental studies have determined the optimal values of the load value - 250 N and the gap - 300 μm in the tribo coupling "polymer composite - steel". The obtained results can be used in the modernization of existing or development of new designs of sowing sections.

increase in durability, tribo coupling, set deformations, polymer-composite materials, amount of wear

Одержано (Received) 19.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 23.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 658.5:629.33

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.157-166](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.157-166)

У.М. Плекан, канд. екон. наук, О.Л. Ляшук, проф., д-р техн. наук, Н.Я. Рожко, доц., д-р екон. наук, О.П. Цьонь, доц., канд. техн. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

e-mail: kaf_am@ukr.net

Удосконалення соціальної функції транспортної галузі України

У статті здійснено аналіз стану та проблем розвитку транспортного сектору, показників вантажо- та пасажирообігу на автомобільному транспорті. Досліджується транспортна галузь України через призму виконання соціальної функції держави. Обґрунтовано комплекс переваг автомобільного транспорту в соціальній площині, зокрема: власне соціальні, соціально-економічні, екологічно орієнтовані техніко-технологічні, нормативно-правові переваги. Запропоновано шляхи розкриття потенціалу, закладеного в транспортній галузі України. Значну увагу приділено підходам до управління та адміністрування при вдосконаленні соціальної функції транспортної галузі України. Запропоновано удосконалення транспортної галузі шляхом модернізації механізмів публічного управління щодо підтримки вітчизняної галузі автомобільного транспорту.

транспортна галузь, автомобільний транспорт, потенціал, соціальна сфера, вантажообіг, пасажирообіг, управління транспортною системою, соціальна функція транспорту

Постановка проблеми. Питання соціального розвитку в Україні не втрачає з часом своєї актуальності. Навпаки, прослідковується чіткий запит суспільства на вдосконалення соціальних сфер задля покращення рівня життя населення. У сучасному світі транспортна галузь характеризується широким спектром взаємовідносин: технологічних, технічних, економічних, нормативно-правових, соціально відповідальних. Розвинена транспортна система – важлива умова соціального та економічного зростання держави, підтримання конкурентоспроможності національної економіки та високих стандартів якості життя населення країни.

У численних наукових доробках проаналізовано як сутність транспортної системи, так і окремих складових останньої – залізничного, автомобільного, водного, трубопровідного, повітряного транспорту.

Не зважаючи на велику кількість наукових праць українських вчених, присвячених розвитку автомобільного транспорту України, досі недостатньо висвітленим залишається питання діалектики взаємозв'язку транспортної галузі з сферою соціальної відповідальності, інститутами громадянського суспільства, а також системою публічного управління, що дає змогу розглянути цю галузь як складову соціальної сфери. Транспортна система як елемент систем макрорівня потребує подальшого дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зазначити, що проблеми та перспективи розвитку транспортної галузі України отримують відображення у численних працях науковців. Вивченням та аналізом розвитку транспортної галузі займалися відомі вчені-економісти О. Бакаєв, В. Дубищев, А. Дейнека, Р. Косогляд, Ю. Кулаєв, М. Макаренко, О. Никифоров, С. Пирожков, Н. Потапова, В. Ревенко,

О. Фінагіна, Ю. Цветов та інші [1-3]. Дослідженнями державного регулювання транспортною галуззю займалися українські вчені В. Брагінський, В. Ковальов, О. Собкевич, А. Ткаченко, А. Халецьк, Д. А. Ільченко та інші [2-5]. Окремі аспекти розвитку автомобільного транспорту вивчали Д. К. Прейгер, О. В. Собкевич, О. Ю. Ємельянова, А. В. Павлюк, Л. С. Козак, А. М. Новикова, М. В. Мамонтова, П. І. Чуваєв, З. В. Валіулліна, О. В. Савчук, О. В. Захарова та інші [6,7].

Економічним проблемам розвитку транспортної галузі присвятили свої дослідження такі українські та зарубіжні вчені як О. П. Голиков, В. Г. Шинкаренко, А. І. Абрамов, А. В. Вельможин, А. І. Воркут, Б. Л. Геронімус, Є. А. Жуков, В. Н. Іванов, В. Є. Канарчук, Л. В. Канторович та інші. Аналіз існуючих проблем в автомобільному транспорті висвітлив у своїх дослідженнях М. П. Скочук [8].

Постановка завдання. Метою статті є пошук взаємодії транспортної галузі та соціальної сфери держави за допомогою системного підходу. Мета дослідження обумовила виконання таких завдань:

- обґрунтувати переваги автомобільного транспорту в соціальній площині;
- оцінити та проаналізувати зв'язок транспортної галузі із соціальним розвитком держави;
- розкрити підходи до управління та адміністрування при вдосконаленні соціальної функції транспортної галузі України.

Виклад основного матеріалу. Розвинена транспортна система – важлива умова соціального та економічного зростання держави, підтримання конкурентоспроможності національної економіки та високих стандартів якості життя населення країни.

Транспортну систему можна розглядати як соціально-технічну матрицю впливу на відносини владно-політичного, соціально-економічного, геостратегічного характеру [4]. При цьому сама сутність транспортної галузі виявляється у здійсненні процесу транспортування в інтересах населення, економіки та держави [9].

Україна має досить густу мережу автомобільних шляхів. Динаміка довжини автомобільних доріг відображена на рисунку 1. Дані з 2014 року – без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

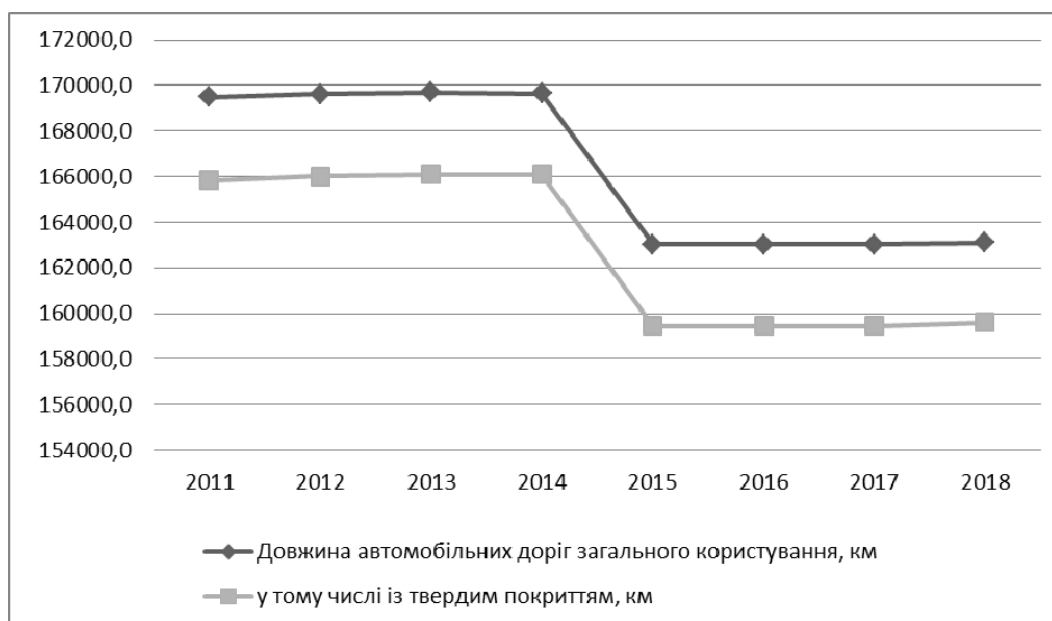


Рисунок 1 – Експлуатаційна довжина шляхів сполучення загального користування, (км)

Джерело: [1]

Закарпатська, Дніпропетровська, Івано-Франківська, Київська та Львівська області мають найгустішу мережу автошляхів. Основними ж автомобільними вузлами є обласні центри, а також великі районні центри.

В Україні автомобільний транспорт займає провідне місце за пасажирообігом та входить в трійку за вантажообігом. Динаміка показників пасажирообігу та вантажообігу на автомобільному транспорті за останні 5 років відображена на рисунку 2.

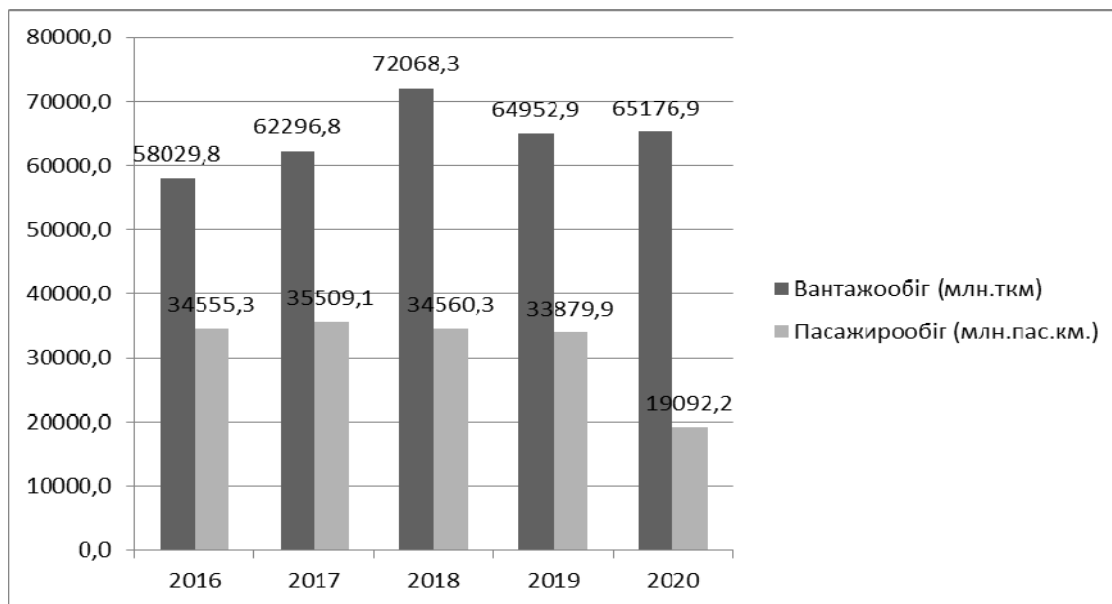


Рисунок 2 – Показники вантажообігу та пасажирообігу на автомобільному транспорті

Джерело: [1]

Вважаємо, що транспортну галузь не можна зводити суто до технологічних особливостей переміщення пасажирів та вантажів. Багатогранність функцій транспортної системи найкраще відображається в соціальній її складовій.

Транспортна галузь тісно пов'язана із соціальним розвитком держави, включно з суспільним пасажирським і особистим транспортом. Левова частка вказаного взаємозв'язку формується та регулюється через публічне управління та адміністрування.

Швидкі темпи розвитку особистого автомобільного транспорту разом із скороченням за останні роки перевезень пасажирів іншими видами транспорту (окрім метрополітену) є показником зростання якості життя в Україні. Взаємозв'язок транспортної галузі із соціальною проявляється також в медичному страхуванні, розвитку освітніх установ, де готують різноманітний кваліфікований персонал для транспортної галузі [1]. Наступною сферою взаємодії є сфери культури й відпочинку. Зростання автомобільного транспорту спричинює розвиток об'єктів соціального обслуговування, розташованих неподалік доріг, готелів, будинків відпочинку. Тісно пов'язана сфера транспорту з туризмом, адже кожна подорож пов'язана з певним видом транспорту.

В соціальній площині автомобільний транспорт забезпечує очевидні переваги, які умовно можна поділити на власне соціальні, соціально-економічні, екологічно орієнтовані техніко-технологічні, нормативно-правові.

До соціальних варто віднести, зокрема:

– економію часу поїздки;

- перевезення дрібних вантажів особистим автотранспортом;
- поїздки на різні відстані та в різних місцевостях, у тому числі там, де відсутні інші види транспорту;
- незалежність від розкладу громадського транспорту;
- більший комфорт;
- покращення рівня життя населення;
- підвищення продуктивності праці та психологічного стану населення;
- зменшення диференціації населення з огляду на відстань до віддалених пунктів призначення;
- створення нових робочих місць;
- раціональніше використання потенціалу регіональних та місцевих територій [5].

Соціально-економічні переваги автомобільного транспорту полягають у:

- забезпеченні ефективного використання наявних ресурсів;
 - зростанні обсягів експортних операцій та посилення зовнішньоторговельної діяльності;
 - розширенні транзитно-транспортного потенціалу України;
 - покращенні іміджу України на міжнародній арені;
 - активізації інтеграції України до міжнародних транспортних систем.
- Екологічно орієнтовані техніко-технологічні переваги включають:
- використання новітніх технологій при виробництві, переоснащенні, модернізації та реконструкції транспортних засобів і дорожньої інфраструктури;
 - використання альтернативних видів пального;
 - оновлення рухомого складу відповідно до сучасних техніко-експлуатаційних та екологічних вимог щодо транспортних засобів.

Нормативно-правові переваги містять позитивні чинники, пов'язані із законодавчою базою України, що регулює діяльність автомобільної галузі:

- спрощення процесу міжнародних пасажирських перевезень та розвиток необхідної інфраструктури;
- оновлення системи стандартів транспортного сервісу;
- гармонізація соціально-економічного та екологічного розвитку автомобільної галузі;
- підвищення безпеки транспортних процесів;
- узгодження законодавства України у відзначених сферах з європейським законодавством.

Високий коефіцієнт транзитності України та вдале географічне положення створили базу для перевезень товарів та пасажирів між країнами Європи, Азії та Близького Сходу. Для розкриття потенціалу, закладеного в транспортній галузі України, необхідними є:

- модернізація транспортної мережі;
- висока якість надання транспортних послуг;
- регулярність транспортних перевезень;
- висока швидкість перевезень;
- забезпечення схоронності товарів при перевезенні;
- безпека перевезення вантажів та пасажирів;
- впровадження відповідної державної політики;
- розвиток системи обслуговування транспортних засобів;
- удосконалення транспортної логістики та технології перевезень.

Комплексне оновлення вітчизняного транспорту повинне включати нормативно-правові заходи, формування сприятливого інвестиційного клімату, зменшення залежності від фінансування з бюджетів загальнодержавного й місцевого рівнів. Питання форм фінансування перебуває в тісному зв'язку із організацією взаємодії державного та приватного секторів.

Вважаємо, що для подальшого удосконалення транспортної галузі доцільно модернізувати механізми публічного управління щодо підтримки вітчизняної галузі автомобільного транспорту.

Тільки максимальне використання можливостей транспортної галузі України з її потенціалом дозволить впевнено утримувати свою нішу в загальнодержавному просторі. В сучасних умовах розвитку дослідження транспортної системи доцільно проводити, відштовхуючись від системного підходу.

Важливою властивістю транспортної галузі України є певна залежність від зовнішніх та внутрішніх чинників середовища, що накладають низку вимог і обмежень у використанні традиційних і нових методологічних підходів щодо дослідження процесів галузі.

Необхідність використання системного підходу в дослідженнях впливу транспортної системи на соціально-економічний розвиток країни зумовлена як системним характером транспортної галузі як об'єкта дослідження, так і системністю численних факторів впливу на об'єкт дослідження [2].

Вибір методології дослідження впливає на репрезентативність результатів дослідження. Процеси розвитку, що мають місце в транспортній галузі, характеризуються діалектичною і синергетичною основами. Перша основа пов'язана з впливом на транспортну галузь загальних закономірностей громадського розвитку [2]. Синергетична основа дозволяє враховувати ті аспекти, які знаходяться поза дією діалектики: нелінійність, нестабільність, нестійкість, циклічність, багатоваріантність, невизначеність.

Синергетичний підхід стає особливо актуальним при зростанні нелінійності процесів розвитку та трансформації організації транспортної системи в сторону диференціації.

Зважаючи на різні методологічні підходи в дослідженні розвитку транспортної галузі, виділимо основні положення і принципи управління та адміністрування при вдосконаленні соціальної функції транспортної галузі України за традиційного та інноваційного підходів (табл. 1).

Таблиця 1 – Порівняння основних положень і підходів до управління та адміністрування при вдосконаленні соціальної функції транспортної галузі України

Характеристики процесу управління	Підходи до управління та адміністрування	
	Традиційний підхід	Інноваційний підхід
Методологічна основа	Діалектичний підхід	Синергетичний підхід
Суть та функції управління	Управління усіма операціями	Управління цілями і моделями майбутнього
Суб'єкти управління	визначений суб'єкт управління	Множинність або невизначеність суб'єктів управління

Продовження таблиці 1

Планування	Деталізована управлінська програма, з послідовною реалізацією	Відсутність чіткого плану
Емпірична база	використання свого і чужого досвіду, аналогів	унікальність і оригінальність управлінських рішень
Логіка управління	Лінійність розвитку, а отже – послідовність реалізації програми дій	Нелінійність розвитку, а отже – застосування ентропії і раціоналізму в управлінні
Характер результатів	Один результат характеризує одну мету	Одній меті можуть відповідати множинні результати
Вплив факторів середовища	впливають відомі загальні фактори	впливають нові специфічні фактори
Управлінська модель	модель стандартизації	модель лідерства

Джерело: сформовано авторами з використанням [2]

Динаміка розвитку соціального навантаження транспортної галузі України залежить від низки зовнішніх умов та внутрішніх чинників всередині системи. Системність у дослідженні транспортної галузі дозволяє розгорнути дослідження за кількома напрямками.

Реалізація соціальної функції транспортної галузі України залежить від низки чинників, які можна об'єднати у наступні групи:

1. Загальні чинники (географічне і геополітичне розташування, природно-кліматичні умови тощо);
2. Просторовий розвиток (просторова організація розселення, інфраструктура, каркас розвитку території, спеціалізація території);
3. Ресурсна забезпеченість (природні умови та наявність природних ресурсів, рекреаційний потенціал);
4. Соціально-економічний стан (наявні ресурси розвитку, соціальні активи)
5. Інституціональний розвиток (якість інституціонального середовища та окремих інститутів).

Передумовою покращення соціальної функції транспортної системи та зростання конкурентоспроможності завдяки реалізації різних заходів та програм є детальне дослідження функціонального навантаження на транспортну систему та аналіз зовнішніх запитів з боку населення, держави, міжнародної спільноти. Основні напрями дослідження соціальної функції транспортної галузі відображено на рисунку 3.

Соціальна функція транспорту знаходить своє відображення у якості наданих транспортних послуг.

Основним видом послуг, які надаються автотранспортним підприємством, є перевезення. Як правило, процес перевезення супроводжується додатковими послугами: комерційними, маркетинговими, інформаційними, послугами страхування тощо [9-11].

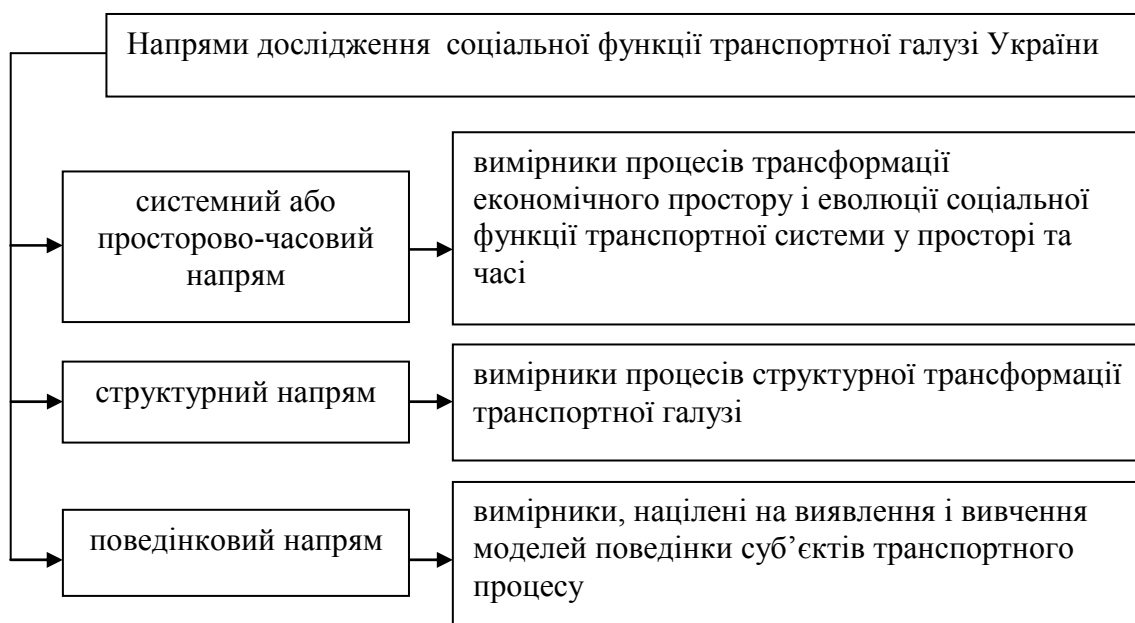


Рисунок 3 – Напрями дослідження соціальної функції транспортної галузі України
 Джерело: сформовано авторами

Багатогранність процесу перевезення та супутніх послуг пояснює численну кількість вимог споживачів до послуг транспортного підприємства, зокрема:

- надійність перевезень;
- мінімальні терміни (тривалість) доставки;
- регулярність доставки вантажу;
- гарантовані строки доставки;
- безпека перевезень;
- забезпечення схоронності вантажу при доставці;
- зручність з прийому і здачі вантажів;
- наявність додаткових послуг;
- наявність різних рівнів транспортного обслуговування;
- гнучкість обслуговування;
- налагоджена система інформації і документування;
- супровід вантажу до кінцевого пункту призначення;
- організація доставки вантажу «від дверей до дверей»;
- прийнятна вартість перевезення;
- оптимальна дислокація пунктів відправлення і доставки;
- можливість отримання достовірної інформації про тарифи, умови перевезення і розташування вантажу;
- наявність необхідної транспортної тари;
- наявність необхідного перевантажувального обладнання в пунктах перевалки;
- ліквідація проміжних перевантажувальних операцій.

Таким чином, про якість транспортних послуг, а отже, і конкурентоспроможність, свідчать висока швидкість доставки вантажів, пунктуальність, схоронність вантажів, гнучкість сервісу [9-11]. Високі показники якості та безпеки перевезення задовольняють потреби споживачів та оптимізують використання ресурсів в економіці України.

Відкритим залишається питання розвитку експортного потенціалу транспортних послуг через гармонізацію з європейськими нормами і стандартами транспортних

перевезень. Успішна інтеграція в Транс'європейську мережу залежить від численних факторів конкурентоздатності вітчизняної транспортної системи.

Покращення якості транспортної системи залежить також від лібералізації ціноутворення, використання прозорих механізмів формування та зміни тарифів на перевезення, удосконалення нормативного державного регулювання й контролю діяльності транспортної галузі. Останнє реалізується важелями державного управління.

Транспортна система України здійснює широкий спектр транспортних перевезень, обсяги яких, порівняно з власним ВВП, досить високі у порівнянні з країнами Європи. Внесок транспорту та складського господарства в середньорічні темпи зростання ВДВ України в 2018–2020 рр. досить суттєвий – 0,46–0,49%.

Не залишає сумнівів, що це пріоритетна галузь, що має підтримуватися державою на всіх рівнях. Державне регулювання має спрямовуватися на захист інтересів держави та суспільства за умови збереження господарської самостійності підприємств транспортного сектору. Враховуючи господарську самостійність транспортних підприємств та функціонування в ринкових умовах, державне управління, на нашу думку, має контролювати своєчасність, повноту та якість задоволення попиту з боку населення і суспільного виробництва в перевезеннях, а також забезпечувати потреби оборони України.

Зважаючи на потребу забезпечення ефективного, якісного і безперервного транспортного зв'язку між усіма її регіонами, в Україні відбувається реформування транспортної галузі. За кілька останніх років реалізовано не один масштабний національний проект у дорожній інфраструктурі. Почав функціонувати державний дорожній фонд. У 2018 році виділено 23,8 млрд грн. на відновлення доріг державного значення, у 2019 році – 34,8 млрд грн, у 2020 році – 38,01 млрд грн. Відбулося впровадження інтелектуальних транспортних систем. Облаштовано майданчики для автоматичного зважування автомобілів у русі WIM 1 (M06), WIM 2 (M-06), WIM 3 (M-03), WIM 6 (M-07), що працюють у режимі конфігурування і первинного збирання даних. У тестовому режимі з 2019 року працює Центр обробки даних, що обробляє інформаційні потоки з зазначених майданчиків автоматичного зважування транспортних засобів. Реформування інфраструктури галузі здійснюється з урахуванням світових тенденцій.

Довгострокові конкурентні переваги транспортної галузі, на нашу думку, полягають в детально обґрунтованій стратегії модернізації, розширенні парку техніки, формуванні позитивного іміджу, формуванні альянсів та спільних проектів.

Висновки:

1. Транспортна галузь – індикатор соціально-економічного розвитку держави з одного боку, а з іншого – інструмент взаємодії з міжнародною транспортною системою.
2. Загалом вітчизняна транспортна галузь задовольняє базові потреби економіки та населення в перевезеннях. Разом з тим, не відповідають міжнародним вимогам та правилам рівень якості, ефективності та безпеки перевезень, техногенного навантаження на навколишнє середовище.
3. Цілеспрямовані програми розвитку транспортної системи забезпечують технологічно збалансований та екологічно спрямований розвиток як галузі, так і держави загалом. Від ефективності роботи та розвитку транспортної системи залежить майбутнє Української держави та добробут її громадян.

Список літератури

1. Державна служба статистики України . URL : <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 26.06.2022)
2. Дума Л. В. Вдосконалення соціально-економічного розвитку регіону на основі методів прогнозування. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія : Міжнародні економічні відносини та світове господарство*. 2018. Вип. 20 (1). С. 150-154.
3. Ільченко Д. А. Механізм державного регулювання пасажирського автомобільного транспортного комплексу. *Вісник ОНУ ім. І. І. Мечникова*. 2017. Т. 22. Вип. 3(56). С. 48-53.
4. Овчар П. А. Організаційно-управлінські особливості розвитку автомобільного транспорту України . *Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер. : Економічні науки*. 2017. Вип. 27(1). С. 76-80.
5. Павлюк А. В. Соціальні аспекти економічних процесів ринку послуг автомобільного транспорту в регіоні . *Наукові записки Інституту законодавства Верховної ради України*. 2016. № 1. С. 190-196.
6. Розвиток економічних та науково-технічних основ транспорту п'ятого покоління / Геєць В.М., Волошин О.І., Дзензерський В.О., Никифорок О.І. ; НАН України, ДУ "Ін-т екон. та прогноз. НАН України" ; Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України ; Інститут транспортних систем і технологій НАН України. К., 2020. 254 с.
7. Розвиток транспорту з метою відновлення і зростання української економіки : наукова доповідь / за ред. д-ра екон. наук О.І. Никифорок ; НАН України, ДУ "Ін-т екон. та прогноз. НАН України". К., 2018. 200 с.
8. Скочук М. П. Занепад автомобільного транспорту в результаті імітації реформ . *Економіст. Наука і практика. Бізнес-аналітика* URL: <http://ua-ekonomist.com/6301-zanepad-avtomobilnogo-transportu-v-rezultat-mtacyi-reform.html> (дата звернення:28.06/2022)
9. Планування діяльності автотранспортного підприємства. Методичні аспекти . / О.Л. Ляшук, У.М. Плекан, О.П. Цюнь, Т.Б. Пиндус. *Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.І. С. 256-262
10. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК . *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. 2018. №62. С.8-11.
11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій . *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.

References

1. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State Statistics Service of Ukraine]. *ukrstat.gov.ua*. Retrieved from <http://www.ukrstat.gov.ua>.
2. Duma, L.V. (2018). Vdoskonalennia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku rehionu na osnovi metodiv prohnzuvannia. [Improvement of socio-economic development of the region based on forecasting methods] . *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Serii : Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo – Scientific Bulletin of the Uzhhorod National University. Series: International economic relations and world economy, Issue 20 (1), 150-154 [in Ukrainian]*.
3. Ilchenko, D.A. (2017). Mekhanizm derzhavnogo rehuliuвання pasazhyrskoho avtomobilnoho transportnoho kompleksu [The mechanism of state regulation of the passenger automobile transport complex] . *Visnyk ONU im. I. I. Mechnykova – Bulletin of ONU named after I. I. Mechnikova, Vol. 22, Issue 3(56), 48-53 [in Ukrainian]*.
4. Ovchar, P.A. (2017). Orhanizatsiino-upravlinski osoblyvosti rozvytku avtomobilnoho transportu Ukrainy [Organizational and managerial features of the development of road transport in Ukraine] . *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Ser. : Ekonomichni nauky – Scientific Bulletin of Kherson State University. Ser. : Economic sciences , Issue 27(1), 76-80 [in Ukrainian]*.
5. Pavliuk, A.V. (2016). Sotsialni aspekty ekonomichnykh protsesiv rynku posluh avtomobilnoho transportu v rehioni [Social aspects of economic processes of the road transport services market in the region]. *Naukovi zapysky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi rady Ukrainy – Scientific notes of the Institute of Legislation of the Verkhovna Rada of Ukraine, 1, 190-196 [in Ukrainian]*.
6. Heiets, V.M., Voloshyn, O.I., Dzenzerskyi, V.O. & Nykyforuk, O.I. (2020). Rozvytok ekonomichnykh ta naukovo-tekhnichnykh osnov transportu p'iatoho pokolinnia [Development of the economic and scientific and technical foundations of fifth generation transport] . NAN Ukrainy, DU "In-t ekon. ta

- prohnozuv. NAN Ukrainy“ ; Instytut heotekhnichnoi mekhaniky im. M.S. Poliakova NAN Ukrainy ; Instytut transportnykh system i tekhnolohii NAN Ukrainy. Kyiv [in Ukrainian].
7. Nykyforuk, O.I. (Eds.) (2018). *Rozvytok transportu z metoiu vidnovlennia i zrostannia ukrainskoi ekonomiky : naukova dopovid [Development of transport for the purpose of recovery and growth of the Ukrainian economy: scientific report]*. NAN Ukrainy, DU "In-t ekon. ta prohnozuv. NAN Ukrainy". Kyiv [in Ukrainian].
 8. Skochuk, M.P. Zaneпад avtomobilnoho transportu v rezultati imitatsii reform [Decline of automobile transport as a result of imitation of reforms] . *Ekonomist. Nauka i praktyka. Biznes-analytika – Economist. Science and practice. Business analytics*. Retrieved from <http://ua-ekonomist.com/6301-zanepad-avtomoblnogo-transportu-v-rezultat-mtacyi-reform.html>.
 9. Liashuk, O.L., Plekan, U.M., Tson, O.P. & Pyndus, T.B. (2022). Planuvannia diialnosti avtotransportnoho pidpriemstva. Metodychni aspekty [Planning the Activities of the Motor Transport Enterprise. Methodological Aspects] . *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine, Issue 5(36), part I, 256-262* [in Ukrainian].
 10. Aulin V.V., Velykodnyi D.O., Diachenko V.O. (2018). Optymizatsiia i upravlinnia resursamy v transportno-lohistychnii systemi APK [Optimization and management of resources in the transport and logistics system of the agricultural industry] . *Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky" – Interuniversity collection "Scientific Notes"*, 62, 8-11 [in Ukrainian].
 11. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Intelektualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the implementation of innovative effective technologies]. *Increasing the reliability of machines and equipment. Increase of Machine and Equipment Reliability: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (15-17 kvitnia 2020 r.) – International Scientific and Practical Conference. Kropyvnytskyi: TsNTU* [in Ukrainian].

Uliana Plekan, PhD econ. sci., **Oleg Lyashuk**, Prof., DSc., **Natalia Rozhko**, Assoc. Prof., DSc., **Oleg Tson**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

Improvement of the Social Function of the Transport Industry of Ukraine

In the modern world, the transport industry is characterized by a wide range of relationships: technological, technical, economic, regulatory and socially responsible. A developed transport system is an important condition for the social and economic growth of the state, maintaining the competitiveness of the national economy and high standards of the quality of life of the country's population. Numerous scientific works have analyzed both the essence of the transport system and individual components of the latter - railway, road, water, pipeline, and air transport.

The article analyzes the state and problems of the development of the transport sector, indicators of freight and passenger traffic on road transport. The transport industry of Ukraine is studied through the prism of fulfilling the social function of the state. The set of advantages of road transport in the social sphere is substantiated, in particular: actual social, socio-economic, ecologically oriented technical-technological, regulatory and legal advantages. Ways to reveal the potential in the transport industry of Ukraine are proposed.

Considerable attention is paid to approaches to management and administration in improving the social function of the transport industry of Ukraine. It is proposed to improve the transport industry by modernizing public management mechanisms for supporting the domestic road transport industry. Targeted programs for the development of the transport system ensure technologically balanced and ecologically oriented development of both the industry and the state as a whole. The future of the Ukrainian state and the well-being of its citizens depend on the efficiency and development of the transport system.

transport industry, road transport, potential, social sphere, freight turnover, passenger turnover, transport system management, social function of transport

Одержано (Received) 07.07.2022

Прорецензовано (Reviewed) 19.07.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

А.С. Лімонт, доц., канд. техн. наук

Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна

e-mail: andrespartak@ukr.net

З.А. Лімонт

Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, м. Дніпро, Україна

Взаємозалежності об'єму кузова і вантажопідйомності та маси машин для внесення твердих органічних добрив

Мета роботи полягала в дослідженні зв'язку між об'ємом кузова машин для внесення ТОД і їх вантажопідйомністю та масою, а також зворотної зміни вантажопідйомності і маси цих машин залежно від об'єму кузова. В першому випадку результативною ознакою був об'єм кузова, а факторіальними – вантажопідйомність і маса машин, а в другому – за результативні ознаки прийняті вантажопідйомність і маса машин, а в якості факторіальної ознаки визначений об'єм кузова машин для внесення ТОД.

Обробка зібраних даних здійснена на засадах математичної статистики і зокрема кореляційно-регресійного аналізу та з використанням стандартних комп'ютерних програм. Коефіцієнт кореляції між об'ємом кузова машин для внесення ТОД і вантажопідйомністю машин, між вантажопідйомністю машин і об'ємом кузова мав однакове значення 0,920. Однакове значення мали і кореляційні відношення об'єму кузова на вантажопідйомність та вантажопідйомності машин на об'єм кузова, яке становило 0,935. Кількісну зміну об'єму кузова залежно від маси машин і маси машин залежно від об'єму кузова краще описують рівняння прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами ($R^2=0,824$). При збільшенні маси машин на 1 т за її зміни від 1 до 13,7 т об'єм кузова зростає на 1,8 м³. Із збільшенням об'єму кузова на 1 м³ за його зміни від 1,9 до 25,7 м³ маса кузовних машин зростає на 0,456 т.

кузовні машини для внесення твердих органічних добрив, об'єм кузова, вантажопідйомність, маса, рівняння регресії

Постановка проблеми. Наукові дослідження вітчизняних вчених агробіологічного спрямування свідчать, що в системі удобрення сільськогосподарських культур сівозміни на ґрунтах Полісся та інших зон навіть за несприятливих погодних умов органічні добрива позитивно впливають на врожай культур сівозміни і особливо врожай льону-довгунця і якість волокна. Внесення твердих органічних добрив (ТОД) поряд з іншими засобами механізації здійснюють і кузовними машинами – розкидачами добрив. В маркуванні розкидачів ТОД виробництва підприємствами, що були розташовані на території колишнього Радянського Союзу, крім буквенного позначення входило і цифрове, що могло означати вантажопідйомність засобу механізації чи об'єм кузова.

Об'єм кузова машин для внесення ТОД є одним з параметрів, що визначає запас робочого ходу машинного-тракторного агрегату (МТА), тобто шлях спорожнення кузова від технологічного матеріалу. Запас робочого ходу МТА для внесення ТОД за їх витратою в межах одного проходу кузовної машини, що агрегована з трактором, є визначальною характеристикою при проектуванні і організації території окремої загінки на удобрюваному полі. З використанням такої характеристики агрегату коригують дозу внесення добрив та ступінь спорожнення технологічної місткості (об'єму кузова) машини для внесення добрив. З урахуванням визначеного і

відкоригованого запасу робочого ходу ведуть розрахунки з обґрунтування розміщення навантажувально-розвантажувальних магістралей вздовж удобрюваного поля та уточнюють розміри заїнок за їхніми довжиною і шириною.

Значення маси кузовних машин, об'єму кузова з урахуванням об'ємної маси ТОД і коефіцієнта використання місткості кузова, вантажопідйомності кузовної машини і статичного коефіцієнта її використання необхідно знати і при визначенні тягового опору кузовних машин. Ці відомості потрібні при розрахунках з комплектування МТА, виборі режиму їх роботи та пошуку резервів економного витрачання енергоносіїв і зниження енергозатрат при удобренні ґрунту ТОД.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед досліджень з проектування технологічного процесу внесення ТОД та робочих органів кузовних машин для реалізації цього процесу крім інших відомі роботи М.К. Лінника [1] із співавторами, О.Я. Переходька і В.А. Ярощука [2], Н.М. Марченка і його співавторів [3], П.М. Заїки [4], авторів цього повідомлення [5] та інших дослідників. Аналіз цих джерел засвідчив, що обґрунтування і визначення окремих параметрів кузовних машин для внесення ТОД вимагає подальших досліджень і зокрема узагальнення деяких параметрів з урахуванням конструкцій існуючих машин для з'ясування можливих тенденцій кількісної зміни і взаємозв'язку таких, що визначають споживчі властивості машин.

Постановка завдання. Мета роботи полягала в дослідженні зв'язку між об'ємом кузова машин для внесення ТОД і їх вантажопідйомністю та масою, а також зворотної зміни вантажопідйомності і маси цих машин залежно від об'єму кузова. В першому випадку результативною ознакою був об'єм кузова, а факторіальними – вантажопідйомність і маса машин, а в другому – за результативні ознаки прийняті вантажопідйомність і маса машин, а в якості факторіальної ознаки визначений об'єм кузова машин для внесення ТОД.

Об'єкт та методика дослідження. Об'єктом дослідження були 47 марок і моделей кузовних машин для внесення ТОД, з них 14 машин виробництва підприємствами, що розміщені на території колишнього Радянського Союзу та 9 і 24 – виробництва компаніями відповідно “KUNH” і “Strautmann”. Значення досліджуваних результативних і факторіальних ознак для формування статистичних вибірок і складання двомірних варіаційних рядів відшукували з використанням інформації, що наведена в технічних характеристиках машин [6, 7, 8], та інших джерел.

Обробка зібраних даних здійснена за засадах математичної статистики [9] і зокрема кореляційно-регресійного аналізу [10] та з використанням стандартних комп'ютерних програм.

Виклад основного матеріалу. Емпіричний розподіл об'єму кузова досліджуваних машин коливався в межах від 1,9 до 25,7 м³ за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 11,9 і 5,44 м³ та коефіцієнта варіації 45,7%. Вантажопідйомність аналізованих машин коливалася в межах 2,0–34,0 т за середнього арифметичного значення і середнього квадратичного відхилення відповідно 12,64 і 6,65 т та коефіцієнта варіації 52,6%. Розмах варіювання маси машин становив 1,0–13,7 т, а середнє арифметичне значення і середнє квадратичне відхилення розподілу маси машин становили відповідно 4,93 і 2,72 т за коефіцієнта варіації 55,2%.

Результати кореляційно-регресійного аналізу об'єму кузова машин та їх вантажопідйомності і маси, як результативних ознак і відповідних їм факторіальних ознак наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати кореляційно-регресійного аналізу об'єму кузова, вантажопідйомності і маси кузовних машин для внесення твердих органічних добрив та оцінний показник рівняння регресії

Результативна – факторіальна ознаки	Коефіцієнт кореляції	Кореляційне відношення	Прогностична функція (чисельник) і рівняння регресії (знаменник)	R^2 -коефіцієнт	Помилка S_y рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації k_d
Об'єм кузова $V_{од}$ (м ³) – вантажопідйомність q_n (т) машин	0,920	0,935	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 0,799 q_n + 1,84$	0,847	2,13	0,874
Вантажопідйомність q_n (т) машин – об'єм кузова $V_{од}$ (м ³)	0,920	0,935	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $q_n = 0,581 V_{од} - 0,068$	0,847	2,61	0,874
Об'єм кузова $V_{од}$ (м ³) – маса $m_{од}$ (т) машин	0,908	0,861	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $V_{од} = 1,814 m_{од} + 3,06$	0,824	2,28	0,741
Маса $m_{од}$ (т) машин – об'єм кузова $V_{од}$ (м ³)	0,908	0,861	Прямолінійна з додатним кутовим коефіцієнтом $m_{од} = 0,456 V_{од} - 0,545$	0,824	0,48	0,741

Джерело: розроблено авторами

Коефіцієнт кореляції між об'ємом кузова $V_{од}$ (м³) машин для внесення ТОД і вантажопідйомністю q_n (т) машин, між вантажопідйомністю машин і об'ємом кузова мав однакове значення 0,920. Однакове значення мали і кореляційні відношення об'єму кузова на вантажопідйомність та вантажопідйомності машин на об'єм кузова, яке становило 0,935.

Між об'ємом кузова і масою $m_{од}$ (т) машин як і між масою машин і об'ємом кузова спостережувані значення коефіцієнтів кореляції мали також однакове значення, що дорівнювало 0,908 і було додатним. В досліджуваних обох парних зв'язках кореляційні відношення $V_{од}$ на $m_{од}$ і $m_{од}$ на $V_{од}$ мали однакове значення, що дорівнювало 0,861.

Додатні коефіцієнти кореляції в досліджуваних чотирьох парних зв'язках свідчать про зростання результативних ознак при збільшенні факторіальних. Щодо форми зв'язку (лінійна чи криволінійна), то співставлення значень коефіцієнтів кореляції і кореляційних відношень вказує на можливе криволінійне підвищення $V_{од}$ і q_n при збільшенні відповідно q_n і $V_{од}$. Аналіз визначених показників кореляційного зв'язку $V_{од}$ з $m_{од}$ та $m_{од}$ з $V_{од}$ свідчить про можливе лінійне зростання $V_{од}$ і $m_{од}$ в міру збільшення відповідно $m_{од}$ та $V_{од}$.

Для уточнення і остаточного з'ясування форми зв'язку досліджуваних результативних і факторіальних ознак здійснили вирівнювання експериментальних значень результативних ознак залежно від факторіальних рівняннями прямих і криволінійних функцій – логарифмічними, степеневими, експоненціальними, показниковими та гіперболами.

Оцінювання ступеня наближення експериментальних значень результативних ознак до їх вирівняних величин за відповідною апроксимуючою залежністю здійснювали розрахунками R^2 -коефіцієнта. За найбільшим значенням R^2 -коефіцієнта в досліджуваних залежностях віддавали перевагу одній із них, яку і приймали за прогностичну функцію зміни відповідного параметра машин з урахуванням значення іншого параметра.

За розрахованими R^2 -коефіцієнтами, що дорівнюють 0,875, краще наближення експериментальних значень $V_{\text{од}}$ і $q_{\text{н}}$ до вирівняних забезпечувала апроксимація $V_{\text{од}}$ і $q_{\text{н}}$ залежно від відповідно $q_{\text{н}}$ і $V_{\text{од}}$ рівняннями сповільнено зростаючих степеневих функцій.

Зміна $V_{\text{од}}$ залежно від $q_{\text{н}}$ описується функцією вигляду

$$V_{\text{од}} = 1,133 q_{\text{н}}^{0,029} \quad (1)$$

а $q_{\text{н}}$ від $V_{\text{од}}$ залежністю

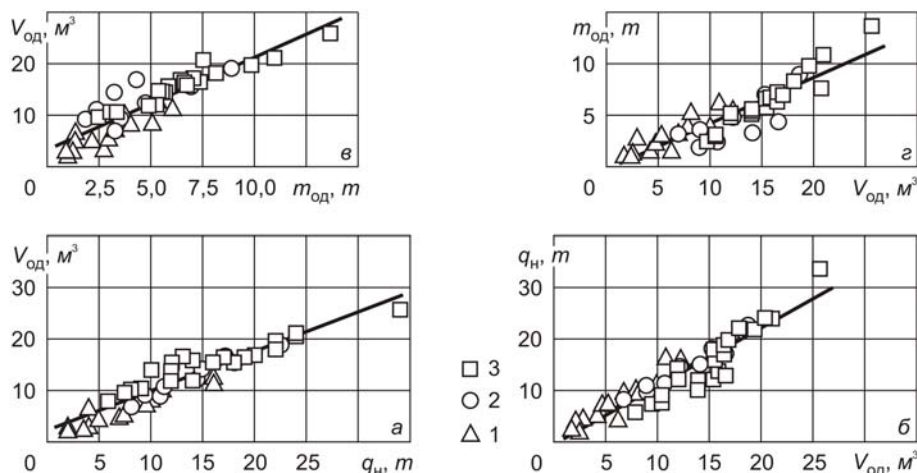
$$q_{\text{н}} = 1,194 V_{\text{од}}^{0,943} \quad (2)$$

За показником степеня функція (2) наближається до прямої.

Для практичних розрахунків зміну $V_{\text{од}}$ залежно від $q_{\text{н}}$ і $q_{\text{н}}$ залежно від $V_{\text{од}}$ доцільно подати рівняннями прямолінійних залежностей, модельні рівняння яких і визначені R^2 -коефіцієнти наведені в табл. 1. В графічному поданні модельні лінії прямолінійної регресії $V_{\text{од}}$ на $q_{\text{н}}$ і $q_{\text{н}}$ на $V_{\text{од}}$ наведені на рис. 1.

За значеннями кутового коефіцієнта рівняння прямої, що наведена на рисунку, збільшення $q_{\text{н}}$ на 1 т усереднено супроводжується підвищенням об'єму кузова майже на $0,8 \text{ м}^3$. Збільшення об'єму кузова на 1 м^3 в досліджуваних межах за значенням кутового коефіцієнта модельного рівняння прямолінійної регресії $q_{\text{н}}$ на $V_{\text{од}}$ супроводжується зростанням вантажопідйомності майже на $0,6 \text{ т}$.

Кількісну зміну $V_{\text{од}}$ залежно від $m_{\text{од}}$ і $m_{\text{од}}$ залежно від $V_{\text{од}}$ найкраще з досліджуваних апроксимуючих залежностей описують рівняння прямолінійної регресії з додатними кутовими коефіцієнтами, які забезпечують одержання найбільшого значення R^2 -коефіцієнта, що дорівнює 0,824. Модельне рівняння прямолінійної регресії $V_{\text{од}}$ на $m_{\text{од}}$ (табл. 1) має додатний кутовий коефіцієнт, який дорівнює $1,814 \text{ м}^3/\text{т}$. За такого значення кутового коефіцієнта із збільшенням маси кузовних машин на 1 т за її зміни в досліджуваних межах об'єм кузова зростає на $1,814 \text{ м}^3$.



$V_{\text{од}}$ – об'єм кузова машин для внесення твердих органічних добрив (ТОД); $q_{\text{н}}$ – вантажопідйомність кузовних машин (КМ) для внесення ТОД; $m_{\text{од}}$ – маса КМ для внесення ТОД; 1 – параметри машин виробництва підприємствами на території колишнього Радянського Союзу; 2 – те ж компанії «KUHN»; 3 – компанії «Strautmann»

Рисунок 1 – Кореляційні поля досліджуваних ознак і прогнозована зміна об'єму кузова $V_{\text{од}}$ машин для внесення ТОД залежно від їх вантажопідйомності $q_{\text{н}}$ (а) і маси $m_{\text{од}}$ (в) та вантажопідйомності $q_{\text{н}}$ і маси $m_{\text{од}}$ (з) від об'єму кузова $V_{\text{од}}$

Джерело: розроблено авторами

Модельне рівняння прямолінійної регресії $m_{\text{од}}$ на $V_{\text{од}}$, що визначає прогностичну функцію зміни $m_{\text{од}}$ залежно від $V_{\text{од}}$, наведене в табл. 1. Рівняння має додатний кутовий коефіцієнт, що дорівнює $0,456 \text{ т}/\text{м}^3$. За цим коефіцієнтом збільшення об'єму кузовних машин для внесення ТОД на 1 м^3 в досліджуваній його зміні від $1,9$ до $25,7 \text{ м}^3$

супроводжується зростанням маси машин на 0,456 т. Графічна інтерпретація з'ясованих залежностей наведена на рисунку (позиції «в» і «г»).

Визначені помилки (табл. 1) рівнянь регресії значно менші середніх арифметичних значень відповідних емпіричних розподілів. За значеннями розрахованих коефіцієнтів детермінації (табл. 1) факторіальні ознаки на 74 і 87% визначають варіювання досліджуваних результативних ознак. Решта 26 і 13% із загальної варіабільності є наслідком впливу випадкових факторів, що їх не розглядали в цьому дослідженні [9].

Висновки. Отримані в результаті дослідження модельні рівняння прямолінійної регресії об'єму кузова на вантажопідйомність і масу кузовних машин для внесення ТОД та залежності зміни вантажопідйомності і маси машин від об'єму кузова можуть бути використані при проектуванні машин для внесення ТОД та організації використання машин для удобрення ґрунту.

Перспективи подальших розвідок на нашу думку мають бути спрямовані на дослідження зв'язку і пізнання кількісних пропорцій між масою і габаритними розмірами кузовних машин для внесення твердих органічних добрив.

Список літератури

1. Машины и оборудование для производства и внесения органических удобрений: конструирование и расчет / Линник Н.К. и др.; под ред. Л.В. Погорелого. Киев: Техника, 1992. 103 с.
2. Переходько О.Я., Ярошук В.А. Обґрунтування раціональної ширини внесення твердих органічних добрив кузовними розкидачами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Київ: Урожай, 1992. Вип. 75. С. 70–74.
3. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений (Технологические основы проектирования процессов и рабочих органов). Москва: Агропромиздат, 1990. 207 с.
4. Заїка П.М. Теорія сільськогосподарських машин: машини для приготування і внесення добрив. Харків: Око, 2002. Т. 1. Ч. 3. 352 с.
5. Лімонт А.С., Ломакін В.О., Лімонт З.А. Пропускна спроможність і вантажопідйомність кузовних машин для внесення твердих органічних добрив. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки: зб. наук. праці*. Кропивницький: ЦНТУ, 2021. Вип. 4 (35). С. 134–141.
6. Клименко М. Система машин для внесения твердых та рідких органічних добрив. *Техніка АПК*. 2006. № 8. С. 21–23.
7. KUHN. Каталог техніки. 2018. 64 с.
8. B. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG Проспекти розкидачів органічних добрив.
9. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учеб. пособ. Москва: Изд-во Москов. ун-та. 1972. 292 с.
10. Уланова Е.С., Забелин В.Н. Методы корреляционного и регрессионного анализа в агрометеорологии: монография. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990. 208 с.

References

1. Linnik, N.K. et al. (1992). *Mashiny i oborudovanie dlja proizvodstva i vnesenija organicheskikh udobrenij: konstruirovanie i raschet* [Machinery and equipment for the production and application of organic fertilizers: design and calculation]. L.V. Pogorelogo (Ed.). Kiev: Tjehnika [in Russian].
2. Perehod'ko, O.Ya. & Yaroshuk, V.A. (1992). Obgruntuvannia ratsional'noi shyriny vnesennia tverdykh orhanichnykh dobryv kuzovnymy rozkydachamy [Substantiation of the rational width of application of solid organic fertilizers by body spreaders]. *Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia sil's'koho hospodarstva – Mechanization and electrification of agriculture*, Issue 75, 70–74. [in Ukrainian].
3. Marchenko, N.M., Lichman, G.I. & Shebalkin, A.E. (1990). *Mehanizacija vnesenija organicheskikh udobrenij* (Tehnologicheskie osnovy proektirovaniia processov i rabochih organov) [Mechanization of the application of organic fertilizers (Technological bases for the design of processes and working bodies)]. Moskva: Agropromizdat [in Russian].
4. Zaika, P.M. (2002). *Teoriia sil's'kohospodars'kykh mashyn: mashyny dlia pryhotuvannia i vnesennia dobryv* [Theory of agricultural machines: machines for preparing and applying fertilizers]. Kharkiv: Oco, Vol. 1, part 3, 352 [in Ukrainian].

5. Limont, A.S., Lomakin, V.O. & Limont, Z.A. (2021). Propuskna spromozhnist' i vantazhopidjornist' kuzovnykh mashyn dlia vnesennia tverdykh orhanichnykh dobryv [Throughput capacity and carrying capacity of body machines for applying solid organic fertilizers]. *Tsentrul'noukrains'kyi naukovyj visnyk. Tekhnichni nauky: zb. nauk. pratsi – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 4* (35), 134–141 [in Ukrainian].
6. Klymenko, M. (2006). Systema mashyn dlia vnesennia tverdykh ta ridkykh orhanichnykh dobryv [A system of machines for applying solid and liquid organic fertilizers]. *Tekhnika APK –Agricultural machinery*, 8, 21–23 [in Ukrainian].
7. KUH. Kataloh tekhniki. 2018. 64 s. [in Ukrainian].
8. B. Strautmann & Söhne GmbH & Co. KG. Prospekty rozkydachiv orhanichnykh dobryv [Prospectuses of spreaders of organic fertilizers]. [in Ukrainian].
9. Dmitriev, E.A. (1972). *Matematicheskaja statistika v pochvovedenii [Mathematical statistics in soil science]*. Moskva: Izd-vo Moskov. un-ta. [in Russian].
10. Ulanova, E.S. & Zabelin, V.N. (1990). *Metody korrelyacionnogo i regressionnogo analiza v agrometeorologii [Methods of correlation and regression analysis in agrometeorology]*. Leningrad: Gidrometeoizdat [in Russian].

Anatoliy Limont, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Zhytomyr Agrotechnical Colledge, Zhytomyr, Ukraine

Zlata Limont, student

Dnipro National University named after Oles Honchar, the city of Dnipro, Ukraine.

Interdependence of Body Volume and Load Capacity and Weight of Machines for Application of Solid Organic Fertilizers

The aim of the study was to investigate the relationship between the body volume of solid organic fertilizer (TOD) machines and their load capacity and weight, as well as the inverse change in load capacity and weight of these machines depending on the body volume. In the first case, the effective feature was the volume of the body, and the factorial – load capacity and weight of machines, and in the second – the effective characteristics were taken to be the load capacity and weight of machines, and as a factorial feature was the body size of the machine. The study included 47 brands and models of body machines for TOD, including 14 machines manufactured by enterprises located in the former Soviet Union, and 9 and 24 produced by “KUH” and “Strautmann”, respectively. The value of the studied resultant and factorial features was found using information from domestic and foreign literature.

The collected data are processed on the basis of mathematical statistics and in particular correlation-regression analysis and using standard computer programs. The correlation coefficient between the volume of the body of the machine for applying TOD and the load capacity of the machines, between the load capacity of the machines and the volume of the body was the same value 0.920. The correlation ratios of body volume to load capacity and machine load capacity to body volume, which was 0.935, were equally important. Between the volume of the body and the weight of the cars as well as between the weight of the cars and the volume of the body, the observed values of the correlation coefficients also had the same value, equal to 0.908 and positive. In the two paired relationships studied, the correlations between body volume to machine weight and machine mass to body volume had the same value of 0.861.

Quantitative changes in body volume depending on the weight of the machines and the weight of the machines depending on the volume of the body are better described by the equations of rectilinear regression with positive angular coefficients ($R^2 = 0.824$). As the weight of the machines increases by 1 ton and changes from 1 to 13.7 tons, the body volume increases by 1.8 m³. With an increase in body volume by 1 m³ with its change from 1.9 to 25.7 m³, the weight of body cars increases by 0.456 tons. Quantitative change in body volume depending on load capacity and load capacity depending on body volume should be described by equations of rectilinear regressions with positive angular coefficients ($R^2 = 0.847$). According to the calculated R^2 coefficients equal to 0.875, the approximation of the experimental values of the effective features of body volume and load capacity to their aligned values was provided by approximating the change in body volume and load capacity by the equations of slowly increasing power functions. According to the angular coefficients of the equations of lines when increasing the load capacity of body machines by 1 ton for its change from 2 to 34 tons, the body volume increases by 0.799 m³, and when increasing the body volume by 1 m³ for its changes from 1.9 to 25, 7 m³ capacity of machines increases by 0.581 tons.

body machines for solid organic fertilizers, body volume, load capacity, mass, regression equations

Одержано (Received) 16.02.2022

Прорецензовано (Reviewed) 25.02.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.052

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.173-182](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.173-182)**В.І. Котенко**, асп.*Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна**e-mail: mialkovska.viktoria@gmail.com*

Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур

У роботі проаналізовано можливості застосування обчислювального інтелекту у логістичних системах доставки сільськогосподарської продукції. Виявлено необхідність до використання алгоритмічних моделей машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур. На основі історичних даних підприємства, що здійснює транспортування сільськогосподарської продукції, проведено прогнозування витрат пального транспортними засобами з використанням алгоритмічних моделей регресії: ДТ дерева рішень та RF випадкового лісу. За результатами моделювання встановлено, що найкращий прогноз витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, виконує модель RF випадкового лісу, яка забезпечує відносну помилку отриманих результатів 4,6%.

модель машинного навчання, витрата палива, модель випадкового лісу, модель дерева рішень, транспортування зернових культур

Постановка проблеми. З року в рік інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень у автотранспортних логістичних системах набувають більшого використання [1; 2]. При цьому використання обчислювального інтелекту у логістичному управлінні є одним із найбільш перспективним напрямів підвищення ефективності доставки вантажів. Це стосується і управління у логістичних системах доставки сільськогосподарської продукції, зокрема і насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеваторів. Зазвичай автотранспортні підприємства не враховують того, що витрати пального, як основна складова собівартості процесу доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, значною мірою зумовлюються специфічними виробничими умовами. Можливості обчислювального інтелекту, а саме машинного навчання, дозволяють врахувати ці умови та здійснити достатньо точне прогнозування витрат пального транспортними засобами, які слугуватимуть підставою для подальшого вибору раціональних транспортних засобів та оптимізації витрат [3].

Постановка завдання. Метою роботи є обґрунтування та оптимізація алгоритмічної моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останнім часом зросло число досліджень [4-15], які стосуються застосування обчислювального інтелекту, зокрема машинного навчання, у логістичних системах. Так, алгоритми машинного навчання використовують для прогнозування виду транспортування [5;6;7], тривалості

виконання транспортних операцій [8;9;10], вибору типу автомобіля [11], витрат палива [12;13;14], вартості замовлення [15] тощо. Проте, відсутні публікації щодо алгоритмічного моделювання доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств.

Виклад основного матеріалу. Отримати точні прогнози витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора можливо на підставі алгоритмічних моделей машинного навчання. Однак вони потребують наявності великих вибірок історичних даних, які описуються стаціонарними розподілами. Під час виконання алгоритмічного моделювання доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора використано історичні дані підприємства, що здійснює транспортування сільськогосподарських вантажів. Характеристику вибірових даних наведено у табл.1.

Таблиця 1 – Характеристика даних для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

	Unnamed: 0	Відстань, км (загальна)	Фактичні витрати палива, літрів	Витрати ДП. літрів/100км	Вантажообіг, т.км	Обсяг вантажу, тон
count	14142.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000	14140.000000
mean	7070.500000	100.441443	45.744879	48.113574	2485.322476	45.806377
std	4082.588088	124.242033	52.413783	8.605360	3090.855755	75.020569
min	0.000000	1.000000	0.293000	16.863793	1.000000	0.750000
25%	3535.250000	39.000000	19.203500	44.759967	977.265000	24.710000
50%	7070.500000	68.000000	32.128000	46.713318	1677.905000	25.800000
75%	10605.750000	104.000000	48.359250	50.484336	2582.730000	49.020000
max	14141.000000	1125.000000	473.202000	99.966667	28777.500000	1667.900000

Джерело: розроблено автором

На основі проведеного аналізу стану використання алгоритмічного моделювання у різних прикладних галузях встановлено, що задача прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора належить до задач множинної регресії [16;17;18]. При цьому найбільш розповсюдженими і досить точними алгоритмічними моделями регресії є:

- 1) модель DT (Decision Tree) дерева рішень;
- 2) модель RF (Random Forest) випадкового лісу.

Для кожної із представлених моделей машинного навчання оцінюють ефективність прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення за такими критеріями:

- абсолютна помилка MAE ;
- середньоквадратична помилка $RMSE$;
- загальний час навчання $Total Time$;
- відносний час навчання $Traning Time$.

Оптимальною вважається така модель прогнозування прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення яка забезпечує мінімізацію означених критеріїв:

$$E_M(SFC_{ri}) = f(MAE, RMSE, Total Time, Training Time) \rightarrow \min. \quad (1)$$

На підставі вибраної моделі машинного навчання для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами r -ї марки під час обслуговування i -го замовлення використовують існуючі засоби покращення якості прогнозу. Це виконується на підставі додавання адаптивних підсилень, збільшення глибини проведення досліджень окремих видів дерев рішень, а також пропонуванням різних правил для виконання прогнозування тощо.

Модель DT передбачає побудову дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами. Структура цього дерева організована так, що дерево має корінь, гілки що являють собою внутрішні вузли та листя, які у подальшому не класифікуються. Внутрішні вузли дерева рішень є атрибутами, а водночас гілки, які з'єднують окремі вузли, забезпечують визначення значень цих атрибутів. Окрім того, листи представляють собою мітки класів, що використовують для прийняття рішень під час прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

Залежна змінна у нашій задачі є питомі витрати пального (SFC_{ri}) транспортними засобами має кількісне значення. Відповідно до цього слід побудувати дерево регресії щодо вирішення зазначеної задачі. Розроблено множину алгоритмів дерев рішень (ID3, C4.5, C5.0, CART, SPRINT), які мають свої переваги та недоліки [19]. Кожен із них передбачає використання спеціальних функцій, які виконують розподіл наборів даних за означеними атрибутами. Серед них заслуговує на увагу алгоритм «CART», який ще називають дерево класифікації або регресії [20]. Цей алгоритм належить до алгоритмів машинного навчання із учителем. Оцінювальна функція алгоритму CART забезпечує зменшення невизначеності у окремих вузлах побудованого дерева. Модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат палива (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора формалізується із використанням індексу *Gini*. За умови, що набір даних (data set) (DS) для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами містить дані m -х класів, індекс *Gini* можна визначити за виразом [21]:

$$Gini(DS) = 1 - \sum_{b=1}^m P_b^2, \quad (2)$$

де P_b – відносна частота b -го класу у заданому наборі із даними (DS).

Якщо заданий набір із даними (DS) розбивають на дві окремі вибірки DS_1 і DS_2 із множиною спостережень відповідно n_1 та n_2 , то якість цієї розбивки можна визначити за показником:

$$Gini_{split}(DS) = \frac{n_1}{n} Gini(DS_1) + \frac{n_2}{n} Gini(DS_2). \quad (3)$$

Найкращим розбиванням заданого набору із даними (DS) вважають таке, яке дає можливість виконати мінімізацію індексу $Gini_{split}(DS)$. За умови, що відома кількість замовлень (n) на доставку насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, яка відповідає батьківському вузлу, кількість їх у лівих (l) та правих (r) дочірніх вузлах та кількість екземплярів b -го класу лівого (l_b) та правого (r_b) дочірніх вузлів, відповідають якості розбивки і оцінюються за формулою:

$$Gini_{split} = \frac{l}{n} (1 - \sum_{b=1}^m (\frac{l_b}{l})^2) + \frac{r}{n} (1 - \sum_{b=1}^m (\frac{r_b}{r})^2) \rightarrow \min. \quad (4)$$

У результаті проведених досліджень було створено модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, подано на рис. 1.

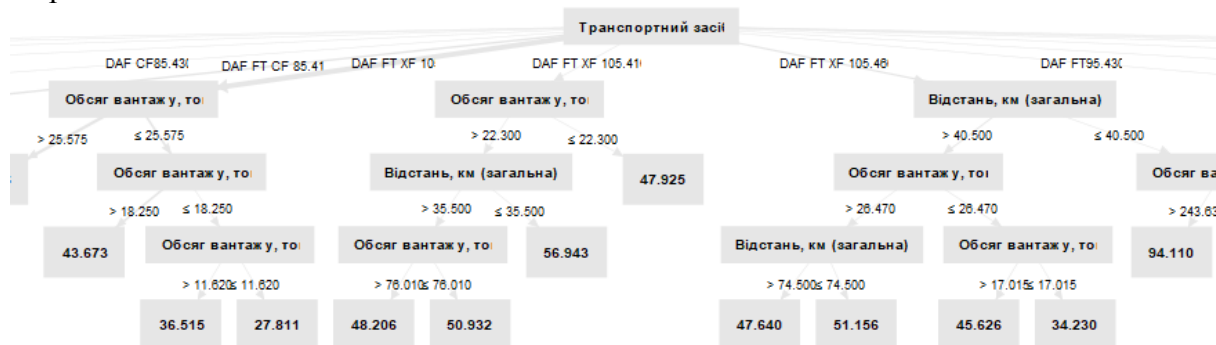


Рисунок 1 – Фрагмент моделі DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Джерело: розроблено автором

Запропонована модель DT дерева рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами дає можливість рекурсивно розбити множину заданого набору із даними (DS) на підмножини із використанням критерію мінімальної середньої квадратичної помилки (MSE) [20].

Модель RF випадкового лісу прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами належить до машинного навчання із учителем та передбачає виконання побудови ансамблів регресійних дерев. Кожне окреме із цих дерев рішень характеризується високою дисперсією δ_i . Однак, за їх системного паралельного об'єднання, результуюче значення дисперсії δ_Σ є низькою. Це пов'язано із тим, що окремі дерева рішень ідеально навчені на заданих зразках даних, а отриманий результат є не від одного окремого дерева рішень, а від множини сформованих дерев рішень (рис. 2).

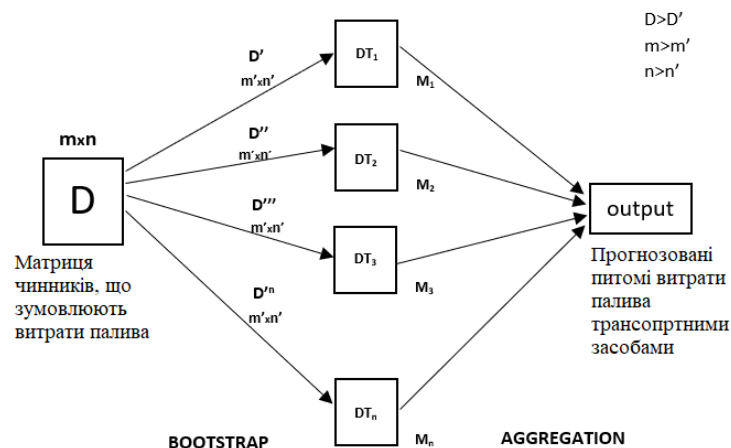


Рисунок 2 – Структурна модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Джерело: розроблено автором

Під час отримання прогнозованого значення результуючий результат залежить від класифікатора із більшістю голосів окремих дерев. У нашому випадку результат прогнозування отримують як середнє значення усіх результатів прогнозу питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, отриманих від окремих дерев рішень. Зазначену складову називають агрегацією.

Модель RF випадкового лісу являє собою ансамбль дерев рішень, які здатні розв'язувати задачу регресії для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням техніки, що називається «Bootstrap» та «Aggregation», які у літературі широко відомі як «Bagging» [22]. Модель RF випадкового лісу передбачає побудову декількох дерев рішень для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, які є базовими моделями навчання.

Перш ніж формалізувати модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами, дамо деякі визначення. У наших дослідженнях робимо припущення, що нам надано навчальну вибірку:

$$D_n = \{(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{r1}), \dots, (X_{n1}, X_{n2}, \dots, X_{nj}, SFC_{rn})\}. \quad (5)$$

Окрім того, $[0,1]^d \times \mathbb{R}$ -оцінка випадкові змінні ($d \geq 2$) з тим же розподілом, що і незалежна базова пара $(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri})$, яка задовольняє умову:

$$E(SFC_{ri})^2 < \infty. \quad (6)$$

Простір $[0,1]^d$ забезпечено стандартною евклідовою метрикою. Для фіксованого $(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri}) \in [0,1]^d$ слід оцінити функцію регресії із використанням D_n :

$$r(x) = E[SFC_{ri} | X = (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j})]. \quad (7)$$

При цьому, оцінка функції регресії r_n є узгодженою, якщо:

$$E[r_n(X) - r(X)]^2 \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Формально, модель RF випадкового лісу є предиктором, що складається з колекції рандомізованих базових регресійних дерев:

$$\{r_n\}(X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1j}, SFC_{ri}, D_n), m \geq 1, \quad (9)$$

де $SFC_{r1}, SFC_{r2}, \dots, SFC_{rm}$ – прогнозовані випадкові значення питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

Усі отримані випадкові дерева об'єднуються, щоб сформувати агреговану оцінку регресії:

$$\bar{r}_n(X, D_n) = E(SFC_{ri})[r_n(X, SFC_{ri}, D_n)]. \quad (10)$$

На підставі проведених досліджень отримали модель RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням техніки, фрагмент якої подано на рис. 3.

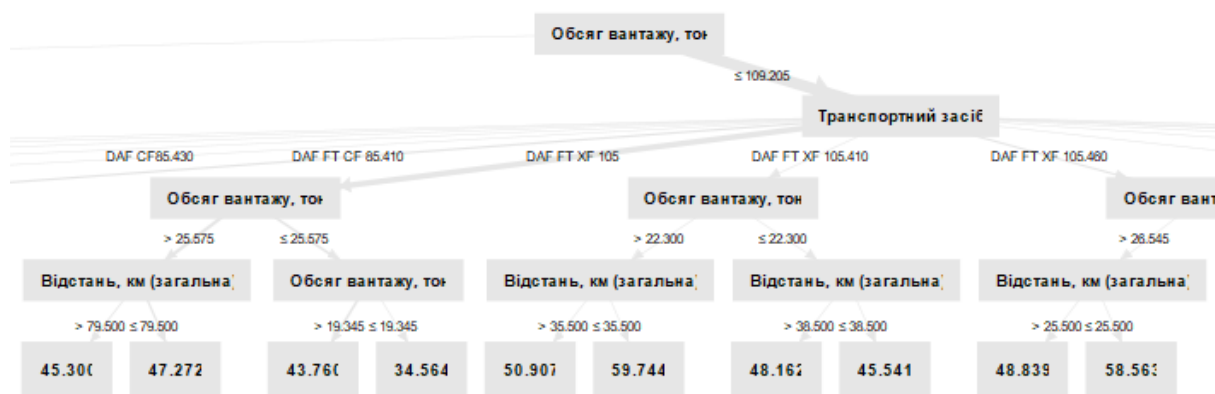


Рисунок 3 – Фрагмент моделі RF випадкового лісу для прогнозування питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами

Джерело: розроблено автором

Отримані кількісні значення прогнозу питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням моделі RF випадкового лісу представляють як середні прогнозні значення, що були отримані кожним із 5 дерев рішень обґрунтованого ансамблю. Отриманий прогноз питомих витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами із використанням моделі RF випадкового лісу на відміну від значень окремих дерев, має меншу здатність до перенавчання моделі та більшу гнучкість до межі прийнятих рішень щодо витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами.

Оцінювання зазначених моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора виконували за окремими критеріями (абсолютна помилка; стандартне відхилення; загальний час навчання; відносний час навчання). Отримані результати виконаних досліджень щодо оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами подано у табл. 2.

Таблиця 2 – Результати оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Модель	Питоми витрати палива ТЗ, літрів /100км		Тривалість машинного навчання моделі, мс		
	Абсолютна помилка	Стандартне відхилення	Загальний час	Час тренувань	Час підрахунку (1000 рядків)
модель DT (Decision Tree) дерева рішень	3,402	0,073	1895	1,556	1,945
модель RF (Random Forest) випадкового лісу	2,246	0,041	4798	2,687	7,072

Джерело: розроблено автором

На підставі отриманих даних (табл. 2) щодо оцінювання моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових

культури від сільськогосподарських підприємств до елеватора слід зазначити, що за абсолютною помилкою найкращі показники отримано із використанням моделі RF (Random Forest) випадкового лісу. Саме зазначена модель дає можливість забезпечити абсолютну помилку 2,246 із стандартними відхиленнями $\pm 0,041$.



Рисунок 4 – Результати оцінювання відносної помилки моделей прогнозування витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора

Джерело: розроблено автором

На підставі даних рис. 4 спостерігаємо, що найкращий прогноз витрат пального (SFC_{ri}) транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, виконує модель RF (Random Forest) випадкового лісу, яка забезпечує відносну помилку отриманих результатів 4,6% із стандартним відхилення $\pm 0,1$ та загальним часом машинного навчання 4,8с.

Висновки.

1. Обґрунтовано застосування алгоритмічної моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора.

2. Проаналізовано дослідження використання алгоритмічних моделей машинного навчання для вантажних перевезень, зокрема прогнозування виду транспортування, тривалості виконання транспортних операцій, вибору типу автомобіля, витрат палива та вартості доставки.

2. На основі історичних даних підприємства, яке здійснює транспортування зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, проведено прогнозування витрат пального транспортними засобами з використанням алгоритмічних моделей регресії: DT дерева рішень та RF випадкового лісу.

4. Встановлено, що найкращий прогноз витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур від сільськогосподарських підприємств до елеватора, виконує модель RF випадкового лісу, яка забезпечує відносну помилку отриманих результатів 4,6% із стандартним відхилення $\pm 0,1$ та загальним часом машинного навчання 4,8с.

Список літератури

1. Mhaskar H.N., Poggio T. Deep vs. shallow networks: An approximation theory perspective. *Analysis and Applications*. Vol.14. Issue 6. 2016. P. 829–848.
2. Deep Residual Learning for Image Recognition / He K.M., Zhang X.Y., Ren S.Q., Sun J. *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2016. 770–778.
3. Kotenko V. Development of the grain crops supply chain model. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021.14(2). С. 33-37.
4. Utilizing machine learning on freight transportation and logistics applications: A review / Tsolaki K., Vafeiadis T., Nizamis A., Ioannidis D., Tzovaras D. *ICT Express*. 2022. DOI:10.1016/j.ict.2022.02.001.
5. Samimi A., Razi-Ardakani H., Nohekhan A. A Comparison between Different Data Mining Algorithms in Freight Mode Choice. *American Journal of Applied Sciences*. 2017. 14 (2). pp. 204-216. DOI: 10.3844/ajassp.2017.204.216
6. Abdelwahab W., Saye, T. Freight mode choice models using artificial neural networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*. 1999. 16(4). Pp. 267-286. DOI:10.1080/02630259908970267
7. Tortum, A., Yayla, N., Gökdağ M. The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*. 2009. 36. Pp. 6199-6217. DOI:10.1016/j.eswa.2008.07.032.
8. Van der Spoel S., Chintan A., Van Hillegersberg J. Predictive analytics for truck arrival time estimation: a field study at a European distribution center. *International Journal of Production Research*. 2015. DOI: 10.1080/00207543.2015.1064183
9. Travel Time Prediction in a Multimodal Freight Transport / Servos N., Liu X., Teucke M., Freitag M. Relation Using Machine Learning Algorithms. *Logistics*. 2020.4. 1. DOI:10.3390/logistics4010001
10. Якушенко О. С., Шевчук Д. О., Медінський Д. В. Нейромережева модель для прогнозування часу на виконання транспортної задачі. *Наукові технології*. 2021. 49(1). С. 33-38. DOI:10.18372/2310-5461.49.15289
11. Unmad A., Roorda M. J. Modeling Freight Vehicle Type Choice using Machine Learning and Discrete Choice Methods. *Transportation Research Record*. 2022. 2676(2). Pp. 541-552. DOI:10.1177/03611981211044462
12. A Machine Learning Model for Average Fuel Consumption in Heavy Vehicles / Schoen A., Byerly A., Hendrix B., Bagwe R. M., Santos E. C. d., Miled Z. B. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. 2019. vol. 68. no. 7. pp. 6343-6351. DOI: 10.1109/TVT.2019.2916299.
13. Data driven analysis and forecasting of medium and heavy truck fuel consumption / Bousonville T., Cheubou Kanga D., Krüger T., Dirichs M. *Enterprise Information Systems*. 2020. DOI: 10.1080/17517575.2020.1856417
14. Topić J., Škugor B., Deur J. Neural Network-Based Prediction of Vehicle Fuel Consumption Based on Driving Cycle Data. *Sustainability*. 2022. 14. 744. DOI:10.3390/su14020744
15. Prediction of Transportation Costs Using Trapezoidal Neutrosophic Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks / Singh A., Das A., Bera U. K., Lee G. M. *IEEE Access*. 2021. vol. 9. pp.103497-103512. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3098657.
16. Bashynsky O., Medvediev Ye., Slobodian S., Skorobogatov D. Justification of models of changing project environment for harvesting grain, oilseed and legume crops. *Independent Journal of Management & Production (Special Edition PDATU)*. 2019. Vol 10. No 7. pp. 658-672.
17. Особливості проектно-орієнтованого управління діяльністю транскордонних оперативно-рятувальних підрозділів / Ратушний Р. Т. та ін. *Вісник ЛДУ БЖД : зб. наук. праць*. Львів: ЛДУБЖД, 2019. №19. С. 51–60.
18. Koval N., Tryhuba A., Kondysiuk I., Tryhuba I., Boiarchuk O., Rudynets M., Grabovets V., Onyshchuk V. Forecasting the fund of time for performance of works in hybrid projects using machine training technologies. *3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop, MoMLet and DS 2021, CEUR Workshop Proceedings 2917, Lviv-Shatsk*, 2021. pp. 196–206.
19. Singh, S., & Gupta, P. (2014). Comparative study ID3, CART and C4.5 Decision tree algorithm: A Survey. *International Journal Of Advanced Information Science And Technology (IJAIST)*. 2014. no. 27. Pp. 2319-2682.
20. Lewis Roger. An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis. 2000.
21. Daniya. T., Geetha M., Suresh Kumar K. Classification and regression trees with gini index. *Advances in Mathematics Scientific Journal*. 2020. no. 9. pp.1857-8438. DOI:10.37418/amsj.9.10.53.
22. Bauer E., Kohavi R. An Empirical Comparison of Voting Classification Algorithms: Bagging, Boosting, and Variants. *Machine Learning* 36, 1999. 105–139. DOI:10.1023/A:1007515423169

References

1. Mhaskar, H.N., & Poggio, T. (2016) Deep vs. shallow networks: An approximation theory perspective. *Analysis and Applications*. Vol.14, Issue 6, pp. 829–848 [in English].
2. He, K.M., Zhang, X.Y., Ren, S.Q. & Sun J. (2016). Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proc. Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778 [in English].
3. Kotenko, V. (2021). Development of the grain crops supply chain model. *Visnyk mashynobuduvannia ta transportu*. 14(2), pp. 33-37. [in English].
4. Tsolaki, K., Vafeiadis, T., Nizamis, A., Ioannidis, D. & Tzovaras, D. (2022). Utilizing machine learning on freight transportation and logistics applications: A review. *ICT Express*. DOI:10.1016/j.icte.2022.02.001.
5. Samimi, A., Razi-Ardakani, H., Nohekhan, A. (2017). A Comparison between Different Data Mining Algorithms in Freight Mode Choice. *American Journal of Applied Sciences* 14 (2), 204-216. DOI: 10.3844/ajassp.2017.204.216 [in English].
6. Abdelwahab, W., & Sayed, T. (1999). Freight mode choice models using artificial neural networks. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 16(4), 267-286. DOI:10.1080/02630259908970267 [in English].
7. Tortum, A., Yayla, N. & Gökdağ M. (2009). The modeling of mode choices of intercity freight transportation with the artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 36, 6199-6217. DOI:10.1016/j.eswa.2008.07.032 [in English].
8. Van der Spoel, S., Chintan, A., Van Hillegersberg, J. (2015). Predictive analytics for truck arrival time estimation: a field study at a European distribution center, *International Journal of Production Research*. DOI: 10.1080/00207543.2015.1064183 [in English].
9. Servos, N., Liu, X., Teucke, M. & Freitag, M. (2020). Travel Time Prediction in a Multimodal Freight Transport Relation Using Machine Learning Algorithms. *Logistics* 4, 1. DOI:10.3390/logistics4010001 [in English].
10. Yakushenko, A., Shevchuk, D. & Medynskyi, D. (2021). Neiromerezheva model dlia prohnouzuvannia chasu na vykonannia transportnoi zadachi. [Neural network model for predicting the execution time of a transport task] *Science-Based Technologies*, 49(1), 33-38. [in Ukrainian]. DOI:10.18372/2310-5461.49.15289 [in English].
11. Usman, A., & Roorda, M.J. (2022). Modeling Freight Vehicle Type Choice using Machine Learning and Discrete Choice Methods. *Transportation Research Record*. 2676(2), 541-552. DOI:10.1177/03611981211044462 [in English].
12. Schoen, A., Byerly, A., Hendrix, B., Bagwe, R. M., Santos, E. C. d., Miled, Z. B. (2019). A Machine Learning Model for Average Fuel Consumption in Heavy Vehicles. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 68, no. 7, pp. 6343-6351. DOI: 10.1109/TVT.2019.2916299. [in English].
13. Bousonville, T., Cheubou Kamga D., Krüger T., Dirichs, M. (2020). Data driven analysis and forecasting of medium and heavy truck fuel consumption. *Enterprise Information Systems*. DOI: 10.1080/17517575.2020.1856417 [in English].
14. Topić, J., Škugor, B. & Deur, J. (2022). Neural Network-Based Prediction of Vehicle Fuel Consumption Based on Driving Cycle Data. *Sustainability* 14, 744. DOI:10.3390/su14020744 [in English].
15. Singh, A., Das, A., Bera, U. K., Lee, G. M. (2021). Prediction of Transportation Costs Using Trapezoidal Neutrosophic Fuzzy Analytic Hierarchy Process and Artificial Neural Networks. *IEEE Access*, vol. 9, 103497-103512, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3098657. [in English].
16. Bashynsky, O., Medvediev, Ye., Slobodian, S., Skorobogatov, D. (2019). Justification of models of changing project environment for harvesting grain, oilseed and legume crops. *Independent Journal of Management & Production (Special Edition PDATU)*, Vol 10, No 7, pp. 658-672. [in English].
17. Ratushnyi, R.T., Tryhuba, A.M., Khmel, P., Smotr, O.O. & Prydatko, O.V. (2019). Osoblyvosti proektno-oriietovanoho upravlinnia diialnistiu transkordonnykh operatyvno-riatuvalnykh pidrozdiliv. [Peculiarities of project-oriented management of activities of cross-border operative rescue units]. *Visnyk LDU BZhD : zb. nauk. prats. Lviv: LDUBZhD.* №19. 51–60. [in Ukrainian].
18. Koval, N., Tryhuba, A., Kondysiuk, I., Tryhuba, I., Boiarchuk, O., Rudynets M. et al. (2021). Forecasting the fund of time for performance of works in hybrid projects using machine training technologies. *3rd International Workshop on Modern Machine Learning Technologies and Data Science Workshop, MoMLet and DS 2021, CEUR Workshop Proceedings 2917*, Lviv-Shatsk, pp. 196–206. [in English].
19. Singh, S., & Gupta, P. (2014). Comparative study ID3, CART and C4.5 Decision tree algorithm: A Survey. *International Journal Of Advanced Information Science And Technology (IJAIST)*, 27(2319:2682). [in English].
20. Lewis, Roger. (2000). An Introduction to Classification and Regression Tree (CART) Analysis. [in English].

21. Daniya, T., Geetha, M., Suresh Kumar, K. (2020). Classification and regression trees with gini index. *Advances in Mathematics Scientific Journal*. 9. 1857-8438. DOI:10.37418/amsj.9.10.53. [in English].
22. Bauer, E., & Kohavi, R. (1999). An Empirical Comparison of Voting Classification Algorithms: Bagging, Boosting, and Variants. *Machine Learning* 36, 105–139. DOI:10.1023/A:1007515423169 [in English].

Viktoriia Kotenko, post-graduate

Vinnitsya National Technical University, Vinnitsya, Ukraine

Machine Learning Algorithmic Models for Forecasting Fuel Consumption by Vehicles of the Grain Crops Delivery

The analysis of the state of development and use of machine learning algorithmic models in road transport logistics systems has been carried out.

The expediency of application of machine learning algorithmic model for predicting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the grain elevator has been substantiated.

The regression machine learning algorithmic models: DT (Decision Tree) model and the RF (Random Forest) model for forecasting fuel consumption by vehicles is selected. On the basis of historical data of the enterprise that transports grain crops from agricultural enterprises to the elevator, forecasting of fuel consumption by vehicles with the use proposed models has been carried out. The resulting prediction of vehicle fuel consumption with the use the RF random forest model, as opposed to the values of individual decision trees, has a lower ability to retraining and greater flexibility to the limit of vehicle fuel consumption decisions.

Evaluation of the specified models for forecasting fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the grain elevator has been performed according the following criteria: mean absolute error (MAE), root mean square error (RMSE), Total time and Training time. It has been determined that the best prediction of fuel consumption by vehicles during the grain crops delivery from agricultural enterprises to the grain elevator is performed by the RF random forest model, which provides a relative error of the obtained results of 4.6% with a standard deviation of ± 0.1 and a total machine learning time of 4.8s.

The obtained results of the researches can be used for the selection of the most efficient means of transport for executing orders of the grain crops delivery from agricultural enterprises to the elevator.

machine learning model, fuel consumption, random forest model, decision tree model, grain crops transportation

Одержано (Received) 13.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 20.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 656.13.072

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.182-187](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.182-187)

А.В. Йовченко, доц., канд. техн. наук, **А.М. Крейда**, ст. викл., **Є.А. Усенко**

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua, a.kreida@chdtu.edu.ua, yevhenii_ck@ukr.net

Аналіз існуючих такелажних засобів для переміщення, завантаження та розвантаження вантажу при транспортуванні

Виконано аналіз існуючих такелажних засобів для транспортування, завантаження та розвантаження великогабаритного та великовагового вантажу. Наведено фактори, які необхідно враховувати при виборі такелажних візків для зменшення травм та підвищення ефективності транспортування вантажів. Надано вимоги для ефективного та безпечного транспортування вантажу.

такелажний візок, транспортування, ролики, великогабаритний вантаж, великоваговий вантаж

© А.В. Йовченко, А.М. Крейда, Є.А. Усенко, 2022

Постановка проблеми. При проведенні такелажних робіт виникають складні маніпуляції з важкими і об'ємними вантажами. Транспортування великогабових і великогабаритних конструкцій здійснюється при використанні такелажних засобів та спеціалізованої техніки, наприклад - такелажних візків, без яких багато різних видів промисловості матимуть проблеми з транспортуванням важких вантажів, необхідних для належного виконання роботи. Однак, необхідно врахувати, що видів такелажних візків безліч і обрати найбільш відповідний потрібним вимогам дуже важко. В даній статті буде виконано аналіз існуючих такелажних візків та область їх застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Такелажне обладнання можна умовно розділити на дві групи - для проведення легких такелажних робіт (домкрати, талі, лебідки, важелі) і для переміщення важких вантажів (такелажні візки, підйомники, автокрани, вантажопідйомні крани) [1]. Такелажні візки широко застосовуються при транспортуванні різноманітних важких вантажів у найрізноманітніших умовах. Вони вигідно виділяються серед іншого такелажного обладнання. Їх обирають в залежності від навантаження та обраної схеми переміщення [2-4].

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз існуючих такелажних засобів, їх переваг та недоліків, а також пошук оптимального варіанту візка за критерієм максимальної маси вантажу, що транспортується.

Виклад основного матеріалу. Дуже часто виникає необхідність переміщення важкого або великогабаритного вантажу. Особливо це актуально для складських майданчиків, виробництв та інших підприємств, на яких неможливо або недоцільно використання виловних навантажувачів та іншої складської техніки. Вихід із такої ситуації – такелажні візки.

Такелажний візок - підкатна опора, призначена для переміщення вантажу на відкритих і закритих майданчиках. Роликова платформа являє собою вантажний майданчик, виготовлений зі сталі і оснащений роликами для переміщення.

Такелажні візки поділяються на три види за їх видом керованості [5]:

Візок керований – пристрій, обладнаний поворотним механізмом з керованою ручкою, що дозволяє платформі виконувати маневри при русі. Використовується як самостійний механізм для переміщення вантажів, так і в парі з регульованими платформами.

Візок регульований – пристрій, що складається з двох платформ і з'єднуючих штанг. Штанги регулюються, що дозволяє змінювати відстань по довжині з'єднання між платформами. Зручні для розподілу ваги великогабаритного вантажу. Можуть використовуватися як самостійно, так і в парі з керованою платформою.

Візок поворотний – пристрій, оснащений поворотним диском, на який опускається переміщуваний вантаж. Завдяки поворотному диску – значно збільшується маневреність переміщуваного вантажу. Використовується в комплекті з керованими і регульованими платформами

Основним елементом такелажних візків є ролики, які виготовляють в більшості випадків із поліуретана або поліаміда (мають більшу вантажопідйомність, життєвий цикл, ніж колеса із гуми, стійкі до масел і розчинників, витримують екстремальні температури, запобігають будь-яким пошкодженням на підлозі). Вони являють собою довгі, циліндричні колеса, що забезпечують хороший опорний контакт з поверхнею та зниження тертя при транспортуванні вантажу. Збільшення кількості роликів у такелажних візках пропорційно збільшує їх вантажопідйомність. Наприклад: такелажний візок Mark 2, фірми «Cherry's» з двома роликами має вантажопідйомність 2,5 тонни, Mark 12 з 12 роликами – 15 тонн. Тому, на підприємстві необхідно мати широкий асортимент такелажних візків, виготовлених з різних матеріалів, з різною

вантажопідйомністю, що дозволить транспортувати вантажі з різним навантаженням по різній підлозі [1-4].

Інші елементи такелажних візків виготовлені зі сталі з високою міцністю, що забезпечує довговічність, необхідну для виконання роботи такелажу. Вони міцні та мають малу площу контакту із поверхнею, що збільшує їх вантажопідйомність. Кожен такелажний візок достатньо легкий, тому його легко можна підсунути під піднятий вантаж, що полегшує завантаження та розвантаження обладнання. Їх конструкція забезпечує максимальний навантажувальний простір і потребує мінімального підйому вантажу. Максимальний нахил поворотної платформи такелажного візка не повинен перевищувати 4° , що робить його більш стійким під час транспортування вантажу.

Важливо використовувати високоякісне обладнання, інакше виникають ризики пошкодити транспортуваний вантаж. Найбільш широко у промисловості для транспортування вантажу використовують такелажні засоби фірм «Cherry's», «Nevi Haul», «Hilman Inc».

Фірма «Cherry's» випускає транспортні засоби, які складаються з такелажних візків з регульованим стержнем, що діляться на прямолінійні та керовані (з поворотною завантажувальною платформою та ручкою, яка дозволяє повертати вантаж в будь-якому напрямку) (рис. 1).

Існує чотири типи такелажних візків за можливістю регулювання відстані між роликотими платформами: індивідуальні (використовують із шатуном, для регулювання діапазону ширини); тандемні (мають дві роликоті платформи, чотири точки контакту для покращеної стійкості та вантажопідйомності); керовані (з прикріпленою ручкою та поворотною вантажною платформою).



Рисунок 1 – Види такелажних візків з регульованим стержнем

Джерело: [1]

Перевагами даних такелажних візків є: міцна рама, підшипники, які розраховані на те, щоб витримувати велику вагу та забезпечувати плавний і надійний рух; протиковзкі поверхні; керованість. Недолік: собівартість продукції.

Візки Nevi-Haul були розроблені для професійних автотранспортерів, такелажних компаній та клієнтів з потребами переміщення вантажу. Вантажні системи створені для того, щоб прослужити довговічно, забезпечуючи міцність та якість американського виробництва як у функціональному, так і в дизайнерському плані. Для рухомих потреб доступні три різні категорії машинних ковзанів, які показано нижче.

Прямолінійні такелажні візки з роликами застосовуються для транспортування великих вантажів масою від 2,5 до 100 тонн у прямолінійному напрямку (рис. 2, а). Якщо вантаж потрібно переміщувати по криволінійній траєкторії застосовують універсальні такелажні візки з вантажопідйомністю від 1,5 до 37,5 тонн (рис. 2, б). Для

транспортування легких і середніх навантажень від 1,5 до 12,5 тонн застосовують компактні поворотні такелажні візки (рис. 2, в).

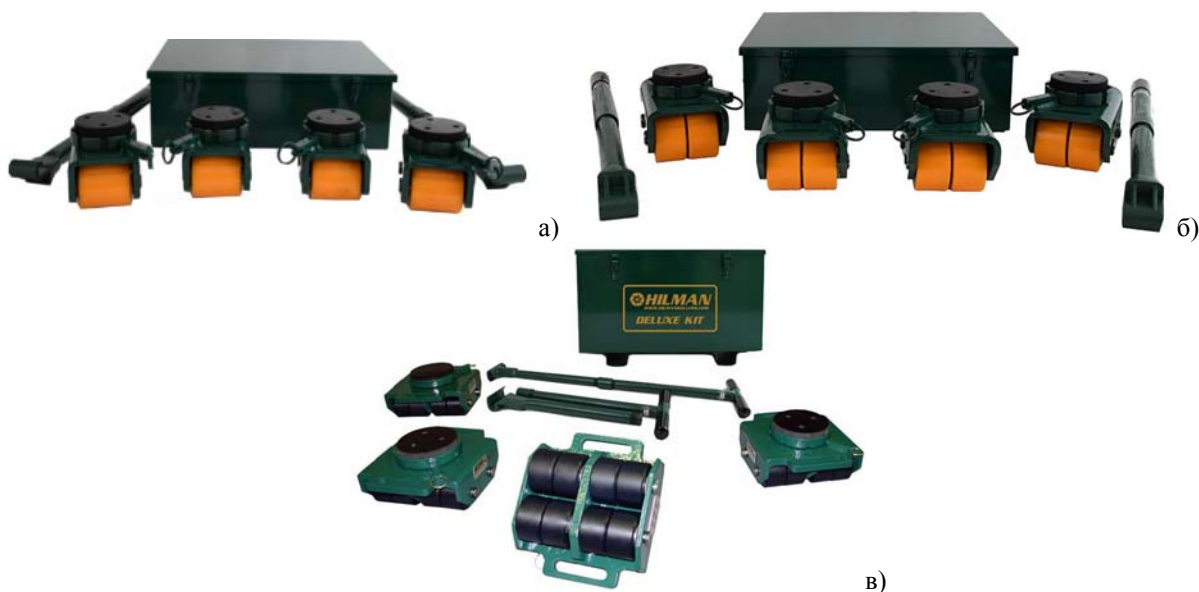


Рисунок 2 – Види такелажних візків

Джерело: [4]

Перевагами такелажних візків є: міцна рама, підшипники, які розраховані велику вагу; керованість. Недолік: собівартість продукції. Існують різні типи такелажних візків. Вони подібні між собою за конструкцією, але відрізняються за розміром і вагою. Універсальних такелажних візків не існує.

Для переміщення, встановлення та перевезення важкої техніки та великого обладнання; Hilman пропонує прості, безпечні та економічно ефективні рішення для широкого кола галузей промисловості. Серія Hilman Bull Dolly - це повне, економічно ефективне рішення для переміщення важкого обладнання. Пропонує різні варіанти коліс для захисту підлоги та різноманітні стилі для прямого переміщення або повороту.



а) маса транспортування до 4 тонн; б) маса транспортування до 24 тонн

Рисунок 2 – Види такелажних візків

Джерело: [6]

Фактори, які необхідно враховувати при виборі такелажного обладнання:

– стабільність: більшість такелажних візків низької конструкції, що дозволяє утримувати центр ваги вантажу якнайнижче до підлоги, що не дає вантажу перекинутись;

- зручність транспортування та розташування: наявність знімних ручок, які дозволяють транспортувати їх, не важкі, з легкістю можливо переносити їх в руках та класти під підняті вантажі, що спрощує процес завантаження і розвантаження;

- рух вантажу без ковзання: поверхня платформи виконана з гуми, що не дає вантажу рухатись під час транспортування;

- міцна сталева конструкція: корпус і рама повинні бути виготовлені з високоміцної сталі, що забезпечить міцність, необхідну для виконання транспортних робіт;

- необхідна вантажопідйомність.

При транспортуванні вантажу обов'язково необхідно дотримуватись правил транспортування. Для ефективного та безпечного транспортування вантажів необхідно [2-4]:

- оцінити ризики при транспортуванні вантажу, завжди використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), такі як захисні окуляри та каски;

- впевнитись в наявності та перевірити на несправності чи дефекти необхідного обладнання для транспортування та підйому вантажу, визначити їх обмеження на навантаження та переміщення;

- регулярно виконувати технічне обслуговування, а при необхідності ремонт або заміну пошкоджених деталей такелажного обладнання;

- не перевантажувати такелажні візки (одна людина може тягнути до 2 тонн);

- розробити траєкторію транспортування вантажу, очистити її від сміття, позначити всі перешкоди та небезпеки на шляху (повітряні лінії електропередач, малі кліренси та підземні комунікації);

- визначити кількість та розподіл такелажного обладнання по площині вантажу;

- розташовувати вантаж рівномірно на всю площину такелажного візка;

- швидкість руху такелажного візка повинна бути менше 10 м/хв. Щоб змінити напрямок руху, використовуйте спеціальну ручку;

- тримати такелажні візки подалі від хімічних агентів, не використовувати їх при занадто високій або занадто низькій температурі, під водою або на піску, що може пошкодити ролики.

Спеціальний пристрій для виконання такелажних робіт.

Службове призначення пристрою: забезпечення точного встановлення, надійного закріплення і базування вантажу, а також постійного положення вантажу відносно поверхні транспортування з метою безпечного переміщення.

Підстава для розробки: необхідність переміщення в обмеженому просторі великогабового та великогабаритного обладнання.

Технологічні вимоги до розробки: максимальна можливість маневрування в обмеженому просторі, надійність, практичність, максимально спрощена конструкція.

Характеристика робочого пристрою: максимальний нахил поворотної платформи такелажного візка не повинен перевищувати 4^0 , забезпечити максимальний навантажувальний простір та мінімальний підйом вантажу.

Висновки. В роботі виконано аналіз існуючих такелажних засобів, їх конструкції, матеріал, з якого краще їх виготовляти. Для зменшення травм та підвищення ефективності транспортування вантажів необхідно правильно обирати такелажні засоби. Наведено фактори, які необхідно враховувати при виборі такелажних візків. Для ефективного та безпечного транспортування вантажів необхідно дотримуватись правил транспортування. В найближчій перспективі буде спроектовано та розраховано конструкцію такелажного візка, що дозволить здійснити його

виробництво та забезпечить більш ефективно виконувати транспортування великогабаритного і великовагового вантажу.

Список літератури

1. Cherry's Industrial Equipment : website. UDC: <https://cherrysind.com> (hasst accessed: 01.06.2022)
2. How Do Machine Skates Work? Hevihaul products that move the wold: website. UDC: <https://www.hevihaul.com/machine-skates-work/> (hasst accessed: 02.06.2022)
3. Machinery Skate. EAGLE. Made in Japan : website. UDC: <https://toe-jack.com/products/product02/> (hasst accessed: 02.06.2022)
4. Roller Skids vs. Machinery Skates vs. Transport Dollies. Cherry's Industrial Equipment : website. UDC: <https://material-handling.com/blogs/movers-buyer-guide/> (hasst accessed: 02.06.2022)
5. Такелажне обладнання. URL: <https://kozakplus.ua/articles/warehouse-equipment/rigging-equipment> (дата звернення: 06.06.2022)
6. BULL DOLLY KITS. HILMAN: website. UDC: <https://shop.hilmanrollers.com/collections/dolly-kits> (hasst accessed: 06.06.2022)

References

1. Cherry's Industrial Equipment : website. Retrieved from <https://cherrysind.com> [in English].
2. How Do Machine Skates Work? Hevihaul products that move the wold: website. Retrieved from <https://www.hevihaul.com/machine-skates-work/> [in English].
3. Machinery Skate. EAGLE. Made in Japan : website. Retrieved from <https://toe-jack.com/products/product02/> [in English].
4. Roller Skids vs. Machinery Skates vs. Transport Dollies. Cherry's Industrial Equipment : website. Retrieved from <https://material-handling.com/blogs/movers-buyer-guide/> [in English].
5. Takelazhne obladnannia [Rigging equipment]. <https://kozakplus.ua/articles/warehouse-equipment/rigging-equipment> [in Ukrainian].
6. BULL DOLLY KITS. HILMAN: website. Retrieved from <https://shop.hilmanrollers.com/collections/dolly-kits> [in English].

Alla Yovchenko, PhD tech. sci. Alina **Kreida**, assistant, E. Usenko

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Analysis of Existing Lifting Equipment for Moving, Loading and Unloading Cargo During Transportation

When carrying out rigging work, there are complex manipulations with heavy and bulky loads. Transportation of heavy and large-sized structures is carried out using rigging means and specialized equipment, for example - rigging carts, without which many different types of industries will have problems with transporting heavy loads necessary for the proper execution of work. However, it is necessary to take into account that there are many types of rigging trolleys and it is very difficult to choose the most suitable one for the required requirements. This article analyze the existing rigging trolleys and their scope of application.

The analysis of existing rigging means for transportation, loading and unloading of large and heavy cargo is performed. The factors that must be taken into account when choosing rigging carts to reduce injuries and increase the efficiency of cargo transportation. The requirements for efficient and safe transportation of cargo are given. In the near future the design of the rigging trolley will be designed and calculated, which will allow its production and ensure more efficient transportation of large and heavy cargo.

Here are the factors that must be taken into account when choosing rigging trolleys. For efficient and safe transportation of goods, it is necessary to observe the rules of transportation. In the near future, the structure of the rigging cart will be designed and calculated, which will allow its production and ensure more efficient transportation of large-sized and heavy cargo.

rigging trolley, transportation, rollers, bulky cargo, heavy cargo

Одержано (Received) 09.06.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.06.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

УДК 656.078

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.188-196](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.188-196)**І.О. Хітров**, доц., канд. техн. наук*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна**e-mail: i.o.khitrov@nuwm.edu.ua*

Дослідження умов безпечного проїзду перехрестя з близькими залізничними коліями

Стаття присвячена оцінюванню рівня безпеки поїзду перехрестя з близькими залізничними коліями для міста Дубно Рівненської області. Досліджено, побудовано модель дорожньої ситуації і проаналізовано фактичні умови безпечного проїзду перехрестя з близькими залізничними коліями та надано практичні рекомендації з удосконалення організації дорожнього руху на перспективу.

транспортний засіб, транспортний потік, перехрестя, залізничні колії, безпека, моделювання

Постановка проблеми. Перехрестя є критичними місцями дорожньої мережі з точки зору пропускну здатності, рівня обслуговування та безпеки. Вони є місцем, де транспортні потоки постійно змінюються і, тим самим змінюють дорожню ситуацію. Це місця з високим ризиком аварійних ситуацій, оскільки учасники дорожнього руху при перетині перехрестя повинні використовувати один і той самий простір (зону перехрестя).

Необхідно умовою підвищення рівня безпеки проїзду перехрестя є чітке дотримання правил дорожнього руху, відповідність дорожньої інфраструктури (дорожні знаки, розмітка світлофорне регулювання, освітлення тощо), особливо у випадку розташування перехрестя з близькими залізничними коліями.

Важливо дослідити і змоделювати умови проїзду перехрестя з врахуванням інтенсивності та складу транспортних потоків, в тому числі і на перспективу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У науковій літературі достатньо повно висвітлено результати досліджень вітчизняних і зарубіжних авторів щодо підвищення ефективності руху транспортних засобів через регульовані ділянки доріг.

Пропускна здатність перехрестя оптимізують шляхом використання множинного підходу [1], ієрархічних нечітких систем [2], методу детектування транспортних засобів [3], дослідження взаємодії потоків [4].

Однак, в дослідженнях приділяється недостатньо уваги підвищенню безпечності проїзду перехрестя у випадку з близьким розташуванням залізничних колій.

Постановка завдання. Основними причинами дорожньо-транспортних пригод в місті Дубно, які були скоєні за період з травня до вересня 2022 року є порушення правил маневрування, проїзду перехрестя і перетину залізничних колій, що підкреслює необхідність у проведенні досліджень і обґрунтуванні запропонованих заходів, які сприятимуть покращенню безпеки дорожнього руху. Перспективним і необхідним в цьому плані є дослідження безпечності проїзду транспортних засобів через перехрестя з близькими залізничними коліями, зокрема вулиці Мостова і Кременецька, які є магістральними з насиченим цілодобовим транспортним потоком.

Метою даної роботи є підвищення рівня безпеки поїзду перехрестя з близькими залізничними коліями шляхом удосконалення організації дорожнього руху для міста Дубно Рівненської області.

Виклад основного матеріалу. Перехрестя є критично важливим аспектом проектування вулиць як точка, де сходяться рухи автомобілів, велосипедистів і пішоходів. Успішне проектування перехрестя або його реконструкція повинно відповідати всім цілям мобільності та безпеки, а також можливостям покращення громадського простору.

В Правилах дорожнього руху [5] дано чітке визначення терміну перехрестя як «місце перехрещення, прилягання або розгалуження доріг на одному рівні, межею якого є уявні лінії між початком заокруглень країв проїзної частини кожної з доріг».

Автор Phillip Jordan [6] характеризує перехрестя як «місце, де дві або більше доріг зустрічаються на рівні, а також становить підвищений ризик серйозних травм або смерті під час аварії через високу відносну швидкість зіткнення».

Залежно від виду перехрещення проїзних частин (геометричної конфігурації, яка найкраще описує перетин) розрізняють 7 основних його типів: «Т-подібне»; «чотиристороннє»; «Х-подібне»; «Y-подібне»; «вилоподібне»; «кільцеве» та «змішане» [7, 8].

Кожне перехрестя має свої геометричні межі, які необхідно кожному водієві вміти візуально визначати, це особливо актуально у випадках, коли на ньому відсутні горизонтальна розмітка або технічні засоби організації дорожнього руху.

Важливою умовою безпечного проїзду перехрестя є його оглядовість, яка визначається присутніми спорудами, огорожувальними елементами, поворотами дороги або рельєфними особливостями, наявністю транспортних засобів на узбіччі, природно-кліматичними умовами, наявності освітлення, конструктивних особливостей (оглядовості) ділянки, тощо.

Зауважимо, що в Правилах дорожнього руху [5], чітко прописано, що «головною умовою забезпечення безпеки при проїзді перехрестя є визначення водієм переваги в русі, тобто права на першочерговий рух стосовно інших учасників дорожнього руху».

Опішимо послідовність дій водієм для безпечного проїзду перехрестя:

- зайняти відповідну смугу дорожнього руху враховуючи розмітку і дорожні знаки;
- знизити швидкість руху транспортного засобу;
- визначити тип перехрестя, наявність світлофорного регулювання;
- оцінити дорожню обстановку для проїзду транспортним засобом;
- визначити наявність переваги в русі (необхідності дати дорогу іншим учасникам дорожнього руху);
- зупинити транспортний засіб на відповідній смузі з врахуванням можливої зміни ситуації;
- здійснити безпечний проїзд перехрестя.

Визначимо і охарактеризуємо зміст основних принципів безпечного проїзду перехрестя із близькою залізничною колією:

1. Зменшення конфліктних точок проїзду перехрестя (чим менше конфліктних точок – тим безпечніше).

2. Зменшення відносних швидкостей зіткнень (удару) транспортних засобів (змінюючи швидкість руху шляхом встановлення обмежувачих знаків у поєднанні з конфігурацією перехрестя (смуг руху) можна покращити безпечні умови його проїзду).

3. Достатня оглядовість (кожен водій повинен вчасно розпізнати умови проїзду перехрестя, щоб мати можливість безпечно зреагувати). Забезпечення дистанції візування підходу є найкращим способом цього забезпечення – це мінімальний рівень видимості, який повинен бути забезпечений на перехресті.

4. Швидкісний режим. Нерідко перевищення швидкості водієм (заданого режиму руху) викликане тим, що водій не отримав відповідної інформації про наявність перехрестя. Щоб цього уникнути необхідно покращити дистанцію огляду

підходу і завершення проїзду перехрестя; зробити перехрестя більш помітним; необхідність виділення смуг руху; встановлення попереджувальних знаків; встановлення попередніх вказівників; дублювання; відповідне освітлення.

5. Світлофорне регулювання. Автомобільні сигнали безпечніші та ефективніші. Сигнали з фіксованим часом дешевші, але можуть стимулювати «проїзд на червоне світло». Нерідко спостерігається картина накопичення транспортних засобів і мала пропускна здатність проїзду перехрестя.

Дослідженнями багатьма науковцями країн Європейського союзу [3, 6, 9, 10] підтверджено, що «для максимальної ефективності сигнали світлофора повинні бути активовані, вони мають детектори на кожному підході, детектори повідомляють диспетчеру, на якому під'їзді є транспортні засоби, і дають цьому підходу більше часу, і ефективніше, ніж сигнали з фіксованим часом, а також безпечніше!, оскільки водії знають, що вони отримають короткі затримки, і більшість підкорятиметься червоним сигналам».

6. Відповідне облаштування пішохідних переходів. Пішохідні переходи повинні бути сконструйовані таким чином, щоб забезпечити якомога більше комфорту та захисту пішоходів. Історично склалося так, що багато пішохідних переходів проектувалися з використанням неадекватних, вузьких смуг, відступів, відхилень від пішохідної доріжки та значних відстаней переходу. Вони повинні бути максимально компактними, сприяючи зоровому контакту переміщення пішоходів в полі зору водія.

Варіанти посилення безпеки проїзду залізничних колій можуть включати: завчасні попереджувальні знаки; обробка (контроль) черги; координація сигналів світлофора; реконструкція дороги; оновлений механізм керування (наприклад, пробіскові вогні та шлагбаум); світло високої інтенсивності (наприклад, світлодіоди); покращення лінії огляду; обмеження швидкості на під'їзді до залізничних переїздів; закриття переходу.

Безпека на залізниці – це відповідальність кожного. Ризикувати на залізничних переїздах небезпечно – будь-який інцидент на залізничному переїзді може призвести до збоїв у роботі, затримок транспортних засобів, пошкодження майна, травм, а в найсерйозніших випадках – травм і смерті.

Місто Дубно має специфічну вулично-дорожню мережу, основний транспортний потік міського, районного і міжміського транспорту здійснюється вулицями Мостова, Кременецька, Залізнична, Грушевського, Сурмичі, Данила Галицького.

Для дослідження безпечності проїзду було обрано проблемне перехрестя з близькими залізничними колями міста Дубно перетину вулиць Мостова і Кременецька (рис. 1).

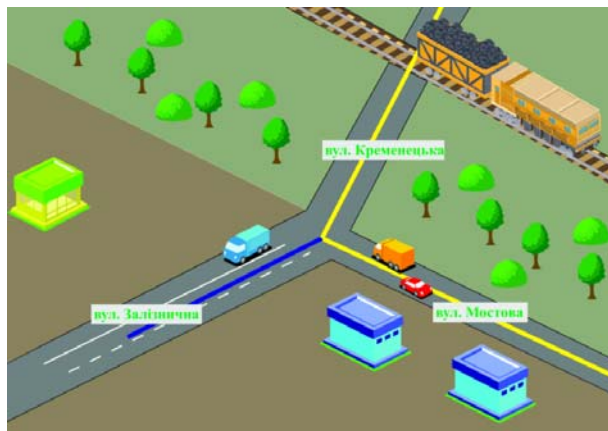


Рисунок 1 – Досліджуване перехрестя з близькими залізничними колями

Джерело: розроблено автором

Головною особливістю цього перехрестя є близьке розміщення за 8 метрів залізничного переїзду із шлагбаумом, тобто перехрещення дороги із залізничними коліями в одному рівні з обладнанням світлофорної сигналізації (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема залізничного переїзду на вул. Кременецька міста Дубно

Джерело: розроблено автором

Досліджуване перехрестя має цілодобовий насичений транспортний потік з частим зупиненням руху транспорту, що зумовлений рухом потягів.

Крім того, дане перехрестя має специфічні компоновальні особливості. Тип перехрестя – Т-подібне. Хоча воно простішої компоновки, однак має недостатню ширину проїзду, тобто не адаптоване для проїзду значної кількості вантажних транспортних засобів (вантажопідйомність більше 10 т).

На досліджуваному перехресті (рис. 3), з погляду організації безпеки дорожнього руху спостерігаються дорожні ситуації через конструктивні особливості перехрестя або недотримання правил дорожнього руху водіями, а саме:

1. Утруднений роз'їзд;
2. Недотримання траєкторії повороту транспортних засобів через габаритні особливості транспорту або вибору недостатньої траєкторії зміни напрямку руху;
3. Вибір недостатнього радіусу заокруглення для повороту праворуч (особливо спостерігається в нічний час доби);
4. Складність виконання повороту ліворуч при забороненому сигналі залізничного переїзду. Із збільшенням тривалості забороненого сигналу світлофора спостерігається збільшення кількості транспортних засобів, особливо вантажних, загальна довжина яких може сягати більше 200 метрів. Ширина дороги недостатня для випередження транспортних засобів (необхідно виїжджати на сусідню смугу руху), тим самим утруднюється їх роз'їзд при підході до перехрестя.

Оскільки позначене перехрестя в м. Дубно знаходиться в безпосередній близькості від залізничного переїзду, обладнання керування залізничними сигналами та обладнання керування сигналами керування дорожнім рухом повинні бути з'єднані між собою, а нормальна робота світлофорів, що контролюють перехрестя, повинна бути перетворена на роботу в спеціальному режимі керування під час наближення потягів.

З метою моделювання різних умов проїзду перехрестя з близькою залізничною колією і прийняття необхідного рішення необхідно дослідити склад транспортних потоків, зокрема їх розподіл за головним напрямом – вул. Мостова. Найбільше для

досліджень цікавить розподіл транспортних потоків для повороту ліворуч на вул. Залізничну.

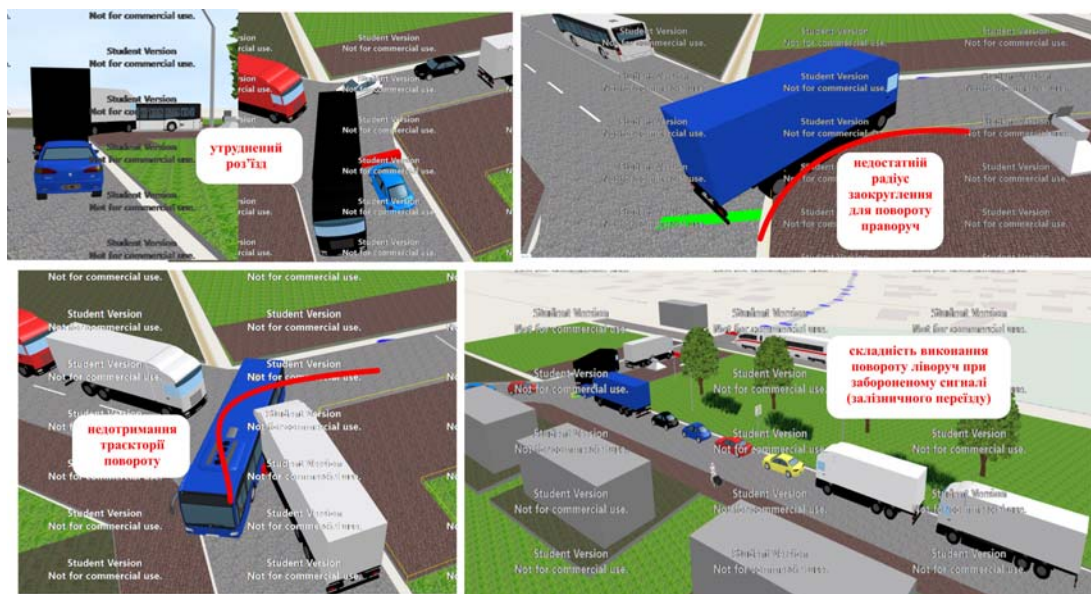


Рисунок 3 – Можливі дорожні ситуації при проїзді перехрестя і на підступах до нього
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Дослідження транспортних потоків виконувалося в період з 15 по 21 серпня 2022р. З метою отримання достовірних даних протягом тижня здійснювалося спостереження в один і той самий час з 16-17 години.

В середньому за одну годину через перехрестя в напрямку вул. Мостова проїжджає від 165 до 203 одиниць транспортних засобів при середньому значенні в 192 одиниці, що свідчить про значну їх насиченість (рис. 4). Менша кількість спостерігається у вівторок і суботу.

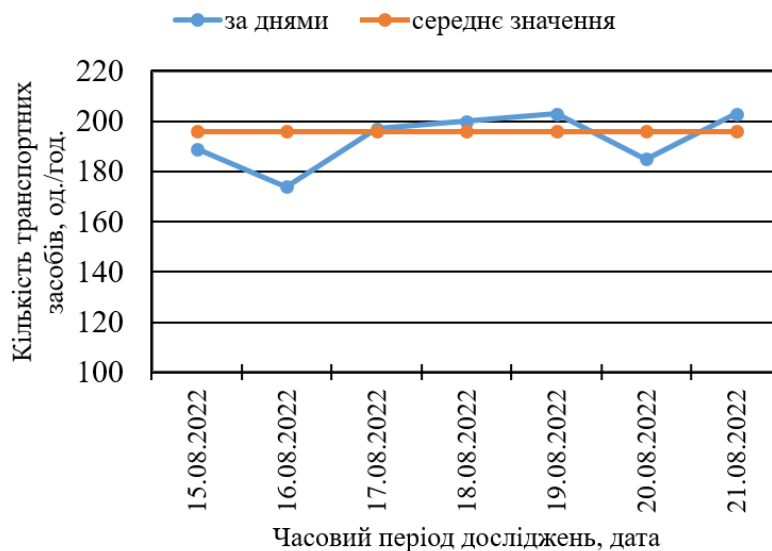


Рисунок 4 – Облікова кількість транспортних засобів за напрямом від перехрестя на вул. Мостова
Джерело: розроблено автором

В середньому за одну годину від вул. Мостова в напрямку досліджуваного перехрестя проїжджає від 172 до 196 одиниць транспортних засобів при середньому

значенні в 184 одиниці, що свідчить про значну насиченість проїжджої частини магістральної вулиці.

Дослідження показують, що загальна середня кількість транспортних засобів, які здійснюють лівий поворот складає 44 одиниці, тобто в середньому 22-25%.

Відмічена найбільша кількість транспортних засобів – легкових, частка яких складає більше 68%, однак третину всієї кількості займають вантажні (рис. 5).

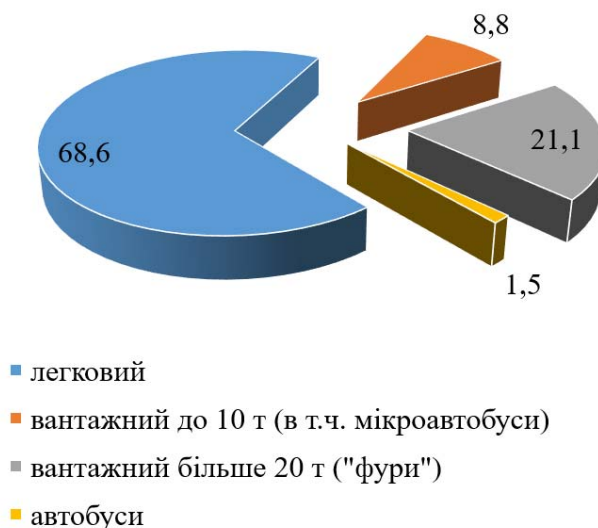


Рисунок 5 – Відсотковий розподіл транспортних засобів при їх підході до досліджуваного перехрестя

Джерело: розроблено автором

Для оцінки функціонування перехрестя згідно передбаченої організації дорожнього руху, його моделювання, аналізу і удосконалення крім чисельності транспортних засобів необхідно оцінити їх накопичення біля шлагбауму (світлофора).

Під час проїзду потяга встановлено, що кількість транспортних засобів, яка очікує проходження потяга складає від 3 до 50 і більше одиниць із максимальною довжиною черги більше 200 метрів (рис. 6).

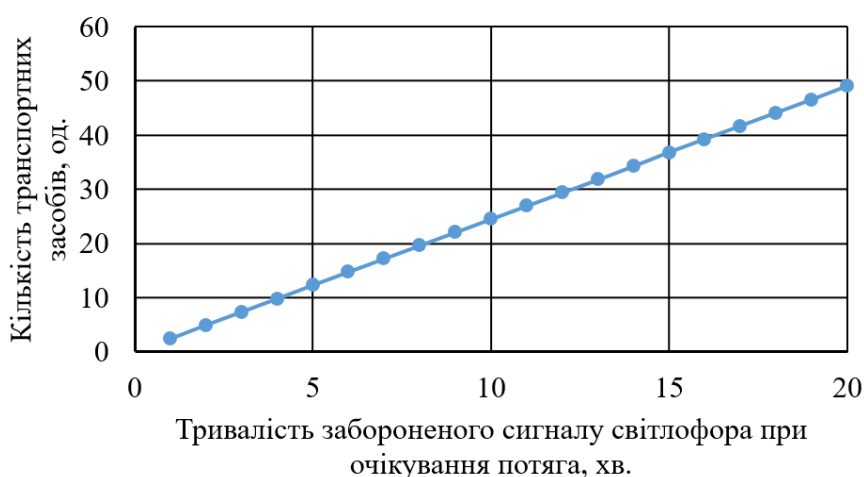


Рисунок 6 – Накопичення транспортних засобів біля перехрестя при очікуванні проїзду потяга

Джерело: розроблено автором

Враховуючи, що ми маємо одну смугу руху в одному напрямку, то у випадку зупинки транспортних засобів при очікуванні потяга протягом 10 хв. спостерігається значне накопичення, а ті транспортним засобам, що здійснюють лівий поворот змушені виїжджати на зустрічну смугу руху, що в свою чергу створюють небезпечну ситуацію, яка полягає в ускладненні проїзду вантажних автомобілів через недостатню ширину обох смуг руху.

Моделювання умов проїзду транспортних засобів через перехрестя із близьким розташуванням залізничних колій здійснювалося в програмному забезпеченні PTV Vissim [11] (студентська версія) – це мікроскопічна імітаційна модель на основі кроків у часі та поведінки для реалістичного моделювання транспорту (рис. 7).

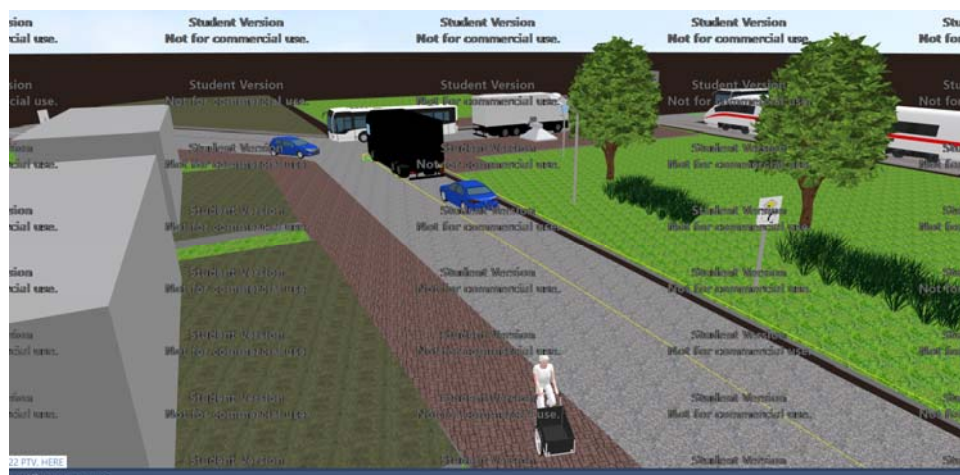


Рисунок 7 – Візуалізація моделі проїзду транспортних засобів через перехрестя і залізничні колії
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Результати аналізу основних показників (рис. 8), які впливають на безпечні умови проїзду перехрестя з залізничною колією показують:

1. Час затримки проїзду перехрестя в середньому складає 10,4 с. (максимальне значення 20,12 с.) – без врахування часу проїзду потяга;
2. Швидкість руху транспортних засобів через перехрестя в середньому складає 12,1 км/год.

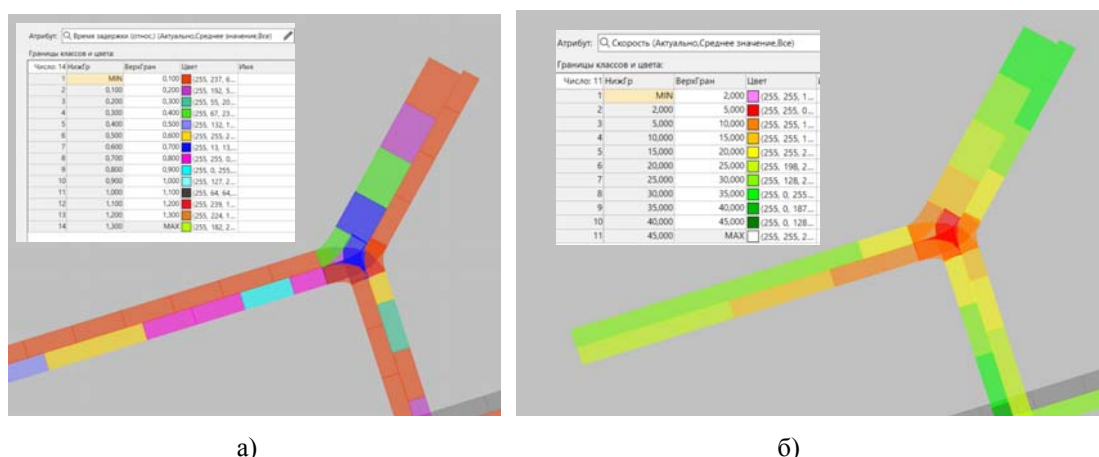


Рисунок 8 – Діаграма зміни часу затримки проїзду перехрестя (а) та швидкості руху транспортних засобів на підході і через перехрестя (б)
Джерело: розроблено автором (змодельовано в програмному забезпеченні Vissim студентська версія)

Головним недолїком дослїджуваного перехрестя є вїдсутнїсть пїшохїдних переходїв.

Висновки:

З метою пїдвищення безпечностї проїзду перехрестя з близькими залїзничними колями для мїста Дубно на основї проведених дослїджень становлено, що необхідно передбачити додаткову смугу руху для лївого повороту транспортних засобїв на вул. Залїзнична, пїшохїдний перехїд через вїсї вулицї перехрестя, збїльшити ширину смуги руху для транспортних засобїв, якї наближаються до перехрестя вул. Мостова та здїйснити перевїрку ефективностї запропонованих заходїв шляхом прогнозного моделювання.

Список лїтератури

1. Mingtao Xu, Kun An, Le Hai Vuc, ZhiruiYe, Jiaxiao Feng, Enhui Chen. Optimizing multi-agent based urban traffic signal control system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 2019. Vol. 23(4), P. 357-369.
2. Runmei Li, Shujing Xu. Traffic Signal Control Using Genetic Decomposed Fuzzy Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*. 2020. Vol. 22, Issue 6, P. 1939-1947.
3. Min Yang Yang, Gang Sun, Wei Wang, Xin Sun, Jian Ding, Jing Han. Evaluation of the pre-detective signal priority for bus rapid transit: coordinating the primary and secondary intersections. *Transport*. 2015. Vol. 33(1). P. 41-51.
4. Ренкас А.А., Руденко Д.В., Товарянський В.І. Пїдвищення ефективностї функцїонування перехресть з високоїнтенсивними транспортними та пїшохїдними потоками. *Вїсник ЛДУБЖД*. 2021. №23. С. 61-67.
5. Правила дорожнього руху України. Київ : Укрспецвидав, 2022. 112 с.
6. Phillip Jordan. Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety. URL: <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> (дата звернення: 30.08.2022).
7. Nancy Lefler, Forrest Council, David Harkey. Model Inventory of Roadway Elements. Vienna : VHB. 2010, p. 185.
8. Проїзд перехресть. Mnvk-rizhavka.at.ua : веб-сайт. URL: http://mnvk-rizhavka.at.ua/index/projizd_perekhrest/0-40 (дата звернення: 30.08.2022).
9. Peter Koonce, Lee Rodegerdts, Kevin Lee. Traffic signal timing. Portland : Kittelson & Associates. 2008. P. 274.
10. Bonneson J. A., McCoy P. T. Traffic Detector Design. Institute of Transportation Engineers. Washington : DC. 2005. P. 186.
11. PTV Vissim: First Steps Tutorial. Germany. PTV Planning Transport. Verkehr AG. 2021. P. 37.

References

1. Xu, M., An, K., Vu, L. H., Ye, Z., Feng, J. & Chen, E. (2019). Optimizing multi-agent based urban traffic signal control system. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23 (4), 357-369 [in English].
2. Li, R. & Xu, S. (2020). Traffic Signal Control Using Genetic Decomposed Fuzzy Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22.6, 1939-1947 [in English].
3. Yang, M., Sun, G., Wang, W., Sun, X., Ding, J. & Han, J. (2018). Evaluation of the pre - detective signal priority for bus rapid transit: coordinating the primary and secondary intersections. *Transport*, 33(1), 41-51 [in English].
4. Renkas, A.A., Rudenko, D.W. & Tovaryansky, V.I. (2021). Pidvyshchennia efektyvnosti funktsionuvannia perekhrest z vysokointensyvnymy transportnymy ta pishokhidnymy potokamy [Enhancing the effective functioning of in tersections with intensive traffic and pedestrian flows]. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 23, 61-67 [in Ukrainian].
5. *Pravyla dorozhnoho rukhu Ukrainy [Traffic Rules of Ukraine]* (2022). Kyiv : Ukrspetsvydav [in Ukrainian].
6. Jordan, P. *Technical knowledge for road safety engineers – intersection safety*. (n.d.). *carecprogram.org*. Retrieved from <https://www.carecprogram.org/uploads/10-Intersection-safety.pdf> [in English].
7. Lefler, N., Council, F. & Harkey, D. (2010). *Model Inventory of Roadway Elements*. Vienna : VHB [in English].

8. Proizd perekhrest [Driving through the intersection]. *mnvk-rizhavka.at.ua*. Retrieved from http://mnvk-rizhavka.at.ua/index/projizd_perekhrest/0-40 [in Ukrainian].
9. Koonce, P., Rodegerdts, L., & Lee, K. (2008). *Traffic signal timing*. Portland : Kittelson & Associates [in English].
10. Bonneson, J.A. & McCoy, P.T. (2005). *Traffic Detector Design*. Transportation Engineers. Washington : DC [in English].
11. *PTV Vissim: First Steps Tutorial* . (2021). Germany. PTV Planning Transport. Verkehr AG [in English].

Ihor Khitrov, Assoc. Prof. PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Research of the Conditions for Safe Crossing of the Intersection with Nearby Railway Tracks

Crossing – is a place of crisscrossing, fitting closely or branching of roads at one level the limit of that are imaginary lines between beginning of rounding of edges of travel part each of roads. It is the critical place of road net from the point of view of carrying capacity of transport, level of service and safety, especially in case of location with near railway ways.

The successful planning or reconstruction of crossing must answer all aims of mobility and safety, and also possibilities of improvement of public space.

The article is devoted to the study of safe driving conditions of the intersection with nearby railway tracks for the city of Dubno, Ukraine.

At the investigated intersection, from the point of view of the traffic safety organization, the following traffic situations are observed: difficult exit; non-observance of the turning trajectory of vehicles due to the overall characteristics of the transport or the selection of an insufficient trajectory for changing the direction of movement; selection of insufficient rounding radius for right turn; the difficulty of making a left turn at a prohibited railway crossing signal. With the increase in the duration of the prohibited traffic light signal, there is an increase in the number of vehicles, especially cargo vehicles, the total length of which can reach more than 200 meters. The width of the road is not enough to overtake vehicles.

In order to simulate different conditions of crossing the intersection and make the necessary decision, the composition and intensity of traffic flows were studied. The study of traffic flows was carried out in the period from August 15 to 21, 2022.

A simulation model of the road situation was built and the actual conditions for safe passage of an intersection with nearby railway tracks were, and practical recommendations were given to improve the organization of road traffic.

It has been established that in order to increase the safety of passing through an intersection with nearby railway tracks for the city of Dubno, based on the conducted research and simulation modeling, it is necessary to provide an additional traffic lane for vehicles to make a left; a pedestrian crossing through the intersection; increase the width of the traffic lane.

vehicle, traffic flow, intersection, railway tracks, safety, simulation

Одержано (Received) 05.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, **Н.Л. Костьян**, доц., канд. техн. наук,
І.П. Тарандушка, ст. викл., **Я.О. Хилик**

*Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна,
e-mail: tarandushkal@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net,
y.o.khylyk.fktmd21@chdtu.edu.ua*

В.В. Халявка

*Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України,
м. Черкаси, Україна e-mail: 24_kdtz@ukr.net*

Підвищення безпеки автомобільних перевезень автошляхами Черкаської області

Досліджується проблема забезпечення безпеки пересування автодорогами Черкаської області. Для виявлення методів підвищення безпеки пересування автошляхами області було проведено поглиблений аналіз стану аварійності на території обслуговування Генерального управління національної поліції в Черкаській області за видами, причинами, днями тижня, часом скоєння дорожньо-транспортних пригод, кількості постраждалих, кількості загиблих, тощо. Було виявлено небезпечні ділянки автодоріг та проведено експериментальне дослідження, щодо виявлення причин скоєння дорожньо-транспортних пригод. В ході проведення експериментального дослідження було здійснено виміри, що дозволяють розрахувати швидкість руху транспортних засобів, які порушуючи правила дорожнього руху, здійснювали обгон на ділянках автодоріг, що мають сліпі повороти. З отриманих результатів можна зробити висновок, що основними причинами скоєння дорожньо-транспортних пригод є порушення правил дорожнього руху, яке викликане різницею швидкостей руху в потоці та несвідомим ставленням водіїв до відповідної дорожньої ситуації. В результаті проведеного дослідження було надано рекомендації щодо оптимізації організації дорожнього руху на небезпечних ділянках автодоріг. А саме запропоновано використовувати методику експериментального дослідження на інших небезпечних ділянках автодоріг країни та встановлювати динамічні дорожні знаки, що дозволять регулювати гранично допустиму швидкість в залежності від обраних факторів на відповідних ділянках, тим самим зменшувати різницю швидкостей в потоці руху та карати порушників за перевищення граничної швидкості. Окрім цього дуже важливим елементом підвищення безпеки на автодорогах країни є поширення інформаційних програм щодо дотримання правил дорожнього руху серед молоді країни. Запропоновану методику рекомендовано застосовувати для зменшення кількості ДТП, а відповідно і зменшення постраждалих від ДТП на теренах України.

безпека, автодороги, експериментальне дослідження

Постановка проблеми. Необхідність підвищення безпеки перевезень і вивчення факторів, що впливають на неї, виникла з розвитком ринкових методів управління на транспорті, змінами в структурі і системі управління транспортною галуззю України. Такі якісні зміни привели до розробки в даній галузі нових моделей, методів, методологій управління безпекою перевезень, здатних комплексно вирішувати проблеми організації перевезень, їх правового, фінансового та інформаційного забезпечення.

Вантажні та пасажирські перевезення є важливим фактором розвитку економіки країни і забезпечення її зовнішньоекономічних зв'язків. У собівартості продукції окремих галузей економіки значну частку складають транспортні витрати, знизити які можна тільки за рахунок підвищення ефективності перевезень. Підвищення ефективності вантажних і пасажирських перевезень та їх конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг можливе лише за умови системного підходу до їх безпеки.

Це в національному масштабі, і якщо говорити про цю проблему на мікрорівні одного підприємства, то ефективність його роботи безпосередньо залежить від організації та управління перевезеннями, що зобов'язує враховувати фактори часу і вартості доставки. Так, від безграмотно вибудованої системи вантажоперевезень збільшуються витрати на утримання і зберігання, це також призводить до зниження економічних показників ефективності: коефіцієнтів обороту, показників ефективності функціонування підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Управлінням перевезеннями займалася велика кількість вітчизняних і зарубіжних вчених-теоретиків. До вітчизняних фахівців, які внесли істотний внесок в теорію даного наукового напрямку, відносяться: Шевчук О.С., що вивчав вади організації перевезень з позиції безпеки на автомобільному транспорті [1], Попович П., що вивчав методи підвищення ефективності логістичних систем на автомобільному транспорті [2], Степанов О.В., що вивчав зовнішні фактори, які впливають на безпеку автомобільного транспорту [3]. В роботі [4] наведено рекомендації, пов'язані з геометричним дизайном дороги, підготовкою та поведінкою водіїв, обслуговуванням транспортних засобів, а також необхідністю підвищення безпеки дорожнього руху шляхом використання парків безпеки дорожнього руху, де учасники дорожнього руху можуть пройти навчання та навчання з аспектів безпеки дорожнього руху.

В посібнику [5] Support to the Ministry of Infrastructure of Ukraine in Strengthening of Safety Standards of Commercial Road Transport (number UA/14/ENP/TR/43)приведено результати досліджень щодо підвищення безпеки автомобільного транспорту в Україні.

В роботі [6] проведено дослідження щодо покращення стану навколишнього середовища з врахуванням транспортних процесів країни.

В наукових роботах [7-15] наведено результати наукових досліджень, пов'язаних з проектуванням транспортної системи для досягнення максимальної безпеки, способи впливу на безпеку через психологічний стан водіїв, вдосконалення системи страхування учасників дорожнього руху, способи зменшення дорожньо-транспортного травматизму через вдосконалення транспортної системи.

Постановка завдання. Метою роботи є виявлення залежності кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) від різниці швидкостей потоку руху. Надати рекомендації щодо оптимізації безпеки дорожнього руху на потенційно небезпечних ділянках автодоріг країни.

Виклад основного матеріалу. Для порівняльного аналізу скоєних ДТП Черкаської області було проведено наступний аналіз.

За сім місяців 2022 року на вулично-дорожній мережі Черкаської області зареєстровано 1598 дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП), що на 33% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 2389 ДТП) (рис.1).

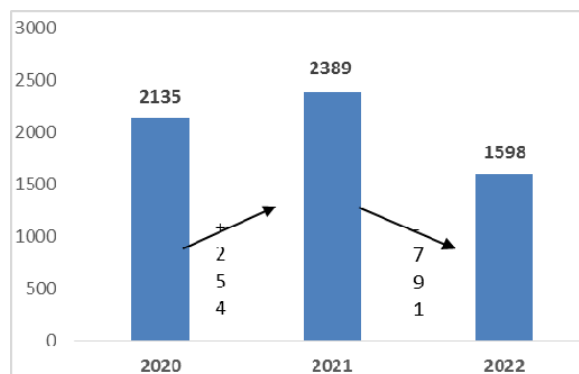


Рисунок 1 – Статистика ДТП за 2020 - 2022 р. в Черкаській області

Джерело: розроблено авторами

За січень – липень 2022 року найбільше ДТП зареєстровано у п'ятницю (рис.2) (питома вага становить 16.1% від усіх ДТП).

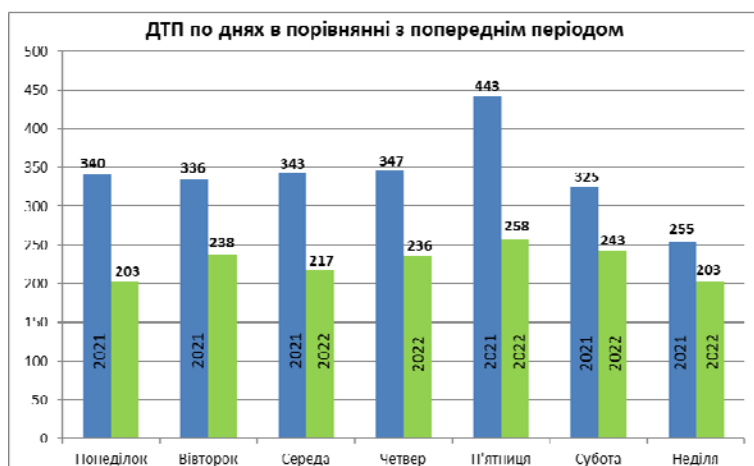


Рисунок 2 – Статистика ДТП за днями тижня в Черкаській області
Джерело: розроблено авторами

Аналізуючи кількість ДТП за часом скоєння, слід відмітити пік аварійності, що припадає на 10.40 год. (в цей час було скоєно 8.1% від усіх ДТП)

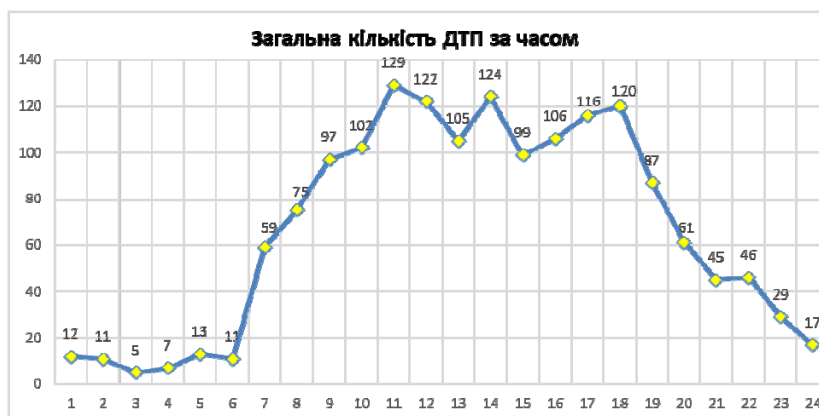


Рисунок 3 – Статистика кількості ДТП за часом доби
Джерело: розроблено авторами

Найбільша кількість ДТП протягом 7 місяців 2022 р. була скоєна під час зіткнення з іншим транспортним засобом (56,1%).

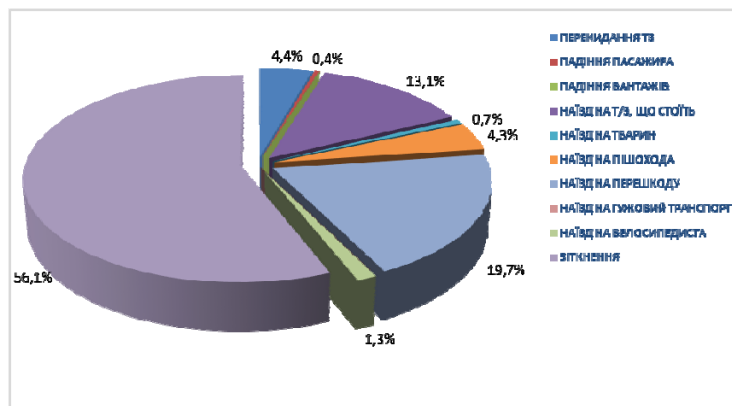


Рисунок 4 – Розподіл ДТП за видами за 7 місяців 2022 р в Черкаській області
Джерело: розроблено авторами

Основними причинами автопригод, які були скоєні протягом 7 місяців 2022 р., є порушення правил маневрування – 524 автопригоди (32.8%), перевищення безпечної швидкості – 557 (34.9%) від усіх ДТП, а також недодержання дистанції – 139 (8.7%), порушення правил проїзду перехресть – 146 (9.1%), керування транспортним засобом у нетверезому стані – 87 (5.4%).



Рисунок 5 – Розподіл ДТП за причинами за 7 місяців 2022 р.

Джерело: розроблено авторами

ДТП із загиблими та/або травмованими, що сталися на автодорогах міжнародного та національного значення в Черкаській області за 7 місяців 2022 р:

М-03 Київ - Харків - Довжанський – 0;

М-05 Київ - Одеса – 5, що на 70.6% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 17);

М-12 Стрий - Тернопіль - Кіровоград - Знам'янка – 2, що на 86.7% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік - 15);

М-30 Стрий - Умань - Дніпро - Ізварине (через мм. Вінницю, Кропивницький) – 10, що в десять разів більше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік - 0);

Н-01 Київ - Знам'янка – 4, що на 33% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік - 6);

Н-02 М-06 - Кременець - Біла Церква - Ржищів - Канів - Софіївка – 1, що на 100% більше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 0);

Н-02-02 під'їзд до м. Канева – 1, що на 100% більше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 0);

Н-08 Бориспіль - Дніпро - Запоріжжя - Маріуполь – 1, що на 83% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 6);

Н-16 Золотоноша - Черкаси - Сміла - Умань – 18, що на 33.3% менше ніж за аналогічний період минулого року (2021 рік – 18);

Тому для подальшого дослідження будемо розглядати небезпечні ділянки автодоріг Н-08 та Н-16.

В Черкаській області для експериментальних досліджень було обрано 45 км автодороги (рис. 6), що веде з м. Черкаси в м. Київ. У цей відрізок увійшло 20 км автодороги національного значення Н-16 (рис. 7), що починається в м. Золотоноша та проходить через м. Черкаси, м. Сміла, м. Шпола, закінчується в м. Умань та 25 км автодороги національного значення Н-08, що починається у Борисполі, проходить через Переяслав, Золотоношу, Градизьк, Кременчук і закінчувався у місті Запоріжжя (рис. 8). Ця частина автошляхів характеризується підвищеною аварійністю, високою

інтенсивністю руху і ігноруванням знаків 3.29 - «Обмеження максимальної швидкості» і 3.25 - «Обгін заборонено». Експериментальне дослідження проводилося в п'ятницю з 10.40 до 10.50 год. Так як це є найнебезпечніший період для скоєння ДТП (рис. 2, рис. 3).



Рисунок 6 – Ділянка автодороги для визначення причин частих ДТП в Черкаській області
Джерело: розроблено авторами

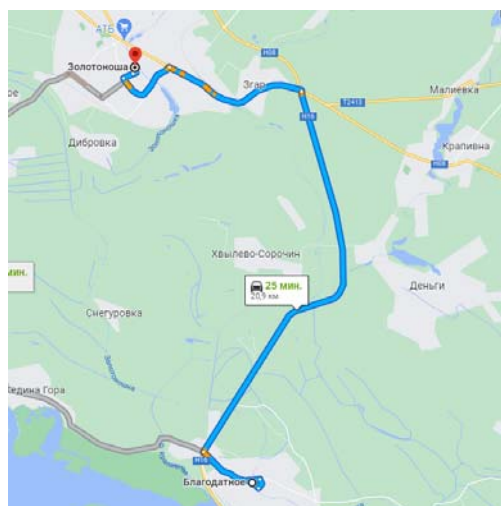


Рисунок 7 – Частина ділянки, що відноситься до автошляху Н16
Джерело: розроблено авторами

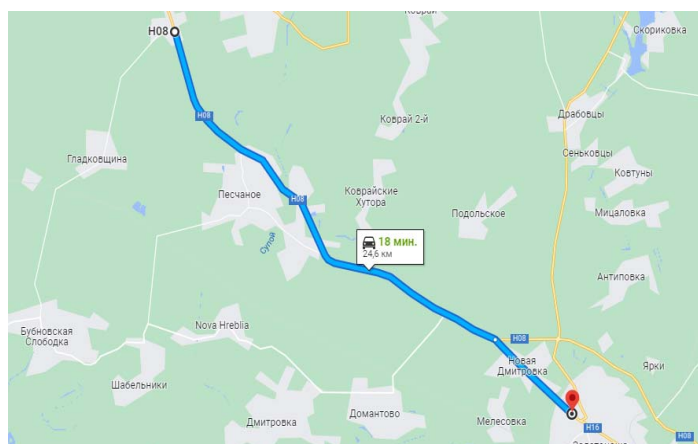


Рисунок 8 – Частина ділянки, що відноситься до автошляху Н08
Джерело: розроблено авторами

На обраних ділянках автодоріг Н16 та Н08 є закриті повороти (рис. 9, рис. 10), де автомобілісти часто порушують швидкісний режим, щоб випередити попереду машину, яка не здатна розвинути комфортну швидкість для відповідного водія.

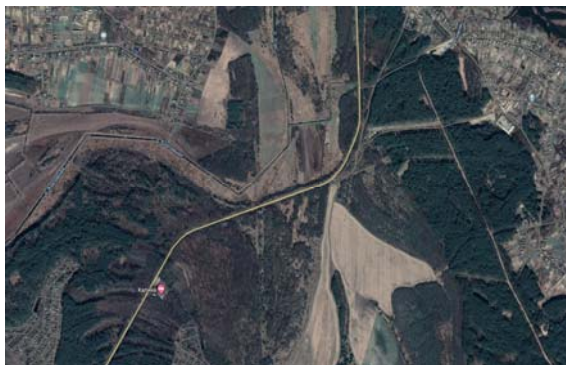


Рисунок 9 - Закритий поворот на ділянці автодороги Н16

Джерело: розроблено авторами

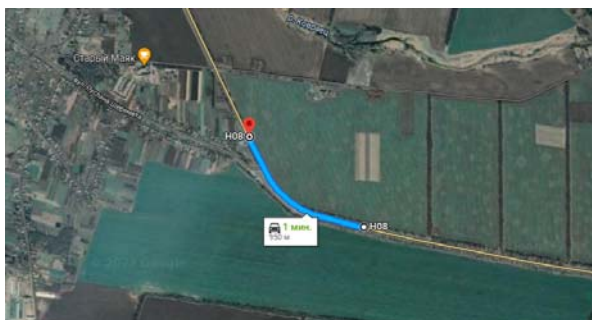


Рисунок 9 - Закритий поворот на ділянці автодороги Н08

Джерело: розроблено авторами

В якості спостережного пункту було вибрано місце на узбіччі дороги, звідки велася відеофіксація. Два знаки на протилежному боці дороги були прийняті як контрольні точки, один під прямим кутом до місця події, а інший на відстані 120 метрів (рис. 10).

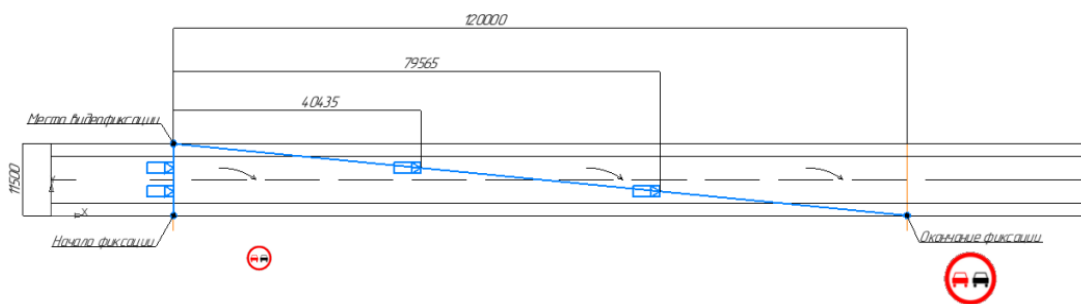


Рисунок 10 - Схема відеофіксації

Джерело: розроблено авторами

Аналіз потоку на ділянці автодороги Н-16 дав наступні результати (рис. 11-рис. 13)

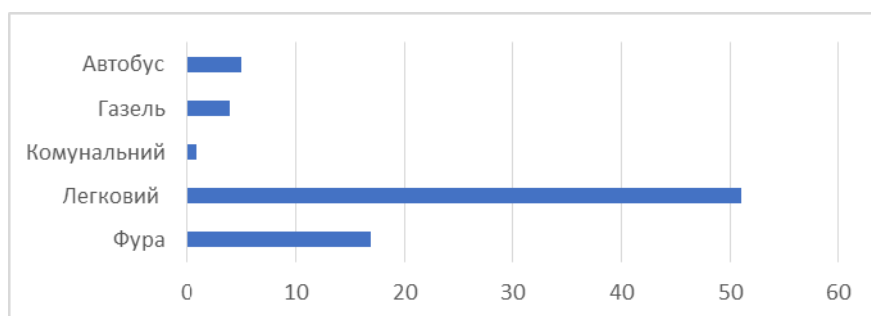


Рисунок 11 – Аналіз потоку на автодорозі Н16

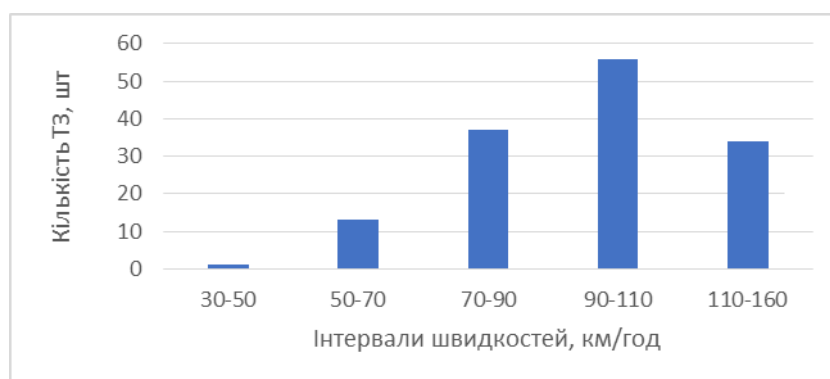
Джерело: розроблено авторами

Рисунок 12 – Розподіл швидкостей руху, транспортних засобів

Джерело: розроблено авторами

З рис. 12 видно, що швидкість потоку неоднорідна і в більшості випадків швидкість руху на даній ділянці не дотримується.

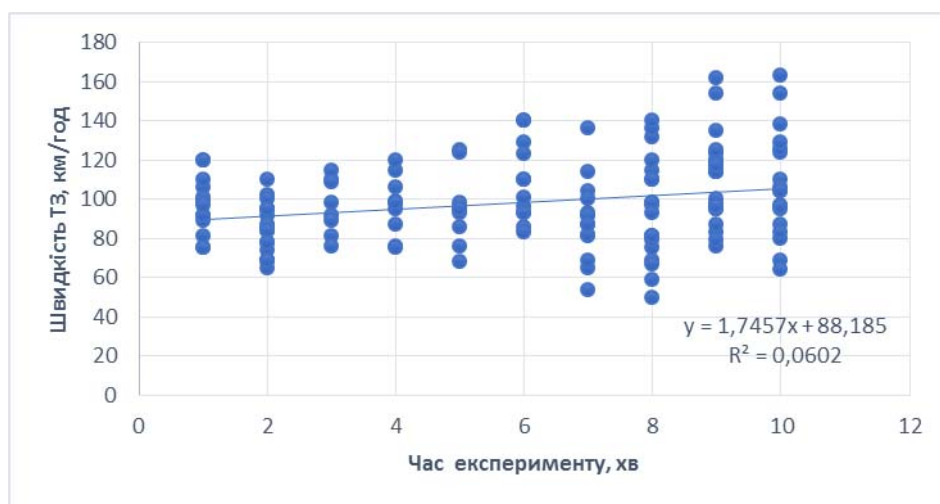


Рисунок 13 – Графік різниці швидкостей транспортного потоку під час експерименту

Джерело: розроблено авторами

На рисунку 13 наведено графік різниці швидкостей транспортного потоку. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок, що середня швидкість становить 98 км / год.

Аналогічним чином було проведено експеримент з виявлення різниці швидкостей на частині ділянки, що відноситься до автошляху Н08. Аналіз потоку на автодорозі Н-08 представлено на рис. 14 – рис. 16.

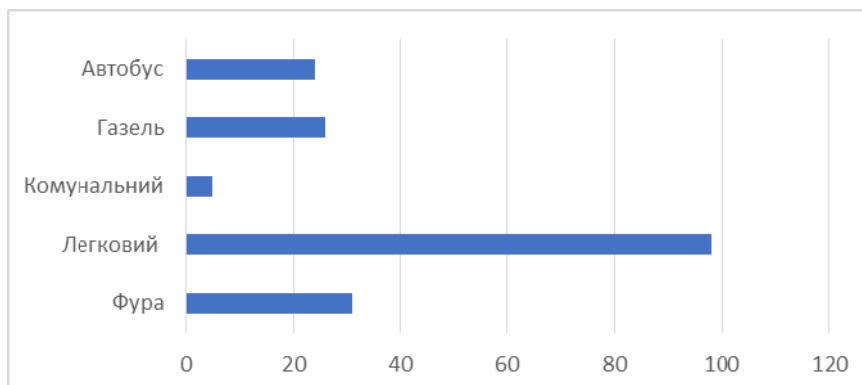


Рисунок 14 - Аналіз потоку на автодорозі Н08

Джерело: розроблено авторами

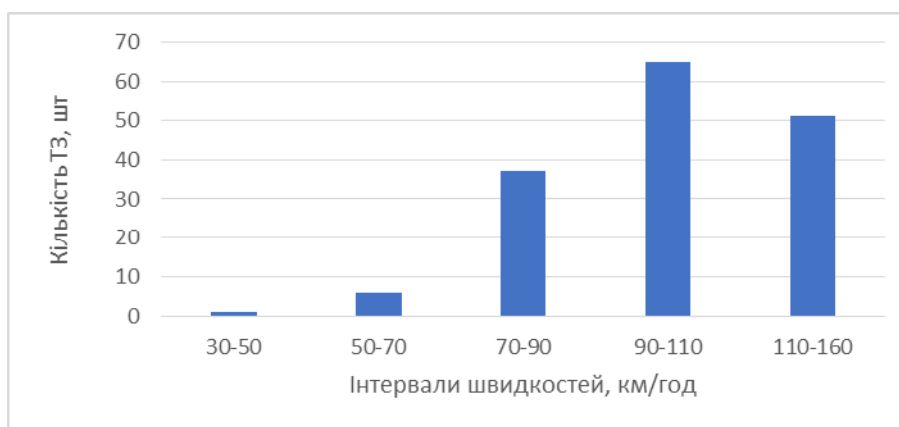


Рисунок 15 – Розподіл швидкостей руху, транспортних засобів на автодорозі Н08

Джерело: розроблено авторами

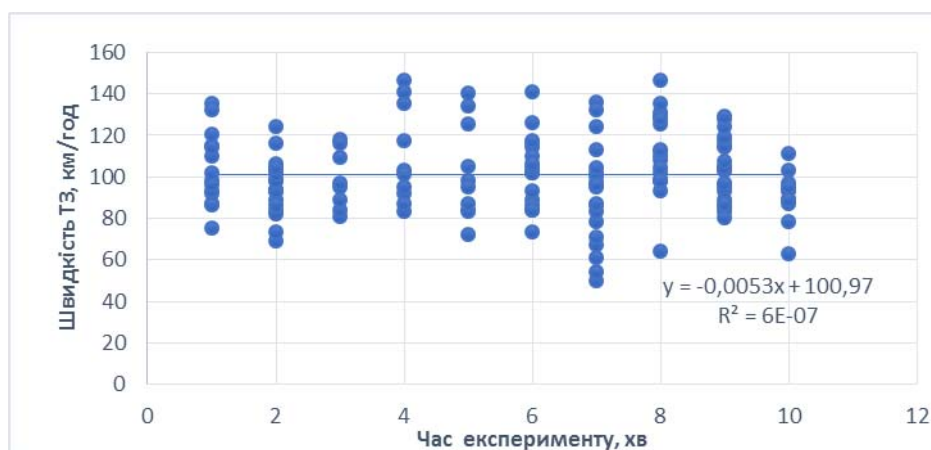


Рисунок 16 – Графік різниці швидкостей транспортного потоку під час експерименту на автодорозі Н08

Джерело: розроблено авторами

На підставі експерименту можна зробити висновок, що більшість автомобілів рухаються зі значним перевищенням швидкості, враховуючи, що на автодорогах є знак, що обмежує швидкість потоку до 70 км / год.

Проаналізувавши лінії тренду різниці швидкостей транспортного потоку на ділянках автодоріг Н-16 та Н-08 (рис.13, рис. 16) та врахувавши, що кількість аварій за рік на відповідних ділянках склала 18 та 6 од. відповідно, можна вивести залежність кількості ДТП від різниці середніх значень швидкостей потоку руху (рис. 17).

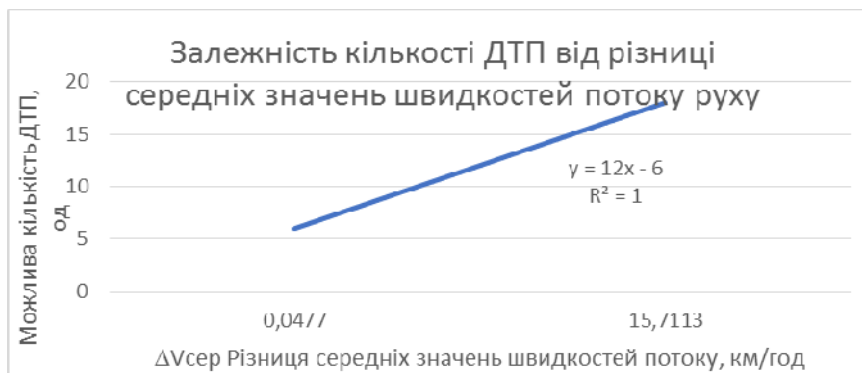


Рисунок 17 – Графік залежності кількості ДТП від різниці середніх значень швидкостей потоку руху

Джерело: розроблено авторами

При існуючому рівні організації дорожнього руху обмеження швидкості обмежується встановленням відповідних дорожніх знаків. Використання незнімних знаків має дуже істотний недолік, який полягає в тому, що рівень обмеження не може гнучко змінюватись, а відповідно це негативно впливає на різницю швидкостей потоку руху.

Висновки. На обох ділянках автодоріг Н-08 та Н-16, де проводилося експериментальне дослідження, спостерігається значна різниця в швидкостях руху автомобільного потоку через недотримання правил дорожнього руху.

В середньому легкі вантажівки, вантажівки і автобуси, ґрунтуючись на експериментальних дослідженнях, складають 30% від загального потоку, при цьому на легковий транспорт припадає 70%.

Якщо в транспортному потоці усунути різницю швидкостей, це підвищить безпеку дорожнього руху. В якості вирішення проблеми обгону на сліпих поворотах пропонується встановити на відповідні ділянки автодороги знаки динамічного обмеження швидкості, для додаткового інформування водіїв. Принцип роботи динамічних знаків полягає в установці датчиків на початку і середині повороту, які, в свою чергу, розраховують середню швидкість автомобіля, що рухається в даний момент по цій ділянці дороги. Розрахована швидкість виводиться на динамічне табло, встановлене перед поворотом, тим самим інформуючи водіїв про середню швидкість руху автомобілів.

Також для зменшення кількості порушень швидкісного режиму пропонується встановити швидкісні радари, які змінюють дані швидкісного режиму відповідно до показань динамічного знаку.

Регулювання швидкості направлене на зниження ймовірності ДТП, яка більш вірогідна, чим більше швидкість автомобіля відрізняється від середньої швидкості транспортного потоку. Спостережна статистика показує, що вирівнювання швидкостей в транспортному потоці дуже важливо для зниження аварійності. Як обмеження верхнього швидкісного режиму на дорозі, так і встановлення мінімально допустимої швидкості можуть сприяти вирівнюванню швидкісного режиму.

Список літератури

1. Шевчук О.С. Вплив показників ефективності на безпеку руху вулично-дорожніми мережами. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка* : зб. наук. праць. 2016. Вип. 169. С. 205-209.
2. Попович П. Аналітичні технології в забезпеченні економічної ефективності логістичних систем. *Вісник ХНТУСГ*. 2016. Вип. № 169. С. 223 - 225.
3. Степанов О.В. Безпека автомобільного транспорту в транспортній галузі. *Вісник ХНАДУ*. 2015. Вип.70. С. 137-141.
4. Francis John Gichaga The impact of road improvements on road safety and related characteristics. *International association of traffic and safety sciences*. Vol. 40, Issue 2, January 2017. P. 72-75.
5. Road transport safety management systems. Guide, 2020. P. 105.
6. Strengthening road safety legislation: A practice and resource manual for countries / © World Health Organization, 2013. P. 88. ISBN 978 92 4 150510 9.
7. Гаркуша В.В. Роль суспільства у заходах контролю за безпекою дорожнього руху. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 39-41.
8. Дубинська Ю.В. Роль психологічних аспектів у формуванні безпеки дорожнього руху. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 58-60.
9. Калініна А.В. Забезпечення безпеки дорожнього руху як напрям розвитку Харківського регіону. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 92-97.
10. Карецька А.І., Нітченко А.Г. Сутність поняття транспортної безпеки та види відповідальності за правопорушення у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 99-102.
11. Мальшаков О.А. Актуальні питання покращення сучасного стану забезпечення безпеки дорожнього руху в Україні. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 135-138.
12. Носенко О.М., Самойлов О.М. Експертна оцінка дій учасників дорожнього руху та інших осіб, відповідальних за забезпечення безпеки дорожнього руху. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 143-147.
13. Собакарь А.О., Дженчако Т.М. Дорожньо-транспортний травматизм в Україні та фактори, що його детермінують. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 189-193.
14. Червяк В.І. Актуальні питання дослідження обставин дорожньо-транспортних пригод в умовах недостатньої видимості. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 220-222.
15. Яровець Б.С., Буга Г.С. Загальні положення про обов'язкове страхування цивільно-правової відповідальності власників наземних транспортних засобів. *Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти*: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 19 листопада 2021 року). Кривий Ріг, 2021. с. 234-236.

References

1. Shevchuk, O.S. (2016). Vplyv pokaznykiv efektyvnosti na bezpeku rukhu vulychno-dorozhnyhnyh merezhamy [The influence of efficiency indicators on traffic safety in street and road networks]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Pyotr Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture: coll. of science works, Issue 169*, 205-209 [in Ukrainian].
2. Popovych, P. (2016). Analitychni tekhnolohii v zabezpechenni ekonomichnoi efektyvnosti lohistychnykh system [Analytical technologies in ensuring the economic efficiency of logistics systems]. *Visnyk KhNTUSH – Herald of KhNTUSH, Issue 169*, 223 - 225 [in Ukrainian].

3. Stepanov, O.V. (2015). Bezpeka avtomobilnoho transportu v transportnii haluzi [Road safety in the transport industry]. *Vistnyk KhNADU – Bulletin of KhNARU, Issue 70*, 137-141 [in Ukrainian].
4. Francis John Gichaga (2017). The impact of road improvements on road safety and related characteristics. *International association of traffic and safety sciences, Volume 40, Issue 2*, P. 72-75. [in English].
5. Road transport safety management systems. (2020). *Guide*, p. 105. [in English].
6. Strengthening road safety legislation. (2013). *A practice and resource manual for countries*. World Health Organization, p. 88. ISBN 978 92 4 150510 9. [in English].
7. Harkusha, V.V. (2021). Rol suspilstva u zakhodakh kontroliu za bezpekoiu dorozhnoho rukhu [The role of society in road safety control measures]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 39-41)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
8. Dubynska, Y.V. (2021). Rol psykholohichnykh aspektiv u formuvanni bezpeky dorozhnoho rukhu [The role of psychological aspects in the formation of road safety]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 58-60)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
9. Kalinina, A.V. (2021). Zabezpechennia bezpeky dorozhnoho rukhu yak napriam rozvytku Kharkivskoho rehionu [Ensuring road safety as a direction of development of the Kharkiv region]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 92-97)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
10. Karetka, A.I. (2021). Sutnist poniattia transportnoi bezpeky ta vydy vidpovidalnosti za pravoporushennia u sferi zabezpechennia bezpeky dorozhnoho rukhu [The essence of the concept of transport safety and types of liability for offenses in the field of road safety]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 99-102)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
11. Malshakov O.A. (2021). Aktualni pytannia pokrashchennia suchasnoho stanu zabezpechennia bezpeky dorozhnoho rukhu v Ukraini [Current issues of improving the current state of road safety in Ukraine]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 135-138)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
12. Nosenko O.M. (2021). Ekspertna otsinka dii uchasnykiv dorozhnoho rukhu ta inshykh osib, vidpovidalnykh za zabezpechennia bezpeky dorozhnoho rukhu [Expert assessment of the actions of road users and other persons responsible for ensuring road safety]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 143-147)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
13. Sobakar A.O., (2021). Dorozhno-transportnyi travmatyzm v Ukraini ta faktory, shcho yoho determinuiut [Road traffic injuries in Ukraine and the factors that determine it]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 189-193)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
14. Cherviak V.I. (2021). Aktualni pytannia doslidzhennia obstavyn dorozhnotransportnykh pryhod v umovakh nedostatnoi vydymosti [Current issues of research into the circumstances of traffic accidents in conditions of insufficient visibility]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 220-222)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].
15. Yarovets B.S. (2021). Zahalni polozhennia pro oboviazkove strakhuvannia tsyvilno-pravovoi vidpovidalnosti vlasnykiv nazemnykh transportnykh zasobiv [General provisions on mandatory civil liability insurance for owners of land vehicles]. Transport safety: legal and organizational aspects: *XVI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (m. Kryvyi Rih, 19 lystopada 2021 roku) – International scientific and practical conference (pp. 234-236)*, Kryvyi Rih [in Ukrainian].

Lyudmyla Tarandushka, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Nataliia Kostian**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer, **Y. Khylyk**

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Viktor Halyavka

Cherkasy scientific research forensic centre of MMIA of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

Improving the Security of Vehicle Transportation on Roads of the Cherkasy Region

The problem of ensuring the safety of movement on the Cherkasy region roads is being studied. The

need to improve transportation safety and study the factors affecting it arose with the development of market-based methods of transport management, changes in the structure and management system of the transport industry of Ukraine. Such qualitative changes have led to the development in this field of new models, methods, methodologies of transportation safety management capable of comprehensively solving the problems of transportation organization, their legal, financial, and information support.

In order to identify methods of improving road safety in the region, an in-depth analysis of the state of accidents in the territory of the General Directorate of the National Police in Cherkasy Region was conducted by types, causes, days of the week, time of traffic accidents, number of victims, number of dead, etc. Dangerous sections of highways were identified and an experimental study was conducted to identify the causes of traffic accidents. In the course of the experimental study, measurements were made that allow to calculate the speed of vehicles that, violating traffic rules, were overtaking on sections of highways with blind turns. From the obtained results, it can be concluded that the main causes of traffic accidents are the violation of traffic rules, which is caused by the difference in traffic speeds in the flow and the unconscious attitude of drivers to the corresponding traffic situation.

As a result of the conducted research, recommendations were provided for optimizing the organization of traffic on dangerous sections of highways. Namely, it is proposed to use the methodology of experimental research on other dangerous sections of the country's highways and to install dynamic traffic signs that will allow regulating the maximum permissible speed depending on the selected factors on the relevant sections, thereby reducing the speed difference in the flow of traffic and punishing violators for exceeding the speed limit. In addition, a very important element of improving safety on the country's highways is the dissemination of information programs on compliance with traffic rules among the country's youth. The proposed method is recommended to be used to reduce the number of road accidents, and accordingly, to reduce the number of victims of road accidents in the territory of Ukraine.

quality, quality indicators, transport services, transport network

Одержано (Received) 12.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 22.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

UDC 656

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).1.208-214](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).1.208-214)

Natalia Rozhko, Assoc. Prof., DSc., **Uliana Plekan**, PhD econ. sci., **Oleg Tson**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anatolii Matviishyn**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, Ukraine

e-mail: kaf_am@ukr.net

Digitalization of truck companies: current challenges and development prospects

Innovations in the logistics support of enterprises have always played an important role in business. They are aimed at improving service delivery and information dissemination. Therefore, individual clients see the traditional "value" for logistics: short service time, availability and timely delivery. This article examines the supply chain, the goal of which is to deliver a quality product in the shortest possible time, with the lowest costs and in the best possible condition. It is possible to fulfill these requirements only on the basis of small business access to innovative technologies. To implement these technologies, it is advisable for road transport enterprises to use existing management practices, namely: construction of modern infrastructure; provision of preferential leasing conditions to car carriers; solving the issue of obtaining permits, crossing the border, downtime; creation of high-quality digital platforms for information exchange and interaction between transportation market participants.

innovations, information and communication technologies, logistics, logistics services, logistics design, demand, transport unit, transportation route

Introduction. There is a fierce competition between states for dominance in the world market for the provision of transport services, where competitive advantages are given by speed, safety and efficiency, which directly depend on the wide use of innovations and high technologies. The level of innovative transport technologies reflects and increases the level of the country's competitiveness.

Innovations, information and communication technologies (ICT) are currently the main tools which conduct modernization in the transport sector. Modern information systems determine the formation of a single information space for all participants of the interaction. Noting the vastness of Ukrainian territory and the transport services coverage of the most remote regions and points of the country, transport itself is the most territorially distributed industry. Therefore, the main feature of transport infrastructure is its high technological dependence. The constant exchange of information between very distant consumers from other points is needed in the transport industry. This determines the necessity of the usage of new equipment and data transmission technology.

Analysis of recent researches and publications. Domestic and foreign scientists are investigating the issue of digitization of road transport enterprises. D.O. Vlasenko studied the theoretical foundations of the strategic planning process of transport enterprises, noting the specifics of the transport industry [1-2]. In scientific works [3-7] it was established that interest in digitization is predetermined by competitive advantages, due to the provision of additional value of the product through high-quality service, high level of communication, improving the company's image, reduction of the price using the automation and digitization of business processes, transparency of the company's internal and external processes, increasing customer loyalty to the company. Scientific works [8, 9] reveal development prospects and the level of digitalization of industrial enterprises.

The aim of the article. The aim of the article is to analyze the implementation of innovative, information and communication technologies in transport companies. Therefore, to reveal this dependence to provide the functioning of agglomerations through logistic supply chains and assessment of the prospects for their development.

Results. Innovations, information and communication technologies (ICT) further the expansion of the information space, creating new innovative products, and reducing information costs. It accelerates and simplifies the search and exchange of information, promotes the strengthening of cooperation between companies, which affects the methods of operational activity of business entities, people's search for favorable conditions for life, moreover the quality of interaction between the country's population and its government. Changes in economic processes, the reorientation of production from the creation of material goods to the provision of services, the globalization of the economy are noted by scientists as the most fundamental signs of the development of a new type of society in the era of the formation of informatization and digitalization processes [3-8].

In the conditions of the globalization of the world economy, the transformation of the economic situation, the growth of the needs of the population and business entities in transport services, the search for a solution to the problem of improving transport technologies of Ukrainian enterprises in the context of the development of the application of logistics and logistic approaches in management is becoming increasingly relevant.

Through logistics, the organization can function effectively, implementing activities punctually, quickly and in accordance with the requests. The main factor shaping all logistics activities is to satisfy the needs (requests) of consumers. In terms of technological progress, trucking technology is developing. Therefore, it will be relevant to study not only different methods of transportation, but also special rules for transportation of various types of cargo.

Optimization of the loading of transport units and transport routes, shipment of goods online and expansion of the entire path are tasks which require fast processing, high accuracy and consistency in logistics purposes. Modern innovative ICT allows to implement tasks of this level. These days, there are many point solutions that allow to reduce the time of delivery of goods and costs related to transportation, to plan and manage the movement of goods. These solutions exist for all types of transport, this area has become widely developed in motor vehicles with the beginning of the usage of GPS navigation, which allows tracking the location of each transport unit in real time.

Transport logistics cannot exist without special Internet services that allow to plan product delivery channels and logistics chains, without prototypes of virtual forwarding services, without transportation route planners that allow you to create routes interactively. Internet video screens allow the dispatcher of transport companies to see the situation in restricted areas, in places of transshipment of goods, to control transportation on request. The logistics and telematics program TEDIM is widely used in international practice.

Modern specialists in the field of logistics note the new stage in the development of logistics, which is characterized not only by the widespread usage of Internet technologies in practice, but also by the intensification of activities in the field of logistics design (Logistics Project, Logistics Engineering), renovation (Logistics Renovations, Logistics Reengineering) and interactive supplying of logistics chains (Logistics Environment, Acquisition Logistics Engineering) [8-10].

The macro-temporal concept of the life cycle of the logistics chain is one of the most successful generalizations of new directions in logistics, along with traditional ones. This concept is based on the CALS (Continuous Acquisitions and Life cycle Support) methodology, that is the implementation of a system approach in logistics.

The work [11] defines the main problems of transport logistics the explanation of which allowed the authors to offer ways to solve them (Figure 1).

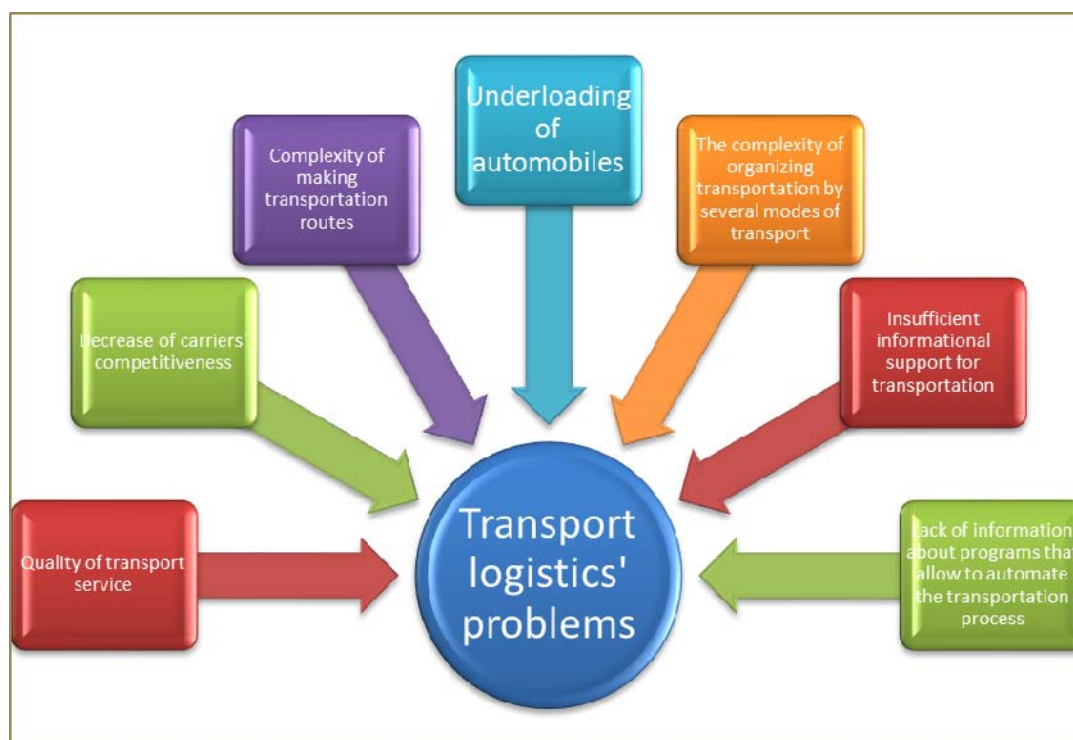


Figure 1 – Current problems of transport logistics

Source: [11]

These problems are relevant for wholesale trade with substantial trade flows and trucking.

Therefore, modern manufacturers are suggested to create an association of manufacturers in the form of a union, transferring individual functions to them in order to obtain the effect of scale in the model of the region and central sections (agglomeration).

The issue of spatial agglomeration is considered using the example of unions, associations of producers' enterprises (agglomerations) operating in the economic space L.

Modeling the benefits of agglomeration as a function of production is defined in its simplest form as follows:

$$X = g(N)f(l, k) \quad \text{при } g'(N) > 0, \quad (1)$$

where X is the volume of production, f is the production function used for the established company, l - labor, k - capital; g(N) is a function of the size of the union (association) N, the arguments of which are external to the production enterprise and expresses the benefits of agglomeration.

The advantages of agglomeration are considered as a prerequisite for the creation of an association of producers and as a sufficient condition if they exceed the costs of transportation [11-13].

If geographical space will be homogeneous in all respects (resources and people) [14], it can be supposed that activity X implements economies of scale and it exceeds transport costs generated by geographic concentration [15]. The impact of a change in the consumption of product i ($i = 1, \dots, n$) will be examined basing on the function of maximized utility for the consumer with a budget for purchase, where s is the distance between the producer and the consumer, p_i - price CAF; p_i' - price FOB, x_i - consumed amount, t_i - transportation price, u - utility function, $u_i = \partial u / \partial x_i$, $u_{ij} = \partial u_i / \partial x_j$, Y - consumer's budget; λ - Lagrange multiplier. Maximization of the utility function $u = u(x_1, \dots, x_n)$ provides the following equilibrium conditions: $Y - \sum_i p_i x_i = 0$, $u_i = \lambda p_i$ ($i = 1, \dots, n$).

The impact of space on demand is determined by differentiating both conditions with respect to distance s and price p_i , which are complex functions:

$$\partial Y / \partial x = \sum_i (p_i \partial x_i / \partial s + x_i \partial p_i / \partial s), \quad (2)$$

$$\partial u_i / \partial s = \sum_j u_{ij} \partial x_j / \partial s = \lambda \partial p_i / \partial s + p_i \partial \lambda / \partial s \quad (i = 1, \dots, n). \quad (3)$$

Substituting $p_i = u_i / \lambda$ in (1) and (2), two conditions are obtained, which can be solved using Cramer's rule and allow to determine $\partial x_i / \partial s$ - change in product consumption depending on the distance to the producer:

$$\partial x_i / \partial s = \partial x_i / \partial Y \times \partial Y / \partial s - \partial x_i / \partial Y \times \sum_j x_j \frac{\partial p_j}{\partial s} + \lambda \sum_j \frac{\partial p_j}{\partial s} \cdot \frac{U_{ij}}{U} \quad (i = 1, \dots, n). \quad (4)$$

Where U is the determinant of the matrix u_{ij} ($i, j = 1, \dots, n$), U_{ij} - its minors. Note that the change in consumption consists of the sum of three components, each of which describes a different type of impact on the change of demand. The second and third expressions (3) contain $\frac{\partial p_j}{\partial s}$, it is the cost of transportation t_i . Therefore, the demand basing on location of the

consumer will vary according to t_i and it can be decomposed into two components. Since $p_i = p_i' + t_i s$ it can be written as follows:

$$\partial x_j / \partial t_j = s(-x_j \partial x_i / \partial Y + \lambda U_{ij} / U) \quad (i = 1, \dots, n). \quad (5)$$

This expression shows that the impact of a change in the price of transportation also depends on the distance s .

Moreover, adapting the interdependence between goods (through prices and substitution) has consequences that were formalized by Long and showed that the quantity of the purchased i good does not necessarily decrease with increasing of distance s ; because if CAF prices for goods produced in a central production center increase with distance from it, they consistently decrease as they approach other production centers. Therefore, substitution can have a positive effect on the volume of purchased goods, the price of which is constantly increasing.

Conclusions:

1. Leading market experts noted that pilot projects for the automation of the transportation process showed a good result - logistics costs are reduced. Therefore, the Ukrainian government needs to discuss the issue of smooth transition to the maximum coverage of all motor vehicle companies interested in digitalization.

2. The issue of a single digital space is relevant. The Ministry of Transport should offer to develop a platform to submit data. Based on them, travel documents will be created, cargo will be tracked and the transportation process will be managed. Smart roads, existing abroad, are good example.

3. There is a necessity and desire to manage the transportation process on highways to have direct effects on consignors, carriers, and modern unions (agglomerations). They will not actually drive up to the warehouse, port or entering the highway look at the traffic on the road, but first plan the route and regulate shipments.

4. It can be claimed that the modernized high-tech transport infrastructure, including the development of a network of innovative logistics systems for passenger service and cargo handling, the formation of intelligent transport systems, will ensure the maximum usage of Ukraine's transport potential.

Список літератури

1. Власенко Д.О. Особливості стратегічного планування діяльності транспортних підприємств. *Економіка та держава*. 2014. № 1. С. 32–35.
2. Власенко Д.О. Формування регіональної структури стратегічного плану автотранспортного підприємства. *Вісник СумДУ. Серія «Економіка»*. 2007. № 1. С. 46–51.
3. Дубина М.В., Козляниченко О.М. Концептуальні аспекти дослідження сутності діджиталізації та її ролі в розвитку сучасного суспільства. *Проблеми і перспективи економіки та управління*. 2019. № 3(19). С. 21–32.
4. Розвиток транспорту з метою відновлення і зростання української економіки : наукова доповідь / за ред. д-ра екон. наук О.І. Никифорова. Київ, 2018. 200 с.
5. Устенко М.О. Діджиталізація: основа конкурентоспроможності підприємства в реаліях цифрової економіки. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2019. № 68. С. 181–192.
6. Long W. H. Demand in Space: Some Neglected Aspects, *Papers of the Regional Science Association*, 1971. №27. 45-62.
7. Rodrigue Jean-Paul, Slack Brian, Comtois Claude. Green Logistics. URL : https://transportgeography.org/?page_id=6497(last accessed: 22.10.2019)
8. Savina N., Romanko O., Pavlov S., Lytvynenko V. Modern management of national competitiveness. *Informatics Control Measurement in Economy and Environment Protection*. 2019. № 2. Pp. 68–71.

9. Trendy w sektorze świeżych warzyw i owoców – Fruit Logistica 2019. URL : <https://www.podoslonami.pl/trendy-sektorze-swiezych-warzyw-owocow-fruitlogistica-2019/> (hasht accessed: 29.08.2020)
10. Wong P.T. The Humane Quest for Meaning: Theories, Research and Application. Edited by Paul T.P. Wong. (2nd ed). New York, NY, USA; Hove, East Sussex, UK: Taylor & Francis Group, LLC. 2012. 719 p.
11. Голуб Ю.Ю., Обіщенко В.Г. Проблеми транспортної логістики в Україні. URL: http://www.rusnauka.com/29_NIOXXI_2012/Tecnic/0_118204.doc.htm.
12. Дослідження безпеки дорожнього руху на автошляхах / О.Л. Ляшук та ін. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.І. С. 311-317.
13. О.Л. Ляшук, У.М. Плекан, О.П. Цьонь, Т.Б. Пиндус. Планування діяльності автотранспортного підприємства. Методичні аспекти . *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.І. С. 256-262.
14. Аулін В.В., Великодний Д.О., Дьяченко В.О. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК. *Міжвузівський збірник "Наукові нотатки"*. 2018. №62. С.8-11.
15. Аулін В.В., Гриньків А.В., Головатий А.О. Інтелектуальні транспортні системи як результат впровадження інноваційних ефективних технологій. *Підвищення надійності машин і обладнання. Increase of Machine and Equipment Reliability*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 квітня 2020 р. Кропивницький: ЦНТУ, 2020. С.207.

References

1. Vlasenko, D.O. (2014). Osoblyvosti stratehichnoho planuvannia diialnosti transportnykh pidpriemstv [Features of strategic planning of transport enterprises]. *Ekonomika ta derzhava – Economy and the state, no. 1*, 32–35 [in Ukrainian].
2. Vlasenko, D.O. (2007). Formuvannia rehionalnoi struktury stratehichnoho planu avtotransportnoho pidpriemstva [Formation of the regional structure of the strategic plan of the motor transport enterprise]. *Visnyk SumDU. Seriiia «Ekonomika» – Bulletin of Sumy State University. "Economy" series, 1*, 46–51 [in Ukrainian].
3. Dubyna, M.V. & Kozlianchenko, O.M. (2019) Kontseptualni aspekty doslidzhennia sutnosti didzhytylizatsii ta yii roli v rozvytku suchasnoho suspilstva [Conceptual aspects of the study of the essence of digitalization and its role in the development of modern society]. *Problemy i perspektyvy ekonomiky ta upravlinnia – Problems and prospects of economics and management, 3 (19)*, 21–32 [in Ukrainian].
4. Nikiforuk, O.I. (Eds/)(2018). *Rozvytok transportu z metoiu vidnovlennia i zrostantia ukrainskoi ekonomiky: naukova dopovid [Development of transport to restore and grow the Ukrainian economy: a scientific report]*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Ustenko, M.O. (2019). Didzhytylizatsiia: osnova konkurentospromozhnosti pidpriemstva v realiiakh tsyfrovoi ekonomiky [Digitization: the basis of enterprise competitiveness in the realities of the digital economy]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti – Herald of the economy of transport and industry, 68*, 181–192 [in Ukrainian].
6. Long, W. H. (1971). Demand in Space: Some Neglected Aspects, Papers of the Regional Science Association, №27. 45-62 [in English].
7. Rodrigue Jean-Paul, Slack Brian, Comtois Claude. Green Logistics. from https://www.podoslonami.pl/trendy-sektorze-swiezych-warzyw-owocow-fruitlogistica-2019https://transportgeography.org/?page_id=6497 [in English].
8. Savina, N., Romanko, O., Pavlov, S. & Lytvynenko, V. (2019). Modern management of national competitiveness. *Informatics Control Measurement in Economy and Environment Protection. № 2*. Pp. 68–71 [in English].
9. Trendy w sektorze świeżych warzyw i owoców – Fruit Logistica 2019. Retrieved from <https://www.podoslonami.pl/trendy-sektorze-swiezych-warzyw-owocow-fruitlogistica-2019/> [in English].
10. Wong, P.T. (2012). The Humane Quest for Meaning: Theories, Research and Application. Edited by Paul T.P. Wong. (2nd ed). New York, NY, USA; Hove, East Sussex, UK: Taylor & Francis Group, LLC. 719 p. [in English].
11. Holub, Yu.Yu. & Obishchenko, V.H. (2012). Problemy transportnoi lohistyky v Ukraini [Problems of transport logistics in Ukraine]. Retrieved from https://www.podoslonami.pl/trendy-sektorze-swiezych-warzyw-owocow-fruitlogistica-2019http://www.rusnauka.com/29_NIOXXI_2012/Tecnic/0_118204.doc.htm [in Ukrainian].

12. Liashuk, O.L., Tson, O.P., Dziura, V.O., Babii, M.V., Krystopchuk, M.Ie., Lysenko, S.V. & Bodoriak, Yu.D. (2022). Doslidzhennia bezpeky dorozhnogo rukhu na avtoshliakhakh / Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky. Vyp. 5(36), ch.I, p. 311-317, [in Ukrainian].
13. Liashuk, O.L., Plekan, U.M., Tson, O.P. & Pyndus, T.B. (2022). Planuvannia diialnosti avtotransportnoho pidpriemstva. Metodichni aspekty [Planning the Activities of the Motor Transport Enterprise. Methodological Aspects] . *Tsentralnoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky – Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences, Issue 5(36), part I, 256-262* [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., Velykodnyi, D.O. & Diachenko, V.O. (2018). Optymizatsiia i upravlinnia resursamy v transportno-lohistychnii systemi APK [Optimization and management of resources in the transport and logistics system of the agricultural industry]. *Mizhvuzivskyi zbirnyk "Naukovi notatky" – Interuniversity collection "Scientific Notes"*, 62, 8-11 [in Ukrainian].
15. Aulin, V.V., Hryniv, A.V. & Holovaty, A.O. (2020). Intelktualni transportni systemy yak rezultat vprovadzhennia innovatsiinykh efektyvnykh tekhnolohii [Intelligent transport systems as a result of the implementation of innovative effective technologies]. *Increase of Machine and Equipment Reliability: Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsia (15-17 kvitnia 2020 r.) – International scientific and practical conference (p. 207), Kropyvnytskyi: TsNTU* [in Ukrainian].

Н.Я. Рожко, проф., д-р екон. наук, **У.М. Плекан**, канд. екон. наук, **О.П. Цьонь**, доц., канд. тех. наук, **А.Й. Матвійшин**, доц., канд. тех. наук

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль, Україна

Сучасні тренди інноваційної політики автотранспортних компаній: виклики та перспективи розвитку

На сьогоднішній день між державами відбувається гостра конкуренція за домінування на світовому ринку надання транспортних послуг, де конкурентні переваги полягають у швидкості, безпеці та ефективності, які безпосередньо залежать від широкого використання інновацій та високих технологій. Рівень інноваційних транспортних технологій відображає та підвищує рівень конкурентоспроможності країни. Інновації в матеріально-технічному забезпеченні підприємств завжди відігравали важливу роль у бізнесі. Вони спрямовані на покращення надання послуг та поширення інформації. Тому індивідуальні клієнти бачать традиційну «цінність» для логістики: короткий термін обслуговування, наявність і своєчасну доставку. У цій статті розглядається ланцюг поставок, метою якого є поставка якісного продукту в найкоротші терміни, з найменшими витратами та в найкращому стані. Виконати ці вимоги можливо лише за умови доступу малого бізнесу до інноваційних технологій. Для реалізації цих технологій підприємствам автомобільного транспорту доцільно використовувати наявні управлінські практики а саме: побудова сучасної інфраструктури; надання автомобільним перевізникам пільгових умов лізингу; вирішення питання отримання дозволів, перетину кордону, простоїв; створення якісних цифрових майданчиків для обміну інформацією і взаємодії між учасниками ринку перевезень.

Актуальним є питання єдиного цифрового простору. Сьогодні Мінтранс має розробити платформу, куди можна буде передавати інформацію, на основі якої створюватимуться проїзні документи, відстежуватимуть вантаж і керуватимуть перевізним процесом. Можна стверджувати, що модернізована високотехнологічна транспортна інфраструктура, включаючи розвиток мережі інноваційних логістичних систем обслуговування пасажирів і вантажопереробки, формування інтелектуальних транспортних систем, забезпечить максимальне використання транспортного потенціалу України.

інновації, інформаційні та комунікаційні технології, логістика, логістичне обслуговування, логістичне проектування, попит, транспортна одиниця, маршрут транспортування

Одержано (Received) 05.09.2022

Прорецензовано (Reviewed) 14.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

Viktoria Dyachenko, applicant

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky, Ukraine

e-mail: vivi.dyachenko@gmail.com

Increasing the reliability of machines and the efficiency of their use in transportation processes in agro-industrial production using service logistics methods

The article considers the problem of increasing the reliability of machines and the efficiency of their use when transporting agricultural products. Increasing the reliability of machines at agro-industrial production enterprises is considered on the basis of improving the strategy of their technical maintenance and repair. At the same time, logistic service methods are used to provide the fleet of cars with the necessary spare parts.

The theoretical justification of the formation of the composition of spare parts at the enterprise, its limitations and the supply system is given. It is noted that in the processes of providing the necessary spare parts, the logistics center takes control. The main factors affecting the efficiency of spare parts supply organization have been identified. On the basis of the cost function, optimal management based on logistic models is considered. Comparative analysis proved the advantage of the developed system of technical maintenance and repair along with the existing planned preventive system. This is, first of all, an increase in the probability of trouble-free operation and the availability ratio of KamAZ vehicles and mobile agricultural and mobile agricultural machinery of the John Deere family.

machine reliability, transportation, agricultural production, service logistics, logistics control center, spare parts, technical condition, information support, maintenance

Formulation of the problem. When improving the system of technical maintenance and repair of machines (TM and R) and increasing their reliability and efficiency of functioning in agro-industrial production (AIP), it is important to use the methods of service logistics. These are primarily systems for the delivery of spare parts (SP), formation of the nomenclature of SP and the management of their stocks in the warehouses of waste disposal companies that use and service the park cars. These questions relate to the service logistics of providing mobile agricultural machinery (MACM) while increasing their reliability and efficiency of use.

Analysis of recent research and publications. From the analysis of literary sources, it follows that the data in service logistics was conducted purely mathematically, since the theory of stock formation and management is one of the branches of applied mathematics [1,2]. To date, a description of the logic of stock movement and the methodology of modeling the state of the stock management system is given [3].

The content of the structure of the MACM is associated with large financial and management costs, but the efficiency of the enterprises that operate the MACM directly depends on it. The lack of necessary spare parts in the warehouse leads to the downtime of the equipment during its repair. But the excess volume of stocks also reduces the performance indicators of the enterprise. Parts stored in the warehouse may become unusable or illiquid. Both domestic and foreign scientists and practitioners dealt with issues of improving various aspects of stock management. Among them, a prominent place is occupied by the works of O.P. Antoniuk [4], V.V. Bilichenko [5], A.V. Bazhinova [6], O.P. Kravchenko [7,8], L.O. Litvyshka [9,10]. Abroad, Y. Liu, Z. Peng [11], Donald J. Bowersox [12], F. Zhao, Z. Tian, Y. Zeng [13] and others dealt with inventory management problems and related issues in service logistics. Scientists such as V.V. Lukinsky [1], A.P. Polyakov [14-19] and others. A

number of methods and models characterizing the management of individual parts of the inventory system are proposed. However, in order to ensure effective management of the inventory of enterprises serving and operating MACM, a management model is needed that would systematically cover all sides of the issue related to inventory management and the specifics of this industry.

The improvement of the management system of the SP should be based on a logistic approach that ensures the unity of supply, production and sales, management of material resources [20-24].

A rule for choosing optimal stock management strategies and an algorithm for their adaptation in accordance with the changes in the parameters of the Poisson distribution of demand for SP as a function of the superposition of probability distributions are proposed, which makes forecasting the need for SP more universal. Seasonality of demand, age of the fleet of vehicles, and market conditions are the factors affecting the need for MACM in the SP. At that time, the method proposed by him for determining the need for SP based on the determination of the optimal size of the order according to the criterion of minimizing costs for stock storage based on the Wilson formula is ineffective. In practice, for the most part, the method of forecasting the need for SP MACM is based on building a trend, taking into account seasonal fluctuations. Logistic service methods are used in the improved maintenance and repair system by a team of scientists under the leadership of Professor V.V. Aulin [20-22, 25-28]. The works emphasize the effectiveness of this direction of research.

Setting objectives. The purpose of this work is to increase the reliability of machines and the efficiency of their use in AIP on the methods of service logistics, which is connected with the provision of the machine park with the necessary amount of SP and the logistics supply system itself.

Presentation of the main material. The system of management of supplies of the SP deals with MACM, dispersed among waste disposal enterprises in the territory of the region of operation. At the same time, they form a flow of failures and service needs, which form the incoming flow of requests to the logistics supply management system.

The main objects of the system of managing the supply of hazardous materials in the AIP are:

- MACM, which can be in one of three states: working, faulty, and a call is planned;
- the maintenance and repair system at the waste disposal enterprise, which provides service to the MACM, using logistics service methods.

The system of supply management of the public sector is considered as a closed system of mass service (SMS), in which processes occur that are caused by the combined action of random variables. During modeling, there is a need to determine the quantitative characteristics of the distribution laws of random variables, which are their parameters. Among them is the intensity of the incoming flow of appeals on the SP. Since this value can be determined through reliability indicators of the served MACM, it is of interest to study the dynamics of changes in this flow.

The random nature of the change in factors affecting the research parameters determines the choice of the research method and the assessment of the accuracy of the obtained results: to obtain reliable values of the parameters characterizing the random processes in the logistics service system, it is necessary to conduct experimental studies and generalize their results.

The PC application package provides a high-level interface for quickly creating discrete-event models using block diagrams.

The management of the supply of goods in the network of the service center is a complex model that combines the discrete-event and agent models, which describe models of

objects that are different in nature. Modeling in this case requires the use of different approaches.

The construction of a discrete-event model requires the presence of a certain number of state variables characterizing it at the current moment of model time, as well as a list of planned events that must occur in the model. For such a model, the order in which events occurring in the model time will be processed is important. If any event happens sooner or later than was planned when building the model, the simulation results may be incorrect. In addition, as a general rule, the simulation environment should provide good repeatability of the simulation results.

As an agent in the model, an MACM unit, of a certain configuration and modification, operated at this waste disposal plant, acts as an agent. The model is implemented using a set of states in which the MACM is:

- a stable state of MACM performance with a certain mileage - state 1;
- failure of a unit, system, unit or part of MACM from group 1 with a certain mileage during the run-in period, which requires repair (non-working state of the machine) – state 2;
- failure of a unit, system, unit or part of MACM from group 2 with a certain mileage during the run-in period, which requires repair (non-working state of the machine) – state 3;
- failure of a unit, unit, system or part of MACM from group 3 with a certain mileage, operational..., requiring repair (inoperative state of the machine) – state 4;
- failure of a unit, system, unit or part of MACM from group 1 with a certain mileage during normal operation, which requires repair (non-working state of the machine) – state 5;
- failure of a unit, system, unit or part of MACM from group 2 with a certain mileage during regular operation, which requires repair (non-working state of the machine) – state 6;
- failure of a unit, unit or part of MACM from group 3 with a certain mileage during normal operation, requiring repair (non-working state of the machine) – state 7;
- the planned appeal of the AIP enterprise to the service center (SC) due to the failure of a node, system, unit or part of the MACM from group 1 at a certain mileage during the period of regular operation (operable condition of the machine, repair is planned) – state 8;
- a planned application of the waste disposal company to the SC due to the failure of a node, system, unit or part of the MACM from group 2 on a certain mileage during the period of regular operation (operable condition of the machine, repair is planned) – state 9;
- a planned appeal of the waste disposal company to the SC due to the failure of a node, system, unit or part of the MACM from group 3 on a certain mileage during regular operation (operable condition of the machine, repair is planned) – condition 10;
- expiration of the MACM service warranty and the car is removed from the model – state 11.

A synchronization algorithm is used to transfer model flows based on a logistic approach from a discrete-event model to an agent model. For each specific model, there is an algorithm that allows you to achieve the maximum efficiency of use, the quality of which depends on the gain as a result of synchronization.

Let us have a logistics service management center (LSC), from which batches of SP are distributed to waste disposal enterprises in the amount of q_{ij} , $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, M}$, N – the total number of items in the batch of SP supplies. Deliveries are carried out in sets of the i -th name of the SP, which can be considered a generalized nomenclature.

The level of stock in the warehouses of the LSC point decreases in accordance with the intensity of service requests, which in turn correspond to λ_{ij} the intensity of failures of their parts, assemblies and aggregates at the j -th AIP enterprise, where MACM is operated and repaired.

On the basis of the value λ_{ij} , it is planned to apply for reclamation enterprises for the planned period t_p . After reaching the time τ -point of the realization of the delivery of batches, which depends on the distance of the j -th enterprise from the LSC of the LSC, as well as after the existing stock k_{ij} in the warehouses of the SC reaches the Z_{ij} value of the non-decreasing stock and the i -th nomenclature of the LSC at the j -th enterprise, the AIP LSC delivers in volume q_{ij} with the lowest costs g_{ij} . In conditions of random demand, the model does not include the periodicity of deliveries. Instead, the values of the total number of deliveries B for a certain period (year) are used.

With the help of planning requests of the j -th AIP enterprise, the stock of stored SP, which are replenished by the LSC, relative to the calculated intensity of failures and their details. Additional costs are associated with each such top-up. When minimizing costs for the storage period and fines are calculated based on the expected balance (deficit) until the end of the specified period (year). First of all, the LSC bears the costs S_{ij} of storing their SP, which are in the warehouse for the entire period and with the delivery of the volume of the batch g_{ij} .

Service requests are satisfied until their total volume (from the beginning of the planned period) does not exceed the initial stock. All the following requirements cannot be served immediately, which leads to the downtime of the MACM at the AIP enterprise, which operated it while waiting for maintenance and repair operations. The consequence of the downtime is lost profit for the enterprise and fines for the LSC.

The cost of the fine for the lack of the necessary spare parts in the LSC warehouse includes the excess of the costs of emergency delivery over the costs of ordinary and lost profit. The interest on their freezing due to a shortage of working capital is equal to:

$$d = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \left(\frac{\lambda_{ij} B^2}{2g_{ij}} - \frac{1}{S_{ij}} \right). \quad (1)$$

The shortage of SP can lead to the loss of customers - waste disposal companies, if they decide to serve MACM in relation to LSC.

It is necessary to choose the moment, volume and structure of deliveries of batches of SP in such a way that the total costs of S for storage, delivery and penalty for shortage are minimal. Restrictions should be imposed on the operation of the company's warehouse: the maximum stock should not exceed the capacity of the warehouse, and its cost should not exceed a given amount. At the same time, the conditional minimum costs are determined by the formula:

$$S = (\tau - t_n) \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} \cdot s_{ij} \cdot k_{ij} + B \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M g_{ij} \cdot q_{ij} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M d_{ij} \cdot (N'_{ij} + q_{ij}) \cdot p_{ij} \rightarrow \min. \quad (2)$$

At the same time, there are the following restrictions:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M S_{ij} - d_{ij} \sum_{i=s+1}^{\infty} p_i \geq 0; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M d_{ij} \sum_{i=s+1}^{\infty} p_i \geq 0. \quad (4)$$

These restrictions are general conditions for the optimality of the stock N'_{ij} .

To ensure the minimum of the cost function under the conditions of the smallest deficit and the best values of efficiency indicators, it is necessary to calculate the optimal value of the delivery. Delivery must be made at a time equal to:

$$\tau_j = \sum_{i=1}^N \left(\left(\frac{q_{ij} + N'_{ij}}{\lambda_{ij}} - t_n \right) + g_{ij} \cdot B \right), \quad (5)$$

where the average idle time in waiting for the SP acts as an efficiency indicator Ej :

$$E_j = \sum_{i=1}^N \rho_{ij} / \Lambda_j, \quad (6)$$

where ρ_{ij} is the average number of applications for the replacement of the i -th defective part, node, system, or unit of the MACM in the SC for the j -th AIP enterprise; $\Lambda_j = \sum_{i=1}^N \lambda_{ij}$ – the total intensity of the flow of served applications according to the law of preservation of applications is equal to the intensity of the incoming flow.

The model of the system of provision of SP can be described in the form of a structure of functional relations between a varied composition of significant factors and initial parameters. In such a model, it is necessary to ensure the constancy of the reaction of "output" to "input", which must be in both static and dynamic equilibrium.

At the same time, three groups of factors are traditionally distinguished:

- which cannot be influenced;
- which can be influenced by influencing the target function;
- whose impact on the system is unknown or insufficiently studied.

Since the first and third group of factors refer to factors of the external environment and the probability of their occurrence is unknown, their fixed values are set in the model, which are not taken into account in the future. The objective function is defined as a dependence on the factors of the second group:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (7)$$

The effectiveness of the organization of the supply of SP is determined on the basis of the indicator of the total costs for the organization of the supply of SP to ensure uninterrupted service during the warranty period. The value of the total costs for the organization of the supply and storage of raw materials in the warehouse was chosen as the objective function. The following can be attributed to the set of factors affecting this performance indicator:

x_1 – the period of early delivery of the control unit at the stage of full-time operation of the MACM during the warranty period;

x_2 – the optimal volume of delivery of the batch;

x_3 – the cost of warranty kits for MACM in relation to batches supplied to APR enterprises for MACM;

x_4 – warehouse area;

x_5 – the value of the irreducible reserve for each group of SP;

x_6 – method of delivery;

x_7 – the number of service posts in the DSC;

x_8 – the ratio of SP of each group to the total number (coefficient of grouping).

To arrange the factors according to the expected degree of influence on the efficiency indicator, the method of their ranking was used. For this, a questionnaire was used, which includes the optimization parameter, factors and levels of their variation.

From the diagram of ranks and medians of experts' opinions, it follows that the most significant factors are: x_1 – the period of early delivery of the equipment at the stage of regular operation of the warranty period; x_8 – the ratio of the number of each group to the total number in the batch; x_5 – the value of the non-reducible reserve for each group of SP; x_2 – is the optimal volume of parts for MACM supplied.

Optimal management based on logistic models consists in finding such optimal values

$x_{opt1}, x_{opt2}, x_{opt5}, x_{opt8}$, at which the values of the function $Y(x_1, x_2, x_5, x_8)$ are the total costs for the organization of delivery and storage. The inventory in the company's warehouse will be minimal:

$$Y(X_1^*, X_2^*, X_5^*, X_8^*) \rightarrow \min. \quad (8)$$

If we conditionally rename the factors x_1, x_2, x_5, x_8 to X_1, X_2, X_3 and X_4 , respectively, we have the function $S(X_1, X_2, X_3, X_4)$, that is, the total costs of organization of delivery of spare parts (lots of parts) for maintenance and repair of the MACM. At the same time, the cumulative loss function is minimized:

$$S(X_1, X_2, X_3, X_4) = S_1 + S_2 + S_3 \rightarrow \min, \quad (9)$$

where S_1 is the cost of storage of hazardous materials in the warehouse of the waste disposal company:

$$S_1 = 1/2 \cdot B \cdot (\tau - X_1) \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \lambda_{ij} \cdot h_{ij} \cdot (X_2 \cdot X_3), \quad (10)$$

where $X_1 = t_{II}$ is the point of delivery of the batch of SP; $X_2 X_3 = k_{ij}$ – surpluses in the warehouse for each i -position of the SP.

S_2 – costs associated with the delivery of batches of MF to the warehouse:

$$S_2 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M g_{ij} \cdot X_2 \cdot X_4, \quad (11)$$

where $X_2 \cdot X_4 = q_{ij}$ – the volume of the delivery batch of i -x items of the SP to the j -th waste disposal company where MACM is operated and serviced.

S_3 – the cost of the fine for the absence of the necessary items of the SP in the warehouse:

$$S_3 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M d_{ij} \cdot (X_3 + X_2 \cdot X_4) \cdot p_{ij}, \quad (12)$$

where $X_3 = N_{ij}$ – the minimum stock of the i -th PPE in the warehouse of the j -th waste disposal company.

The use of such an improved maintenance and repair system gives the operator and service personnel more opportunities for rational use of the resource of nodes, systems and aggregates of MACM during operation, i.e. increased reliability and efficiency of use is observed. Of course, for the most effective control, it is necessary to carry out constant monitoring and correction of their technical condition. Due to the fact that with an improved maintenance and repair system, the complex of operations to maintain the operational condition of the MACM is performed according to its actual technical condition in non-regulated terms, and if necessary, the response to critical changes is more adequate. Of course, this gives advantages in solving the issue of the most optimal use of the resource of nodes, systems and aggregates by managing timely technological operations necessary in terms of type and volume. The obtained results of the study showed that diagnostic information does not always allow to objectively assess the technical condition of the unit's systems and the ranges of deviations of the values of the diagnostic parameters, which requires a demand for more specific information about the reasons for the sharp deterioration of the diagnostic parameters or the occurrence of failures of MACM nodes, systems and units.

The degree of ensuring the operational reliability of the MACM by the proposed maintenance and repair system, its effectiveness was evaluated in the AIP farms of the Kirovohrad region based on the determination of such reliability indicators as the probability of failure-free operation, availability coefficients and technical use. It was determined that the implementation of improved maintenance and on the basis of service logistics increases the probability of trouble-free operation of systems and units within 90...95%.

It was found that when the influence of the number of factors of a random nature increases, the probability of trouble-free operation of MACM decreases. The distribution of probabilities of trouble-free operation of MACM power units after performing certain technical actions with a planned preventive system (PPS) and an improved maintenance and repair system based on service logistics methods is shown in fig. 1-2.

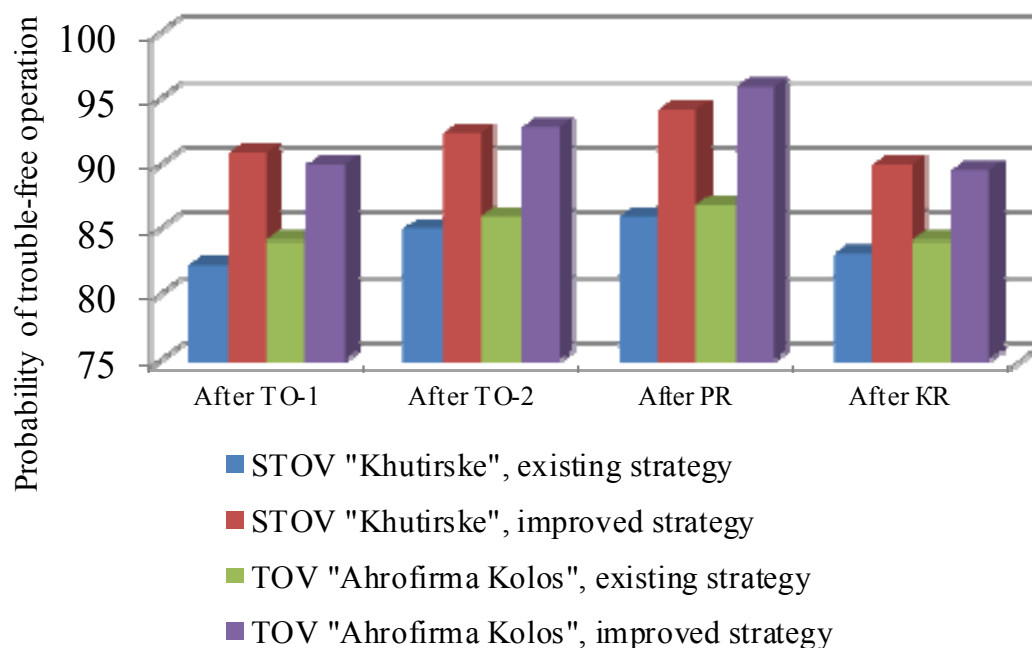


Figure 1 – Diagram of probabilities of trouble-free operation of KamAZ vehicles after performing certain technical measures with PPS and an improved maintenance and repair system based on service logistics methods

Source: obtained by authors

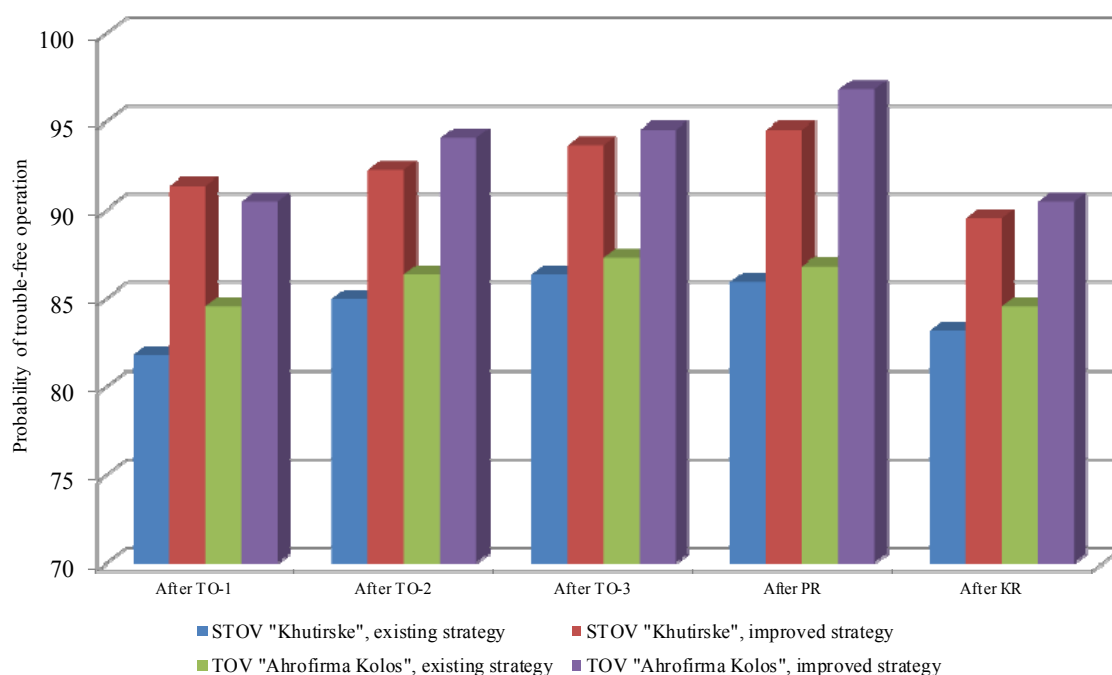


Figure 2 – Diagram of the distribution of probabilities of failure-free operation of the John Deere family of

MACM in the technical condition management system after performing certain technical actions at PPS and an improved maintenance and repair system based on service logistics methods

Source: obtained by authors

As evidenced by the results of carrying out technical actions with a change in the technical condition of the MACM, carrying out work to maintain it at a sufficient level and ensure the operability of the equipment correlates better with a higher probability. With PPS maintenance and repair, the probability of trouble-free operation of the MACM for all studied farms of the Kirovohrad region is lower by 6.7...14.3% compared to the improved maintenance and repair system using a logistics service.

It was found that the maintenance and repair systems can control the equilibrium state, which is heading towards the operational state. The implementation of technical actions helps to stabilize this state due to the "accumulation" of defects of various nature of occurrence and their implementation in the form of failures of specific elements of MACM [124], with minimal interference in the clearly defined exposure time according to a certain maintenance and repair system. Significant direct and indirect effects of factors on changes in indicators of operational reliability of MACM indicate a significant amount of underutilized potential resource.

The comparative results of the evaluation of readiness coefficients for two systems of maintenance and repair are shown in the table. 1.

Table 1 – Readiness coefficient of the researched vehicle park of waste disposal companies when using different maintenance and repair systems

AIP enterprise	Park of machines (MACM units), engines	Maintenance and repair systems	
		planned and preventive	improved
		The coefficient of readiness of the MACM park, K_R	
STOV "Khutorske"	cars of the KamAZ family (9)	0.63	0.78
	Tractors of the John Deer family (2)	0.67	0.81
TOV "Agrofirma Kolos"	cars of the KamAZ family (6)	0.69	0.82
	Tractors of the John Deer family (1)	0.71	0.84

Source: obtained by authors

At the same time, the readiness factor for the improved system is 1.12...1.32 times higher in comparison with the implementation of PPS maintenance and R.

It was found that for the "Khutorske" sewage treatment plant with PPS for different brands of MACM units, the average value of the readiness coefficient K_R varied between 0.63...0.67, and for the proposed one – 0.75...0.78; for the AIP company TOV "Agrofirma Kolos", with PPS - 0.69...0.71, with the proposed one - 0.82...0.84.

There is a spread of availability coefficient values for diesel power units, which is determined by their initial and dynamic parameters: structural, technological, significant difference in working hours per unit of time, quality of service, fuel and lubricant materials used during operation, conditions and intensity of use. At that time, it should be noted that the human factor has a decisive influence on the readiness of MACM, both during production and maintenance.

The above shows that the use of the MACM technical condition management system to obtain information about the real technical condition in time makes it possible to adequately justify the extension of the service life to technical actions, to correct the nomenclature of the performed operations, to argue for a possible increase in the resource of the use of equipment, the coefficients of readiness and use.

Conclusions. 1. The information support of the system for managing the technical condition of MSHT units can be presented in the form of logistics flows, taking into account the flows of failures and spare parts during the implementation of an improved maintenance and repair system.

2. Information is obtained on the development of resource factors of influence, both in negative (destruction) and positive (restoration) directions.

3. The use of an improved technical condition management system for maintenance and repair on the basis of service logistics at APV enterprises of the Kirovohrad region allows us to talk about a certain adjusted structure of existing maintenance and repair systems.

4. With the optimal organization of modes of carrying out timely technical actions for the relevant nodes, systems and aggregates of MSHT, acceptable indicators of their reliability and efficiency of use are ensured.

Список літератури

1. Лукинский В. В. Теория и методология управления запасами в цепях поставок: автореф. дис....эк. наук: 08.00.05. Санкт-Петербург, 2008. 38с.
2. Лукинский В.С., Бережной В.И., Бережная Е.В. Логистика автомобильного транспорта. М.: Финансы и статистика, 2004. 368 с.
3. Лукинский В.В. Актуальные проблемы формирования теории управления запасами: монография. СПб.: СПбГИЭУ, 2008. 213 с.
4. Антонюк О.П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Житомир, 2021. 245 с.
5. Біліченко В.В., Макаров В.А., Макарова Т.В., Антонюк О.П. Про раціональний підхід до забезпечення запасними частинами вантажних АТП регіону. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Технічні науки»)*. 2018. Випуск 62. С. 29-35.
6. Бажинов А. В. Усовершенствование методов прогнозирования потребности в запасных частях к силовым агрегатам грузовых автомобилей. Дис. канд. техн. наук: 05.22.20. Харьков, ХНАДУ, 2011. 180 с.
7. Кравченко О. П. Фактори що впливають на формування номенклатури та кількість запасних частин на підприємствах автомобільного транспорту. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. 2015. №2(4). С. 60-66.
8. Кравченко А.П., Верительник Е.А. Мониторинг расхода запасных частей автомобилей-тягачей VOLVO FH 1242. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Автомобіле- та тракторобудування*. 2014. № 9 (1052). С. 33-38.
9. Литвишко Л. О. Організація постачання запасними частинами об'єктів автотранспортних систем. *Вісник Національного транспортного університету*. 2010. № 21(1). С. 376-378.
10. Литвишко Л. О. Основні підходи до формування політики управління запасами. *Вісник Національного транспортного університету*. 2011. № 24(1). С. 355-359.
11. Liu, Y., Peng, Z. Design and simulation of fuzzy logic control system based on MATLAB. *Engineering Journal of Wuhan University*. 2008. Vol 2. P. 56-74.
12. Бауэрсекс Доналд Дж., Клосс. Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. М.: ЗАО «Олимп - Бизнес», 2008. 640с.
13. Zhao F, Tian Z, Zeng Y. Uncertainty quantification in gear remaining useful life prediction through an integrated prognostics method. *Transactions on Reliability*. 2013. Vol. 62, № 1. P. 146-159.
14. Поляков А.П., Антонюк О. П. Аналіз методів визначення раціональної кількості запасних частин, що входять до складу матеріальних запасів автотранспортних підприємств. *Збірник наукових праць SWorld. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні проблеми та шляхи їх вирішення в науці, транспорті, виробництві та освіті 2012»*. Випуск 4. Том 2. Одеса: КУПРИЕНКО, 2012. С. 48-55.
15. Поляков А. П., Антонюк О. П. Аналіз факторів, які впливають на формування номенклатури та

- кількості запасних частин автотранспортного підприємства. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2011. №6(160). С. 139-143.
16. Поляков А. П., Антонюк О. П., Галушак Д.О. Організація забезпечення запасними частинами автотранспортних підприємств. *Наукові нотатки. Міжвузівський збірник*. 2012. Випуск 36. С. 238-240.
 17. Поляков А. П., Нагачевський В. Й., Миронюк М. Ю. Техніко-економічне обґрунтування і рекомендації щодо оптимального забезпечення автотранспортних підприємств відповідною кількістю та номенклатурою запасних частин. *Військово-технічний збірник*. 2016. №14. С. 117-120.
 18. Поляков А.П., Антонюк О.П., Галушак Д.О., Галушак О.О. Метод формування необхідної кількості запасних частин для ремонту засобів транспорту. *Наукові праці ВНТУ*. 2012. №2. С. 1-5.
 19. Поляков А.П., Антонюк О.П. Обґрунтування критеріїв оцінки ефективності застосування методу формування номенклатури та кількості запасних частин, що входять до складу матеріальних запасів автотранспортних підприємств. *Збірник наукових праць SWorld. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень 2013»*. Випуск 1. Том 1. Одеса: КУПРИЕНКО, 2013. С. 127-130.
 20. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М. та ін. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів Technical service of agriculture, forestry and transport systems*. 2020. №22. С. 162 - 174.
 21. Аулін В.В., Гриньків А.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегії технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. *Збірник наукових праць КНТУ: Техніка в сільськогосподарстві, виробництві, галузеве машинобудування*. 2015. №28. С. 126-131.
 22. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Мартиненко О.Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. № 158. С. 252-262.
 23. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Голуб Д.В. Вплив стратегій технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської техніки на її стан, умови і охорону праці операторів. *Вісник ЖНАЕУ: науково-теоретичний збірник*. 2014. Вип. 2, № 45. т.4, ч.ІІ. С. 37-50
 24. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Замота О.М. Методологія вибору та управління ефективністю використання техніки у сільськогосподарському виробництві. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. Вип. 29. С.2-12.
 25. Аулін В.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Критерії оцінки організації системи технічної діагностики для дослідження технічного стану засобів транспорту. *Наукові праці. Міжнародна науково-практична конференція "Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців"*. Харків, ХНАДУ. 2017. С.55-56.
 26. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2007. Вип. 37. С. 146-154.
 27. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в с/г виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. 2009 р. Вип.39. С. 287-291.
 28. Аулін В.В., Лівіцький О.М. Концепція управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортних засобів сільськогосподарського виробництва. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля*. 2010. Вип. 6, №148. С. 173-177.

References

1. Lukinskiy, V.V. (2008). *Teoriya i metodologiya upravleniya zapasami v tsepyah postavok* [Theory and methodology of inventory management in supply chains]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Sankt-Peterburg [in Russian].
2. Lukinskiy, V.S., Berezhnoy, V.I., Berezhnaya, E.V. (2004). *Logistika avtomobilnogo transporta* [Road transport logistics]. M.: Finansy i statistika [in Russian].
3. Lukinskiy, V.V. (2008). *Aktualnyie problemy formirovaniya teorii upravleniya zapasami: monografiya* [Actual problems of formation of the theory of inventory management: monograph]. SPb.: SPbGIEU [in Russian].
4. Antoniuk, O.P. (2021). *Pokrashchennia protsesu zabezpechennia zapasnymy chastynamy rukhomoho*

- skladu avtotransportnoho pidpriemstva [Improvement of the process of supplying spare parts of a dry warehouse of motor transport enterprises]. *Candidate's thesis*. Zhytomyr [in Ukrainian].
5. Bilichenko, V.V., Makarov, V.A., Makarova, T.V., Antoniuk O.P. (2018). Pro ratsionalnyi pidkhid do zabezpechennia zapasnymi chastynamy vantazhnykh ATP rehionu [About a rational approach to the provision of spare parts of the vintage ATP to the region]. *Naukovi notatky. Mizhvuzivskiy zbirnyk (za haluziamy znan «Tekhnichni nauky») - Scientific notes. Mizhvuzivskiy zbirnyk (behind the curtains is the knowledge of "Technical sciences")*, 62, 29-35 [in Ukrainian].
 6. Bazhinov, A.V. (2011). Uovershenstvovanie metodov prognozirovaniya potrebnosti v zapasnykh chastyakh k silovym agregatam gruzovykh avtomobiley [Improving the methods for forecasting the need for spare parts for power units of trucks]. *Doctor's thesis*. Harkov, HNADU [in Russian].
 7. Kravchenko, O. P. (2015). Faktory shcho vplyvaiut na formuvannia nomenklatury ta kilkost zapasnykh chastyn na pidpriemstvakh avtomobilnoho transportu [Factors to be added to the molding of the nomenclature and the number of spare parts in the enterprises of motor transport]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti. Naukovi zhurnal - Modern technologies in machine-building and transport. Scientific journal*, 2(4), 60-66 [in Ukrainian].
 8. Kravchenko, A.P., Veritelnik, E.A. (2014). Monitoring rashoda zapasnykh chastey avtomobiley-tyagachey VOLVO FH 1242 [Monitoring the consumption of spare parts for tractors VOLVO FH 1242]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannia - Bulletin of the National Technical University "KhPI". Collection of scientific works. Series: Automobile and tractor-building*. 9(1052), 33-38 [in Russian].
 9. Lytvysko, L.O. (2010). Orhanizatsiia postachannia zapasnymi chastynamy ob'ektiv avtotransportnykh system [Organization of the supply of spare parts of the objects of motor transport systems]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu - Bulletin of the National Transport University*, 21(1), 376-378 [in Ukrainian].
 10. Lytvysko, L.O. (2011). Osnovni pidkhody do formuvannia polityky upravlinnia zapasamy [Basic approaches to the formation of inventory management policy]. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu - Bulletin of the National Transport University*, 24(1), 355-359 [in Ukrainian].
 11. Liu, Y., Peng, Z. (2008). Design and simulation of fuzzy logic control system based on MATLAB. *Engineering Journal of Wuhan University*, 2, 56-74 [in English].
 12. Bauersoks Donald Dzh., Kloss. Deyvid Dzh. (2008). Logistika: integrirovannaya tsep postavok [Logistics: an integrated supply chain]. M.: ZAO «Olimp – Biznes [in Russian].
 13. Zhao F, Tian Z, Zeng Y. (2013). Uncertainty quantification in gear remaining useful life prediction through an integrated prognostics method. *Transactions on Reliability*. 62, 1, 146-159 [in English].
 14. Poliakov, A.P., Antoniuk, O.P. (2012). Analiz metodiv vyznachennia ratsionalnoi kilkosti zapasnykh chastyn, shcho vkhodiat do skladu materialnykh zapasiv avtotransportnykh pidpriemstv [Analysis of methods for determining the rational quantity of spare parts that enter the warehouse of material reserves of motor transport enterprises]. *Zbirnyk naukovykh prats SWorld. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni problemy ta shliakhy yikh vyrishennia v nautsi, transporti, vyrobnytstvi ta osviti 2012» - Collection of scientific works SWorld. Materials of the international scientific and practical conference "Modern problems and trends in science, transport, and education in 2012"*, 4, 2, 48-55 [in Ukrainian].
 15. Poliakov, A. P., Antoniuk, O. P. (2011). Analiz faktoriv, yaki vplyvaiut na formuvannia nomenklatury ta kilkosti zapasnykh chastyn avtotransportnoho pidpriemstva [Analysis of factors that influence the molding of the nomenclature and the number of spare parts of the motor transport industry]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. Volodymyra Dalia - Bulletin of the Skhidnoukrainian National University named after. Volodymyr Dahl*, №6(160), 139-143 [in Ukrainian].
 16. Poliakov, A. P., Antoniuk, O. P., Halushchak, D.O. (2012). Orhanizatsiia zabezpechennia zapasnymi chastynamy avtotransportnykh pidpriemstv [Organization of the provision of spare parts for motor transport enterprises]. *Naukovi notatky. Mizhvuzivskiy zbirnyk - Scientific notes. Mizhvuzivskiy collection*, 36, 238-240 [in Ukrainian].
 17. Poliakov, A.P., Nahachevskiy, V.Y., Myroniuk, M.Yu. (2016). Tekhniko-ekonomichne obhruntuvannia i rekomendatsii shchodo optimalnoho zabezpechennia avtotransportnykh pidpriemstv vidpovidnoi kilkistiu ta nomenklaturou zapasnykh chastyn [Technical and economic rationale and recommendations for optimal supply of motor vehicle enterprises with the appropriate number and nomenclature of spare parts]. *Viiskovo-tekhnichnyi zbirnyk - Viiskovo-technical collection*, 14, 117-120 [in Ukrainian].
 18. Poliakov, A.P., Antoniuk, O.P., Halushchak, D.O., Halushchak, O.O. (2012). Metod formuvannia neobkhidnoi kilkosti zapasnykh chastyn dlia remontu zasobiv transportu [The method of molding the necessary quantity of spare parts for the repair of transport equipment]. *Naukovi pratsi VNTU - Science practices VNTU*, 2, 1-5 [in Ukrainian].

19. Poliakov, A.P., Antoniuk, O.P. (2013). Obgruntuvannia kryteriiv otsinky efektyvnosti zastosuvannia metodu formuvannia nomenklatury ta kilkosti zapasnykh chastyn, shcho vkhodiat do skladu materialnykh zapasiv avtotransportnykh pidpriemstv [Establishment of criteria for evaluating the effectiveness of the method of forming the nomenclature and the number of spare parts that enter the warehouse of material reserves of motor transport enterprises]. *Zbirnyk naukovykh prats SWorld. Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni napriamky teoretychnykh i prykladnykh doslidzhen 2013» - Collection of scientific works SWorld. Proceedings of the international scientific and practical conference "Suchasni directing theoretical and applied research 2013"*, 1, 1, 127-130 [in Ukrainian].
20. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V., Livitskyi, O.M. ta in. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki [The principles of stimulating the functioning of the cyber-physical system of the technical service of motor transport and mobile agricultural and support equipment]. *Tekhnichniy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv Technical service of agriculture, forestry and transport systems - Technical service of agriculture, forestry and transport systems*, 22, 162-174 [in Ukrainian].
21. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V. (2015). Problemy pidvyshchennia ekspluatatsiinoi nadiinosti ta mozhlyvosti udoskonalennia stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannia mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki [Problems of improving the operational reliability and feasibility of improving the strategy of technical maintenance of mobile agricultural support equipment]. *Zbirnyk naukovykh prats KNTU: Tekhnika v silskoho hospodarstva. vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia - Collection of scientific practices of KNTU: Technique in the agricultural state. production, galuzev machine-building*, 28, 126-131 [in Ukrainian].
22. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V., Holub, D.V., Martynenko, O.D. (2015). Teoretyko-fizychnyi pidkhid do diahnostychnoi informatsii pro tekhnichniy stan ahrehativ mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki [Theoretical and physical approach to diagnostic information about the technical camp of aggregates in mobile agricultural equipment]. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka - Bulletin of KhNTUSG im. P. Vasilenka*, 158, 252-262 [in Ukrainian].
23. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M., Holub, D.V. (2014). Vplyv stratehii tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu mobilnoi silskohospodarskoi tekhniki na yii stan, umovy i okhoronu pratsi operatoriv [The influence of strategies for maintenance and repair of mobile agricultural machinery on its condition, conditions and occupational safety of operators]. *Visnyk ZhNAEU: naukovo-teoretychnyi zbirnyk. - Bulletin of ZhNAEU: a scientific and theoretical collection*, Vyp. 2, № 45. t.4, ch.II., 37-50 [in Ukrainian].
24. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M., Zamota, O.M. (2016). Metodolohiia vyboru ta upravlinnia efektyvnistiu vykorystannia tekhniki u silskohospodarskomu vyrobnytstvi [Methodology for the selection and management of the efficiency of the selection of technology in the rural economy]. *Zbirnyk naukovykh prats Kirovohradskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu. Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia - Collection of science practices of the Kirovohrad National Technical University. Technics in agricultural production, galuzev machine-building, automation*, 29, 2-12 [in Ukrainian].
25. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Holub, D.V. (2017). Kryterii otsinky orhanizatsii systemy tekhnichnoi diahnostyky dlia doslidzhennia tekhnichnoho stanu zasobiv transportu [Criteria for evaluating the organization of a system of technical diagnostics for the achievement of a technical status of transport]. *Naukovi pratsi. Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "Avtomobilnyi transport i avtomobilebuduvannia. Novitni tekhnologii i metody pidhotovky fakhivtsiv" - Scientific practice. International scientific-practical conference "Automobile transport and automobile production. New technologies and methods of preparation of facsimiles"*, Kharkiv, KhNADU, 55-56 [in Ukrainian].
26. Aulin, V.V., Zhulai, O.Iu., Livitskyi, O.M. (2007). Transportni zasoby v ahropromyslovomu kompleksi ta systema diahnostychnoho monitorynhu yikh tekhnichnoho stanu [Transportation problems in the agro-industrial complex and the system of diagnostic monitoring of their technical camp]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. Zahalnodierzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhichniy zbirnyk - Design, construction and operation of agricultural machines. Zagalnodierzhavny interstate scientific and technical collection*, 37, 146-154 [in Ukrainian].
27. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M. (2009). Informatsiine zabezpechennia v systemi tekhnichnoho servisu, diahnostychnoho monitorynhu ta okhorony pratsi v s/h vyrobnytstvi. Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn [Information security in the system of technical service, diagnostic monitoring and protection of work in agricultural production]. *Zahalnodierzhavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhichniy zbirnyk - Design, construction and operation of agricultural machines. Zagalnodierzhavny interstate scientific and technical collection*, 39, 287-291 [in Ukrainian].
28. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M. (2010). Kontsepsiia upravlinnia tekhnichnym stanom i bezpekoiu

eksploatatsii transportnykh zasobiv silskohospodarskoho vyrobnytstva [The concept of managing the technical mill and the safe operation of the transport facilities of the agricultural industry]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. Volodymyra Dalia - Bulletin of the Skhidnoukrainian National University named after. Volodymyr Dahl*, 6, 148, 173-177 [in Ukrainian].

В.О. Дяченко, здобувач

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

Підвищення надійності машин і ефективності їх використання в процесах перевезень у агропромисловому виробництві методами сервісної логістики

В статті розглядається проблема підвищення надійності машин і ефективності їх використання при перевезенні сільськогосподарської продукції. Підвищення надійності машин на підприємствах агропромислового виробництва розглядається на основі удосконалення стратегії їх технічного обслуговування і ремонту. При цьому використовуються методи логістичного сервісу при забезпеченні парку машин необхідною комплектацією запасних частин.

Дано теоретичне обґрунтування формування складу запасних частин на підприємстві, його обмеженість і система поставок. Зазначено, що в процесах забезпечення необхідними запасними частинами приймає логістичний центр управління. Виявлені основні фактори, що впливають на ефективність організації поставок запасних частин. На основі функції витрат розглядають оптимальне управління на основі логістичних моделей. Ці моделі дають оптимальне значення визначених факторів.

На основі моделювання сервісної логістики розроблена удосконалена система технічного обслуговування і ремонту машин, яка дає можливість істотно підвищити показники надійності. Це підтверджено дослідженнями на експериментальних підприємствах агропромислового виробництва. Парк машин на цих підприємствах в основному, задіяні у процесах перевезень сільськогосподарської продукції.

Порівняльним аналізом доведена перевага розробленої системи технічного обслуговування і ремонту поряд з діючою планово-запобіжною системою. Це передусім підвищення ймовірності безвідмовної роботи та коефіцієнта готовності автомобілів сімейства КамАЗ і мобільної сільськогосподарської і мобільної сільськогосподарської техніки сімейства John Deere.

надійність машин, перевезення, агропромислове виробництво, сервісна логістика, логістичний центр управління, запасні частини, технічний стан, інформаційне забезпечення, технічне обслуговування

Одержано (Received) 31.08.2022

Прорецензовано (Reviewed) 12.09.2022

Прийнято до друку (Approved) 26.09.2022

ЗМІСТ

Матеріалознавство

А.В. Рутковський, С.І. Маркович, С.С. Михайлюта

Дослідження напружено-деформованого стану іонноазотованих зразків
із покриттям в умовах ізотермічної та термоциклічної повзучості
методом кінцево-елементного аналізу 3

О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко, Є.С. Муранов

Вплив графіту на фізико-механічні характеристики та трибологічні
властивості вторинного поліетилену..... 9

*М.М. Студент, С.І. Маркович, В.М. Гвоздецький, Х.Р.Задорожна,
Я.Я. Сірак, Т.М. Кравчишин*

Зносостійкі покриття на алюмінієвих сплавах 16

Галузеве машинобудування

Ю.В. Кулешков, М.В. Красота, Т.В. Руденко, Р.А. Осін, Ю.Б. Євсейчик

Особливості утворення радіального зазору в шестеренних насосах
гідросистем автотракторної техніки..... 23

*Ю.А. Невдаха, В.В.Пирогов, Н.А. Невдаха, Л.С.Олійніченко,
М.О. Васильковський*

Збільшення запасу міцності різьбових з'єднань, що працюють при змінних
навантаженнях 30

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

А.І. Саченко, С.П. Плешков, П.Г. Плешков, В.В. Зінзура

Оптимальне керування режимами розподільних електричних мереж
з сонячними електростанціями при несиметричному навантаженні 37

О.В. Присяжнюк, О.М. Близнюкова

Розробка та використання веб додатків для оптимізації процедури проведення
навчальної експертизи методом Делфі для задач управління 44

В.П. Квасніков, Д.А. Катаєв

Методи підвищення точності вимірювань за допомогою
координатно-вимірювальної руки 52

Д.М.Квашук, В.М.Єгунько

Аналіз методів корекції похибок вимірювальних приладів 60

Комп'ютерна інженерія

Р.М. Минайленко, Л.І. Поліщук, О.К. Коноплицька-Слободенюк

Огляд інтерфейсів сучасного BIOS та особливості його налаштування 70

В.С. Гермак, Р.М. Минайленко

Проблема захисту обміну даними між мікропроцесорними пристроями
в системах IoT..... 77

Р.М. Минайленко, К.О. Буравченко, В.А. Резніченко

Особливості програмування адаптера послідовного інтерфейсу
з використанням електронного емулятора 88

Будівництво та цивільна інженерія

І.В. Савеленко, К.Г. Петрова, С.В. Серебренніков, О.І. Сіріков

Формування оптимальних енергетичних та теплотехнічних характеристик
огорожувальних конструкцій будівель 100

В.М. Сєроглазов

Корозія бетону надводної частини нафтопастки в водному господарстві
нафтовидобувного підприємства 109

Агроінженерія

Р.В. Телюта, В.В. Клименко, О.В. Скрипник, А.В. Телюта

Енергоефективність системи подрібнення твердих рослинних відходів
для виробництва біопаливних пелет 119

А.С. Лімонт, З.А. Лімонт

Кузовні машини для внесення твердих органічних добрив: потужність
на привод робочих органів і пропускна спроможність машин 127

А.В. Новицький

Методичні підходи до формування програми забезпечення надійності
сільськогосподарської техніки 134

*В.В. Аулін, А.В. Гриньків, О.Д. Деркач, Д.О. Макаренко, Є.С. Муранов,
Д.І. Крутоус*

Підвищення довговічності трибоспрямижень застосуванням полімерних
композиційних матеріалів 144

Автомобільний транспорт

У.М. Плекан, О.Л. Ляшук, Н.Я. Рожко, О.П. Цьонь

Удосконалення соціальної функції транспортної галузі України 157

А.С. Лімонт, З.А. Лімонт

Взаємозалежності об'єму кузова і вантажопідйомності та маси машин
для внесення твердих органічних добрив 167

Транспортні технології (за видами)

В.І. Котенко

Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального
транспортними засобами під час доставки зернових культур 173

А.В. Йовченко, А.М. Крейда, Є.А. Усенко

Аналіз існуючих такелажних засобів для переміщення, завантаження
та розвантаження вантажу при транспортуванні 182

I.O. Ximrov

Дослідження умов безпечного проїзду перехрестя з близькими залізничними коліями 188

Л.А. Тарандушка, Н.Л. Костян, І.П. Тарандушка, Хилик Я.О, В.В. Халявка

Підвищення безпеки автомобільних перевезень автошляхами черкаської області 197

Natalia Rozhko, Uliana Plekan, Oleg Tson, Anatolii Matviishyn

Digitalization of truck companies: current challenges and development prospects 208

Viktoria Dyachenko

Increasing the reliability of machines and the efficiency of their use in transportation processes in agro-industrial production using service logistics methods..... 214

CONTENT**Materials Science***Anatoly Rutkovskiy, Sergiy Markovych, Sergiy Myhajlyta*Investigation of the Stress-strain State of Ion-nitrogen-coated Specimens
Under Conditions of Isothermal and Thermocyclic Creep by Finite Element
Analysis 3*Oleksii Derkach, Dmytro Makarenko, Yevhen Muranov*The Effect of Graphite on the Physical and Mechanical Characteristics
and tribological Properties of Secondary Polyethylene 9*Mykhajlo Student, Sergiy Markovych, Volodymyr Hvozdetzskii,**Khrystyna Zadorozhna, Yaruna Sirak, Taras Kravchyshyn*
Wear-resistant Coatings on Aluminum Alloys 16**Industry Engineering***Yuriy Kuleshkov, Mykhailo Krasota, Timofey Rudenko, Ruslan Osin, Yuriy Evseichik*Radial Clearance in Gear Pump Hydraulic Systems of Auto and Tractor
Machinery Forming Features 23*Yurii Nevdakha, Volodymyr Pirogov, Nataliia Nevdakha, Liubov Olijnichenko,*
*Mykhailo Vasylovsky*Increasing the Safety Margin of Threaded Connections Operating Under
Variable Loads 30**Automation and Computer Integrated Technologies***Artem Sachenko, Sergii Plieshkov, Petro Plieshkov, Vasyl Zinzura*Optimal Control of the Modes of Distribution Electrical Networks With Solar
Power Plants Under Unbalanced Load..... 37*Olena Prysiashniuk, Olena Blyzniukova*Development and Use of Web Applications for Optimization the Procedure
of Conducting Educational Expertise Using the Delphi Method for Management
Tasks..... 44*Volodymyr Kvasnikov, Denis Kataiev*Methods of Increasing the Accuracy of Measuring with the Help of a Coordinate-Measuring
Hand 52*Dmytro Kvashuk, Vasyl Yegunko*

Analysis of Methods of Error Correction of Measuring Devices 60

Computer Engineering*Roman Minailenko, Liudmyla Polishchuk, Oksana Konoplytska-Slobodenyuk*

Overview of Modern BIOS Interfaces and Features of Its Configuration 70

Viktoria Germak, Roman Minailenko

Analysis of Botnet Countermeasures in IoT Systems 77

Roman Minailenko, Kostiantyn Buravchenko, Vitalii Reznichenko

Features of Serial Interface Adapter Programming Using an Electronic Emulator 88

Construction and Civil Engineering

Ivan Savelenko, Kateryna Petrova, Sergiy Serebrennikov, Oleksandr Sirikov

Shaping up Thermophysical and Energy Characteristics of Buildings During Thermal Modernization of Enclosing Structures 100

Volodymyr Sierohlazov

Concrete Corrosion of the Above-water Part of the Oil Trap in the Water Management of Oil-and-gas Facilities 109

Agroengineering

Ruslan Teliuta, Vasyl Klymenko, Oleksandr Skrypnyk, Anna Teliuta

Energy Efficiency of Solid Vegetable Waste Shredding System for Biofuel Pellets Production 119

Anatoliy Limont, Zlata Limont

Body Machines for the Application of Solid Organic Fertilizers: the Power to Drive the Working Bodies and the Capacity of the Machines 127

Andrey Novitskiy

Methodological Approaches to the Formation of the Program for Ensuring the Reliability of Agricultural Equipment 134

Viktor Aulin, Andrey Grinkiv, Oleksii Derkach, Dmytro Makarenko,

Yevhen Muranov, Dmytro Krutous
Increasing the Durability of Tribocouplers Using Polymer Composite Materials 144

Road Transport

Uliana Plekan, Oleg Lyashuk, Natalia Rozhko, Oleg Tson

Improvement of the Social Function of the Transport Industry of Ukraine 157

Anatoliy Limont, Zlata Limont

Interdependence of Body Volume and Load Capacity and Weight of Machines for Application of Solid Organic Fertilizers 167

Transport Technologies (by Types)

Viktoriia Kotenko

Machine Learning Algorithmic Models for Forecasting Fuel Consumption by Vehicles of the Grain Crops Delivery 173

Alla Yovchenko, Alina Kreida, E. Usenko

Analysis of Existing Lifting Equipment for Moving, Loading and Unloading Cargo During Transportation 182

Ihor Khitrov

Research of the Conditions for Safe Crossing of the Intersection with Nearby Railway Tracks 188

<i>Lyudmyla Tarandushka, Nataliia Kostian, Ivan Tarandushka, Viktor Halyavka</i> Improving the Security of Vehicle Transportation on Roads of the Cherkasy Region.....	197
<i>Natalia Rozhko, Uliana Plekan, Oleg Tson, Anatolii Matviishyn</i> Digitalization of truck companies: current challenges and development prospects	208
<i>Viktoria Dyachenko</i> Increasing the reliability of machines and the efficiency of their use in transportation processes in agro-industrial production using service logistics methods.....	214

Матеріали подаються у друкованому вигляді та на електронному носії. Обсяг статті – 5-12 сторінок. Основний текст рукопису друкується 12 кеглем; шрифт – Times New Roman; міжрядковий інтервал – 1,0; відступ – 1,25 см; поля: верх – 2 см, низ – 3см, право, ліво – 2 см. Текст повинен бути вирівняний по ширині аркуша.

Підписи до рисунків і набирати шрифтом Times New Roman 10 (по центру), таблиць 14 (з абзацу). Після рисунка, таблиці схеми – вказується джерело

Рисунки й таблиці розміщуються в тексті статті з вирівнюванням по центру сторінки, без обтікання текстом у рамках поля набору. Рисунки й таблиці подаються в статті безпосередньо після тексту, де їх згадано вперше. На кожен формулу, таблицю, рисунок, графік у тексті мають бути обов'язкові посилання.

Анотація українською мовами – до 10 рядків тексту (до 500 знаків), обов'язково 3-7 ключових слів;

Анотація англійською мовою повинна бути не менше ніж 1800 знаків:

Структура анотацій:

- мета статті;
- короткий опис виконаної роботи;
- висновки по роботі;
- перелік ключових слів;

Структура основного тексту статті:

1. Постановка проблеми.
2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.
3. Постановка завдання (мета статті).
4. Виклад основного матеріалу.
5. Висновки і перспективи подальших досліджень.

Схема організації матеріалу статті:

1. УДК
2. Ініціали, прізвище, вчене звання, науковий ступінь
3. Місце роботи, місто, країна. e-mail
4. Назва статті.
5. Анотація і ключові слова мовою статті.
7. Основний текст статті.
8. Список літератури. *
9. References
10. Розширена анотація і ключові слова англійською (українською) мовою.

Редакційна колегія Центральноукраїнського наукового вісника повідомляє, що всі статті які надходять перевіряються на плагіат системою Unicheck (<https://corp.unicheck.com>)

Адреса для надсилання: stat_kntu@ukr.net, aulinvv@gmail.com

ДОВІДКА ПРО АВТОРА
українською та англійською мовами

	Українською	Англійською
Прізвище, ім'я, по-батькові:		
Місце роботи (повна назва, без аббревіатур), місто, країна:		
Посада (повна назва, без аббревіатур):		
Наукова ступінь:		
Вчене звання:		
Назва статті:		
*Спеціальність:		
Адреса для надсилання збірнику:		
Контактні телефони (бажано мобільний):		
E-mail:		
ORCID ID (XXXX-XXXX-XXXX-XXXX)		

* – 122 Комп'ютерні науки; 131 Прикладна механіка; 132 Матеріалознавство; 133 Галузеве машинобудування; 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології; 208 Агроінженерія

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВИЙ ВІСНИК.
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

В и п у с к 6(37)
Частина І

Відповідальний за випуск І.М. Березюк, О.М. Кузик

Комп'ютерна верстка І.М. Каліч

Тиражування О. Г. Каліч

*Приватне підприємство «Ексклюзив-Систем»
Свідоцтво № ДК 4470 від 17.01.2013р.
25006, м. Кіровоград, вул. Шевченка, 25
тел./факс 24-35-53*

Підписано до друку 26.09.2022р. Формат 60х84/8. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman. Офсетний друк. Умов. друк. арк. 29,5
Тираж 300 прим. Зам. № 0783