

Видається з 1996 року
Засновник і видавець
Сумський національний
аграрний університет

Реєстраційне свідоцтво
КВ № 23691-13531 Р від 21.11.2018 р.

Редакційна колегія серії

- Тарельник В.Б.**, доктор технічних наук,
професор, редактор, Сумський
національний аграрний університет
(Україна)
- Соларьов О.О.**, кандидат технічних
наук, доцент, заступник редактора,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)
- Антошевський Б.**, доктор технічних
наук, професор, Келецький технічний
університет (Польща)
- Кундера Чеслав**, доктор технічних наук,
професор, Келецький технічний
університет (Польща)
- Кирик Г.В.**, доктор технічних наук,
доцент, Сумський національний
аграрний університет (Україна)
- Лобода В.Б.**, кандидат фізико-
математичних наук, професор, заступник
редактора, Сумський національний
аграрний університет (Україна)
- Коноплянченко Є.В.**, кандидат
технічних наук, доцент, Сумський
національний аграрний університет
(Україна)
- Довжик М.Я.**, кандидат технічних наук,
доцент, Сумський національний
аграрний університет (Україна)
- Хінек Рубік**, кандидат технічних наук,
Чеський університет наук про життя
(Чехія)
- Девід Херак**, кандидат технічних наук,
Чеський університет наук про життя
(Чехія)
- Сабадаш С.М.**, кандидат технічних наук,
доцент, Сумський національний
аграрний університет (Україна)
- Думанчук М.Ю.**, технічний редактор,
Сумський національний аграрний
університет (Україна)

Міністерство освіти і науки України

ВІСНИК

СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО

АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
Видається 4 рази на рік.

СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів»

ВИПУСК 1 (43), 2021

- Донець С.Є., Литвиненко В.В., Прохоренко Є.М.** Термографічний метод
діагностики та оцінки ефективності роботи установок для променевого
знезараження води 3
- Du Xin, Konoplianchenko Ie., Tarellyk V.** Electrosark deposition in
remanufacturing engineering, prospect of development and application 8
- Любченко І.С., Роговський І.Л.** Аналітичні положення впливу повноти
технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів 15
- Бондар М.М., Плавинська О.В.** Вивчення вимог роботодавців до змістовної
складової сукупності професійних компетенцій майбутніх інженерів 22
- Мікуліна М.О., Поливаний А.Д.** Дослідження необхідності вдосконалення
технологічних процесів збирання гречки 28
- Горовий С.О.** Результати дослідно-розрахункового визначення коефіцієнта
кутової жорсткості шпаринного ущільнення 34
- Глуценко Г.А., Залозний В.В., Давиденко А.К.** Досвід впровадження
мікропроцесорного управління регульованою засувкою 39
- Соколік С.П., Руденко В.А.** Фактори, що впливають на показники якості
полицевої оранки 46

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «МЕХАНІЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ» визнано фаховим виданням Категорії «Б» в галузі технічних наук 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування», 208 «Агроінженерія» (наказ МОН України від 24.09.2020 р. № 1188)

Науковий журнал «Вісник Сумського національного аграрного університету» індексується в Міжнародних наукометричних базах Index Copernicus, РИНЦ

Матеріали журналу знаходяться у вільному доступі на сайті <https://snau.edu.ua>

Усі статті проходять процедуру таємного рецензування. До публікації в журналі не допускаються матеріали, якщо є достатньо підстав вважати, що вони є плагіатом.

Відповідальність за точність наведених даних і цитат покладається на авторів. Матеріали друкуються українською та англійською мовами.

У разі цитування посилання на «Вісник Сумського національного аграрного університету» обов'язкове

Друкується згідно з рішенням вченої ради Сумського національного аграрного університету (Протокол №9 від 29.03.2021 р.).

Адреса видавця та виготовлювача:
40021, м. Суми,
вул. Г. Кондратьєва, 160
Телефон: (0542)70-10-42
E-mail: visnyk.snau@gmail.com
<https://snau.edu.ua>

Тираж 300 пр.
Зам. №9

© Сумський національний аграрний університет, 2021

**ТЕРМОГРАФІЧНИЙ МЕТОД ДІАГНОСТИКИ ТА ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ
УСТАНОВОК ДЛЯ ПРОМЕНЕВОГО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ****Донець Станіслав Євгенович,**кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
ORCID: 0000-0002-1258-1434,
e-mail: s.j.donets@gmail.com**Литвиненко Володимир Вікторович,**доктор технічних наук, старший науковий співробітник, директор,
Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
ORCID: 0000-0003-4850-2555,
e-mail: vvlytyvnenko@ukr.net**Прохоренко Євген Михайлович,**доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України
ORCID: 0000-0002-6589-7424,
e-mail: forshad58@gmail.com

Розглянуто підходи до оцінки ефективності застосування установок для знезараження води в умовах несталих значень її оптичної прозорості. Запропоновано розрахункову методику для визначення розподілу дози опромінення в камері обробки. Пропонується застосовувати термографічні методи до оцінки ефективності опромінення води з урахуванням виникнення ламінарних потоків в камері. Запропоновано метод обробки термографічних зображень з метою автоматизованого виділення ділянок з відмінними значеннями радіаційної температури та визначення якості та надійності з'єднань.

Ключові слова: термографічний неруйнівний контроль, розподіл дози, цілісність з'єднань, знезараження води.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.1>

Вступ

На теперішній час в агропромисловому комплексі набувають поширення органічні технології, які передбачають скорочення використання хімічних реагентів в виробничих процесах. З іншого боку спалахи епідемій в тваринництві ставлять більш жорсткі вимоги до дотримання санітарно-епідеміологічних норм. Істотним середовищем передачі інфекцій є вода, що споживається як компонент харчування. Серед технологій знезараження води відомими є хлорування, озонування а також обробка бактерицидними ультрафіолетовими (УФ) променями [1]. Спосіб знезараження УФ променями за певними параметрами є більш простий в експлуатації, оскільки не потребує додаткових заходів хімічної безпеки, порівняно з хлоруванням та озонуванням. Слід зазначити, що до його недоліків відносять суттєву залежність ефективності обробки від оптичної прозорості води а також ймовірність недоопромінення води в більш віддалених від джерел випромінювання зонах камери обробки. Слід зазначити, що підвищення вимог щодо дотримання бактеріологічної безпеки відкриває більш широкі перспективи оснащення установками для знезараження води УФ випромінюванням великих комплексів з вирощування худоби. Це в свою чергу висуває підвищені вимоги до ефективності знезараження, яка реалізується перш за рахунок опромінення елементарного об'єму води встановленою дозою бактерицидного ультрафіолету.

Аналіз публікацій

Технологія знезараження води бактерицидним УФ випромінюванням має майже сімдесятирічну історію. Свого

часу вона не набула широкого поширення через відсутність тоді стало працюючих джерел випромінювання. Але разом з тим на ранніх стадіях створення принципів проектування установок [2] одна з ключових задач полягала в оцінці рівномірності передачі заданого значення дози опромінення в процесі проходження через камеру з джерелами УФ випромінювання. Так в роботі [2] описано підхід, що ґрунтується на застосуванні натурної моделі камери обробки, виготовленої з оптично прозорого матеріалу, що дозволяє спостерігати за перемішуванням забарвленої пігментом води, яку в певний момент часу подають на вхід в камеру, і, таким чином, оцінювати траєкторію елементарного об'єму рідини і відповідно одержану ним дозу опромінення. Беручи до уваги, що в теперішній час різноманітними виробниками виготовляється широка номенклатура установок, які оснащені додатковими турбулізаторами для перемішування води з метою її більш однорідного опромінення, проведення подібних натурних випробувань тягне істотні додаткові витрати ресурсів і часу на впровадження нових моделей. До того ж наявність шорсткостей поверхні у реальних виробів буде також впливати на режими перемішування рідини, і, таким чином, вони будуть відрізнятися від тих, що здобуто при модельному експерименті.

Важливим завданням є також оцінка надійності зварних швів виробів, рівномірності затягування болтів на фланцевих з'єднаннях. Вказана проблема зазвичай завдання вирішується проведенням обов'язкових гідралічних випробувань, що зводяться до констатації цілісності конструкції і її мі-

цності при подачі нормативного навантаження. Однак ці випробування не здатні оцінити ділянки найбільш ймовірного порушення в майбутньому при закінченні терміну експлуатації.

Нами в роботі [3] було запропоновано термографічний спосіб оцінки ефективності перемішування води, який полягав в поступовій подачі води з більш високою температурою та наступною реєстрацією розподілу радіаційної температури на поверхні камери. Ділянки з найбільш швидкою зміною температури означають є ознакою Цей метод знаходить все більш широке застосування в науці, медицині, комунальному господарстві, екології, енергетиці [4-7] і його інтеграція в технології оцінки ефективності роботи апаратів для (УФ) знезараження води є, безсумнівно, актуальною.

Мета роботи.

Метою роботи є удосконалення методу проведення термографічного контролю шляхом застосування додаткового програмного забезпечення для обробки карт розподілу поля радіаційної температури на поверхні камери знезараження. Для вирішення задачі використання термографічних вимірювань в підвищенні ефективності діагностики при стендових випробуваннях апаратів УФ знезараження води було необхідним: провести апробацію методу з використанням стандартного програмного забезпечення, яким комплектується прилад; розробити метод сегментації одержаних термографічних полів для подальшої оцінки рівномірності обробки води; відпрацювати техніку проведення вимірювань; провести апробацію методу щодо можливості ідентифікації прояву можливих дефектів корпусу камери обробки в полі радіаційної температури.

Методика розрахунку розподілу знезаражуючої дози.

Умовою інактивації бактеріальної мікрофлори і забезпечення обробки рідини значенням дози не менше певного значення. За умови використання декількох джерел УФ випромінювання доза буде розподілятися нерівномірно, але при проектуванні необхідно забезпечувати мінімально встановлене опромінення в будь-якій ділянці камери обробки. Серед чинників, що впливають на нерівномірність розподілу дози є те, що інтенсивність потоку променевої енергії по мірі відділення від джерела циліндричної форми змінюється по закону Ламберта-Бугера

$$I = \frac{I_0}{2\pi r} e^{-\alpha r} \quad (1)$$

де I_0 – інтенсивність потоку випромінювання на поверхні, джерела, мкВт/см²; см⁻¹; r – відстань від вісі джерела, α – коефіцієнт поглинання рідини. Згідно даних наведених в [1,2] α є складеною величиною, яка визначається емпіричним виразом

$$\alpha = \frac{K + \Pi + 10(C_{Fe} - 0,1)}{100}, \quad (2)$$

де K – кольоровість води, град; Π – емпірична величина, що враховує мутність води та дорівнює 7 для вод з кольоровістю 20 град та 9 для вод кольоровістю 20...50 град; C_{Fe} – концентрація заліза, мг/л. На рис. 1 зображено результат розрахунку розподілу дози УФ випромінювання для камери, що містить чотири вісьосиметрично розташованих джерела УФ випромінювання.

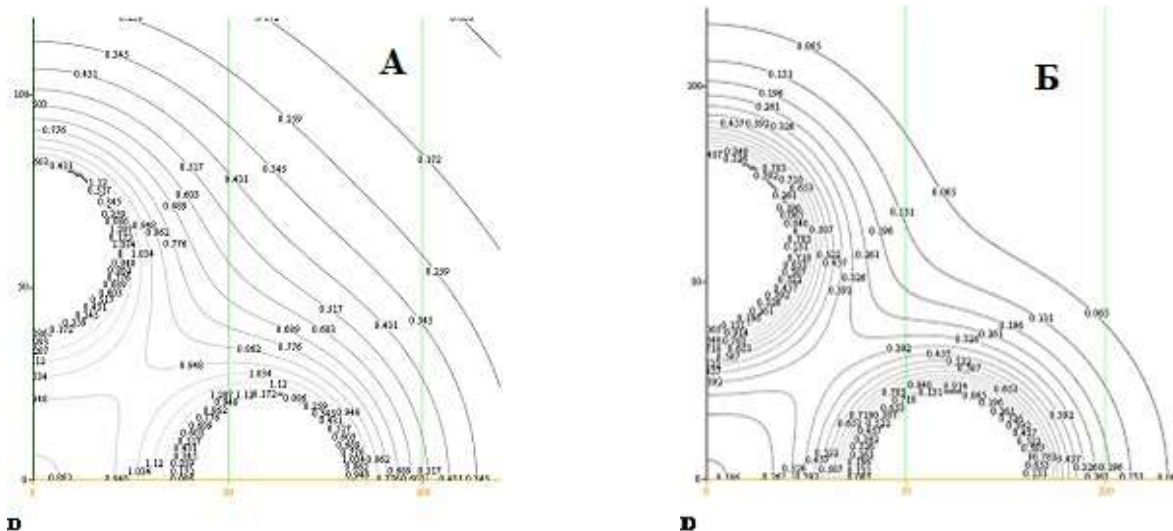


Рис.1 – Ізолінії розподілу дози УФ випромінювання в перетині камери з 4- джерел:
А – для значення $\alpha = 0,15$, Б – для значення $\alpha = 0,55$

Існуючі підходи до оцінки дози за середнім показником або за найгіршим виправданий для обробки води з невисоким значенням коефіцієнту поглинання випромінювання (0,1-0,2 см⁻¹), що є характерними для води з підземних джерел. Проектування установок для обробки вод з поверхневих джерел або стічних вод (як правило, обсяг обробки 100 м³/год і більше) пов'язане з вирішенням усіх вищезгаданих вимог, причому їх виконання може бути взаємовиключним. Напри-

клад, нерівномірність опромінення знижується за рахунок установки турбулізаторов, які в свою чергу збільшують гідродинамічні втрати в мережі [8].

Експеримент та аналіз результатів.

Для випробувань можливості реалізації запропонованої методики були обрані установки продуктивність 20 м³/год та і 1 м³/год відповідно. Для проведення вимірювань температурного поля застосовувався тепловізор Fluke Ti32, що має такі характеристики: тип приймача випромінювання матриця

320×240 в фокальній площині, неохолоджуваний мікроболометр; теплова чутливість $\leq 0,05$ ° C; спектральний діапазон ІЧ від 7,5 до 14 мкм.

Оскільки камери виготовлені з нержавіючої сталі, для якої є властивим високе значення коефіцієнт відбиття ІЧ вимірювання проводили в умовах відсутності предметів, що мають більш високу температуру аніж вода всередині камери також застосовували поверхнве зволоження для зниження коефіцієнту відбиття. Камеру установок заповнювали водою, що має температуру на 30 К вище температури навколишнього середовища. Різниця температур створювала тепловий потік через стінки камери, що давало можливість для температурного прояви можливих дефектів в місці зварних швів. На рисунках 2 і 3 показано розподіл температури уздовж ліній, проведених по корпусу камери в околі зварного шва. Як видно з термограм, температура швів є достатньо рівномірною, при цьому у верхній частині простежується межа заповнення камери підігрітою водою. Очевидно, що перевага термографічного контролю полягає в оперативності виявлення місць можливого стоншення або утворення хімічного або біологічного осаду на стінках камери. Разом з тим для відокремлення температурних аномалій зумовлених особливостями стану поверхні камери від аномалій, що набуті з часом доцільно мати задокументований температурний файл. Для цього на додаток до стандартного програмного забезпечення доцільно застосувати авторські програмні продукти на основі сегментації зображень [9-12]. Сегментація термографічного зображення є необхідною складовою аналізу термограми, оскільки дозволяє виділити області з відмінними зна-

ченнями коефіцієнта випромінювання. Сегментація термограми може здійснюватись декількома методами, причому з огляду на те, що значення коефіцієнту випромінювання може бути відмінним в межах однорідної ділянки досліджуваного об'єкту, наприклад, ділянки з різними видами покриття ґрунту, або покриття трубопроводу з захисним шаром, що має різні строки давності, необхідно встановити чисельний поріг ступеню деталізації [9]. Тобто сегментацію слід зупинити, коли певні області вже виділені та оконтурені. Складнішою є процедура сегментації складних зображень. Точність сегментації в великій мірі визначає успіх подальших процедур аналізу обробки термограм. З огляду на це важливим є забезпечення надійності первинної сегментації.

Алгоритми сегментації монохромних зображень ґрунтуються на одній з двох базових властивостей поля зображення – розривності та однорідності [10-12]. В першому випадку підхід полягає в розбитті зображення на частини, виходячи з різких перепадів яскравості, що спостерігаються на границях об'єктів. Друга група методів ділить зображення на області, які є однорідними в межах напередзаданих критеріїв. Зазначимо, що межі яскравості на тепловізійному знімку не завжди співпадають з межами яскравості на відеозображенні. І для нашого випадку, коли ми сегментуємо області з відмінним коефіцієнтом випромінювання, доцільно працювати з даними відеодіапазону та переносити результати сегментації на теплову матрицю.

Функції перетворення зображень, що засновані на інформатії, яка одержується з гістограм яскравості зображень, відіграють ключову роль при вирішенні задач покращення зображень, їх стискання, сегментації та опису.

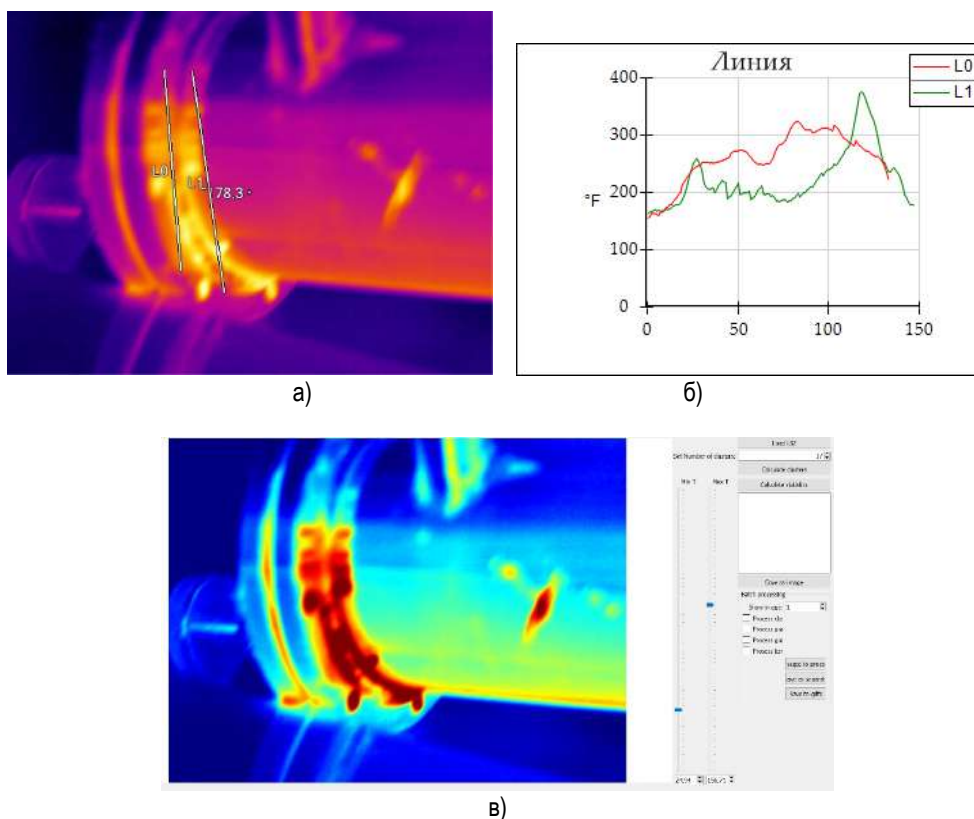


Рис.2 – Розподіл температури в зоні зварного шву корпус-фланец: а) термограма зварювального шву установки, оброблена стандартною програмою; б) профілі радіаційної температури вздовж виділених ліній; в) термограма після сегментації.

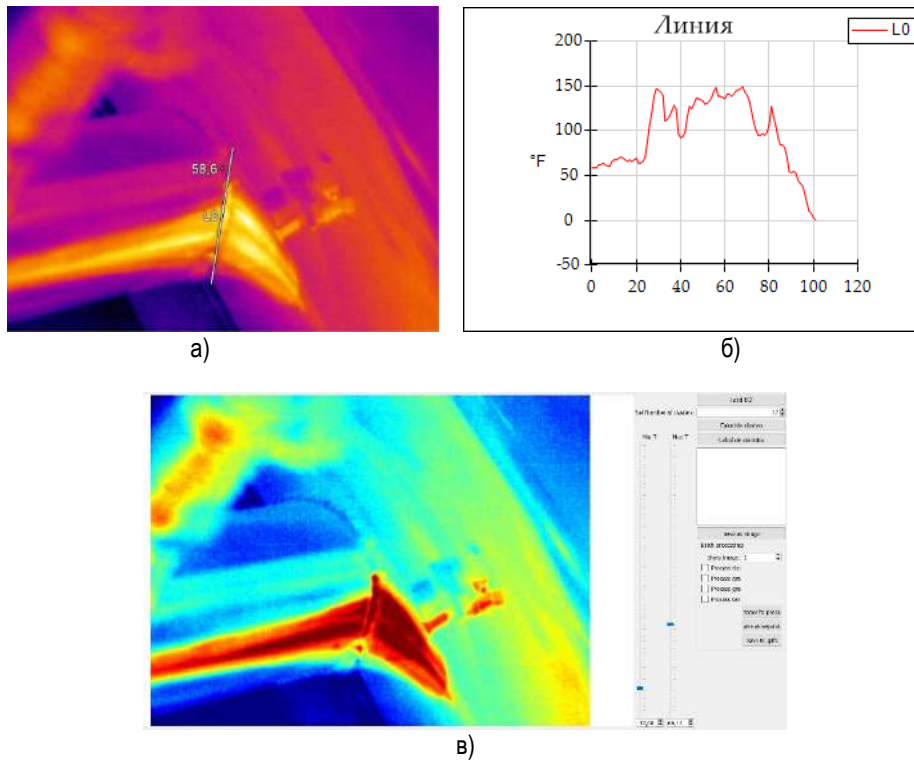


Рис. 3 – Розподіл температури в зоні зварного шву корпус-вихідний патрубок: а) термограма зварного шву установки, оброблена стандартною програмою; б) профілі радіаційної температури вздовж виділених ліній; в) термограма після сегментації

На рис. 4 наведені термограмми, на яких видно ущільнення фланцевих з'єднань і місць герметизації посадочних місць кварцових цоклів. Рівномірний розподіл температурного поле підтверджує однорідність ущільнення.

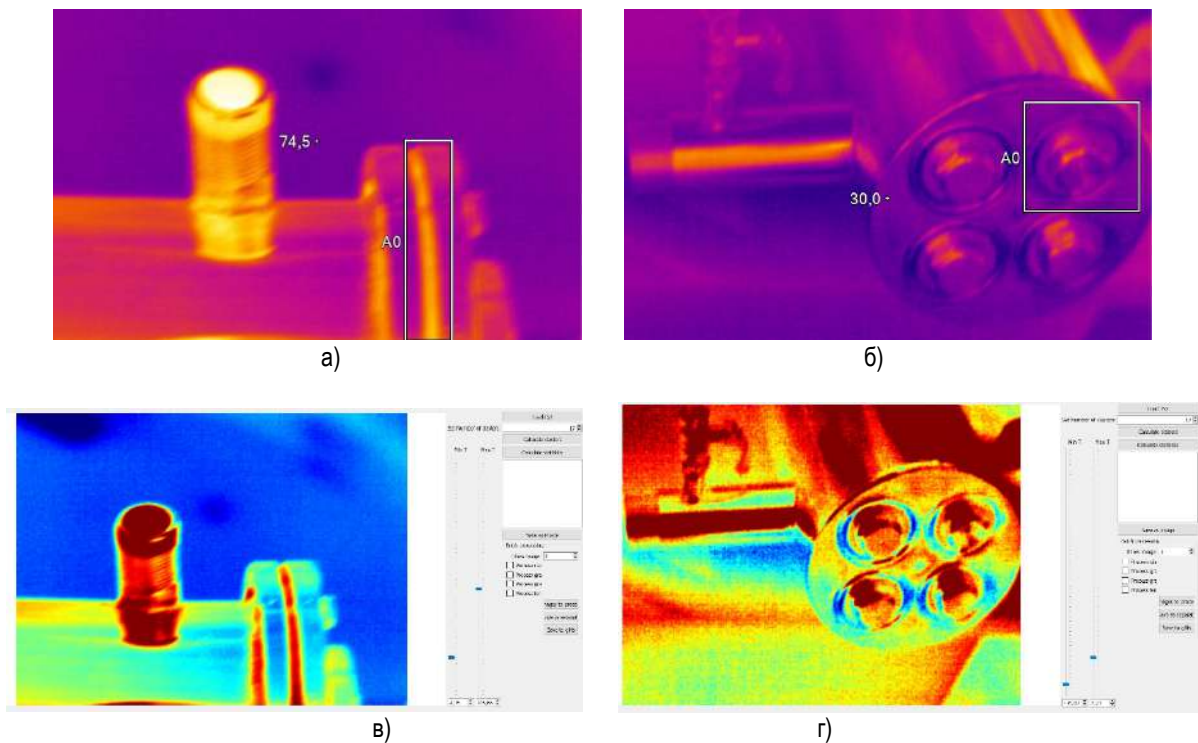


Рис. 4 – Розподіл температури в зоні фланцевого з'єднання: а) Зображення з застосуванням стандартного програмного забезпечення; в) зображення з застосуванням методу сегментації. Розподіл температури в околі кріплення цоклів випромінювачів; б) Зображення з застосуванням стандартного програмного забезпечення; г) – зображення з застосуванням методу сегментації

Висновки

Метод термографічного контролю і діагностики установок для ультрафіолетового знезараження води дозволяє:

- контролювати якість зварних швів корпусних елементів з нержавіючої сталі, виявляти можливі тріщини і області несутільності зварювальних швів а також якості прокладок ущільнювачів, штуцерів, місць посадки власників вимірювальних приладів.
- контролювати якість фланцевих з'єднань, виявляти зони

розгерметизації і мікробитоків;

- контролювати тепловий режим і розподіл інтенсивності джерел ультрафіолетового випромінювання безпосередньо в процесі роботи установок;
- на етапі конструювання нових установок для ультрафіолетового знезараження води оптимізувати гідравлічну, теплову та бактерицидну схеми камери опромінення, підвищувати техніко-економічні показники установок.

Список використаної літератури.

1. Г.И.Николадце, Д.М.Минц, А.А.Кастальский / Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения .М.Высшая школа.-1984.-368 с.
2. Соколов В. Ф. Обеззараживание воды бактерицидными лучами. 2-е изд. перераб. и доп. М., 1964.-234.с
3. С.Е.Донец, В.Ф.Клепиков, В.В. Литвиненко, С.Н. Шаляпин / Термографический контроль установок для лучевого обеззараживания воды промышленных потребителей // Журнал фізики та інженерії поверхні.- 2018, том 3, № 3, с.100-105
- 4.В.Ф.Клепиков, Е.М.Прохоренко, В.В. Колесникова, А.И.Морозов Тепловизионная диагностика для контроля поверхности противотеплового оборудования // Восточно-европейский журнал передовых технологий.-№2/6(50).-2011.-с.65-68.
5. В.В.Брюховецкий, Н.И.Базалеєв, В.Ф.Клепиков, В.В. Литвиненко / Тепловизионная акустотермографическая дефектоскопия конструкционных материалов // Вопросы атомной науки и техники.-№2(72) вып.97.-2011.с.178-185
6. Н.И. Базалеєв, Б.Б.Бандурян, В.В.Брюховецкий, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко. Концепція розвитку неруйнівних методів контролю енергетичного обладнання АЕС на основі кореляційної ІЧ-радіометрії // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. - №4/5(34). – С. 10-16.
7. Н.И.Базалеєв, Б.Б.Бандурян, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко. Тепловизионный мониторинг технического состояния компрессорного и энергетического оборудования как метод эффективного решения проблемы энергосбережения.//Компрессорное и энергетическое машиностроение.-№1(3).- 2006.-с.60-65.
- 8.Н.И.Базалеєв, В.Ф.Клепиков, В.В.Литвиненко, С.Н.Шаляпин Электрофизические лучевые технологии: новая концепция обеззараживания воды ультрафиолетовыми лучами./ Наука та інновації.-2005.- т.1.,№1.-с.99-109.
9. Е.М.Прохоренко, В.Ф. Клепиков, С.Е.Донец и др. / Изменение термопроявлений дефектов материалов и электрооборудования в условиях воздействия климатических факторов // Вісник НТУ ХПІ Сер. «Нові рішення в сучасних технологіях».-№26 (1069).-2014.-с.178-186
10. Vincent L. Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations / L. Vincent, P. Soille // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. — Vol. 13, № 6. — 1991. — P. 583-598
11. Pratt W.K. Digital image processing: PIKS scientific inside / W.K. Pratt. — John Wiley & Sons, 2007. — 782 p.
12. Haris K. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging / [K. Haris, S.N. Efstratiadis, N. Maglaveras et al.] // IEEE Trans. Image Processing. — Vol. 7, № 12. — 1998. — P. 1684-1699

Donets S.Ye., Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine

Prokhorenko E.M., Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine

Lytvynenko V.V., Institute of Electrophysics and Radiation Technologies NAS of Ukraine

Thermographic method for diagnosis and estimation the efficiency of installations for uv ray disinfection of water

Approaches to evaluation of efficiency of application of installations for water disinfection in the conditions of unstable values of its optical transparency are considered. A calculation technique for determining the radiation dose distribution in the treatment chamber is proposed. It is proposed to use thermography methods to assess the effectiveness of irradiation of water, taking into account the occurrence of laminar flows in the chamber. A method of processing thermography images for the purpose of automated selection of areas with different values of radiation temperature and determining the quality and reliability of connections is proposed.

Key words: thermographic non-destructive testing, dose distribution, integrity of connections, water disinfection.

Дата надходження до редакції: 23.01.2021

ELECTROSPARK DEPOSITION IN REMANUFACTURING ENGINEERING, PROSPECT OF DEVELOPMENT AND APPLICATION

Du Xin

postgraduate student
Sumy National Agrarian University
Henan Institute of Science and Technology
ORCID: 0000-0002-1996-602X
e-mail: 51969926@qq.com

Ievgen Konoplianchenko

PhD, associate professor
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0003-4814-1796
e-mail: konopl_e@i.ua

Viacheslav Tarelnyk

doctor of science, professor
Sumy National Agrarian University
ORCID: 0000-0003-2005-5861
e-mail: tarelnik@i.ua

Abstract: *Electro Spark Deposition (ESD) technology is widely used in the preparation of surface coating of parts, remanufacturing and repair. It has been used widely in many industrial areas. The surfaces of mechanical parts are strengthened to improve properties by ESD technology. The article introduced firstly the development history and various terms of the ESD technology. Secondly, it was shown that the working principle of ESD and the work process of ESD. With the development process of ESD deposition equipment, three types of vibrating electrodes were figured. Thirdly, the characteristics of ESD were summarized. Then it introduced the latest research progress of ESD technology on the hotspots of research and new fields of application. Discoveries and new theories in materials provide greater scope for exploration in ESD research. For example, fusion coating of amorphous structure and in-situ reaction in the cemented carbide, multi-layer composite process and multiple materials composite coating, high entropy alloy, nanostructure coating, and biological coating. Researchers had optimized the machining process to improve the surface quality of ESD. At present, the research hotspots are in the ESD of the subsequent treatment process and the study of the composite process. These researches provide new ideas for ESD automation processing to obtain better surface quality. Finally, the paper addressed the current problems of ESD technology and provided an outlook on the research direction and future development of ESD technology.*

Keywords: *electro spark deposition, surface strengthening, remanufacture, coating, perspectives.*

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.2>

1 Introduction

The electro spark deposition (ESD) technology is important in surface strengthening. It is frequently used in the field of surface engineering and remanufacturing engineering. ESD technology can improve the performance of the surface of metal materials (V. B. Tarelnyk et al., 2019). It has been reasonably used in navigation, chemical industry, metallurgy, machinery, medicine, water conservancy, and other industries. The surfaces of mechanical parts are strengthened to improve friction reduction, corrosion resistance, anti-wear, and other properties. ESD can extend the service life on the surface of parts. The material is deposited in multiple layers and repaired to achieve the dimensional requirements of the parts on the surface defects of mechanical parts (V. B. Tarelnyk et al., 2018). ESD technology can perform micro-arc welding on different kinds of materials of metal surfaces.

In 1943, Soviet scientists Mr. Lazarenko and Mrs. Lazarenko (1943) proposed the theory of the ESD strengthening process. In 1950, the URI series of ESD surface strengthening machines were developed at the Central Institute of Electrical Sciences, and electro-spark machines entered the industrial application stage. Starting in the 1990s, engineers in TechnoCoat Co. Ltd. changed from vibrating to rotating electrodes (L. Zhang &

Shao, 2017). The power of the equipment was increased to enable the overlay welding process. ESD is based on its application characteristics. It is also known as electro-spark alloying (ESA), pulse arc deposition (PAD), pulse electrode surfacing (PES), electro-spark hardening (ESH) and electro-discharge deposition. Through the effect of spark discharge, the conductive material of the electrode is fused and infiltrated into the surface of the metal substrate or part. It forms an alloyed surface layer which results in the improvement of surface properties.

2 The working principle of ESD

At a certain distance between the electrode and the substrate, the electric field strength produces electrical sparks. When the electrode and the substrate reach a certain distance, the electric field strength generates electric sparks. The electrode discharges instantaneously to the substrate in the form of a micro-arc, they form a discharge loop. While the discharge is highly concentrated in time and space, the arc generates high surface temperatures in the tiny area of the contact point, causing localized material melting or vaporization in the area. Liquid molten droplets are formed and deposited excessively at the contact point. The pressure generated during the discharge causes parts of the materials to be thrown away from the contact area and sputtered around to form long sparks. In short durations, pulsed

currents deposit electrode material onto the surface of some base metal or alloy in the area (Konoplianchenko et al., 2018). One of the main advantages of the ESD process is that it uses very low heat transfer into the base metal. The coating is applied to the metal surface in a metallurgical bond by bringing the electrode into contact with it and melting it at close to ambient temperature. ESD is completed in a very short period of time, and it consists of three processes. 1) Physicochemical process at high temperature and pressure. 2) High temperature diffusion process ; 3) Rapid phase change process.

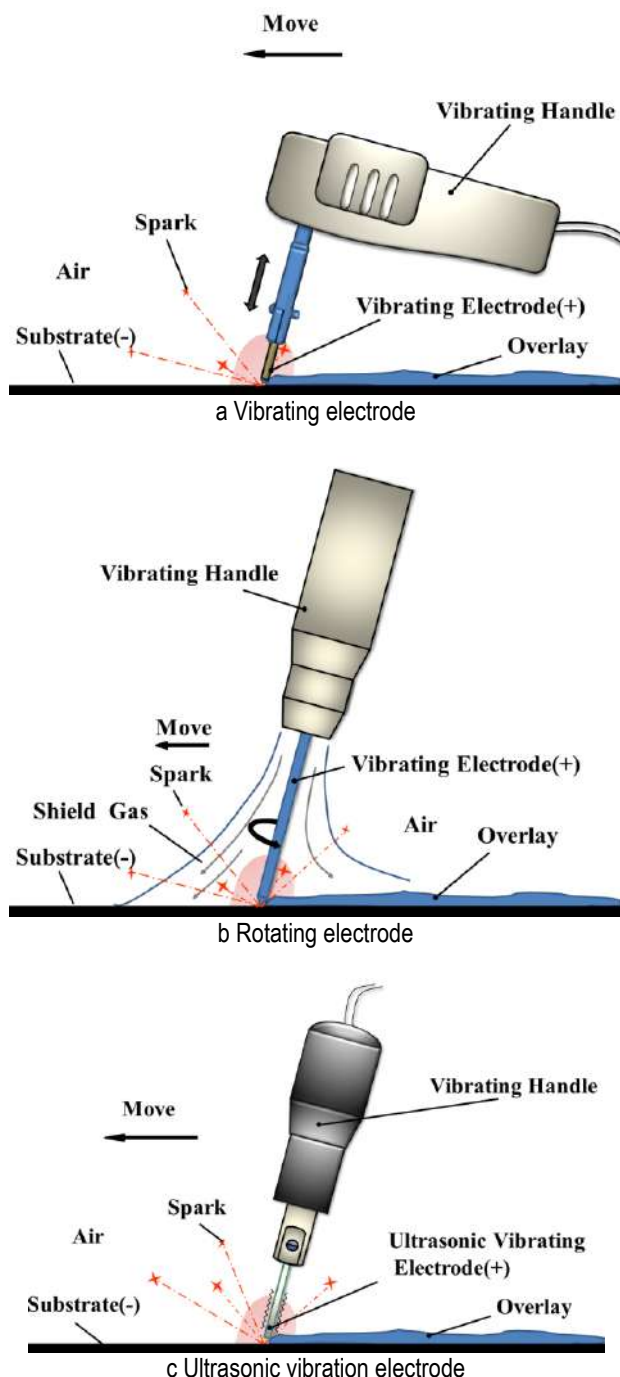


Fig.1 – Process diagram of electro spark deposition

When the positive side of the power supply is connected

to the substrate, the melting of the substrate is stronger than that of the electrode. It causes the removal of the substrate material. When the cathode of the power supply is connected to the substrate, it causes the electrode material to be deposited on the surface of the substrate. The electrode material is melting on the metal surface and tends to adhere to the surface. In order to avoid electrode material sticking and improve deposition efficiency, electrodes with different vibration sources were invented successively: 1) Vibrating electrode: 100~600 times per second vibration frequency; 2) Rotating electrode: no more than 200r/min; 3) Ultrasonic vibration electrode: 20,000~30,000 times per minute.

3 Features of ESD technology

ESD technology can effectively improve the physical properties, chemical properties, mechanical properties, and tribological properties in the surface of mechanical parts. It can also improve the hardness, wear-resistance, and corrosion resistance of mechanical parts. It has the following outstanding advantages.

1) Simple process and light equipment quality. The process is simple. ESD requires only a simple grinding and cleaning of the substrate surface. ESD is carried out on the surface at a uniform speed subsequently. ESD equipment consists of two parts: vibrating power supply and operating handle, sometimes the process needs protective gas. Because the equipment is simple, it is easy to carry on-site operation.

2) Extremely fast solidification and small thermal deformation. It is small in the heat deformation area of the substrate. The quality of the molten metal droplets is very small. The droplets cool in a very short time, the heat of the molten droplets is rapidly diffused, the heat will not be concentrated in the processing part of the workpiece, which does not change the microstructure and various properties of the substrate material of the parts, the amount of heat deformation about the workpiece has a limited influence.

3) Wide range of applications. ESD technology is not limited by the shape and size of the component substrate. It can deposit on the large surface and complex surface, but also can apply to parts local small area deposition treatment. It is suitable for all conductive, fusible metals and metal alloy materials.

4) Low maintenance cost and environmental protection. ESD technology consumes less energy, and the processing does not produce material splash or harmful gas, which prolongs the overall life of the machinery.

4 The recent research progress of ESD technology

ESD technology is widely used in various fields as a very promising surface engineering technology. With the development of modern technology, people have a deeper understanding of the strengthening mechanism of ESD technology, and ESD technology has been further developed. Researchers have done a lot of work in the development of ESD coatings. Based on the conventional alloy coatings, they have further researched and prepared new coating materials with better performance, improved surface quality and optimized the coating manufacturing process. Discoveries and new theories in materials provide greater scope for exploration in ESD research.

4.1 Electro spark deposition of cemented carbide

ESD of cemented carbide coating has the advantages of high hardness, high strength, wear resistance, corrosion resistance, oxidation resistance, and low expansion coefficient. It is widely used in cutting tools, gauges, metal molds, extractive tools, etc. ESD can rapidly deposit carbide materials on the metal

surface and form amorphous alloys and ultrafine crystalline alloys to improve surface properties.

Wang (J. Wang et al., 2014) deposited WC-4Co ceramic carbide on cast steel material and used the surface wettability theory which combined with the microstructure of the surface. It was found that the surface generated tiny particles of Fe_2C , Si_2W , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$, $\text{Co}_3\text{W}_3\text{C}$, and deposited into a thickness of 20 μm . Tarel'nik (V. V. Tarel'nik & Kuchmii, 1997) used EG-4 graphite electrode to deposit on the surface of steel R6M5, and he found in situ reaction phenomena. You (You et al., 2007) used graphite electrode to deposit on the substrate surface of titanium alloy and generate in situ TiN coating. Its Vickers hardness was 5 times that of the substrate and reached 16 700 MPa $\text{HV}_{0.05}$. Zhang (P. Zhang et al., 2011) used TC4 as the electrode and 45 steel as the substrate. The deposition layer of TiN was generated by in situ reaction at a high temperature when nitrogen was used as the protective gas. The nano-hardness of the surface was 4 times that of the substrate.

4.2 Electro spark deposition of composite coatings

ESD technology has high discharge temperature and fast cooling, but it also has its shortcomings, such as the limited thickness of the deposited layer, the low surface quality of the deposited layer, and poor bonding strength of the deposited layer. In order to improve these shortcomings, the method of multi-layer metal deposition is usually used to achieve the effect of improving the surface properties. Alternatively, several materials are compounded into electrodes and deposited to improve the deposition efficiency.

Maryam Kazemi (Kazemi et al., 2020) used HA/TiN dual-layer deposited on Ti-6Al-4V material to utilize the corrosion behavior and biocompatibility in dental and orthopedic implants. Chen (B. Chen, Fan, Tang, & Li, 2018) deposited two kinds of tungsten steel rods, Ti-6Al-4V and YG10, as electrode materials on the surface of H13 steel alternatively, and the microhardness and thickness of each deposited layer were significantly increased compared to the substrate. Tang (Tang, 2016) deposited Ti and B4C powder on 40Cr steel substrate by ESD to generate TiC-TiB₂ composite coating, the coating has better tribological properties, which of wear resistance is five times that of the substrate.

4.3 Electro spark deposition of high entropy alloys

High entropy alloys are new alloy systems with five or more primary elements. A simple solid solution is formed in each principal element, and its lattice distortion leads to strong solid solution strengthening, which results in high strength, high hardness, and high corrosion resistance. ESD preparation of high entropy alloy coatings play with the high mixed entropy effect of multiple primary elements. Due to the fast solidification characteristics of ESD, it is easier to form simple face-centered cubic (FCC) or body-centered cubic (BCC) solid solution phases (Yong ZHANG et al., 2021). Due to the fast solidification characteristics of ESD deposition, it is easier to form simple face-centered cubic (FCC) or body-centered cubic (BCC) solid solution phases. And which forms fine grain organization. It plays the role of solid solution strengthening and fine grained strengthening, which is the benefit to obtain excellent performance coatings.

It plays the role of solid solution strengthening and fine grained strengthening, which is beneficial to obtain excellent performance coatings. Li (Li, Yue et al., 2013) prepared a multi-element high entropy alloy coating AlCoCrFeNi on AISI 1045 carbon

steel substrate using ESD technique, and the substrate obtained has a simple BCC structure, the microhardness of the coating is 2 times higher than that of the substrate material, that the corrosion resistance of the coating is better than that of the substrate. Karlsdottir (Karlsdottir et al., 2019) used CoCrFeNiMo high entropy alloys electrode to generate the coating on the surface of the steel substrate, the layer had additive BCC and potentially σ phase. The surface of Vickers hardness is 593HV, and it had relatively high wear and corrosion resistance. Wang (Y. F. Wang et al., 2018) prepared the deposited layer of FeCoCrNiCu high-entropy alloys electrode on the surface of 45Mn2 alloy steel. The layer produced a simple FCC structure, and the deposited layer had good corrosion resistance.

4.4 Electro spark deposition of nanostructured coatings

The liquid metal is rapidly cooled above the crystallization temperature to below the crystallization temperature, which forms the amorphous alloy tissues. Some of the tissues reach ultrafine nano-crystals. Due to the significant increase in the number of grain boundaries, it emerges that some excellent new tissues and structures with good mechanical properties.

Zamulaeva (Zamulaeva, et al., 2008) utilized WC(8% Co) nanopowder deposited on Armco iron surface, The upper layer of coatings deposited with nanostructured material, which exhibit a uniform amorphous structure, higher wear resistance, and reduced friction coefficient. Gao (Y. Gao et al., 2012) utilized Ni-Cr alloy electrode to deposit on 3Cr2Mo (P20) steel substrate. The nano-crystalline structure in the upper part of the coating was found and increased the substrate wear resistance and corrosion resistance. Wei (Wei et al., 2017) used coarse-grained Fe_2B electrode to generate nanocrystalline Fe_2B coating on the surface of the substrate of AISI 1045 steel. The toughness of the coating was increased. Zhang (Yi Zhang et al., 2019) utilized Chromium carbide cermet (Cr_3C_2 20%Ni5%Cr) powder alloy electrode deposited on Cr12MoV steel. In the nanocrystalline microstructure, the coating surface was strengthened.

4.5 Electro spark deposition of biological coatings

ESD has used materials with good biocompatibility and corrosion resistance for medical applications, such as titanium alloy and stainless steel. It is required that environmental protection, non-toxic and non-allergic reactions in blood and tissue fluids. It has high strength and hardness. It is commonly used in healing bone defects and injuries. Currently, titanium alloys and ceramic materials based on calcium phosphate compounds are used in medicine, such as hydroxyapatite (HA).

Jiang (Jiang et al., 2011) used silicon as an electrode material to prepare an intermediate layer in TA2 material, which prevented oxidation of titanium plates and ensured the bond strength of cast titanium porcelain. Boshitskaya (Boshitskaya et al., 2014) deposited TiAl_3 or TiN-3AlN layer on VT-6 titanium alloy. Then, laser fusion of a subsequent hydroxyapatite layer was used to create biocoating, which had high corrosion resistance and biocompatibility. Durdu (Durdu et al., 2017) utilized Ti6Al4V material deposited on the surface of St35 steel and then after micro-arc oxidation (MAO) treatment to generate hydroxyapatite (HA). HA-based bioceramic coatings were formed. Esmaeili (Esmaeili et al., 2021) utilized $\text{Fe}_{37}\text{Cr}_{15}\text{Mo}_2\text{B}_{26}\text{C}_7\text{Nb}_3\text{Si}_3\text{Al}_6\text{Mn}_1$ was used as an electrode and deposited bioceramic coatings on the surface of 316 stainless steel by ESD technology. And the biocompatibility of the coatings was analyzed.

5 Optimization of the ESD process

Researchers had optimized the machining process to improve the surface quality of ESD, reduce micro-cracking and improve surface wear resistance. In particular, a lot of researches have been conducted on ESD voltage, pulse frequency, discharge capacitance, deposition time, duty cycle, protective gas flow, and metal surface wetting angle. At present, the research hotspots are in the ESD of the subsequent treatment process and the study of the composite process. These researches provide new ideas for ESD automation processing to obtain better surface quality (V. B. Tarelnyk et al., 2019).

5.1 Composite coating of Laser processing

ESD deposition produces the problem such as surface micro-cracking, it is useful that Laser processing improved other properties such as tribological properties of ESD coatings (V. B. Tarelnyk et al., 2020). Radek (Radek & Bartkowiak, 2010) used the WC-Co-Al₂O₃ electrode which was made of nanostructured powder and deposited on the surface of C45 carbon steel, then laser surface melting was performed. Better surface quality can be obtained. The micro-cracks or pores of the laser-modified outer layer could not be observed. The surface micro-hardness increased from 784 HV_{0.04} to 843 HV_{0.04}, the critical force adhesion of the coating increased from 6.33 N to 8.94 N. Gao (Y.-x. Gao & Wang, 2021) used alloy powder Ni-based alloy deposited on the surface of P20(3Cr2Mo) steel substrate, and the surface was remelted by a JHM-1GY-300D type pulsed laser welding machine to obtain a uniform distribution of ultrafine grains. The surface quality and surface hardness were improved, and the wear resistance had been nearly doubled. And the surface wear was analyzed mainly as abrasive wear.

5.2 Composite processing about Ultrasonic machining and EDM machining

ESD coupled with ultrasound can yield better surface quality of the coating. The discharge gap was effectively im-

proved, so the coating grain size was refined, cracks in the coating, and bubbles inside the coating were reduced.

The electrode was incorporated into ultrasonic (C. Chen, Tang, & Xu, 2011), Chen used die steel 718 as the electrode to deposit on the surface of H13 substrate. It was studied that the effect of processing process parameters on the surface deposition thickness. Zhao (Zhao et al., 2019) used copper-based NiCrBSi powder electrodes to generate coatings on ASTM 1045 steel, which has good continuity and few defects. The coating has good continuity and few defects, and the introduction of ultrasound makes the metal powder to be uniformly dispersed and melted and results in better coating quality. Ultrasonic technology has strict requirements for electrode size and material. Although the surface remanufacturing of the mold is more restricted, it has good performance in surface fine-machining.

6 Conclusion

Electro-spark deposition technology has been developed for more than 70 years and has received a lot of attention from researchers and scholars because of its small investment, easy operation, and remarkable effect. The technology has made great progress, but there is still a need to solve the problems, such as the limited thickness of deposited layer, large surface roughness, relatively low productivity, unstable strengthening process, reliability needs to be improved, etc. The existence of these problems has limited the promotion and application of the technology.

ESD is one of the hot spots in remanufacturing engineering, which has a great prospect of development and application. To reduce the problems of ESD technology and further improve the performance of deposited coatings, its future development may be carried out in the following aspects: 1) strengthening the research on the mechanism of ESD deposition; 2) process research to improve the thickness and surface finishing of ESD deposition; 3) intelligence and automation of ESD process; 4) exploring more application areas of ESD.

References:

1. Boshitskaya, N., Podchernyaeva, I., Lavrenko, V., Uvarova, I., & Yurechko, D. (2014). Combined functional biocoatings on the VT-6 alloy. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 52(9-10), 551-559. doi:<https://doi.org/10.1007/s11106-014-9559-5>
2. Chen, B., Fan, X., Tang, X., & Li, D. (2018). Microstructure and Properties of YG10/CD750 Double Electrode Alternating Deposition Electro-spark Deposition Coating. *Hot Working Technology*, 04. doi:<http://10.14158/j.cnki.1001-3814.2018.04.041>
3. Chen, C., Tang, Y., & Xu, Y. (2011, 2011-10-22). *Ultrasonic ESD deposition device and its process research*. Paper presented at the Proceedings of the 14th China Special Processing Academic Conference.
4. Durdu, S., Korkmaz, K., Aktuğ, S. L., & Çakır, A. (2017). Characterization and bioactivity of hydroxyapatite-based coatings formed on steel by electro-spark deposition and micro-arc oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 326, 111-120. doi:<https://10.1016/j.surfcoat.2017.07.039>
5. Esmaeili, A., Ghaffari, S. A., Nikkiah, M., Ghaini, F. M., Farzan, F., & Mohammadi, S. (2021). Biocompatibility assessments of 316L stainless steel substrates coated by Fe-based bulk metallic glass through electro-spark deposition method. *Colloids and Surfaces B-Biointerfaces*, 198. doi:<https://10.1016/j.colsurfb.2020.111469>
6. Gao, Y.-x., & Wang, J.-b. (2021). Effects of Laser Remelting on Microstructure and Wear Properties of Ni-Based Coating Prepared by Electrospark Deposition. *Materials Protection*, 54(1), 54(51): 112-115, 120. doi:<https://10.16577/j.cnki.42-1215/tb.2021.01.019>
7. Gao, Y., Zhao, C., & Yi, J. (2012). Microstructure and Properties of Ni-Cr Alloyed Coating Prepared by Electrospark Deposition Processes. *Journal of Materials Engineering* 2(3), 74-78.
8. Jiang, T., Hu, J., & Zhou, J. (2011). Effect of Middle Layer by Electro-spark Deposition Technology on Bonding Strength of Porcelain and Cast Pure Titanium. *Journal of Oral Science Research*, 27(04), 277-280. doi:<http://10.13701/j.cnki.kgyxyj.2011.04.007>
9. Karlsdottir, S. N., Geambazu, L. E., Csaki, I., Thorhallsson, A. I., Stefanoiu, R., Magnus, F., & Cotrut, C. (2019). Phase Evolution and Microstructure Analysis of CoCrFeNiMo High-Entropy Alloy for Electro-Spark-Deposited Coatings for Geothermal Environment. *Coatings*, 9(6), 406. doi:<https://doi.org/10.3390/coatings9060406>

10. Kazemi, M., Ahangarani, S., Esmailian, M., & Shanaghi, A. (2020). Investigation on the corrosion behavior and biocompatibility of Ti-6Al-4V implant coated with HA/TiN dual layer for medical applications. *Surface Coatings Technology*, 397, 126044. doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126044>
11. Konoplianchenko, I., Tarelynyk, V., Antoszewski, B., Martsynkovskyy, V., Belous, A., Gerasimenko, V., & Vasilenko, O. (2018). *Mathematical modeling a process of strengthening steel part working surfaces at carburizing thereof by electroerosive alloying method*.
12. Lazarenko, B., & Lazarenko, N. (1943). About the inversion of metal erosion and methods to fight ravage of electric contacts.
13. Li, Q., Yue, T. M., Guo, Z., Lin, X. J. M., & A, m. t. (2013). Microstructure and corrosion properties of AlCoCrFeNi high entropy alloy coatings deposited on AISI 1045 steel by the electrospark process. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 44(4), 1767-1778. doi:<https://doi.org/10.1007/s11661-012-1535-4>
14. Radek, N., & Bartkowiak, K. (2010). Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam. *Physics Procedia*, 5, 417-423. doi:<https://doi.org/10.1016/j.phpro.2010.08.163>
15. Tang, J. (2016). Mechanical and tribological properties of the TiC–TiB₂ composite coating deposited on 40Cr-steel by electro spark deposition. *Applied Surface Science*, 365, 202-208. doi:<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.12.198>
16. Tarelynik, V. B., Paustovskii, A. V., Tkachenko, Y. G., Martsynkovskii, V. S., Belous, A. V., Konoplyanchenko, E. V., & Gaponova, O. P. (2018). Electrospark Graphite Alloying of Steel Surfaces: Technology, Properties, and Application. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 54(2), 147-156. doi:<http://doi.org/10.3103/s106837551802014x>
17. Tarelynik, V. V., & Kuchmii, A. N. (1997). Electroerosion hardening of metal-cutting tools for machining corrosion-resistant steels. *Chemical and Petroleum Engineering*, 33(1), 100-102. doi:<http://doi.org/10.1007/bf02416796>
18. Tarelynyk, V. B., Gaponova, O. P., Konoplianchenko, Y. V., Martsynkovskyy, V. S., Tarelynyk, N. V., & Vasilenko, O. O. (2019). Improvement of Quality of the Surface Electroerosive Alloyed Layers by the Combined Coatings and the Surface Plastic Deformation. I. Features of Formation of the Combined Electroerosive Coatings on Special Steels and Alloys. *Metallifizika I Noveishie Tekhnologii*, 41(1), 47-69. doi:<http://doi.org/10.15407/mfint.41.01.0047>
19. Tarelynyk, V. B., Konoplianchenko, I. V., Gaponova, O. P., Tarelynyk, N. V., Martsynkovskyy, V. S., Sarzhanov, B. O., . . . Antoszewski, B. (2020). Effect of Laser Processing on the Qualitative Parameters of Protective Abrasion-Resistant Coatings. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 58(11-12), 703-713. doi:<http://doi.org/10.1007/s11106-020-00127-8>
20. Wang, J., Zhang, Z., Yan, N., Li, G., TANG, M., & FENG, Z. (2014). Interface behavior of WC-4Co coating by electro-spark deposition. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 24(11), 2849-2855. doi:<https://doi.org/10.19476/j.yxb.1004.0609.2014.11.021>
21. Wang, Y. F., Yan, H., Juan, L. I., Sun, S. Y., Song, Z. J., & Shi, Z. Q. (2018). Microstructure and Corrosion Resistance of FeCoCrNiCu High-entropy Alloy Coating Prepared by Electro-spark Deposition. *Transactions of the China Welding Institution*, 39(07), 121-124+134. doi:<https://doi.org/10.12073/j.hjxb.2018390188>
22. Wei, X., Chen, Z., Zhong, J., Wang, L., Hou, Z., Zhang, Y., & Tan, F. (2017). Facile preparation of nanocrystalline Fe₂B coating by direct electro-spark deposition of coarse-grained Fe₂B electrode material. *Journal of Alloys Compounds*, 717, 31-40. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.05.081>
23. You, T., Huang, D.-W., Liu, S.-B., Liu, H.-Y., Zhang, C.-H., Su, G.-Q., & Wang, M.-C. J. F. (2007). Research of Surface Carburizing on Titanium Alloys by Electrospark Deposition *Foundry*(03), 239-241.
24. Zamulaeva, E. I., Levashov, E. A., Kudryashov, A. E., Vakaev, P. V., & Petrzhik, M. I. (2008). Electrospark coatings deposited onto an Armco iron substrate with nano- and microstructured WC–Co electrodes: Deposition process, structure, and properties. *Surface and Coatings Technology*, 202(15), 3715-3722. doi:<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.01.008>
25. Zhang, L., & Shao, J. (2017). Research Status and Development Trend of Electro-spark Surface Deposition Technology. *Equipment Manufacturing Technology*(8), 76-79,.
26. Zhang, P., Zhang, E.-L., Ma, L., & Cai, Z.-H. J. Z. G. X. X. (2011). Processing Properties of TiN Ceramic Coating Prepared by In-situ Synthesis Electric Spark Deposition. *Journal of Academy of Armored Force Engineering*, 25(4), 74-79.
27. Zhang, Y., Chen, Z., Wei, X., Wang, L., Hou, Z., & Yang, W. (2019). Microstructure and Properties of Chromium Carbide Based Metal-Ceramic Coatings Prepared by Electro-Spark Deposition. *Rare Metal Materials and Engineering*, 48(2), 601-607.
28. ZHANG, Y., LI, L., CHANG, Q., WANG, X.-m., ZHAO, Y., ZHU, S., . . . GAO, X.-w. (2021). Research Status and Prospect of Electro-spark Deposition Technology. *Surface Technology*, 50(1). doi:<https://doi.org/10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2021.01.012>
29. Zhao, H., Gao, C., Wu, X.-y., Xu, B., Lu, Y.-j., & Zhu, L.-k. (2019). A novel method to fabricate composite coatings via ultrasonic-assisted electro-spark powder deposition. *Ceramics International*, 45(17), 22528-22537. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.07.279>

Ду Сінь, Сумський національний аграрний університет, Україна; Хенанський інститут науки і технологій, Китай
Конопляченко Є.В., Сумський національний аграрний університет, Україна.

Тарельник В.Б., Сумський національний аграрний університет, Україна.

Електроіскрове осадження в відновлювальному машинобудуванні, перспективи розвитку та застосування

Технологія електроіскрового легування (ЕІЛ) широко використовується при підготовці поверхневого шару деталей при відновленні та ремонті. Вона широко використовується в багатьох промислових процесах. Поверхні деталей машин зміцнюються для поліпшення властивостей за допомогою технології ЕІЛ. У статті представлена історія розвитку та термінологія технології ЕІЛ. Приведено принцип та процес роботи ЕІЛ. Розглянуто конструкції різних типів вібраційного обладнання. Наведені узагальнені характеристики процесу ЕІЛ. Представлено останні досягнення розвитку технології

ЕІЛ в існуючих та нових областях застосування. Наведено нові напрями застосування ЕІЛ. Розглянуто покриття, що сформоване плавленням аморфної структури та реакція на місці в цементованому карбіді, багат шаровий композитний процес та композитне покриття з багатьох матеріалів, сплав з високою ентропією, покриття наноструктурою та біологічне покриття. В статті розглянуто існуючі проблеми технології ЕІЛ, перспективні напрямки досліджень та майбутній розвиток технології ЕІЛ. Ключові слова: електроіскрове легування, поверхнєве зміцнення, відновлення, покриття, перспективи.

Дата надходження до редакції: 10.02.2021

АНАЛІТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОВНОТИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ НА БЕЗВІДМОВНІСТЬ САМОХІДНИХ ОБПРИСКУВАЧІВ

Любченко Ірина Сергіївна

аспірантка

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: 0000-0001-5259-1760

e-mail: lub4enko.ira@gmail.com

Роговський Іван Леонідович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: 0000-0002-6957-1616

e-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

В статті обговорюються питання впливу на показники безвідмовності самохідних обприскувачів систем параметрів вбудованого технічного контролю, таких як повнота і глибина технічного контролю.

Розроблено аналітичні моделі деяких типових структур безвідмовності самохідних обприскувачів, в яких враховуються характеристики технічного контролю за працездатністю елементів.

Представлена графічна інтерпретація залежності показників безвідмовності самохідних обприскувачів від повноти технічного контролю. Підтверджено існування впливу повноти технічного контролю на показники безвідмовності структур.

Розглянутий підхід із подібним аналізом дозволяє обґрунтовано висувати вимоги до характеристик систем технічного контролю самохідних обприскувачів.

Ключові слова: безвідмовність, обприскувач, ймовірність, контроль, параметр, елемент, працездатність.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.3>

Постановка проблеми. Пошукові наукові роботи з дослідження безвідмовності складних технічних систем, як правило, починаються зі структурно-функціонального якісного та попереднього кількісного аналізу, основними складовими якого є аналіз видів відмов та їх наслідків та аналіз контролепридатності [1].

Основними показниками контролепридатності самохідних обприскувачів, регламентованими нормативною документацією [2, 3], зокрема зарубіжною [4], є повнота і глибина технічного контролю [5].

Повнота технічного контролю характеризує частку відмов самохідних обприскувачів, які виявляються під час технічного контролю працездатності [6]. У випадку якості технічного контролю самохідних обприскувачів визначається переліком модулів, відмови яких виявляються технічним контролем [7]. Тому однією з характеристик повноти технічного контролю самохідних обприскувачів може бути відношення числа контрольованих елементів до загального числа елементів об'єкта технічного контролю, що розглядається (наприклад, у відсотках) [8]. Однак для спільного моделювання безвідмовної поведінки самохідних обприскувачів та засобів технічного контролю бажано задавати повноту контролю як певний ймовірнісний показник або як відношення показників, характеристик безвідмовності (відмови) контрольованих елементів до всіх елементів. Доцільність такого завдання пояснюється тим, що при моделюванні безвідмовної поведінки аналізованого самохідного обприскувача – відмови та приховані відмови, що виявляються технічним контролем [9]. Повноту технічного контролю у разі можна визначити як умовну ймовірність контрольованої відмови самохідного обприскувача, за умови, що відмова відбулася. І за деяких припущень [1], ймовірнісний показник повноти технічного контролю самохідного обприскувача має вигляд:

$$\eta = \frac{\sum_{j \in K} \lambda_j}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad (1)$$

де η – повнота технічного контролю самохідного обприскувача; n – кількість елементів самохідного обприскувача, які регламентовані технічним контролем; λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента самохідного обприскувача; K – загальна кількість елементів самохідного обприскувача; λ_j – інтенсивність відмови j -го елемента самохідного обприскувача.

Глибина технічного контролю характеризує роздільна здатність засобів контролю [10]. Поняття цієї властивості різноманітніше, ніж повноти технічного контролю. Наприклад, можна розуміти глибину технічного контролю деякої системи самохідних обприскувачів як глибину пошуку несправного компонента в ієрархії компонентів структури системи: агрегат, система, підсистема, модуль, елемент [11]. У цьому роботі глибина визначатиметься через типові елементи заміни; у низці зарубіжних нормативних матеріалів, особливо в авіації, такі елементи називають LRU – Line Replaceable Unit [12]. Якщо, при виникненні контрольованої відмови самохідного обприскувача, технічний контроль вказує на деяку підмножину елементів, які можливо відмовили, ці елементи або всі знімаються, в тому числі і не відмовили, і замінюються на працездатні, або всі контролюються [13]. За аналогією з повнотою глибину технічного контролю також можна розуміти як частку загальної кількості елементів самохідного обприскувача, контрольованих до одного типового елемента заміни, двох типових елементів заміни, трьох типових елементів заміни [14]. Таким чином, глибина контролю може бути представлена рядом розподілу.

Складові цього ряду – стаціонарні можливості зняття одного, двох, ..., n типових елементів заміни (де n – число елементів самохідного обприскувача, як об'єкта технічного контролю), за умови виникнення однієї відмови [15]. Якщо ці ймовірності виражені через відношення кількості елементів відповідних підмножин типових елементів заміни до загальної кількості контрольованих типових елементів заміни (наприклад, у відсотках), то така характеристика є якісною, у тому сенсі, що вона не пов'язана з моделлю комплексу «об'єкт контролю – засоби контролю» [16]. З погляду надійнісного аналізу глибина технічного контролю впливає на показники ремонтпридатності, зокрема, середній час відновлення працездатності, на комплексні показники, наприклад, коефіцієнт готовності, і навіть на число запасних частин [17]. Для формування моделей потоків відновлення самохідного обприскувача глибина технічного контролю може визначатися аналогічно повноті через відносини сумарних інтенсивностей відмов самохідного обприскувача для кожного члена зазначеного ряду розподілу за кількістю типових елементів заміни, що знімаються:

$$\gamma_k = \frac{\sum_{i \in G_k} \lambda_i}{\sum_{j \in K} \lambda_j}, \quad G_i \cap \widehat{G_j} = \emptyset, \quad \sum_{k \in K} \gamma_k = 1. \quad (2)$$

де γ_k – характеристика глибини контролю для k елементів самохідного обприскувача, що контролюються; G_k – підмножина контрольованих елементів, при відмові будь-якого з яких перевіряється k елементів самохідного обприскувача; K – підмножина контрольованих елементів.

З погляду аналізу глибина технічного контролю самохідного обприскувача впливає на показники ремонтпридатності самої самохідної сільськогосподарської машини [18]. Так, середній час відновлення працездатності зростає, якщо складова γ_1 зменшується, оскільки тільки та перевірка більшої кількості елементів самохідного обприскувача потребує більшого часу на усунення відмови [19]. Як наслідок цього характеристики глибини впливають на комплексні показники надійності самого самохідного обприскувача, наприклад, коефіцієнт готовності [20]. Впливає також глибина технічного контролю на кількість запасних частин.

Нерідко приймається як очевидне, що технічний контроль працездатності елементів самохідного обприскувача і його систем дозволяє підвищити показники надійності [4]. Тут автори під показниками надійності розуміються як класичні показники надійності, так і показники ймовірності технічної ефективності, безпеки, що залежать від надійності. Проте такі висновки менш однозначні: необхідно обговорити більш детально питання впливу показників надійності і засобів контролю працездатності [11].

Показники готовності самохідного обприскувача можуть покращуватись, якщо технічний контроль дозволяє скоротити час перебування самохідного обприскувача у непрацездатному стані при відновленні відмов [2]. Причому коефіцієнт готовності тим більше, чим глибша повнота технічного контролю і чим більш точно глибина технічного контролю дозволяє виявляти елемент самохідного обприскувача, що відмовив [9].

Для самохідного обприскувача, тобто складної технічної системи багаторазового застосування, саме до цього

класу систем відносяться як системи, так і самохідний обприскувач загалом [17]. Основним з показників надійності є коефіцієнт оперативної готовності [1]. Коефіцієнт оперативної готовності $k_{og}(t_i, \tau_{og})$ – можливість знаходження самохідного обприскувача у довільний час t_i у працездатному стані і безвідмовної роботи в інтервалі оперативного часу τ_{og} . Можна записати вираз для $k_{og}(t_i, \tau_{og})$:

$$k_{og}(t_i, \tau_{og}) = \sum_{J \in S_{pr}} k_J(t_i) \cdot P_J(t_i, t_i + \tau_{og}), \quad (3)$$

де $k_J(t_i)$ – ймовірність перебування самохідного обприскувача в момент t_i у J -ум стані; $P_J(t_i, t_i + \tau_{og})$ – ймовірність безвідмовної роботи на вказаному інтервалі часу, за умови, що в момент t_i самохідний обприскувач перебуває в стані J ; S_{pr} – множина працездатних станів самохідного обприскувача.

$$k_g(t_i) = \sum_{J \in S_{pr}} k_J(t_i), \quad (4)$$

де $k_g(t_i)$ – коефіцієнт готовності самохідного обприскувача.

Якщо технічний контроль 100% і всі відмови усуваються перед черговим циклом експлуатації, то $k_g(t_i) = 1$ і ясно, що показник $k_{og}(t_i, \tau_{og})$ буде вищим, ніж за відсутності відновлення перед кожним циклом застосування самохідного обприскувача за призначенням.

Таким чином, технічний контроль самохідного обприскувача дозволяє у ряді випадків підвищити безвідмовність самої машини. Але оскільки сама система технічного контролю є джерелом додаткових відмов, то аналіз надійності, особливо безвідмовності, необхідно проводити при включенні в надійну модель, поряд з функціональним обладнанням, також технічні засоби технічного контролю. Модель має відбивати як позитивний ефект, і витрати під час запровадження технічного контролю [21]. Більше того, технічний контроль самохідного обприскувача лише тоді дає помітний ефект, коли обґрунтовано призначається технічне обслуговування. При технічному обслуговуванні додатково можуть виявлятися відмови, які не виявляються вбудованими (штатними) засобами технічного контролю (приховані відмови). Необхідно відзначити, що моделі надійності з урахуванням неповноти та відмов контролю, особливостей функціонування та відновлення можуть бути досить нетривіальними [22]. Як правило, для обліку таких факторів застосовувати необхідно складніший клас формування моделей, ніж логіко-імовірнісний, що лежить в основі класичних дерев відмов. У цій статті для аналізу буде застосовано марковське моделювання.

Мета. Провести огляд сучасних методів логіко-імовірнісного аналізу самохідних обприскувачів та застосувати марковське моделювання зі встановлення впливу технічного контролю на безвідмовність самохідних обприскувачів.

Результати досліджень. Модель нерезервованого модуля з неповнотою технічного контролю самохідного обприскувача (загальний випадок) представлено на рис. 1а. При її побудові використані наступні припущення: інтенсивність відмов модуля самохідного обприскувача не залежить від

часу (величини його напрацювання); відмова модуля самохідного обприскувача миттєво виявляється з ймовірністю η (характеристика повноти технічного контролю) або не виявляється (з ймовірністю $1 - \eta$) на розрахунковому інтервалі часу; відновлення працездатності модуля самохідного обприскувача проводиться тільки для модулів із виявленою відмовою; інтенсивність відновлення μ від тривалості відновлення не залежить.

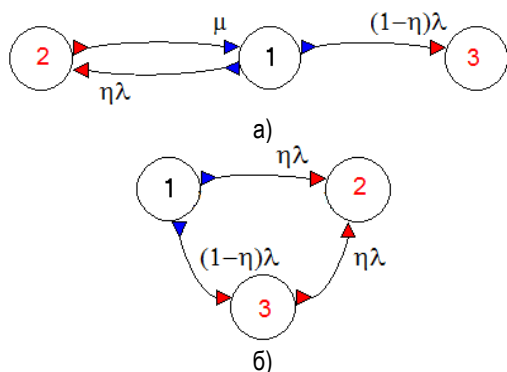


Рис. 1. Марковські моделі нерезервованого модуля із певним технічним контролем самохідного обприскувача.

Інтенсивності переходів між станами марковської граф-моделі визначаються такими співвідношеннями: $\lambda_k = \eta \cdot \lambda$ – інтенсивність виявленого засобами технічного контролю відмови; $\lambda_{nk} = (1 - \eta) \cdot \lambda$ – інтенсивність виявленого технічним контролем відмови.

Номери станів моделі рис. 1а відповідають наступним станам працездатності/непрацездатності модуля самохідного обприскувача: 1 – стан справності (працездатний); 2 – стан непрацездатності після виникнення відмови, виявленої засобами технічного контролю (допускає відновлення працездатності); 3 – стан непрацездатності після виникнення відмови, який засобами технічного контролю не виявлено (поглинаючий стан марковського процесу).

Ця модель може бути підкоригована для відсутності відновлення у процесі застосування самохідного обприскувача за призначенням у таких припущеннях:

- відновлення відмов може проводитись лише після закінчення застосування самохідного обприскувача за призначенням;
- відновлення проводиться, якщо має місце контрольована відмова, причому якщо до контрольованої відмови була неконтрольована відмова, то відновлюються всі відмови;
- якщо має місце лише неконтрольована відмова, вона виявляється і усувається лише за планового технічного обслуговування, тобто. у наступні після неконтрольованої відмови періоди застосування самохідного обприскувача за призначенням до планового технічного обслуговування відповідний модуль непрацездатний.

Ці припущення характерні для всіх вузлів, механізмів, елементів самохідного обприскувача, як нерезервованих систем, зокрема, функціональних систем, причому таким чином може бути змодельований і нерезервований канал. Модель представлена на рис. 1б. Тут (рис. 1б) стан 1 – працездатний стан модуля (каналу) самохідного обприскувача; стан 2 – стан, що відповідає контрольованій відмові безвідносно до

того чи була неконтрольована відмова самохідного обприскувача; стан 3 – стан неконтрольованої відмови самохідного обприскувача. Відобразити одним станом можна, так як це непрацездатний стан, що відновлюється за вищезазначеним припущенням при будь-якій комбінації відмов самохідного обприскувача, причому час відновлення не враховується.

На цій моделі (рис. 1б) зручно показати залежність коефіцієнта оперативної готовності самохідного обприскувача від часу. Коефіцієнт оперативної надійності для систем багаторазового циклічного застосування, якими є системи самохідного обприскувача. На оцінку цього показника впливають режим експлуатації самохідного обприскувача, характеристики процесу відновлення відмов та регламент технічного обслуговування. Коефіцієнт оперативної готовності $k_{og}(t, \tau)$ визначається як ймовірність знаходження системи у довільний момент часу t у працездатному стані та подальшого безвідмовного функціонування на заданому інтервалі часу τ .

$k_{og}(t, \tau)$ враховує безвідмовність в період експлуатації самохідного обприскувача, можливість відновлення у перервах між денної експлуатації відмов, що з'явилися і виявлених у процесі експлуатації, можливість перевірки працездатності (у тому числі, виявлення прихованих відмов) та відновлення виявлених відмов при плановому технічному обслуговуванні. Цей показник дозволяє комплексно врахувати всі перелічені фактори, у тому числі характеристики контролепридатності – повноту технічного контролю, ймовірності відмов щодо функції контролю типу хибних спрацьовувань та неспрацьовувань елементів самохідного обприскувача.

Марковському графу на рис. 1б відповідає система диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} P_1'(t) = -\lambda \cdot P_1(t) \\ P_2'(t) = \eta \cdot \lambda \cdot [P_1(t) + P_3(t)] \\ P_3'(t) = (1 - \eta) \cdot \lambda \cdot P_1(t) - \eta \cdot \lambda \cdot P_3(t) \end{cases}, \quad (5)$$

Рішення системи (8) має наступний вид:

$$\begin{cases} P_1(t) = C_1 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \\ P_2(t) = 1 - C_3 \cdot e^{(-\eta \cdot \lambda \cdot t)} \\ P_3(t) = C_3 \cdot e^{(-\eta \cdot \lambda \cdot t)} - C_1 \cdot e^{(-\lambda \cdot t)} \end{cases}, \quad (6)$$

Для розглянутої моделі (6) коефіцієнт оперативної готовності, без вархування часу відновлення самохідного обприскувача після закінчення періоду експлуатації за призначенням, може бути записано у наступному виді:

$$k_{og}(t_j, t_{j+1}) = k_g(t_j) \cdot P_{br}(t_j, t_{j+1}), \quad (7)$$

де $k_g(t_j)$ – коефіцієнт готовності в момент часу t_j початку $j + 1$ -го періоду експлуатації самохідного обприскувача після проведення профілактичного технічного обслуговування. Автори вважають, що на профілактичному технічному обслуговуванні відновлюються всі відмови, тобто функціонування системи починається з повністю справного стану самохідного обприскувача. $P_{br}(t_j, t_{j+1})$ – ймовірність безвідмовної на інтервалі часу t_j саме $j + 1$ -го періоду експлуатації.

тації самохідного обприскувача після проведення профілактичного технічного обслуговування; $j = 0, 1, 2, \dots, \frac{T_{ro}}{t_e}$. t_e – максимальне сезонне навантаження самохідного обприскувача.

З урахуванням зроблених припущень (зокрема, що у проміжку між профілактичним технічним обслуговуванням відновлюються лише контрольовані відмови) можна записати:

$$\begin{cases} P_1(t_j, t_{j+1}) = C_1(t_j) \cdot e^{(-\lambda \cdot \{t_{j+1} - t_j\})} = \\ = k_{og}(t_j, t_{j+1}) \\ P_2(t_j, t_{j+1}) = 1 - C_3 \cdot e^{(-\eta \cdot \lambda \cdot \{t_{j+1} - t_j\})}, \\ P_3(t_j, t_{j+1}) = C_3 \cdot e^{(-\eta \cdot \lambda \cdot \{t_{j+1} - t_j\})} - \\ - C_1(t_j) \cdot e^{(-\lambda \cdot (t_j))} \end{cases} \quad (8)$$

де $C_1(t_j) = P_1(t_j) + P_2(t_j)$; $C_3 = 1$, або

$$k_g(t_j) = P_1(t_j) + P_2(t_j) \quad (9)$$

$$P_{br}(t_j, t_{j+1}) = P_1(t_j) \cdot e^{(-\lambda \cdot \{t_{j+1} - t_j\})} \quad (10)$$

За даними виразами (9) і (10) побудовані залежності коефіцієнта оперативної готовності самохідного обприскувача до різних значень повноти контролю η , представлені на рис. 2. Залежності побудовані на інтервалі часу між технічними обслуговуваннями в припущенні повного відновлення всіх відмов при технічному обслуговуванні. На міжпрофілактичному інтервалі відновлюються лише виявлені відмови. Після проведення технічного обслуговування процес повторюється.

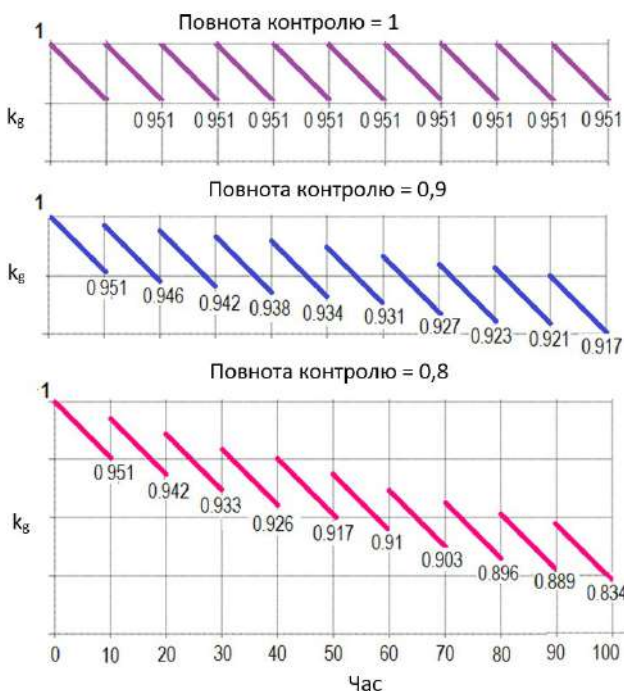


Рис.2. Оперативна готовність самохідного обприскувача за різних значень повноти технічного контролю.

При неабсолютній повноті технічного контролю самохідного обприскувача такий аналіз систем дозволяє, зокрема, обґрунтовано призначити величину міжпрофілактичного інтервалу, виходячи з вимог щодо безвідмовності для періоду застосування за призначенням, та обґрунтувати вимоги до повноти технічного контролю.

Різні показники безвідмовності характеризують окремі властивості надійності самохідного обприскувача, тому під час аналізу систем доцільно визначити певний спектр основних показників надійності самохідного обприскувача, що дозволяють отримувати всебічну оцінку надійних властивостей аналізованої системи самохідного обприскувача [5]. Для інших моделей систем з урахуванням коштів та алгоритмів технічного контролю (наведених нижче) будуть, в основному, визначатися показники безвідмовності.

Класична мажоритарна структура із вибором 2/3. Три однакові модулі з'єднані за схемою мажоритарного резервування. У кожному модулі сума інтенсивностей контрольованої та відновлюваної відмови дорівнює $\lambda_k = \eta \cdot \lambda$, а неконтрольованої прихованої відмови $\lambda_{nk} = (1 - \eta) \cdot \lambda$, де λ – сумарна інтенсивність відмови модуля (рис. 3а). У разі виникнення тільки неконтрольованої відмови він залишається прихованим і відновлення не проводиться. Якщо в каналі виникає контрольована відмова, то модуль повністю відновлюється, навіть якщо там була вже неконтрольована відмова. Це відома, можна сказати класична, схема надійної поведінки мажоритарного резервування, за наявності тільки вбудованого технічного контролю в кожному модулі самохідного обприскувача. Марковська модель наведена на рис. 3б.

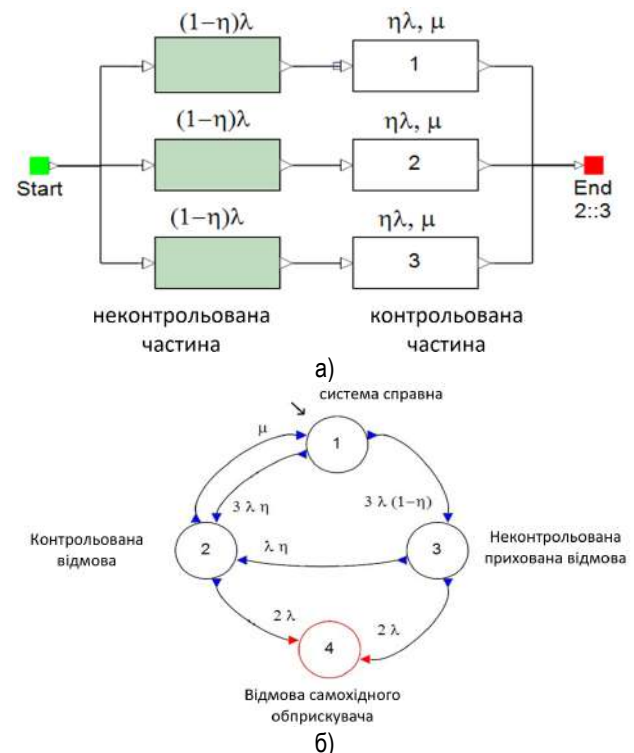


Рис.3. Мажоритарне резервування за неповного технічного контролю (а) і марковський граф надійності мажоритарної схеми (б).

На рис. 4 представлений графік, на якому по осі абс-

чис відкладено відношення середнього напрацювання до відмови мажоритарної схеми з відновленням елементів самохідного обприскувача, відмови яких розпізнаються контролем, до середнього напрацювання до відмови модуля; по осі абсцис – повнота контролю. А на рис. 5 – відношення ймовірності відмови мажоритарної схеми за різної повноти технічного контролю до ймовірності відмови схеми при повноті контролю $\eta=1$. На графіках наведено по дві криві, побудовані для значень параметра ρ (відношення середнього часу до відмови одного елемента (одного каналу) до середнього часу відновлення), що дорівнює 100 і 1000.

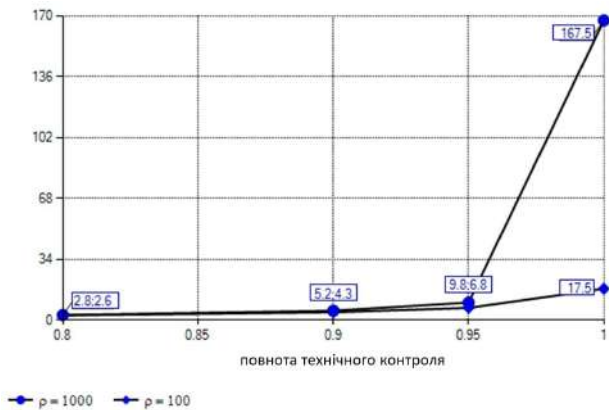


Рис.4. Залежність середнього напрацювання до відмови від повноти технічного контролю.

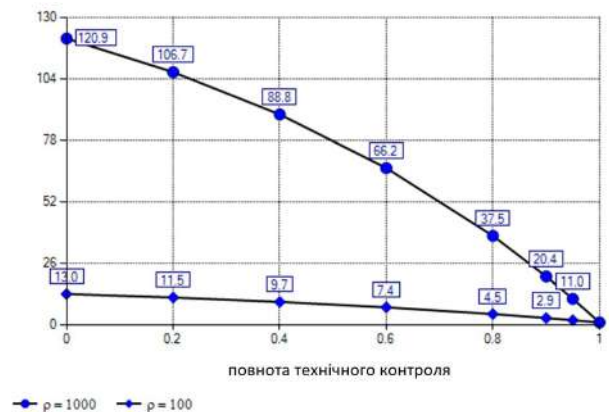


Рис.5. Залежність ймовірності відмовитися від повноти технічного контролю.

З розгляду графіка (рис. 6) видно, що повнота контролю є фактором, що покращує показники безвідмовності резервованих структур, що складаються з елементів, що відновлюються. Причому, лише за досить високих значеннях повноти контролю ($\eta>0,95$), значення такого показника як середній наробіток мажоритарної структури суттєво збільшується. Ймовірність відмови із зростанням повноти технічного контролю зменшується поступово.

Дублювання модулів за схемою 2 із 2 з порівнянням та з переходом на схему 1 із 2 при відмові одного з модулів. Інакше кажучи, виникнення несправності у раніше справній дубльованій ланці, тобто, відмова одного з модулів виявляється з ймовірністю 1 (за умови працездатності елемента порівняння). Наслідки відмови модуля та характер процесу відновлення залежить від виду відмови:

- у разі виникнення невиявленого засобами (само)контролю відмови модуля настає відмова (виявлений пристроєм порівняння), після чого починається процес відновлення працездатності;
- при виникненні виявленого засобами (само)контролю відмови модуля, працездатність забезпечується другим (справним) модулем, а працездатність модуля, що відмовила, відновлюється.

Марковська модель дубльованої ланки з порівнянням і з переходом на схему 1 із 2 представлена на рис. 6.

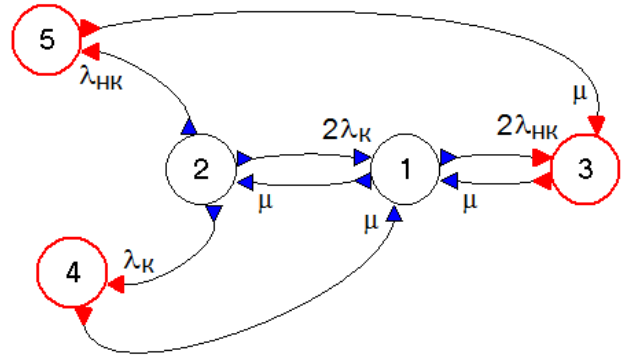


Рис.6. Дублювання модулів за схемою 2 із 2 з порівнянням і з переходом на схему 1 із 2.

Номери станів моделі рис. 6 відповідають наступним станам працездатності ланки:

- 1 – стан справності (працездатний);
- 2 – стан працездатності після відмови модуля, виявленого засобами технічного контролю (допускає відновлення працездатності модуля);
- 3 – стан непрацездатності після виникнення відмови модуля, виявленого пристроєм порівняння (допускає відновлення працездатності модуля та самохідного обприскувача в цілому);
- 4 – стан непрацездатності після виникнення відмови також і другого модуля, виявленого пристроєм технічного контролю (допускає відновлення працездатності модуля та самохідного обприскувача в цілому);
- 5 – прихована відмова після виникнення невиявленої відмови другого модуля на інтервалі часу відновлення працездатності першого модуля; завершення процесу відновлення модуля, який відмовив першим; включення першого модуля в роботу виявляє приховану відмову другого модуля (перехід з інтенсивністю μ зі стану 5 у стан 3).

Марковська модель ланки з дублюванням за схемою провідний – ведений представлена на рис. 7.

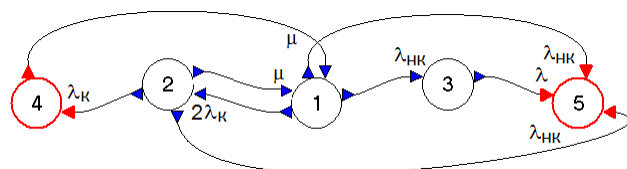


Рис.7. Дублювання за схемою провідний – ведений.

Номери станів моделі рис. 7 відповідають наступним станам працездатності/непрацездатності самохідного обприскувача:

- 1 – стан справності (працездатний);

2 – стан працездатності після виникнення відмови модуля (провідного чи веденого), виявленого засобами технічного контролю (допускає відновлення працездатності модуля);

3 – стан працездатності після виникнення відмови веденого модуля, невиявленого засобами технічного контролю;

4 – стан непрацездатності після виникнення відмови також і другого модуля, виявленого засобами технічного контролю (допускає відновлення працездатності модуля та самохідного обприскувача загалом);

5 – стан непрацездатності; прихована відмова ланки після виникнення:

- першої невиявленої відмови провідного модуля (перехід зі стану 1);

- другої невиявленої відмови модуля на інтервалі часу відновлення працездатності модуля, який відмовив першим (перехід зі стану 2);

- відмови провідного модуля за наявності прихованої відмови у веденого (перехід зі стану 3);

У 5 стані відновлення працездатності ланки не відбувається через невиявлення відмови.

На рис. 8, рис. 9 наведено залежність ймовірності безвідмовної роботи самохідного обприскувача (сума ймовірностей станів 1, 2, 3) та ймовірності небезпечної відмови (ймовірність стану 5) від часу при різних значеннях повноти технічного контролю.

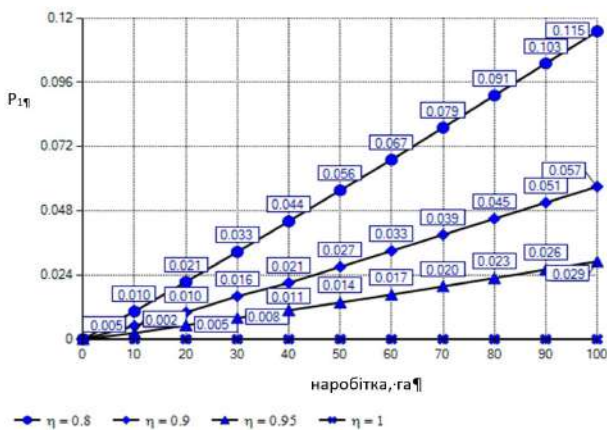


Рис.8. Залежність ймовірності відмови від наробітку при різних значеннях повноти технічного контролю.

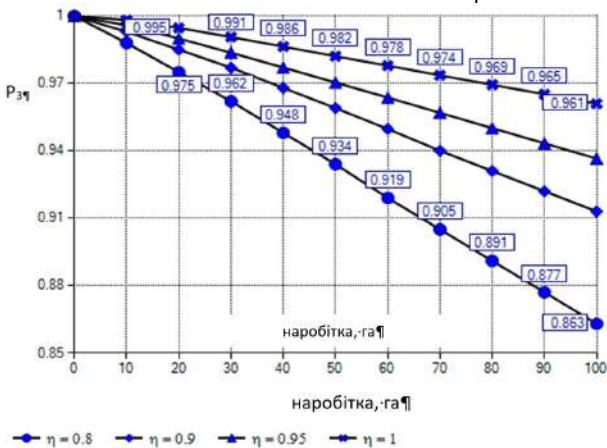


Рис.9. Залежність ймовірності безвідмовної роботи від наробітку за різних значень повноти технічного контролю.

На рис. 10 представлена залежність від повноти технічного контролю значень цих показників на $t = 100$ га. Повнота технічного контролю істотно впливає на показники безвідмовності самохідного обприскувача.

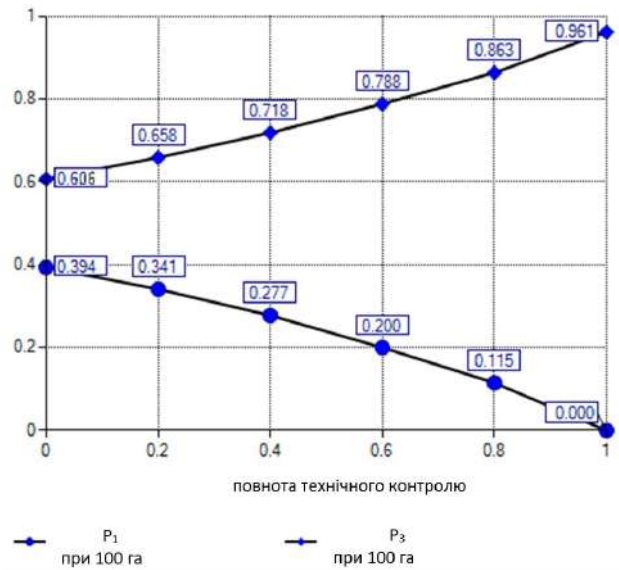


Рис.10. Залежність безвідмовності від повноти технічного контролю.

Троювання модулів за схемою 2 з 3 із порівнянням з метою технічного контролю. У аналізованому варіанті резервування будь-яка відмова одного з модулів завдяки порівнянню буде виявлено і, оскільки результат формується на основі мажоритарного принципу, даний стан самохідного обприскувача буде станом працездатності. На час відновлення модуля, що відмовив, обприскувач функціонуватиме за правилами дубльованої ланки з порівнянням вихідних сигналів. Марковська модель з трюванням модулів, в якій реалізовані зазначені принципи забезпечення технічного контролю та працездатності, представлена на рис. 11.

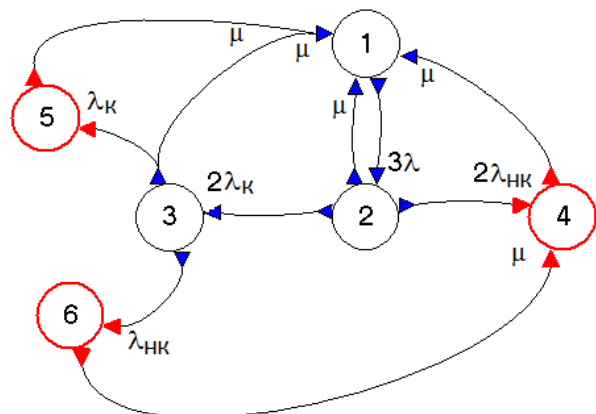


Рис.11. Троювання за схемою 2 з 3 із порівнянням з метою технічного контролю самохідного обприскувача.

Номери станів моделі рис. 11 відповідають наступним станам працездатності самохідного обприскувача:

1 – стан справності (працездатний);

2 – стан працездатності після відмови модуля, виявленого засобами порівняння;

3 – стан працездатності після відмови другого модуля, виявленого засобами технічного контролю;

4, 5, 6 – стан непрацездатності після виникнення двох відмов модулів, виявлених засобами порівняння.

Усі непрацездатні стани ланки є відновлюваними.

На відміну від схем дублювання при троюванні модулів одноразова відмова будь-якого типу не призводить до відмови самохідного обприскувача.

Висновки. Модель (рис. 16) описує залежність коефіцієнта оперативної готовності самохідного обприскувача від часу. На оцінку цього показника впливають режим експлуатації самохідного обприскувача, характеристики процесу відновлення відмов та регламент технічного обслуговування. Коефіцієнт оперативної готовності $k_{og}(t, \tau)$ визначається як

ймовірність знаходження системи у довільний момент часу t у працездатному стані та подальшого безвідмовного функціонування на заданому інтервалі часу τ .

$k_{og}(t, \tau)$ враховує безвідмовність в період експлуатації самохідного обприскувача, можливість відновлення у перервах між денної експлуатації відмов, що з'явилися і виявлених у процесі експлуатації, можливість перевірки працездатності (у тому числі, виявлення прихованих відмов) та відновлення виявлених відмов при плановому технічному обслуговуванні. Цей показник дозволяє комплексно врахувати всі перелічені фактори, у тому числі характеристики контролепридатності – повноту технічного контролю, ймовірності відмов щодо функції контролю типу хибних спрацьовувань та неспрацьовувань елементів самохідного обприскувача.

Список використаної літератури:

1. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., Hormozi, M. 2015. Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal* March 17(1)1: 158–165
2. Gurcanli, E., Bilir, S., Sevim, M. 2015. Activity based risk assessment and safety cost estimation for residential building construction projects. *Safety Science* 80: 1–12.
3. Khamidullina, E.A., Timofeeva, S.S., Smirnov, G.I. 2017. Accidents in coal mining from perspective of risk theory. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 262: 012210.
4. Aven, T. 2016. Risk assessment and risk management: review of recent advances on their foundation. *European Journal of Operational Research* 253(1): 1–13.
5. Tyutrin, S. 2019. Improving reliability of parts of mounted mower according to monitoring results by fatigue gauges from tin foil. *Engineering for rural development* 18: 22–27.
6. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., Pokutnii, O. 2019. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for rural development* 18: 563–569.
7. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A., Rebenko, V. 2019. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
8. Duan, F., Živanović, R., Al-Sarawi, S., Mba, D. 2016. Induction motor parameter estimation using sparse grid optimization algorithm. *IEEE Trans. Ind. Inf* 12: 1453–1461.
9. Shih-Heng, T., Ming-Hsiang, S., Wen-Pei, S. 2018. Development of digital image correlation method to analyse crack variations of masonry wall. *Sadhana* 6: 767–779.
10. Gyansah, L., Ansah, A. 2020. Fatigue crack initiation analysis in 1060 steel. *Research journal of applied sciences engineering and technology* 4(2): 319–325.
11. Nykyforchyn, H., Lunarska, E., Tsyrlunyk, O. 2019. Environmentally assisted “in-bulk” steel degradation of long term service gas trunkline. *Engineering Failure Analysis* 17: 624–632.
12. Corinne, B., José, R. 2017. Estimating the Hurst parameter. *Statistical Inference for Stochastic Processes*. Springer Verlag, 10(1): 49–73.
13. Kypris, O., Nlebedim, I., Jiles, D. 2016. Measuring stress variation with depth using Barkhausen signal. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials – Science Direct* 407: 377–395.
14. Erokhin, M., Pastukhov, A., Kazantsev, S. 2019. Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for rural development* 18: 28–33.
15. Xi, L., Songlin, Z. 2019. Changes in mechanical properties of vehicle components after strengthening under low-amplitude loads below the fatigue limit. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures* 32(10): 847–855.
16. Rejovitzky, E., Altus, E. 2013. On single damage variable models for fatigue. *International Journal of Damage Mechanics* 22(2) 2: 268–284.
17. Pisarenko, G., Voinalovych, O., Rogovskii, I., Motrich, M. 2019. Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
18. Sánchez-Hermosilla, J., Rincón, V., Páez, F. 2011. Field evaluation of a self-propelled sprayer and effects of the application rate on spray deposition and losses to the ground. *Pest Management Science* 67(8): 942–947.
19. Kalinichenko, D., Rogovskii, I. 2017. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA* 17(3): 93–102.
20. Zou, F., Kang, J., Xiao, M., Ji, G. 2017. Hydrostatic driving system for self-propelled sprayer. *Engineering Journal* 26(3): 12–18.
21. Rogovskii, I. 2020. Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research* 11(1): 155–162.
22. Chen, Y., Mao, E., Li, W., Chen, J. 2020. Design and experiment of a high-clearance self-propelled sprayer chassis. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 13(2): 71–80.

Lyubchenko I. S., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)

Rogovskii I. L., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)

Analytical provisions of influence of completeness of technical control on faultlessness of self-propelled sprayers

The article discusses the impact of the parameters of built-in technical control, such as the completeness and depth of technical control, on the reliability of self-propelled sprayers.

Analytical models of some typical failure-free structures of self-propelled sprayers have been developed, which take into account the characteristics of technical control over the efficiency of the elements.

A graphical interpretation of the dependence of the reliability of self-propelled sprayers on the completeness of technical control is presented. The existence of the influence of completeness of technical control on the indicators of failure of structures is confirmed.

The considered approach with a similar analysis allows to reasonably make requirements to the characteristics of technical control systems of self-propelled sprayers.

Key words: *faultlessness, sprayer, probability, control, parameter, element, efficiency.*

Дата надходження до редакції: 16.02.2021

ВИВЧЕННЯ ВИМОГ РОБОТОДАВЦІВ ДО ЗМІСТОВОЇ СКЛАДОВОЇ СУКУПНОСТІ ПРОФЕСІЙНИХ КОМПЕТЕНЦІЙ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

Марія Миколаївна Бондар,
кандидат педагогічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
ORCID: 0000-0002-8437-4602.
e-mail: bondar_mm@nubip.edu.ua

Олександра Володимирівна Плавинська
старший викладач
Сумський національний аграрний університет, Україна.
ORCID 0000-0003-2837-2087
e-mail: alekcandrawl@ukr.net.

Анотація. Підвищення якості підготовки майбутніх інженерів сфер сільськогосподарського машинобудування та виробничої експлуатації сільськогосподарської техніки залишається актуальною проблемою національної системи освіти. Одним із шляхів вдосконалення навчального процесу є тісна співпраця університетів з роботодавцями сільськогосподарського виробництва та залучення їх до активної участі у формуванні компетенцій випускників, адекватних вимогам ринку праці. З огляду на важливість підвищення ефективності цієї співпраці в статті досліджуються взаємопов'язані поняття «компетенція», «компетенції», «компетентність», «компетентний». Пропонується перелік компетенцій інженера. Вивчається зміст сукупності значущих для випускника компетенцій, а також досліджується їх прояви у виробничих умовах, пов'язаних з необхідністю певного часу для адаптації випускника інженерного факультету.

Основна мета дослідження — підвищити ступінь готовності студентів спеціальностей: галузеве машинобудування та агроінженерія, до швидкої адаптації в майбутній професійній діяльності. Для чого, на підставі результатів дослідження вимог роботодавців, відкоригувати змістовну складову сукупності професійних компетенцій.

Для досягнення мети в лютому 2017 року по вересень 2018 року здійснювалось експертне опитування роботодавців. Брала участь в дослідженні випускники грудня 2016 роки (78 чол.), факультету конструювання та дизайну, а також механіко-технологічного факультету направлені на роботу в машинобудівні, дилерські, сервісні та виробничі сільськогосподарські організації різних форм власності. Результати проведеного опитування дозволили встановити саме які компетенції вимагають перегляду навчальних курсів і програм дисциплін для вдосконалення навчального процесу.

Ключові слова: компетенція, компетенції, компетентність, компетентний, інженерна освіта, навчальний процес, роботодавці.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.4>

Постановка проблеми

Підвищення якості інженерної освіти, націлене на підготовку професіоналів, які володіють сукупністю компетенцій, що повністю відповідають вимогам роботодавців [1, 2]. Світовою практикою професійної підготовки інженерно-технічних фахівців вже накопичений значний досвід. Так, Вашингтонська, Сіднейська і Дублінська угоди організацій відповідальних за акредитацію або визнання інженерних кваліфікацій вищого рівня, що об'єдналися однією метою — сприяти мобільності професіональних інженерів відповідної кваліфікації. Діяльність сторін, які підписали Угоду, зосереджена на розробці зразків профілів випускників та має на меті сприяти зростаючій глобалізації взаємного визнання інженерних кваліфікацій [10, с.1].

Інженери сфер сільськогосподарського машинобудування, технічного сервісу та товарного агропромислового виробництва повинні володіти не тільки професійними знаннями, вміннями і навичками, але і бути готовим до самостійного, творчого їх застосування та вдосконалення. Що, є однією з важливих наукових і практичних завдань для національної системи освіти і виробничої сфери. Адже роботодавці, нерідко, стикаються з проблемою невідповідності компетенцій випускників вимогам виробництва. Що часто має місце через неузгодженість освітніх і професійних програм за якими

готують майбутніх молодих фахівців.

У зв'язку з чим, виникла необхідність у дослідженнях, присвячених з'ясуванню ступеню готовності випускників інженерних факультетів аграрних вищих навчальних закладів до виробничої діяльності. Ефективним механізмом вдосконалення навчального процесу — є тісна співпраця університетів з роботодавцями, й у першу чергу, для обґрунтування змістовної складової сукупності необхідних компетенцій з подальшим формуванням та узгодженням з ними професійних, освітніх стандартів сучасної інженерної підготовки [1, 2].

Аналіз останніх досліджень

Вивчення досліджень і публікацій, що присвячені проблемам визначення компетенцій випускників вищих професійних навчальних закладів та їх відповідності вимогам роботодавців дозволили сформулювати основний висновок про незавершеність дискусії щодо дефініцій, термінології, значень, структурних елементів та інших категорій наукової проблем наповнення змістом компетенцій випускника вищої школи.

У зв'язку з чим, показово цікавим виявилось дослідження [3] (*Tahirsylaj, Armend; Sundberg, Daniel*) де авторами виконана величезна наукова робота що репрезентує систематичний огляд досліджень у якому розглянуті 84 наукові

статті. Огляд мав за мету узагальнити сучасний рівень досліджень, орієнтованих на освіту і навчальні програми, що торкаються поняття компетенцій та охоплюють період у 20 років — починаючи з 1997 по 2017 рік.

На підставі зазначеного огляду, автори припустили, що існує два різних позначення «компетентностей» в освіті [3]. А саме: з теоретичної точки зору компетентність задумана як когнітивна структура, що сприяє певній поведінці; з операційної точки зору, компетенції, припускають автори, охоплюють широкий спектр навичок і поведень вищого порядку, що представляють здатність справлятися зі складними, непередбачуваними ситуаціями; це оперативне визначення включає знання, навички та стратегічне мислення, а також передбачає цілеспрямоване й свідоме прийняття виважених рішень [4, с.80].

Також, компетентність визначається як інтеграція знань умінь і поглядів, що дозволяє особистості виконувати певне завдання в нечітко визначених і унікальних середовищах [5, с.49].

Спільне дослідження [6] Ліхуа Цуй (*LiHua Cui*, Китай), ХеЧжон Кім (*HyеJeong Kim*, Сеул, Корея) і Де Лі (*De Li*, Китай) направлено на вивчення того, які чинники слід враховувати в першу чергу для розвитку основних компетенцій, необхідних в бізнесі. У дослідженні оцінювався професійний рівень і проводився аналіз відповідності вимогам на основі основних компетенцій, запропонованих проектом DeSeCo, та запитань анкети, розроблених Корейським інститутом розвитку освіти (KEDI). Основні цілі цього дослідження — сприяти адаптації студентів до професійного навчання. У цьому дослідженні брала участь обмежена кількість учасників, і на думку авторів це утруднило узагальнення результатів дослідження.

В роботі [7] (*Fischer, Daniel, Barth, Matthias*) авторами представлений освітній підхід з ключовими компетенціями, що включає сім загальних компетенцій. Вчені стверджують, що просування ключових компетенцій є стрижневим внеском в дискусію, оскільки не підтримує будь-яку конкретну нормативну позицію, і актуально для всіх сторін. Автори наполюгають на більш всеосяжній та ефективній концепції ключових компетентностей, що виходить за рамки вузької спрямованості навчання навичкам. В роботі [7, с.197] представлена структура ключових компетенцій:

- I. діяти самостійно;
 - 1) вміння виявляти індивідуальні потреби й культурну орієнтацію;
 - 2) вміння планувати, здійснювати й оцінювати діяльність, пов'язану зі споживанням;
- II. взаємодіяти в різнорідних групах;
 - 3) вміння критично брати на себе роль активного учасника ринку;
 - 4) вміння повідомляти про стійке споживання;
- III. використовувати інструменти в інтерактивному режимі;
 - 5) вміння використовувати, редагувати та ділитися різними формами знань;
 - 6) вміння використовувати інформаційні та комунікаційні технології в інтерактивному режимі;
 - 7) вміння мислити далекоглядно і враховувати взаємозв'язок.

На підставі власних досліджень авторами наводиться висновок про те, що «... звернення до компетенцій і розвитку

цих компетенцій пропонує структуру, в якій ми можемо приймати обґрунтовані рішення для успішного навчання. Проблемне навчання в умовах самостійної та спільної роботи з осмисленими завданнями для студентів виявилось сильним фактором, що сприяє такому навчанню" [7, с.199].

У дослідженні [8] (*Riccardo Leoni*) відокремлюючи результати освіти (то є дисциплінарні знання) від компетенцій, що вимагаються, автор стверджує те, що фірми в першу чергу винагороджують за компетенції і в значно меншій мірі винагороджують за самі по собі дисциплінарні знання. Культурний фон, як правило, набуває більшого значення, ніж формальна освіта у формуванні необхідних компетенцій. Болонський процес міг би зруйнувати цю ситуацію за умови, що він інтегрований з конструктивістським, педагогічним підходом, інструментів якого не вистачає сьогодні, але є життєво важливим в забезпеченні навчальних процесів, що дозволяють студентам здобувати і розвивати компетентності, необхідні сучасним виробничим технологіям.

Проведення опитувань за ключовими компетенціями висвітлюється в роботі [9, с.118-119] (*Kihun Kim*) автором наголошується, що ні одне міжнародне порівняльне дослідження чітко не визначає поняття ключової компетентності. Однак існують різні міжнародні порівняльні дослідження, спеціально спрямовані на вимір можливостей, еквівалентних ключовим компетенціям.

У дослідженні питань, пов'язаних з поняттям компетенцій в інженерній освіті не можна обійти стороною напрацювання Міжнародного інженерного альянсу (IEA) [10]. Організація заявляє про своє прагнення вдосконалювати інженерну освіту і компетентність у всьому світі. IEA об'єднує три міжнародні угоди, що стосуються забезпечення освітньої основи для професійних інженерів та інженерів технологів. Це Вашингтонська угода (1989) (*Washington Accord*), Сіднейська угода (2001) (*Sydney Accord*) і Дублінська угода (2002) (*Dublin Accord*). Раніш відома як Форум мобільності інженерів (EMF), Міжнародна угода професійних інженерів (IPEA), являє собою багатонаціональну угоду між інженерними організаціями, що створює основу для встановлення міжнародного стандарту компетентності професійних інженерів. Стандарт компетентностей, що застосовується, такий же, як і в угоді з інженерами АРЕС. Основна діяльність IEA [11]:

- послідовне вдосконалення стандартів інженерної освіти, тим самим сприяти мобільності випускників;
- визначення змісту стандартів інженерної освіти та професійної компетентності;
- забезпечення об'єктивної акредитації освітніх програм й оцінка компетентності випускників;
- участь в діяльності, що стосується з інженерного фаху.

Компетенції випускників, прийняті підписантами Вашингтонської угоди, є стандартом для освіти професійних інженерів з усіх інженерних спеціалізацій. Зміст компетенцій класифікує те, що повинні знати випускники, навички, які вони повинні продемонструвати, і вміння, яким вони повинні володіти. Зміст компетенцій випускників удосконалювалися більш десятиліття, і в 2013 році були прийняті як орієнтир, за яким слід оцінити еквівалентність власних стандартів з вимогами акредитації. Детальний зміст атрибутів компетенцій наведений в брошурі [11].

Організацією економічного співробітництва та розвитку (OECD) прийнята програма «Визначення і вибір компетенцій: теоретичні та концептуальні засади» (DeSeCo). В основу програми було закладено чотири основні заходи [12, с.19]:

- проведено аналіз існуючих (на той час) досліджень компетенцій, при цьому акцентувалася увага на те як використані визначальні поняття. В результаті виявилася значна невідповідність у поглядах, яка вказує на необхідність всеосяжного обґрунтування основ;
- здійснювалося сприяння в обґрунтуванні спільного поняття компетентності, що спрямоване на формування узгодженого розуміння ключових положень;
- на основі досліджень, спираючись на вибір, експертами встановлено початковий набір ключових компетенцій. До цього залучалися вчені, експерти з різних галузей знань, які працювали разом щоб прийти до єдиної думки і сприяти визначенню ключових компетенцій, що мають значення для освіти;
- проведені консультації країн в рамках OECD з метою перевірки того, як країнами-учасницями визначалася і відбиралася сукупність компетенцій.

У пострадянських країнах, в тому числі і в нашій країні, Національною доктриною розвитку освіти України в XXI столітті було визначено, що головною метою української системи освіти є створення умов для розвитку і самореалізації кожної особистості. При цьому, науково педагогічною громадськістю, відстоюється думка про те, що підготовка кадрів, для професійної сфери, повинна здійснюватися на позиціях компетентного підходу. Установчими категоріями компетентного підходу в освіті є поняття компетенції та компетентності, які в педагогічній науці досить продуктивно досліджуються, але все ж — не мають однозначного змісту і визначення, часто вживаються як синоніми [13].

Мета досліджень

Визначити вимоги роботодавців до змістовної складової сукупності професійних компетенцій діючих працівників інженерно-технічних служб. На підставі результатів дослідження — переглянути та скоригувати освітні програми дисциплін професійної підготовки випускників, і тим самим — допомогти студентам факультетів машинобудування та виробничої експлуатації, поліпшити їх готовність до швидкої адаптації в майбутній професійній діяльності.

Методи дослідження

Аналіз наукової літератури, з'ясування стану розробленості проблеми, виділення структурних компонентів сукупності компетенцій випускників інженерних факультетів у аграрних навчальних закладах; абстрагування і прогнозування — для визначення умов вивчення й формулювання гіпотези; моделювання — для розробки методів обґрунтування змісту сукупності компетенцій необхідних випускнику в майбутній самостійній інженерної діяльності; експертне опитування для визначення слабких місць у професійній підготовці.

Новизна

Вперше, з використанням засобів педагогічних технологій орієнтованих на поняття компетенцій в освіті, розроблена методика обґрунтування змістовної складової сукупності професійних компетенцій діючих працівників інженерно-технічних служб, що ставить собі за мету здійснення діагностики, самодіагностики і самовдосконалення, найважливішого

якості університетської інженерної підготовки — готовності випускників інженерних спеціальностей до майбутньої діяльності у виробничій сфері.

Результати досліджень

Університети, що представляють сферу вищої професійної освіти та підприємства, що представляють сферу виробництва, не можуть існувати ізольовано один від одного. Виходячи з чого, ефективним механізмом вдосконалення освітнього процесу є тісна співпраця університетів з роботодавцями, в нашому випадку — галузевого машинобудування і сільськогосподарського виробництва. Необхідною умовою якісної підготовки майбутніх виробничиків, та дуже важливим фактором синергетичного ефекту, є наявність постійного зворотного зв'язку — ефективної комунікації університету і галузі. Дуже часто така комунікація має формат залучення роботодавців до активної участі у формуванні навчальних програм, спеціальностей і спеціалізацій. При цьому, університети та виробництво стикаються з проблемою різночитання — які саме знання, вміння і навички необхідні для того щоб звести до мінімуму час адаптації випускника на виробництві. Розвиток і вдосконалення педагогічної науки й освітнього менеджменту призвело до появи нових, більш ефективних, інструментів та технологій, що дозволяють значно примножити синергетичний ефект від об'єднання зусиль університету і товаровиробників спрямованих на прискорене зростання професійної майстерності випускників, забезпечення їх мобільності в процесі освоєння інноваційних технологій. Одним з цих інструментів, що дозволяє посилити ефективний зворотний зв'язок підприємства та університету є компетентнісний підхід — педагогічна технологія, орієнтована на поняття компетенцій в освіті (competence-based education — CBE). Поняття «професійна компетентність» нерозривно пов'язане з саморозвитком і самоосвітою особистості, на думку Андрієвської В.В., воно визначається рівнем професійної освіти, а також — досвідом та індивідуальними здібностями людини, його прагненням до безперервного самовдосконалення та самоосвіти, творчим відношенням до справи [14, с. 25].

У процесі підготовки до дослідження, за результатами аналізу наукової літератури та з'ясування стану розробленості проблеми прийшли до рішення прийняти за основу поняття «компетенція», «компетенція і » і «компетентність» в редакції авторів [13, с.425], саме:

«... компетенція — ... заздалегідь задана вимога щодо знань і досвіду діяльності в певній сфері;

компетенції — узагальнені способи дій, що забезпечують продуктивне виконання професійної діяльності; вони включають: знання і розуміння (теоретичні знання, здатність знати і розуміти) знання як діяти (практичне оперативне застосування знань у конкретних ситуаціях); знання як бути (цінності, які є невід'ємною частиною сприйняття життя з іншими в соціальному контексті);

компетентність — це володіння компетенцією, проявляється в ефективній діяльності і включає особисте ставлення до предмета і продукту діяльності; ... є системним поняттям, має свою структуру, рівні, функції, своєрідні характеристики, властивості;

компетентним можна стати, опановуючи певні компетенції і реалізуючи їх у досвіді конкретної діяльності.» [13, с.425].

Використовуючи поняття компетенцій як заздалегідь задану вимогу щодо знань і досвіду діяльності в сфері інженерії машинобудування й агроінженерії, був підготовлений перелік вимог, тобто компетенцій, зміст яких обговорювався та узгоджувався на засіданні Ради роботодавців НУБіП України [15]. З узгодженого переліку вибрано вісім ключових компетенцій.

З метою оцінки ступеня виконання вимог щодо знань, умінь і досвіду практичної діяльності випускників спеціальностей — галузеве машинобудування й агроінженерія, передбачалося комплексне використання як безпосередніх, так і опосередкованих методів отримання статистичної інформації, що пояснюється різноплановістю проблеми, що досліджується та дозволяє з'ясувати суб'єктивне ставлення респондентів до тих чи інших ключових компетенцій і отримати репрезентативну інформацію, яка дозволить прийняти раціональні рішення при коригуванні відповідних освітніх програм. Саме дослідження проводилося в два етапи. Перший — анонімне анкетування випускників і роботодавців на другому етапі проводився експертне опитування.

На першому етапі в якості інструменту була використана анкета, а респондентами виступали діючі фахівці, які працюють на різних посадах інженери машинобудівних підприємств, дилерських центрів, організацій технічного сервісу, державні службовці різних управлінь сільського господарства, а також фахівці інженерно-технічних служб агропромислового виробництва, яким було запропоновано відповісти на питання анкети з розгорнутими відповідями на відкриті питання а також питання з певними варіантами відповіді на них. Зміст питань стосувався сфери професійної освіти і в тому числі мотивації до професійного самонавчання та самовдосконалення у виробничій сфері. Одне з відкритих питань стосувалося думки респондента щодо понять «кваліфікований» і «компетентний» фахівець. А саме, кого респондент вважав за краще мати в своєму підпорядкуванні. При цьому давалося пояснення: «кваліфікований — (майстер) майстерний, умілий, досвідчений, практик, натренований; компетентний

(майстер) обізнаний, тлумачний; (чиновник) повноправний, повноважний». Всього в опитуванні взяли участь 162 респондента. На основі обробки результатів проведеного анкетування, можемо зробити наступні висновки: 67,9% респондентів відповіли, що воліли б компетентного фахівця, 21,6% вважають, що краще мати кваліфікованого фахівця, ще 11,5% респондентів вважають, що це ідентичні поняття.

На другому етапі дослідження, експертному опитуванні, в якості експертів виступали керівники різних організацій в підпорядкуванні яких були випускники грудня 2016 року, спеціальностей: галузеве машинобудування; агроінженерія. Всього 78 керівників щомісяця анкетувалися з лютого 2017 року по вересень 2018 року. Їм пропонувалося оцінити компетентність випускників по 12-ти бальній шкалі за сукупністю запропонованих восьми компетенцій, містять відповідний набір знань умінь і навичок. При цьому, респонденти повинні були паралельно оцінювати за тими ж параметрами свого штатного співробітника, практика, який пропрацював на підприємстві не менше трьох років і виконує аналогічні обов'язки.

Зібрані щомісяця дані піддавалися аналізу. Обробка результатів експертного опитування проводилася за допомогою математико-статистичних методів: для виявлення статистично достовірного зв'язку в показниках оцінки компетенцій необхідних випускнику для успішної адаптації на виробництві застосований аналіз кореляційних матриць (пакет SPSS); для виявлення статистично значущих рангових кореляцій — метод рангових кореляцій Спірмена; для розрахунку показників і побудови діаграм (обробка в Statistica 6 і MS Excel 2016). Отримані величини дисперсії і середньо-квадратичного відхилення підтверджують, що результати опитування статистично значущі.

На графіках (рис. 1) відображено динаміку оцінювання компетенцій протягом дослідження.

Тут, в першу чергу, необхідно відзначити показову динаміку зростання ключових компетенцій випускників інженерних спеціальностей грудня 2016 року в порівнянні з штатними спеціалістами, практиками зі стажем не менше три роки.

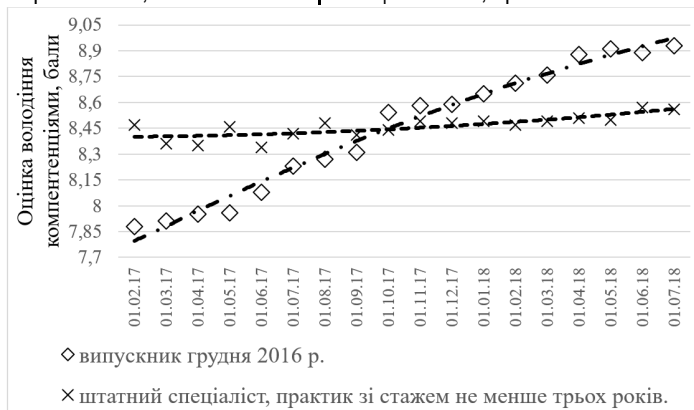


Рис. 1 – Динаміка оцінювання компетенцій

Можна припустити, що практик, що має виробничий досвід більше трьох років, залишається цілком кваліфікованим фахівцем до тих пір, поки не стикається з новими високотехнологічними засобами виробництва і йому (по ряду можливих причин, наприклад: відсутність або недостатні знання теоретичних основ інженерної підготовки, відсутність або недостатня мотивація до професійного саморозвитку; недоста-

тні комунікаційних навичок та інших факторів, що обмежують можливості самовдосконалення в його виробничій діяльності) необхідно більше часу для освоєння нових технологій, нової техніки і нових організаційних форм, що визначають потенціал в досягненні виробничих цілей, а це в кінцевому підсумку віддзеркалюється у рівні конкурентоспроможності підприємства.

На протривагу цього випускник, що вільно володіє ключовими компетенціями та сильною мотивацією до самовдосконалення, тобто до професійного саморозвитку, досить швидко адаптується на виробництві.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Розроблена і випробувана методика обґрунтування змістовної складової сукупності професійних компетенцій дозволила отримати результати самодіагностики, необхідні для вдосконалення програм професійної підготовки студентів інженерних спеціальностей сфери агробізнесу.

За результатами дослідження було встановлено, що випускники з високим рівнем компетентності в виробничих си-

туаціях вибирають стратегії, спрямовані на вирішення проблем, вони мотивовані прагненням досягти успіху, готові до самовдосконалення.

Випускники з нижчим рівнем компетентності у виробничих ситуаціях намагаються уникати самостійного рішення виробничих проблем, і часто не розуміють та не прогнозують їх наслідків.

Приведені в статті підсумки є проміжними. Так як, головна мета дослідження — встановлення позитивної динаміки в скороченні термінів адаптації випускників в умовах виробництва, можлива на підставі результатів повторного експерименту, що враховує наслідки заявленої вище корекції програм професійної підготовки.

Список використаної літератури.

1. Nikolaenko S., Bondar M., Bulgakova O., Dukulis I. Investigation of pedagogical conditions for development of professional self-perfection skills of future agricultural engineers. *Engineering for Rural Development*, 19, 2020, pp. 1364-1372. <http://tf.llu.lv/conference/proceedings2020/Papers/TF337.pdf>
2. Nikolaenko S., Bondar M., Bulgakova O., Dukulis I. Studying requirements for substantial list of professional knowledge for students of agricultural engineering specialities. *Engineering for Rural Development*, 20, 2021, pp. 1519-1525. <https://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2021/Papers/TF326.pdf>
3. Tahirsylaj A., Sundberg D. The unfinished business of defining competences for 21st century curricula – a systematic research review. *Curriculum Perspectives*, 40 (2), 2020, pp.131-145.
4. WesterA, Wim. Competences in education: a confusion of tongues. *Journal of Curriculum studies*, 2001., 33.1: 75-88.
5. Egodawatte G. An analysis of the competency-based secondary mathematics curriculum in Sri Lanka. *Educational Research for Policy and Practice*, 13.1, 2014, pp. 45-63.
6. Cui L. The Relationship between Core Competence and Self-Efficacy for Qualitative Improvement of Industrial Technology Training. *International Journal of u-and e-Service, Science and Technology*, 7.1, 2014, pp. 1-8.
7. Fischer D., Barth M. Key Competencies for and beyond Sustainable Consumption an Educational Contribution to the Debate. *GAI A-Ecological Perspectives for Science and Society*, 23.3, 2014, pp. 193-200.
8. Leoni R. "Graduate employability and the development of competencies. The incomplete reform of the "Bologna Process", *International Journal of Manpower*, Vol. 35 No. 4, 2014, pp. 448–469 <https://doi.org/10.1108/IJM-05-2013-0097>
9. Park H., Kim K. Kim K. Youth Key Competencies in Korea. *Korean Education in Changing Economic and Demographic Contexts. Education in the Asia-Pacific Region: Issues, Concerns and Prospects*, vol. 23, 2014. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-4451-27-7_7
10. International engineering alliance: educational accords [online] [21.03.2021] Available at: <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/Policy/Accord-Rules-and-Procedures-July-2018-version-2019.1.pdf>
11. 25 years. Washington Accord. [online] [21.03.2021] Available at: <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/History/25YearsWashingtonAccord-A5booklet-FINAL.pdf>
12. The definition and selection of key competencies: executive summary [online] [21.03.2021] Available at: <http://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>
13. Король В. П. Термінологічні аспекти формування професійної компетентності майбутнього фахівця / В. П. Король, О. В. Марущак // *Сучасні інформаційні технології та Інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. - 2014. - Вип. 37. - С. 421-427. - Режим доступу http://nbuv.gov.ua/UJRN/Sitim_2014_37_82
14. Андрієвська В.В. Професійна компетенція : теорія і практика її оцінки на Заході. *Науково-методичне забезпечення діяльності сучасної професійної школи*. – Київ, 1994. – Ч. 1. – С. 25–29.
15. Рада роботодавців університету підбила підсумки 2016 року та спланивала роботу на наступний рік // (on line) <https://nubip.edu.ua/node/28207>

Bondar M.M., National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Ukraine)

Plavynska O.V., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Studying the requirements of employers to the content component of the total of professional competencies

Improving the quality of training of engineers in the fields of agricultural engineering and industrial operation remains an urgent problem of the national education system. One of the ways to improve the educational process is close cooperation of universities with employers of agricultural production and their involvement in active participation in the formation of graduates' competencies that are adequate to the requirements of the labor market. Taking into account the importance of increasing the efficiency of this cooperation, the article examines the interrelated concepts of "competence", "competence", "competence", "competent". A list of the competencies of an engineer is proposed. The content of the set of competencies that are significant for the graduate is studied, and the time frame of their manifestation in the production environment, associated with the need for adaptation, is investigated.

The main goal of the study is to increase the readiness of students in specialties: industrial mechanical engineering and agricultural engineering, for quick adaptation in future professional activities. Why, on the basis of the results of the study of employers' requirements, to correct the content of the set of professional competencies.

To achieve the goal, an expert survey of employers was conducted from February 2017 to September 2018. The graduates of December 2016 (78 people) from the Faculty of Construction and Design, as well as the Faculty of Mechanics and Technology, took part in the study, and were directed to work in mechanical engineering, dealer, service and production agricultural organizations of various forms of ownership. The results of the survey made it possible to establish exactly what competencies require revision of curricula and discipline programs to improve the educational process.

Key words: competence, competencies, competence, competent, engineering education, educational process, employers.

Дата надходження до редакції: 18.02.2021

ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОБХІДНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗБИРАННЯ ГРЕЧКИ

Мікуліна Марина Олександрівна

кандидат економічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-6918-5192
e-mail: marinamikulina1@ukr.net

Поливаний Антон Дмитрович

студент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-8363-7186
e-mail: polivanui1@gmail.com

В статті наведена порівняльна техніко-експлуатаційна та техніко-економічна оцінки варіантів технологій збирання гречки, одна із яких передбачає попереднє обприскування посівів десікантами для подальшого забезпечення прямого комбайнування, а друга – попереднє скошування посівів в валки з наступним їх підбиранням та обмолотом.

Ключові слова: гречка, збирання, альтернативні технології, комплекси машин, показники використання, якісні показники, економічна ефективність.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.5>

Постановка проблеми в загальному вигляді. Проблема полягає в необхідності визначення більш раціонального варіанту технологій збирання гречки, альтернативність яких знаходиться між роздільним (двофазним) способом збирання та прямим комбайнуванням, враховуючи, що крупа із зерна цієї культури використовується для дієтичного харчування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження стосовно застосування зернозбиральних комбайнів на збиранні гречки прямим комбайнуванням не проводились, крім того, що згадується [1].

Формулювання цілей досліджень. Встановлення аналітичним шляхом показників використання машинних агрегатів, які застосовуються в технологічних процесах збирання гречки і які дали б можливість визначитись з більш раціональними схемами збирання цієї культури.

Виклад основного матеріалу.

Не дивлячись на високу цінність виробництво зерна гречки в Україні знаходиться не належному рівні: врожайність зерна низька, втрати при збиранні великі, а собівартість висока, що в послідуєчому проявляється на ціні гречаної крупки. Вирішення проблеми значного збільшення об'ємів виробництва гречки за рахунок підвищення урожайності та зменшення собівартості проведення робіт по вирощуванню гречки сьогодні є актуальним.

Як відомо, до останнього часу практично скрізь застосовувалась традиційна і безальтернативна технологія збирання гречки, яка передбачала скошування рослинної маси (стебла, листя, суцвіття, зерно) у валки, а після її підсихання до збиральної вологості (вологість стебел 18-20%) підбирання та обмолот валків.

Для забезпечення цієї технології необхідно мати наступні технічні засоби:

- жатку валкову, конструкція якої дозволяла б формувати валок необхідної ширини і маси, щоб молотарка комбайна при обмолоті валків була повністю завантажена на робочій швидкості в межах 4-7 км/год;
- комбайн зернозбиральний класу 5-10 кг/с, молотильний

апарат якого міг би забезпечити обмолот гречки на оптимальних режимах (лінійна швидкість бил барабана 15-18 м/с, що відповідає частоті обертів барабана діаметром 600 мм в діапазоні 480-580 хв-1, а це практично вдвічі менше, ніж при обмолоті пшениці);

- підбирач валків, яким комплектується зернозбиральний комбайн і який забезпечив би якісне підбирання валків гречки.

Для забезпечення технології збирання гречки, яка передбачала б пряме комбайнування (будемо називати її альтернативною технологією), необхідно мати:

- обприскувач (або як самостійна машина або в агрегаті з трактором) для нанесення препаратів (хімічних чи органічних) на рослини з метою прискорення дозрівання чи підсихання рослинної маси;
- комбайн зернозбиральний як і в попередній технології;
- пристрій для зменшення технологічних втрат зерна від дії планок мотвила жатки, якщо вони виявляються значними.

Для об'єктивної і достовірної оцінки технологій необхідно володіти інформацією стосовно технологічних можливостей машин, цін на них для формування необхідного раціонального комплексу машин, володіти методикою порівняльної оцінки типової та альтернативної технології збирання гречки.

Теоретичні передумови по визначенню показників використання машинних агрегатів

Жаткові агрегати. Тяговий опір жаткових агрегатів, які є тягово-приводними машинами, представляє собою суму тягового опору жатки і тягового зусилля, яке міг би додатково розвивати трактор чи інший енергетичний засіб за рахунок потужності, яка витрачається через ВВП.

Для причіпних жаткових агрегатів:

$$R = R_f + R_i + R_{ВВП}, \text{ кН}, \quad (1)$$

де R_f – опір перекошування, кН;

R_i – опір підйому, кН;

$R_{ВВП}$ – опір приводу робочих органів жатки (технологічний опір), кН.

$$R_f = (G_{e3} + G_{ж}) * f, \text{ кН} \quad (2)$$

де G_{e3} – вага енергетичного засобу, кН;
 $G_{ж}$ – вага жатки, кН.

$$R_i = (G_{e3} + G_{ж}) * \frac{i}{100}, \text{ кН} \quad (3)$$

Потужність, що передається на ВВП для причіпних жаток $N_{ВВП} = (0,45-0,59) B_k$, кВт, де B_k – конструкційна ширина захвата жатки);

Робоча швидкість жаткового агрегату V_p повинна забезпечуватися потужністю двигуна:

$$V_p \leq \frac{(N_e^H * \xi - \frac{N_{ВВП}}{\eta_{ВВП}}) * 3,6 * \eta_{тр} * \eta_6}{R}, \text{ км/год.}, \quad (4)$$

Агротехнічно допустима робоча швидкість жаткового агрегату повинна бути в межах 6 – 10 км/год.

Зернозбиральні комбайни. Швидкість руху машин, які характеризуються пропускною здатністю їх робочих органів, визначаються, виходячи із цього параметра та енергетичною можливістю двигуна:

$$V_p = \frac{N_e^H * \xi_{\phi} - N_{хр} * Q_m}{\frac{G_e * f}{\eta_{тр} * \eta_6} + 0,01 * N_{Q_m} * B_{рж} * Y_{рм}}, \text{ м/с}, \quad (5)$$

де N_e^H – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт;

$N_{хр}$ – питома потужність на холостий привод робочих органів, кВт*с/кг;

Q_m – розрахункова пропускна здатність молотарки комбайна при еталонному співвідношенні зерна до соломи 1:1,5;

G_e – експлуатаційна (повна) вага комбайна, кН;

$\eta_{тр}$ – ККД трансмісії комбайна;

N_{Q_m} – питома приведена потужність на одиницю пропускної здатності, кВт*с/кг;

η_6 – ККД буксування;

$B_{рж}$ – робоча ширина захвата жатки, м;

$Y_{рм}$ – врожайність рослинної маси, ц/га.

Дійсні значення $N_{хр}$ та N_{Q_m} визначаються для кожної моделі комбайна тензометруванням. Для зернозбиральних комбайнів класичної схеми обмолоту $N_{хр} = (1,8-2,2)$ кВт*с/кг; $N_{Q_m} = (0,52-0,59)$ кВт*с/кг.

Якщо швидкість руху перевищує агротехнічно допустимий діапазон, то її треба зменшити так, наскільки дозволяє пропускна здатність:

$$V_p = \frac{10 * Q_m}{B_{рж} * Y_3 * (1 + \delta_c)}, \text{ м/с}, \quad (6)$$

де Q_m – можлива в даних умовах пропускна здатність комбайна, кг/с;

Y_3 – врожайність зерна, т/га;

δ_c – соломістість рослинної маси (відношення маси соломи до маси зерна).

Можлива пропускна здатність молотарки Q_m в залежності від соломістості розраховується за формулою:

$$Q_m = 0,6 Q_H \left(1 + \frac{1}{\delta_c} \right), \text{ кг/с} \quad (7)$$

На підбиранні валків швидкість руху комбайна визначається за формулою:

$$V_p = \frac{Q_m}{q_B}, \text{ м/с}, \quad (8)$$

де q_B – маса одного метра валка, кг/м.

$$q_B = \frac{Y_{рм} * B_{рж}}{10}, \text{ кг/м} \quad (9)$$

З одного боку очевидно, що маса одного метра валка («потужність валка») повинна бути такою, щоб повне завантаження молотарки комбайна здійснювалось при швидкості його руху в межах 4-8 км/год. Зрозуміло, що швидкість повинна бути якомога ближче до меншого значення, оскільки при цьому показники використання комбайна будуть кращі через зменшення часу на непродуктивну роботу.

З іншого боку велика маса валка може уповільнити час його просихання, а значить і збільшити кількість втрати зерна, а можливо і його якісні показники.

Тому при формуванні валка треба зважувати стан рослинної маси на полі та погодні умови, які складаються на час збирання.

Фактичні затрати часу при проведенні механізованих польових робіт залежать від багатьох факторів. Суттєвий вплив на виробіток машинних агрегатів мають: технічний стан енергетичних засобів і робочих машин, кліматичні, природні і ґрунтові умови, вирощувані культури, сорт, склад агрегату, довжина гонів, організація робіт при проведенні технологічних операцій.

Коефіцієнт використання часу зміни, τ :

$$\tau = \frac{T_p}{T_p + T_{хх} + T_3}, \quad (10)$$

де T_p , $T_{хх}$, T_3 – тривалість відповідно чистої (основної) роботи, холостих поворотів, зупинок через порушення технологічного процесу, год.

Продуктивність за 1 год. змінного часу, $\omega_{зм}$, га/год.:

$$\omega_{зм} = 0,1 * V_p * V_p * \tau \quad (11)$$

де V_p – середнє арифметичне значення робочої ширини захвату жатки, м,

V_p – середнє арифметичне значення робочої швидкості агрегату, км/год.

Змінна продуктивність, $W_{зм}$, га:

$$W_{зм} = \omega_{зм} * T_{зм}, \quad (12)$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни, год.,

Потужність, що затрачується на роботу агрегату, N_e , кВт.

$$N_e = \frac{k * B_{рж} * V_p}{3,6} + N_{ВВП} + \frac{(G_T + G_{ж}) * f * V_p}{3,6 * \eta_{\delta} * \eta_{тр}}, \quad (13)$$

Де k – питомий опір жатки при скошуванні стеблостою, кН/м. В даній ситуації можна брати максимальне значення $k = 1,5$ кН/м;

$N_{ВВП}$ – потужність на привод механізмів жатки, кВт. Із довідкової літератури $N_{ВВП} = 2,9$ кВт;

G_T – експлуатаційна вага трактора, кН, $G_T = 40$ кН;

$G_{ж}$ – конструкційна вага жатки, кН, $G_{ж} = 14$ кН;

f – коефіцієнт опору перекочуванню. На перезволоженому ґрунті можна прийняти $f = 0,12$;

η_{δ} – ККД буксування. При буксуванні рушіїв трактора 12% $\eta_{\delta} = 0,88$;

$\eta_{\text{ТР}}$ - ККД трансмісії. Для колісних тракторів $\eta_{\text{ТР}} = 0,92$.

Коефіцієнт завантаженості двигуна, $\xi_{\text{ДВ}}$:

$$\xi_{\text{ДВ}} = \frac{N_{\text{е}}}{N_{\text{ен}}}, \quad (14)$$

де $N_{\text{ен}}$ – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт.

Погектарна витрата палива, $G_{\text{га}}$, кг/га:

$$G_{\text{га}} = \frac{N_{\text{е}}^{\text{н}} \cdot g \cdot \xi_{\text{ДВ}}}{1000 \cdot \omega_{\text{ЗМ}}}, \quad (15)$$

де g – питома витрата палива двигуном, г/кВт*год.

Визначення техніко-економічних показників машинних агрегатів

При оцінці ефективності використання МА, пов'язаного з виконанням польових механізованих робіт, використовують головним чином один критерій оптимізації – приведені питомі витрати, які включають в себе прямі експлуатаційні витрати та ефективність капіталовкладень.

Прямі експлуатаційні витрати коштів передбачають визначення таких показників:

- відрахування на реновацію (накопичення коштів для заміни зношеної або застарілої техніки);
- відрахування на підтримання робоздатності машин (проведення планових технічних обслуговувань, поточних ремонтів при появі такої необхідності);
- витрату коштів на оплату працівників на обслуговуванні МА;
- витрату коштів на придбання паливно-мастильних матеріалів (ПММ).

При визначенні рівня ефективності використання нових машин, коли потрібно врахувати нинішні та минулі уречевлені витрати, розрахунки показників порівнювальних агрегатів ведуть за приведеними витратами. В даному випадку формулу цілі математично можна виразити наступною формулою:

$$P_{\text{МА}} = f(C_{\text{пум}}, K_{\text{вк}}) \rightarrow \min \quad (16)$$

де $P_{\text{МА}}$ – питомі приведені витрати на машинний агрегат, грн./га (т, т·км);

$C_{\text{пум}}$ – питомі прямі експлуатаційні витрати, грн./га (т, т·км);

$K_{\text{вк}}$ – капітальні вкладення, пов'язані з придбанням технічних засобів, грн/га (т, т·км).

Прямі питомі експлуатаційні витрати визначають за формулою:

$$C_{\text{пум}} = C_{\text{оп}} + C_{\text{ПММ}} + C_{\text{Р}} + C_{\text{ТО}}, \quad \text{грн./га}, \quad (17)$$

де $C_{\text{оп}}$ – оплата праці обслуговуючого МА персоналу з нарахуваннями на соціальні потреби, грн/га;

$C_{\text{ПММ}}$ – вартість витрачених паливно-мастильних матеріалів, грн/га;

$C_{\text{Р}}$ – відрахування на реновацію технічних засобів, які входять до складу МА, грн./га;

$C_{\text{ТО}}$ – відрахування на поточний ремонт (ПР) та технічне обслуговування (ТО), грн/га.

Витрата коштів, пов'язаних з оплатою праці обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{оп}} = C_{\text{о}} + C_{\text{д}} + C_{\text{сз}}, \quad \text{грн./га}, \quad (18)$$

де $C_{\text{о}}$ – основна заробітна плата, грн./га,

$C_{\text{д}}$ – додаткова заробітна плата, грн./га,

$C_{\text{сз}}$ – відрахування на соціальні заходи, грн./га.

$$C_{\text{о}} = \frac{m_1 \cdot \Pi_1 + m_2 \cdot \Pi_2 + \dots + m_6 \cdot \Pi_6}{\omega_{\text{ЗМ}}}, \quad \text{грн./га}, \quad (19)$$

де m_1, m_2, \dots, m_6 – кількість робітників, які обслуговують МА окремо по кожній кваліфікації (розряду);

$\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_6$ – оплата праці за годинну норму виробітку робітника і-ї кваліфікації від першого до шостого розряду, грн./год.;

$\omega_{\text{ЗМ}}$ – продуктивність за 1 годину змінного часу, га/год.

$$C_{\text{д}} = C_{\text{о}} \cdot k_{\text{Зп}}, \quad \text{грн./га}, \quad (20)$$

де $k_{\text{Зп}}$ – плановий коефіцієнт нарахування додаткової заробітної плати, %.

$$C_{\text{сз}} = \text{ПФ} + \text{ФСС} + \text{ФЗ}, \quad \text{грн./га}, \quad (21)$$

де $\text{ПФ}, \text{ФСС}, \text{ФЗ}$ – відрахування відповідно в пенсійний фонд, фонд соціального страхування та фонд зайнятості, грн./га.

$$C_{\text{сз}} = \text{ФОП} (k_{\text{пф}} + k_{\text{фсс}} + k_{\text{фз}}) / 100, \quad \text{грн./га}, \quad (22)$$

де $k_{\text{пф}}$ – коефіцієнт відрахування в пенсійний фонд, ($k_{\text{пф}} = 32,3\%$),

$k_{\text{фсс}}$ – коефіцієнт відрахування у фонд соціального страхування, ($k_{\text{фсс}} = 2,9\%$),

$k_{\text{фз}}$ – коефіцієнт відрахування у фонд зайнятості, ($k_{\text{фз}} = 1,6\%$),

ФОП – фонд заробітної плати, грн./га.

$$\text{ФОП} = C_{\text{о}} + C_{\text{д}}, \quad \text{грн./га} \quad (23)$$

Вартість паливно-мастильних матеріалів визначається за формулою:

$$C_{\text{ПММ}} = \underline{C}_k \cdot G_{\text{га}} = k_{\text{ц}} \cdot \underline{C}_{\text{дл}} \cdot G_{\text{га}}, \quad \text{грн./га}, \quad (24)$$

де \underline{C}_k – комплексна ціна палива, грн/кг;

$G_{\text{га}}$ – погектарна витрата палива, кг/га;

$k_{\text{ц}}$ – поправочний коефіцієнт на ціну палива;

$\underline{C}_{\text{дл}}$ – ціна дизельного палива або бензину, грн/кг.

Комплексна ціна одиниці маси палива враховує крім основного палива витрати на моторні, трансмісійні, індустриальні, пластичні, консерваційні мастила. Це здійснюється шляхом введення поправочного коефіцієнта $k_{\text{ц}}$ до ціни на основне паливо [7] .

Якщо, наприклад, ціна дизельного палива на ринку нафтопродуктів дорівнює $\underline{C}_{\text{дл}} = 20$ грн/кг, то комплексна ціна паливно-мастильних матеріалів для зернозбиральних комбайнів складе $\underline{C}_k = 1,307 \cdot 20 = 26,14$ грн./кг.

Зважаючи на те, що капітальні ремонти в сучасних умовах не виконуються, то амортизаційні відрахування складаються тільки з відрахувань на реновацію, кошти з яких потрібні на заміну технічних засобів на більш досконалі або рівнозначні.

Відрахування на реновацію машин в агрегаті визначають загальною формулою:

$$C_{\text{Р}} = \frac{1}{100 \cdot \omega_{\text{ЗМ}}} \left(\frac{B_{\text{Т}} \cdot a_{\text{Р}} \cdot T}{T_{\text{Т}}} + \frac{B_{\text{М}} \cdot n_{\text{М}} \cdot a_{\text{Р}} \cdot M}{T_{\text{М}}} \right), \quad \text{грн./га}, \quad (25)$$

де $B_{\text{Т}}$, $B_{\text{М}}$ – балансова вартість відповідно трактора, робочої машини, %;

$a_{\text{Р}} \cdot T$, $a_{\text{Р}} \cdot M$ – норма відрахування на реновацію відповідно трактора, робочої машини, %;

T_T, T_M – нормативне річне завантаження відповідно трактора, робочої машини, год.;

n_M – кількість робочих машин в складі агрегату.

Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування визначається за формулою:

$$C_{ТО} = \frac{1}{100 \cdot \omega_{зм}} \left(\frac{B_T \cdot a_{ТО T}}{T_T} + \frac{B_M \cdot n_M \cdot a_{ТО M}}{T_M} \right), \text{ грн/га}, \quad (26)$$

де $a_{ТО T}, a_{ТО M}$ – норма відрахування відповідно на трактор, робочу машину, %.

Питомі приведені витрати на машинний агрегат визначаються за формулою:

$$n = C_{пит} + E \cdot K_{вк}, \text{ грн/га}, \quad (27)$$

де E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень ($E=0,15$);

$K_{вк}$ – величина питомих капітальних вкладень.

Капітальні вкладення визначаються за формулою:

$$K_{вк} = \frac{1}{\omega_{зм}} \left(\frac{B_T}{T_T} + \frac{B_M \cdot n_M}{T_M} \right), \text{ грн/га}, \quad (28)$$

Найбільш економічно доцільним в застосуванні в конкретних умовах є той машинний агрегат, у якого приведені витрати найменші.

Дано порівняльну оцінку технологіям методом математичного моделювання

Вихідні дані для розрахунків:

1. Поле прямокутної форми площею 100 га.
2. Гречка сорту Ярославна 3 врожайністю зерна 20 ц/га.
3. Соломистість рослинної маси (відношення маси соломи до маси зерна) – 2,0.
4. Склади машинних агрегатів:
 - обприскування посівів: трактор МТЗ-82.1; обприскувач ОПК-800-12; скошування маси у валки: трактор МТЗ-82.1; жатка ЖВП-4,9;
 - зернозбиральний комбайн «Палессе» GS-812, обладнаний підбирачем валків ПЗ-3,4-01.

Техніко-експлуатаційні показники, визначені аналітичним шляхом та за результатами експериментальних досліджень, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Техніко-експлуатаційні показники використання машинних агрегатів

Технологічна операція	Склади агрегатів	Продуктивність за 1 год. змінного часу, $\frac{\text{га/год}}{\text{т/год}}$	Витрата палива, $\frac{\text{кг/га}}{\text{кг/т}}$
1. Обприскування	МТЗ-82.1+ОПК-800-12	11,0	0,34
2. Скошування в валки	МТЗ-82.1+ЖВП-4,9	2,4	2,7
3. Збирання:			
- роздільним способом	GS-812+ПЗ-3,4-01	$\frac{3,4}{6,8}$	$\frac{5,9}{3,0}$
- пряме комбайнування	GS-812	$\frac{3,4}{6,8}$	$\frac{5,4}{2,7}$

Результати математичного моделювання порівняльної оцінки комплексів машин.

Техніко-економічні показники комплексів машин для збирання гречки за різними технологіями наведені в табл. 2.

Як видно із таблиці 2 по критеріях прямих експлуатаційних та приведених витрат більш економічною є технологія, яка передбачає десикацію посівів. В порівнянні з технологією, яка передбачає скошування гречки в валки, вона має перевагу в 157 грн/га, а в розрахунку на всю площу – 15720 грн.

Але треба мати на увазі, що обов'язковою умовою при використанні першої технології є обладнання навігаційною

системою для забезпечення точності стикових проходів агрегату і недопущення огрівів (на них комбайни заб'ються миттево) та надлишкового нанесення робочої рідини на рослини в зоні перекриття робочих проходів агрегату. В цій ситуації рушіями трактора приминається близько 12% посівів (по чотири рядки на кожному проході). Це означає перевитрати на насіння при його ціні 8 тис.грн. за одну тону при нормі висіву 100 кг/га складають 96 грн/га, а недоотримання коштів від втраченого зерна при ціні 3 тис.грн. за 1 тону та врожайності 20 ц/га складе 720 грн/га. Через втрати зерна на насіння збитки складуть в сумі 816 грн/т, а на всю площу посіву 81,6 тис.грн.

Таблиця 2 – Техніко-економічні показники використання комплексів машин

Показники	Комплекси машин різних варіантів технологій	
	Проектна технологія: МТЗ-82.1+ОПК-800-12+ GS-812	Традиційна технологія: МТЗ-82.1+ЖВП-4,9+ GS-812+ПЗ-3,4-0,1
1. Капітальні вкладення, грн/га	1046	1095
2. Відрахування на реновацію, грн/га	261,6	317,3
3. Відрахування на поточний ремонт та технічне обслуговування, грн/га	154,8	162,1
4. Оплата праці, грн/га	11,2	19,0
5. Витрати на паливо, грн/га	81,1	111,8
6. Прямі питомі експлуатаційні витрати, грн/га	508,7	610,2
7. Приведені витрати, грн/га	792,3	949,5

Як показали польові спостереження, втрати зерна при скошуванні жаткою в валки і їх підбиранні комбайном не перевищують 3%(якщо не порушені агротехнічні вимоги), але

зовсім не відомі втрати зерна при прямому комбайнуванні посівів після десикації. Можна стверджувати апіорі, що вони будуть не меншими. Виробничі моменти в процесі проведення досліджень представлені на рисунках 1-3.



Рис.1 – Посіви гречки до обробітку хімічними препаратами



Рис.2 – Посіви гречки після обробітку хімічними препаратами



Рис.3 – Замір параметрів колії

Є ще одна деталь не на користь першої технології – витрата коштів на придбання десикантів. Вони складають від 160 до 336 грн/га в залежності від типу препаратів та норми внесення.

Висновки.

1. Балансова вартість комплексів машин, що забезпечують реалізацію обох варіантів технологій, практично однакова. Різниця складає 53 грн/га.

2. Витрати на паливо при застосуванні традиційного варіанту технологій більші в 1,4 рази в порівнянні з альтернативним.

3. Собівартість збирання гречки традиційним способом, визначена за прямими експлуатаційними витратами, на 20 % вища ніж проектного (950 проти 792 грн/га).

4. Традиційна технологія не передбачає внесення будь – яких препаратів впливу на стан рослин на корені, а другий – внесення десикантів, на які потрібно витратити 160 – 336 грн/га в залежності від виробничих обставин.

5. Втрати зерна від застосування традиційного варіанту технологій будуть в межах агрономічного (не більше 3 %). Експериментальний варіант технологій допускає механічні втрати зерна та насіння на суму приблизно 800 грн/га. Для

встановлення величини технологічних втрат зерна під дією робочих органів жатки комбайна для експериментального варіанту технологій необхідно провести додаткові експериментальні дослідження.

6. Якщо мати на увазі, що гречана крупа повинна використовуватись для дієтичного харчування, то проектний варіант технологій скоріше всього не має права на існування.

Список використаної літератури.

- 1.Ефименко Д.Я., Барабаш Г.И. /Гречиха. – М.: Агропромиздат, 1990.-192 с., ил.
- 2.Мельник І.І., Тивоненко І.Г., Фришев С.Г. та ін. Інженерний менеджмент / За ред. І.І.Мельника. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2007.- 536 с.
3. Г.І. Барабаш, М.О. Мікуліна / Залежність техніко-економічних показників використання зернозбиральних комбайнів від рівня врожайності озимої пшениці // Вісник Сумського Національного Аграрного Університету, серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». – 2019. – №3 (37). - С. 31-33
- 4.Орманджи К.С. Методика разработки операционной технологии механизированных полевых работ//К.С.Орманджи, Ю.К.Киртбая, Г.И.Барабаш.- М.:ПМУ ЦОПКБ ВИМ, 1982.- 192 с.
- 5.Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М.: Колос, 1971.- 248 с.(Вып.1).
6. М.О. Мікуліна, Г.І. Барабаш / Вплив типу рушія трактора на показники використання орних агрегатів плугів, // Збірник тез доповідей по матеріалах 25-ї міжнародної наукової конференції «Технологии XXI века», (15-20 вересня 2019 р., м. Суми, м. Одеса)/ ч.1. - Суми: СНАУ, 2019. С.-35
7. Г.І. Барабаш, М.О. Мікуліна / Залежність техніко-експлуатаційних показників орних агрегатів // Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні моделі розвитку агропромислового виробництва : виклики та перспективи», Випуск 2 Глухів : ГАТІ ім. С.А. Ковпака СНАУ, 2019. С. 10-16

Mikulina M.A., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Polyvanyi A.D., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Research the need for improvement of the technological processes of cleaning bucket

The article presents a comparative technical and operational and technical and economic evaluation of buckwheat harvesting technologies, one of which involves pre-spraying crops with desiccants to further ensure direct combining, and the second - pre-mowing crops in rolls, followed by their selection and threshing.

The problem in general form. The problem is to determine a more rational version of buckwheat harvesting technologies, the alternative of which is between a separate (two-phase) method of harvesting and direct combining, given that grain groats of this crop are used for dietary nutrition.

Formulation of research goals. Establishment of analytical indicators of the use of machine units, which are used in the technological processes of harvesting buckwheat and which would make it possible to determine more rational schemes for harvesting this crop.

Despite the high value, buckwheat grain production in Ukraine is not at the proper level: grain yield is low, losses during harvesting are large, and the cost is high, which is subsequently reflected in the price of buckwheat. Solving the problem of significantly increasing the production of buckwheat by increasing yields and reducing the cost of work on growing buckwheat is relevant today.

As you know, until recently, almost everywhere used traditional and non-alternative technology of harvesting buckwheat, which involved mowing the plant mass (stems, leaves, inflorescences, grain) in rolls, and after drying to harvest moisture (stem moisture 18-20%) picking and threshing rolls.

For an objective and reliable assessment of technology it is necessary to have information about the technological capabilities of machines, their prices to form the necessary rational set of machines, to have a method of comparative evaluation of typical and alternative technology of buckwheat harvesting.

Theoretical prerequisites for determining the use of machine units

Reaper units. The traction resistance of reaper units, which are traction-driving machines, is the sum of the traction resistance of the reaper and the traction force that could be further developed by a tractor or other energy source due to the power expended through GDP.

Key words: buckwheat, harvesting, alternative technologies, machine complexes, indicators of use, qualitative indicators, economic efficiency.

Дата надходження до редакції: 23.02.2021

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДНО – РОЗРАХУНКОВОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КУТОВОЇ ЖОРСТКОСТІ ШПАРИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ

Горовий Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORSID: <https://orcid.org/0000-0003-4136-5965>

e-mail: gorovyj64@gmail.com ,

sergiy.gorovoy@snau.edu.ua

Анотація. Гідродинамічні сили в шпаринних ущільненнях відцентрових насосів створюють істотний вплив на вібраційну активність ротора в цілому. Теоретичні й експериментальні дослідження різних авторів дозволили встановити структуру гідродинамічних сил і визначити величину коефіцієнтів радіальних сил. На спеціально створених лабораторних дослідних установках були отримані кількісні навантажувальні характеристики ротора в шпаринному ущільненні при різних перепадах тиску й значних кутах перекоосу вісі ротора щодо вісі ущільнення. Також були проведені статичні експерименти із шпаринними ущільненнями різної довжини при сталому перепаді тиску рідини й фіксованому куті перекоосу вісі ротора щодо вісі шпаринного ущільнення. Заданий кут перекоосу отримувався внаслідок дії на ротор різних за величиною зовнішніх сил. Згідно теоретично отриманих формул були побудовані залежності коефіцієнта кутової жорсткості шпаринного ущільнення від перепаду тиску та довжини шпаринного ущільнення. Порівняння теоретичних та дослідно – розрахункових залежностей вказує на їхній гарний кількісний збіг.

Ключові слова. Відцентровий насос, ротор насоса, шпаринне ущільнення, виток рідини, тиск рідини, ексцентриситет ротора, кут перекоосу ротора, гідродинамічні сили.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.6>

Постановка проблеми в загальному вигляді. Відцентрові насоси знайшли широке застосування в різних галузях господарства від атомної енергетики до сільськогосподарських виробництв і комунальних підприємств. За статистичними даними, саме гідромеханічна система “ротор – шпаринне ущільнення” створює понад 70 % усіх аварій відцентрових насосів (злам ротора, зачіпання його за статорні втулки шпаринних ущільнень, ушкодження втулок ущільнень, зношування останніх і т.п.) [1]. Гідродинамічні сили в зазорах безконтактних ущільнень можуть створювати втрату динамічної стійкості й руйнівні для насосів автоколивання ротора. І ці ж сили можуть стабілізувати ротор, суттєво знизивши його вібраційну активність. Саме гідромеханічна система “ротор – шпаринне ущільнення” впливає на працездатність усього відцентрового насоса [2, 3].

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Фундаментальне відображення методології розрахунку гідродинамічних параметрів безконтактних ущільнень одержало в роботах професора В. А. Марцинковського [2, 3, 4, 5]. Були отримані аналітичні лінеаризовані вирази коефіцієнтів радіальних сил у шпаринному ущільненні для ламінарної й турбулентної течії в'язкої нестисненої рідини в короткій кільцевій шпарині ($l < r$, тобто довжина шпарини менше її радіуса) з врахуванням конусності зазору й перекоосу вісей роторної й статорної втулок ущільнення. Внаслідок перекоосу вісей змінюється сумарний ексцентриситет ротора, що враховується добавками до радіальних сил через додаткові коефіцієнти. Також було вказано на те, що дія циркуляційної сили може привести до втрати ротором динамічної стійкості, що супроводжується автоколиваннями зі значною амплітудою.

Теоретичні й експериментальні результати досліджень радіальних сил у випадку турбулентної течії рідини в коротких шпаринних ущільненнях відображені в роботах А. М. Гулого [6], І. М. Бєди [7]. Отримані цими вченими вирази для коефіцієнтів радіальних гідродинамічних сил у шпаринних ущільненнях дають результати досить близькі до розра-

хунків по теоретичних залежностях, які були отримано в роботі [8].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). У даній роботі поставлене завдання дослідно – розрахунковим шляхом одержати кількісні значення коефіцієнта кутової жорсткості шпаринного ущільнення для різних величин перепаду тиску на ущільненні. Також одержати залежності коефіцієнта кутової жорсткості від довжини ущільнення. Провести співставлення результатів розрахунків згідно теоретично отриманих виразів для коефіцієнта кутової жорсткості з результатами вимірів на спеціально створених дослідних установках.

Виклад основного матеріалу дослідження. З урахуванням загального підходу Марцинковського В. А. автором даного дослідження були отримані вирази для проєкцій гідродинамічної сили на вісі нерухомої системи координат, як функції ексцентриситету ротора і його кутових переміщень. Вирази для проєкцій сил представлені в компактній матричній формі [8]:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} K_s & \omega q \\ -\omega q & K_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b & \omega q \\ -\omega q & b \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} m_* & 0 \\ 0 & m_* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{K}_s & \omega \bar{q} \\ -\omega \bar{q} & \bar{K}_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_y \\ v_z \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} \bar{b} & \omega \bar{q} \\ -\omega \bar{q} & \bar{b} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{v}_y \\ \dot{v}_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \bar{m}_* & 0 \\ 0 & \bar{m}_* \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \ddot{v}_y \\ \ddot{v}_z \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

де радіальні й **кутові** (зі штрихом зверху) коефіцієнти сил:

$$\begin{aligned} K_s &= (2h_0)^{-1} \pi r l \Delta P (\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1^2 + \alpha_2^2), \\ \bar{K}_s &= (4h_0)^{-1} \pi r l^2 \Delta P \times \\ &\times \left[1 + \alpha_1 - \alpha_2 - 2(\alpha_1^2 + \alpha_2^2) - 4\alpha_1\alpha_2 + (\alpha_1 + \alpha_2)4K(\xi_0)^{-1} \right], \end{aligned}$$

$b, m_*, \bar{b}, \bar{m}_*, g = m_*, \bar{g} = \bar{m}_*, q = 0,5 \cdot b, \bar{q} = 0,5 \cdot \bar{b}$ - коефіцієнти наведені в роботі [8],

$$\xi_0 = \xi_1 - \xi_2 + \lambda l / (2h_0); \alpha_1 = \xi_1 / \xi_0; \alpha_2 = \xi_2 / \xi_0.$$

Коефіцієнт K в виразах сил дозволяє враховувати ($K=1$) або не враховувати ($K=0$) інерційні ефекти рідини в шпариннім ущільненні.

При перекосах і кутових коливаннях ротора в шпариннім ущільненні виникають кутові складові гідродинамічної сили. Їх походження пов'язане з деформацією епюри тиску в ущільненні, обумовлену кутовими переміщеннями вала в шпариннім ущільненні. Такий поділ гідродинамічної сили на

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega}{2} \cdot \alpha_v & \alpha_e \\ \alpha_e & -\frac{\omega}{2} \cdot \alpha_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \alpha_v \\ \alpha_v & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_v & -\frac{\omega}{2} \cdot \beta_{vv} \\ \frac{\omega}{2} \cdot \beta_{vv} & \beta_v \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\beta_{vv} & 0 \\ 0 & -\beta_{vv} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v}_x \\ \dot{v}_y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де $\alpha_e, \alpha_v, \beta_v, \beta_{vv}$ - коефіцієнти наведені в роботі [9].

З отриманих аналітичних виразів (1) і (2) особливу увагу привертає коефіцієнт кутової жорсткості \bar{K}_S . Саме кутовою жорсткістю шпаринного ущільнення задається власна частота кутових коливань ротора в ущільненнях.

З метою практичного визначення коефіцієнта кутової жорсткості шпаринного ущільнення був створений експериментальний стенд. Основою експериментального стенда була дослідна головка, яка дозволила провести статичні випробування ротора в шпаринних ущільненнях (рис. 1).

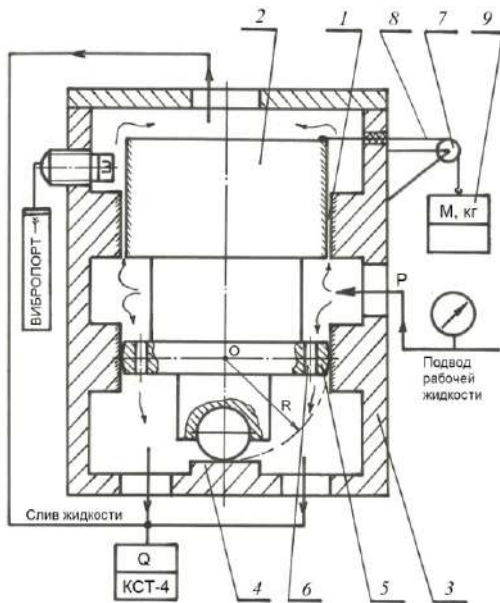


Рис. 1 - Схема гідралічної головки для статичних випробувань шпаринного ущільнення:

- 1 - шпаринне ущільнення, 2 - вал, 3 - гідралічний корпус,
- 4 - під'ятник вала, 5 - кільцева опора вала, 6 - пропускні отвори, 7 - блок, 8 - тросик, 9 - вантаж,
- 10 - датчик переміщення.

На експериментальній головці мал. 1 були зроблені непрямі виміри коефіцієнта кутової жорсткості шпаринного ущільнення відповідно до силової схеми навантаження вала (рис. 2).

кутові й залежні від ексцентриситету складові можливо, оскільки вони є функціями незалежних параметрів - ексцентриситету й кутів перекоосу ротора в ущільненні. Оскільки епюри тиску вздовж вісі шпаринного ущільнення для всіх складових гідродинамічних сил змінюються або по лінійному, або за параболічному законам [4, 6], то перенос рівнодіючих у серединний перетин шпаринного ущільнення породжує моменти сил щодо вісей x і y , що проходять через центр цього перетину. В роботі [9] були отримані вирази для моментів пружної, демпфуючої й циркуляційної сил, породжених як ексцентриситетом, так і перекоосом вісі ротора в шпариннім ущільненні.

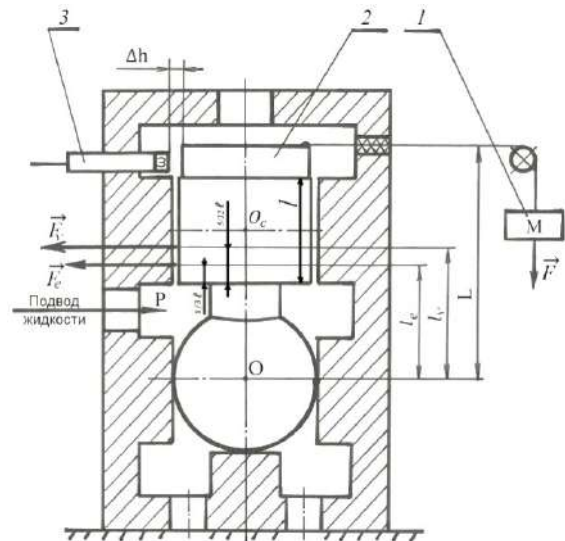


Рис. 2 - Силову схему навантаження вала:
1 - вантаж масою M , 2 - вал, 3 - датчик переміщення.

Пружна гідростатична сила в шпариннім ущільненні виникала як реакція рідинного шару в шпариннім ущільненні на статичне навантаження вала при його кутовому переміщенні внаслідок малого повороту навколо центру O . Тароване навантаження досягалося за допомогою вантажу 1, сила ваги якого через тросик прикладалася до вала 2. Переміщення вала Δh , яке в цьому випадку характеризує реакцію рідинного шару шпаринного ущільнення довжиною l на зовнішню силу F , вимірялося датчиком переміщення 3. Теоретичні й експериментальні дослідження [6, 7, 8] по визначенню коефіцієнта радіальної гідростатичної жорсткості шпаринного ущільнення дають досить подібні між собою результати. Це дозволяє використовувати коефіцієнт радіальної гідростатичної жорсткості як розрахункову константу при визначенні коефіцієнта кутової жорсткості шпаринного ущільнення.

Коефіцієнт кутової жорсткості отримувався дослідно - розрахунковим шляхом, виходячи з умови рівноваги вала під дією моментів сил щодо центру повороту - центру O (рис. 2):

$$-F \cdot L + F_v \cdot l_v + F_e \cdot l_e = 0, \quad (3)$$

де F - сила зовнішнього навантаження;

F_e - рівнодіюча сила радіальної жорсткості шпаринного

ущільнення;

F_v – рівнодіюча сила кутової жорсткості шпаринного ущільнення;

l_e – плече радіальної сили F_e щодо центру O ;

l_v – плече кутової сили F_v щодо центру O .

Геометричні розміри шпаринного ущільнення (рис. 1):

$$\begin{aligned} \text{радіус ущільнення: } r &= 30 \text{ мм} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \\ \text{довжина ущільнення: } l &= 20 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \\ \text{радіальний зазор: } h_0 &= 0,2 \text{ мм} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}. \end{aligned} \quad (4)$$

Гідравлічні коефіцієнти з формул (3) за даними роботи [6] мають значення:

$$\xi_1 = 1,1; \quad \xi_2 = 0,05; \quad \lambda = 0,04. \quad (5)$$

Плече L сили зовнішнього навантаження F (рис. 2):

$$L = r + l + 15 \text{ мм} = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (6)$$

Теоретичні викладки роботи [4] дозволяють прийняти центри прикладання сил F_e і F_v на таких відстанях від вхідної частини шпаринного ущільнення довжиною l (рис. 2):

$$F_e \text{ на відстані } \frac{1}{3}l, \quad F_v \text{ на відстані } \frac{5}{12}l. \quad (7)$$

З урахуванням формули (7), рис. 1 і рис. 2, маємо вирази для OO_c , l_e , l_v :

$$OO_c = r + \frac{1}{2}l, \quad l_e = r + \frac{1}{3}l, \quad l_v = r + \frac{5}{12}l. \quad (8)$$

З урахуванням виразів (4) одержуємо числові значення для OO_c , l_e , l_v :

$$OO_c = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad l_e = 3,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \quad l_v = 3,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}. \quad (9)$$

При малому повороті навколо центру O верхній кінець вала переміщується на Δh із плечем повороту L , а центр шпаринного ущільнення O_c із плечем повороту OO_c переміщується на величину радіального ексцентриситету e_c . При цьому маємо вирази для e_c :

$$e_c = \frac{\Delta h}{L} \cdot OO_c \quad (10)$$

Кут повороту вісі вала визначається виразом:

$$\nu = \frac{\Delta h}{L}. \quad (11)$$

Величини сил F_e і F_v залежать від ексцентриситету й кута повороту вісі вала, а також від радіальної й кутової жорсткості шпаринного ущільнення з формул (3):

$$F_e = K_s \cdot e_c, \quad F_v = \bar{K}_s \cdot \nu \quad (12)$$

З рівняння (5) з урахуванням виразів (10), (11), (12) одержуємо вираз для \bar{K}_s :

$$\bar{K}_s = F \cdot L^2 \cdot (\Delta h \cdot l_v)^{-1} - K_s \cdot OO_c \cdot l_e \cdot l_v^{-1}. \quad (13)$$

Вираз для K_s з формул (3) з урахуванням геометричних і гідравлічних даних (4), (5) зручно представити у вигляді:

$$K_s = 0,857 \cdot \Delta P, \quad (14)$$

де ΔP – перепад тиску на шпариннім ущільненні в [МПа] = 10^6 Па.

Тепер перетворимо вираз (13) з урахуванням (9) і (14) до вигляду:

$$\bar{K}_s = (11,1 \cdot \left(\frac{F}{\Delta h}\right) - 3,4 \cdot \Delta P) \cdot 10^4, \quad (15)$$

де F – сила зовнішнього навантаження в [Н];

Δh – переміщення кінця вала в [мкм] = 10^{-6} м;

ΔP – перепад тиску на шпариннім ущільненні в [МПа] = 10^6 Па.

Відношення $\frac{F}{\Delta h}$ визначається за рис. 3 для кожної

експериментальної навантажувальної лінії при даному перепаді тиску на шпариннім ущільненні.

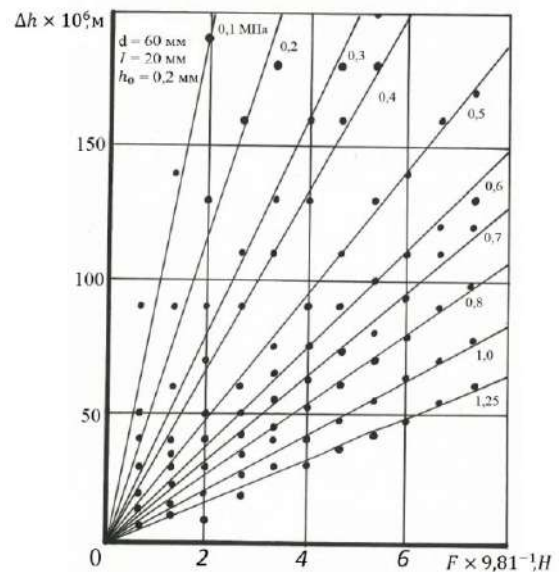


Рис. 3 – Характеристики навантаження вала

Зручно представити вираз для \bar{K}_s з формул (3) з урахуванням формул (6), (7) у вигляді:

$$\bar{K}_s = 6,06 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta P \quad (16)$$

де ΔP – перепад тиску на шпариннім ущільненні в [МПа] = 10^6 Па.

Розрахункові по формулі (16) та дослідно-розрахункові значення коефіцієнта кутової жорсткості \bar{K}_s шпаринного ущільнення по формулі (15) для різних перепадів тиску ΔP , зведено в таблицю 1.

Вигляд побудов по рис. 4 демонструє задовільний збіг дослідно – розрахункових даних з теоретичною прямою.

З метою перевірки впливу довжини гладкого шпаринного ущільнення на величину коефіцієнта кутової жорсткості \bar{K}_s ущільнення були отримані експериментальні точки силового навантаження вала 2 (рис. 1, 2) при фіксованому значенні перепаду тиску на шпариннім ущільненні: $\Delta P = 0,5 \cdot 10^6$ Па.

Таблиця 1.

$\Delta P \times 10^{-6}$, Па	$\frac{F}{h}$, МкМ	$\bar{K}_s \times 10^{-4}$, Н розрахунок (15)	$\bar{K}_s \times 10^{-4}$, Н теорія (16)
0,1	0,105	0,83	0,606
0,2	0,174	1,25	1,21
0,3	0,25	1,8	1,82
0,4	0,3	2,0	2,42
0,5	0,43	3,07	3,03
0,6	0,53	3,84	3,64
0,7	0,64	4,7	4,24
0,8	0,74	6,2	4,85
1,0	1,0	7,7	6,06
1,25	1,27	9,85	7,58

Сталий переки втулки вала 2 у шпириннім ущільненні задавався зміщенням $\Delta h = 100 \text{ мкм} = 10^{-4} \text{ м}$. (рис. 1, 2), що забезпечувалося встановленням необхідної величини сили зовнішнього навантаження F за рахунок різної величини маси M вантажу 1. Довжина l шпиринного ущільнення змінювалася через кожні 5 мм.

За даними таблиці 1 маємо залежності коефіцієнта кутової жорсткості від перепаду тиску на шпириннім ущільненні (рис. 4).

Для розрахунку величини коефіцієнта кутової жорсткості \bar{K}_s при відомій експериментальній величині сили F і довжині шпиринного ущільнення l використовувалася формула (15), у яку входили величини для OO_c , l_e і l_v з формул (10), а також K_s з формул (3).

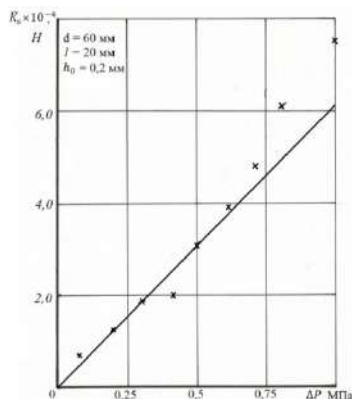


Рис. 4. Залежність коефіцієнта кутової жорсткості шпиринного ущільнення від перепаду тиску
++ - експериментально-розрахункові точки по формулі (15),
----- - теоретична розрахункова пряма по формулі (16)

Отримані теоретично – розрахункові, експериментальні й дослідно - розрахункові дані зведено в таблицю 2.

Таблиця 2.

$l \times 10^3$, м	$OO_c \times 10^3$, м	$l_e \times 10^3$, м	$l_v \times 10^3$, м	$K_s \times 10^3$, Н/м	F , Н	$\bar{K}_s \times 10^{-4}$, Н розрахунок (13)	$\bar{K}_s \times 10^{-4}$, Н теорія (3)
10	35	33,3	34,2	2,91	14	0,74	0,94
15	37,5	35	36,3	3,72	25	1,63	1,86
20	40	36,6	38,3	4,25	45	3,3	3,03
25	42,5	38,3	40,4	4,63	66	5,0	4,6
30	45	40	42,5	4,92	88	6,8	6,4

За даними таблиці 2 маємо залежність коефіцієнта кутової жорсткості від довжини шпиринного ущільнення при сталому перепаді тиску на ущільненні (рис. 5).

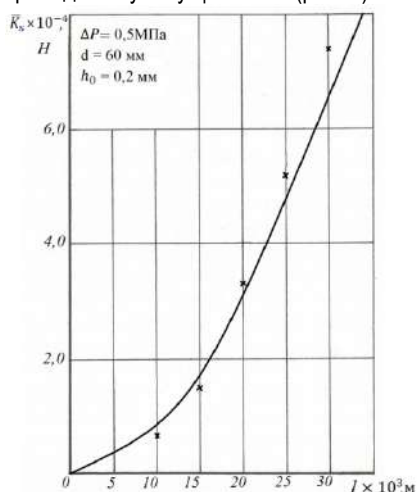


Рис. 5. Залежність коефіцієнта кутової жорсткості від довжини шпиринного ущільнення
++ - експериментально-розрахункові точки по формулі (13),
----- - розрахункова крива по формулах (3)

Вигляд побудов по рис. 5 демонструє задовільний збіг дослідно – розрахункових точок з теоретичною кривою.

Висновки з даного дослідження.

Внаслідок обробки отриманих дослідно – розрахунковим шляхом даних по визначенню коефіцієнта кутової жорсткості шпиринного ущільнення була встановлена задовільна відповідність між теоретичною й дослідно – розрахунковою залежностями для даного параметра шпиринного ущільнення як функції перепаду тиску на ущільненні. Також був отриманий задовільний збіг для теоретичної й дослідно – розрахункової залежностей коефіцієнта кутової жорсткості шпиринного ущільнення від довжини ущільнення. Отримані результати дозволяють використовувати теоретичні залежності коефіцієнта кутової жорсткості шпиринного ущільнення в інженерних розрахунках.

Список використаної літератури.

1. Гроховский Д.В. Динамика центробежных многоступенчатых насосов / Д.В. Гроховский - Обзорная информация . Сер.ХМ - 4 - М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1990. - 56 с.
2. Марцинковский В. А. Бесконтактные уплотнения роторных машин / В.А. Марцинковский - М.: Машиностроение, 1980. - 200 с.
3. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций. / В.А. Марцинковский, П.Н. Ворона - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 256 с.
4. Марцинковский В. А. Вибрации роторов центробежных машин. В 2-ух книгах. / В.А. Марцинковский - Книга 1. Гидродинамика дросселирующих каналов. - Сумы: Изд-во СумДУ, 2002. - 337 с.
5. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций. Расчет. Конструирование. Эксплуатация. / В.А. Марцинковский, С.С. Шевченко – Університетська книга, 2016. – 472 с.
6. Гулый А. Н. Разработка экспериментальных и теоретических методов анализа динамических параметров бесконтактных уплотнений / А. Н. Гулый - Дис. ...канд. техн. наук. - Сумы, 1989. - 218 с.
7. Беда И. Н. Разработка уточненной модели и исследование динамических характеристик системы ротор - щелевые уплотнения. / И. Н. Беда - Дис. ...канд. техн. наук. - М., 1992. - 192 с.
8. Горовий С.О. Розрахунок гідравлічних радіальних та кутових сил гладкого шпаринного ущільнення / С.О. Горовий // Вісник СНАУ, серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів", 2019. - № 2 (36) - С. 7-14.
9. Горовий С.О. Оціночний гідравлічний розрахунок силових моментів шпаринного ущільнення / С.О. Горовий // Вісник СНАУ, серія "Механізація та автоматизація виробничих процесів", розділ "Агротехсервіс", 2017. - № 10 (32) - С. 20 - 23.

Gorovoi S. A., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Experimental - calculated determination results angular rigidity of slot seal

Summary. *Hydrodynamic forces in throat seals of centrifugal pumps have a significant effect on the vibrational activity of the rotor as a whole. Theoretical and experimental studies of various authors made it possible to establish the structure of hydrodynamic forces and determine the values of the coefficients of radial forces. On a specially created laboratory experimental setup, quantitative loading characteristics of the rotor in a slotted seal were obtained at various pressure drops and large angles of misalignment of the rotor axis relative to the seal axis. Also, static experiments were carried out with slot seals of different lengths at a constant fluid pressure drop and a fixed angle of misalignment of the rotor axis relative to the axis of the wear seal. The specified skew angle was obtained due to the action on the rotor of various external forces in magnitude. According to the theoretically obtained formulas, the dependences of the angular stiffness coefficient of the throat seal on the pressure drop and the length of the throat seal were plotted. Comparison of theoretical and experimental - calculated dependences indicates their good quantitative agreement.*

Keywords. *Centrifugal pump, pump rotor, throat seal, fluid flow rate, fluid pressure, rotor eccentricity, rotor tilt angles, hydrodynamic forces.*

Дата надходження до редакції: 26.02.2021

ДОСВІД ВПРОВАДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО УПРАВЛІННЯ РЕГУЛЬОВАНОЮ ЗАСУВКОЮ

Глуценко Григорій Анатолійович,
Головний конструктор по науковим проектам
АТ «ВНДІАЕН» «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут
атомного та енергетичного насособудування»
ORCID 0000-0001-7382-1537
e-mail: gluschenko@vniiaen.sumy.ua

Залозний Володимир Васильович,
завідувач сектору мікропроцесорних систем управління
АТ «ВНДІАЕН» «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут
атомного та енергетичного насособудування»
ORCID 0000-0002-7031-8861
e-mail: zalozniy@vniiaen.sumy.ua

Давиденко Андрій Костянтинівич,
кандидат технічних наук, генеральний директор
АТ «ВНДІАЕН» «Науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут
атомного та енергетичного насособудування»
ORCID 0000-0001-6539-7406
e-mail: davidenko@vniiaen.sumy.ua

В статті розглянуто особливості впровадження автоматизованої системи керування процесом зняття параметрів модельних проточних елементів горизонтальних відцентрових насосів. Наведено конструктивні особливості електропривода та регулюючої засувки, які ускладнюють процес регулювання. Запропоновано спосіб подолання зони нечутливості, люфта, нелінійності характеристики регулюючого органу. Показано, що високі значення зони нечутливості, люфта, нелінійності характеристики засувки не є перешкодою для зміни подавання в малих діапазонах середовища, що перекачується. Наведено приклад подолання конструктивно обумовлених недоліків існуючої засувки за допомогою використання алгоритмів керування. Описана алгоритмічна послідовність керування засувкою.

Ключові слова: засувка, електропривод, регулюючий орган, виконавчий механізм, алгоритм регулювання, зона нечутливості, люфт, нелінійність характеристики.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.7>

Випробувальний стенд призначений для визначення параметрів модельних проточних частин горизонтальних відцентрових насосів.

Стенд забезпечує можливість проведення випробувань щодо визначення напірної та енергетичної характеристик.

Актуальність проблеми полягає в тому, що наявність перехідних процесів в динамічному режимі зміни подавань середовища, що перекачується [1] потребує детальної поточної фіксації значень контрольованих параметрів під час випробувань для надання можливості наступного більш детального аналізу отриманих даних, а також забезпечення витримання значень необхідного подавання згідно з програмою випробувань. Вирішити ці завдання можливо лише шляхом застосування АСУ для керування засувкою та збиранням та накопиченням отриманих даних.

До застосування автоматизації процес проведення випробувань відбувався вручну.

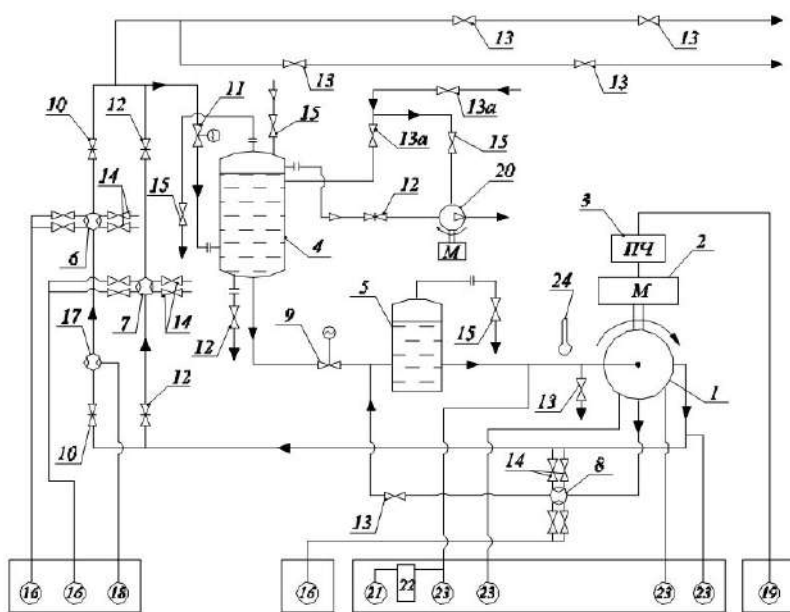
Основною метою модернізації модельного стенду було створення з урахуванням мікропроцесорного програмно-технічного комплексу автоматизованої системи управління (АСУ), що дозволяє виконувати автоматизоване зняття параметрів модельних проточних елементів горизонтальних

відцентрових насосів.

До складу стенду входять гідравлічне, силове, допоміжне обладнання та вимірювальні прилади. Гідравлічна схема стенда представлена на рис. 1. Експериментальна установка стенду працює по замкнутому контуру і складається з експериментального приладу (насоса), баків для води, системи трубопроводів і засувки.

Основним елементом стенду є експериментальний пристрій (насос).

Вимірювання параметрів ступеня, що досліджується, полягало в записі в бланк протоколу випробувань показань приладів на різних подаваннях (витратах). Подавання при цьому регулювалося електрозасувкою дистанційно, за допомогою кнопок на пульті керування на закриття («Менше») або на відкриття («Більше») засувки. Вимірювання параметрів ступеня, що досліджується, рекомендовано проводити від найбільшого подавання до найменшого. Рекомендований інтервал між подаваннями 10-12 м³/год. Після встановлення необхідного подавання витримувалася пауза 2-3 хвилини і тільки після цього в бланк протоколу випробувань записувалися вручну параметри, які контролювалися оператором візуально за показаннями приладів.



1. Експериментальний прилад (насос)
2. Електродвигун
3. Перетворювач частотний
4. Бак нагрівний
5. Бак заспокійник (кавітаційний)
6. Витратомірний пристрій Ду150
7. Витратомірний пристрій Ду100
8. Витратомірний пристрій Ду50
9. Засувка з електроприводом Ду300
10. Засувка Ду150
11. Засувка з електроприводом Ду150
12. Засувка Ду100
- 13, 13а. Вентиль Ду50
14. Вентиль запірний сталевий
15. Вентиль Ду15
16. Дифманометр
17. Перетворювач первинний вимірювальний (ВЛР)
18. Лічильник ріднини (ВЛР)
19. Моментомір
20. Вакуумний насос
21. Вакуумметр
22. Кавітаційний бачок
23. Манометр
24. Термометр

Рис. 1 – Гідралічна схема станда

У процесі проведення випробувань у бланк протоколу заносили наступні показання приладів:

- значення подавання в м³/год (дисплей приладу ВЛР 2304А);
- значення тиску на вході та виході з насоса в поділах (манометри);
- значення тиску на вході та виході з проміжного ступеня в поділах (манометри);
- значення витoku через розвантажувальний пристрій у поділах (дифманометр);
- значення моменту в Н·м (дисплей моментоміра);
- значення потужності в кВт (дисплей моментоміра);
- значення частоти обертання об/хв (дисплей моментоміра).

Після завершення процесу зняття показань дані переносилися з протоколу випробувань до спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) для подальшої обробки та побудови графічних характеристик.

Головним регулюючим органом (РО), що забезпечує вимірювання параметрів досліджуваного ступеня, є засувка клинова літа Дн 150, Рн 25 кгс/см² з багатооборотним електроприводом для регулюючої та запірної арматури з блоком управління СЕ.БР-300/34. Електропривод дозволяє виконувати дистанційне та місцеве управління засувкою, у тому числі такі функції:

- переміщення РО у системах автоматичного регулювання технологічними процесами відповідно до командних сигналів, що надходять від зовнішніх керуючих пристроїв. У якості командного сигналу може бути використаний як аналоговий струмовий сигнал в діапазоні 4-20 мА, так і дискретні сигнали на відкриття/закриття засувки;
- переміщення РО з командними сигналами від блоку місцевого управління;
- переміщення РО за допомогою ручного дублера (маховика) на електроприводі;
- сигналізацію досягнення крайніх положень запірної пристрою арматури;

- видачу уніфікованого струмового сигналу положення вихідного валу 4-20 мА;
- місцевий індикатор положення РО на цифровому LED дисплеї (0-100 %).

Налаштування функцій керування, реєстрації даних та інших параметрів виконується пультом дистанційного керування на цифровому дисплеї [2].

Створена АСУ здійснює забезпечення необхідного подавання шляхом керування електрозасувкою, а також фіксування необхідних показань датчиків та перетворювачів.

В результаті проведення випробувань АСУ дозволяє отримати масив усереднених вимірних значень параметрів як таблиці вибірок у файлі формату Excel. В отриманому файлі виконується обчислення розрахункових параметрів, наведених параметрів та побудова графічних діаграм (характеристик напору, потужності та ККД).

АСУ також за результатами роботи надає текстовий файл, що містить посекундні значення десяти попередньо сконфігурованих параметрів системи. Це дає можливість за необхідності провести подальший детальний аналіз поточних значень обраних параметрів протягом усього процесу зняття характеристик.

Застосування АСУ дозволяє:

- формалізувати процес зняття характеристик;
- збільшити точність фіксованих вимірів;
- зменшити час випробувань.

АСУ реалізована на базі промислового контролера (PLC) фірми Siemens SIMATIC 1200 із використанням операторської панелі HMI KTP900 Basic PN. Для вирішення поставленого завдання було придбано перетворювачі тиску вимірювальні AIP - 20/M2-N, виготовлено та змонтовано колонку манометрову. Для отримання значень інших параметрів використовуються наявні датчики та перетворювачі.

АСУ забезпечує керування електрозасувкою в наступних режимах:

1. Дистанційний – оператор може змінювати положення засувки традиційним способом, за допомогою кнопок «Більше», «Менше» на пульті управління.

2. Ручний – положення засувки у відсотках визначається на операторській панелі.

3. Автоматичний – АСУ переміщує засувку відповідно до алгоритмів програми.

Для виконання поставленого завдання важливо забезпечити точні значення подавання середовища, що перекачується, а це, у свою чергу, можливо тільки при якісному управлінні засувкою.

У процесі налагодження АСУ було виявлено наступні труднощі під час управління положенням існуючої засувки, що визначаються її конструктивними особливостями та механічними властивостями.

1. Мертва зона засувки.

Як зазначалося вище, командні сигнали від зовнішніх керуючих пристроїв (від контролера) можуть бути дискретними або аналоговими.

Мікропроцесорний контролер здатний видати дискретний керуючий імпульс довжиною в десятки частки секунди і менше. Однак це не означає, що такий імпульс буде оброблений електроприводом та призведе до реального мікропереміщення РО. Існує мінімальна тривалість імпульсу, яку може відпрацювати виконавчий механізм (ВМ). Імпульс меншої тривалості видавати в якості керуючого сигналу немає сенсу. Робочу величину мінімальної тривалості імпульсу можна встановити у налаштуваннях імпульсного регулятора. Вона може бути підібрана експериментально. І зазвичай вона встановлюється істотно вище за мінімальну тривалість імпульсу, яку фізично може «відчути» ВМ. Це робиться через те, що робота електроприводу при інтенсивному режимі регулювання і великій кількості занадто малих керуючих імпульсів супроводжується перегріванням двигуна. Щоб уникнути небезпеки виходу з ладу електропривода, збільшують значення налаштування мінімальної тривалості керуючого імпульсу.

У свою чергу мінімальна тривалість керуючого імпульсу визначає величину мінімального переміщення засувки. Це означає, що є певна межа точності позиціонування ВМ. У процесі виконання керуючого сигналу РО може потрапити в ситуацію, коли мінімальне переміщення «більше» (на відкриття) перевищує задану позицію, а мінімальне переміщення «менше» (на закриття) призводить до занадто низького положення щодо заданого. Процес циклічно повторюється, електропривод нескінченно рухається навколо недосяжної заданої позиції.

Щоб уникнути подібних ситуацій, у налаштуваннях ВМ, яким у нашому випадку є електропривод, передбачено налаштування параметра Мертва зона (Deadband, Зона нечутливості).

Зона нечутливості, або мертва зона – це величина, що налаштовується. Вона являє собою мінімальну різницю між фактичним положенням засувки (сигналом зворотного зв'язку) і заданим керуючим сигналом, яка призводить до переміщення засувки. Наприклад, заводське налаштування мертвої зони існуючої засувки становить 1,5 %. Припустимо, що сигнал зворотного зв'язку показує, що фактичне положення засувки 50 %. Якщо керуючий сигнал буде заданий в діапазоні від 48,5 % (-1,5 % від фактичного положення засувки) до 51,5 % (+1,5 % від фактичного положення засувки), то електропривод засувки не зрушить з місця, тому що керуючий сигнал знаходиться в межах мертвої зони. Тільки якщо керуючий си-

гнал виходить за межі діапазону мертвої зони, засувка починає реагувати, тобто рухатися, відпрацьовуючи заданий керуючий сигнал.

Цілком доцільно, що налаштування мінімальної тривалості керуючого імпульсу має відповідати мініальному переміщенню РО, близькому до значення налаштування мертвої зони [3].

Отже, чим менша тривалість мінімального імпульсу і зона нечутливості – тим вища якість управління засувкою та автоматичного регулювання, але тим сильніший знос ВМ та РО та перегрів двигуна електроприводу при інтенсивній роботі регулятора. Чим більша тривалість мінімального імпульсу та зона нечутливості, тим більш грубе регулювання, але менше зношується ВМ і менше перегрівається двигун електроприводу [4].

Для виявлення оптимальних налаштувань ВМ проводилися експериментальні зміни налаштування мертвої зони засувки. Проводилися випробування при заводському значенні налаштування 1,5 %, потім 1,0 %, потім налаштування було встановлено 0,8 %. Візуально на графіку (рис. 2) вихід регулятора відображається плавною лінією, а положення засувки (зворотний зв'язок) – ступінчастою лінією. Висота сходинки визначається налаштуванням мертвої зони засувки.

При встановленні значення налаштування мертвої зони 1,5 % засувка рухається більш рідкими та більш тривалими імпульсами (вищі сходинки, грубе регулювання). Якість регулювання від цього страждає. На низьких подаваннях один мінімальний імпульс призводить до дуже великої зміни витрати середовища, що перекачується. В таких умовах дуже важко досягти задане значення подавання.

При значенні налаштування мертвої зони 1,0 % тривалість імпульсу нижче, точність регулювання дещо вище (сходинки нижче). Але, як і раніше, на низьких витратах один мінімальний імпульс призводить до великої зміни витрати, важко досягти завдання. За горизонтальної форми графіка виходу регулятора засувка зберігає нерухомий стан.

При встановленні значення налаштування мертвої зони 0,8 % висота сходинок практично не змінилася. Спостереження за засувкою показали, що положення засувки змінюється порціями по 1,4-1,6 %. Така величина мінімально можливого фізичного переміщення засувки. Виходить, що немає сенсу встановлювати величину мертвої зони менше ніж величина мінімального імпульсу (мінімально можливого переміщення засувки). Це призводить до ефекту пилкоподібних зубців на графіку положення засувки (рис. 2). Причому пилкоподібне переміщення засувки проявляється на ділянках, близьких до горизонтальних. Навіть якщо регулятор переводиться в ручний режим, засувка продовжує з інтервалом ~3 сек переміщуватися вгору/вниз, і ніяк не може досягти заданого положення. У цьому випадку потрібно або трохи змінити вихід регулятора (наприклад, на 0,5 %), щоб полегшити попадання засувки в зону нечутливості, або перейти в дистанційний режим.

Таким чином, занадто мале, занижене настроювальне значення мертвої зони призводить до негативного результату. Якщо привод фізично не може забезпечити таку точність, пилкоподібні переміщення приводу створюють додаткове навантаження на привод. Зазначимо, що фізично прохідність потоку не змінюється, ці рухи відбуваються у межах люфта.



Рис. 2 – Графік положення засувки

З іншого боку, навіть таке навантаження на привід не є критичним, враховуючи, що тривалість випробування ~ 1,5 години, і після цього виконується відключення стенду та засувки у тому числі. Якість регулювання дещо покращилася при встановленні налаштувань 0,8 % мертвої зони засувки.

Але після подальших спостережень було прийнято рішення повернутися до заводських налаштувань та встановити налаштування мертвої зони у розмірі 1,5 %.

2. Люфт засувки.

З огляду на конструктивні особливості сумарний люфт засувки складається з люфтів всіх з'єднань передавальних частин приводу [5] від валу електродвигуна до диску засувки.

При зміні напрямку руху засувки відбувається процес виробки люфта, під час якого подавання в напірному трубопроводі (і фактичне положення диска засувки) залишається незмінним, а індикатор положення засувки змінюється. Експериментально встановлено, що для нашої засувки сумарне значення люфта становить до 10 % (!) положення засувки. Цей люфт визначає гістерезис на характеристиці засувки (рис. 3). Характеристика засувки отримана на основі множини вимірювань. На характеристиці засувки видно, що графік залежності подавання в напірному трубопроводі ($m^3/год$) від положення засувки (%) йде різними кривими в залежності від напрямку знімання характеристики - зверху вниз або знизу вгору.

Наявність люфта призводить до суттєвого уповільнення процесу автоматичного знімання вибірок, тому що при кожному перерегулюванні відбувається зміна напрямку руху засувки та повторна виробка люфта. Також наявність люфта загалом знижує якість регулювання [6]. Усунути механічний люфт неможливо.

3. Нелінійна характеристика засувки.

Характеристика засувки (залежність подавання від положення засувки) (рис. 3) має значну нелінійність. Щоб змінити подавання в напірному трубопроводі на $10 m^3/год$ від 135

до $125 m^3/год$, необхідно змінити положення засувки від 100 до 60 % (тобто практично на третину діапазону). Зміна подавання в напірному трубопроводі від 10 до $0 m^3/год$ відбувається при зміні положення засувки від ~1,3 % до 0 % (що можна порівняти з переміщенням, що відповідає мінімальному керуючому імпульсу!).

Нелінійність характеристики засувки сильно ускладнює та знижує якість автоматичного регулювання засувкою [7].

Зважаючи на величини мертвої зони, люфта та нелінійності характеристики засувки, а також за результатами експериментального використання різних режимів системи визнано недоцільним та неефективним використання стандартних алгоритмів автоматичного ПІД-регулювання для управління засувкою.

Оскільки усунути механічні причини вищезгаданих недоліків існуючої засувки неможливо, було прийнято рішення забезпечити необхідні параметри подавання в напірному трубопроводі алгоритмічним шляхом.

Насамперед, забезпечена можливість виконати автоматичне зняття характеристики засувки. Це дозволяє встановити залежність між положенням засувки (%) та величиною подавання у напірному трубопроводі ($m^3/год$). Для цього достатньо вказати значення для початкового положення засувки, кроку зміни положення та затримки часу перед збереженням величини подавання напірного трубопроводу. Таким чином, можна зробити виміри як у всьому діапазоні з деталізацією положення засувки 2%, так і на окремо обраній ділянці діапазону з більшою деталізацією. Після натискання кнопки «Старт» АСУ виконає автоматичне вимірювання значень подавання в напірному трубопроводі, послідовно переміщуючи засувку із заданим кроком, починаючи з початкового положення. У кожному положенні, перш ніж зафіксувати значення подавання, витримується пауза відповідно до заданого значення параметра «Затримка». Отримані дані відображаються у таблиці (рис. 4).

Характеристики задвижки Дн 150 Рн 25

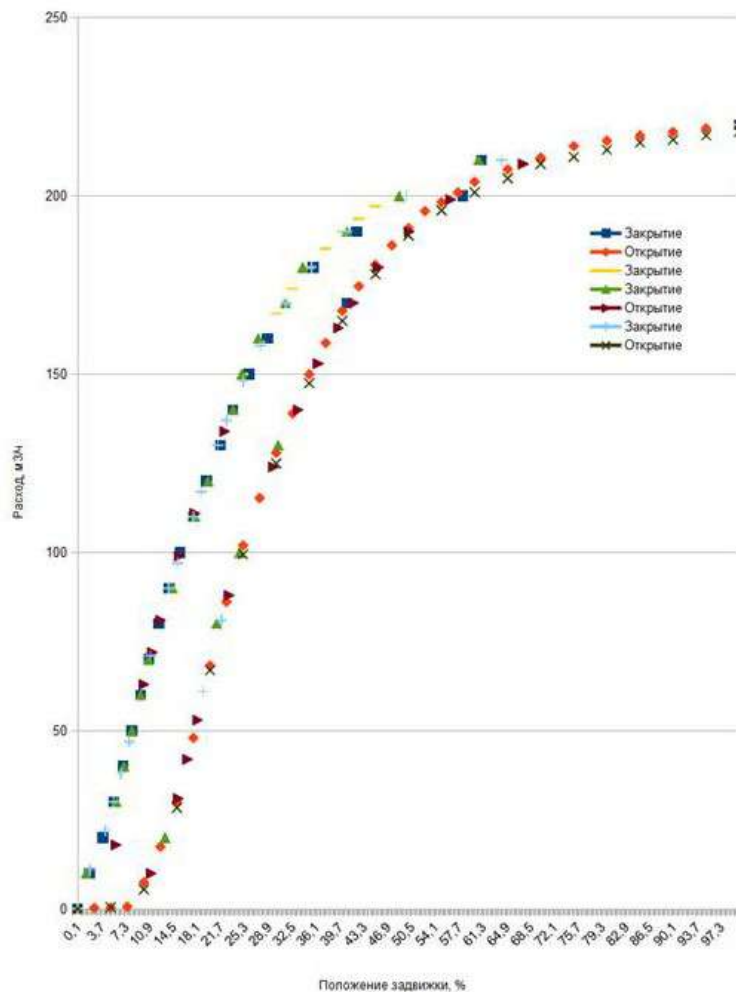


Рис. 3 – Характеристика задвижки

Сбор характеристик задвижки										ДИСТ ОТКЛ		СТАРТ		
№	Положение задвижки Position %	Подача в нап.тр. FIT м3/ч	№	Положение задвижки Position %	Подача в нап.тр. FIT м3/ч	№	Положение задвижки Position %	Подача в нап.тр. FIT м3/ч	№	Положение задвижки Position %	Подача в нап.тр. FIT м3/ч	№	Положение задвижки Position %	Подача в нап.тр. FIT м3/ч
01	100,00	0,0	11	80,00	0,0	21	60,00	0,0	31	40,00	0,0	41	20,00	0,0
02	98,00	0,0	12	78,00	0,0	22	58,00	0,0	32	38,00	0,0	42	18,00	0,0
03	96,00	0,0	13	76,00	0,0	23	56,00	0,0	33	36,00	0,0	43	16,00	0,0
04	94,00	0,0	14	74,00	0,0	24	54,00	0,0	34	34,00	0,0	44	14,00	0,0
05	92,00	0,0	15	72,00	0,0	25	52,00	0,0	35	32,00	0,0	45	12,00	0,0
06	90,00	0,0	16	70,00	0,0	26	50,00	0,0	36	30,00	0,0	46	10,00	0,0
07	88,00	0,0	17	68,00	0,0	27	48,00	0,0	37	28,00	0,0	47	8,00	0,0
08	86,00	0,0	18	66,00	0,0	28	46,00	0,0	38	26,00	0,0	48	6,00	0,0
09	84,00	0,0	19	64,00	0,0	29	44,00	0,0	39	24,00	0,0	49	4,00	0,0
10	82,00	0,0	20	62,00	0,0	30	42,00	0,0	40	22,00	0,0	50	2,00	0,0
Исходное положение, %	100,00	Шаг, %	2,0	Задержка, с	3	На закрытие				51	0,00	0,0		

Рис. 4 – Экран сбора характеристик засувки

Зафіксовані характеристики засувки використовуються у подальшій роботі АСУ наступним чином. У налаштуваннях системи можна задати значення для попередньої встановленої таблиці подавань згідно з програмою майбутніх випробувань. Кожному значенню подавання відповідає певне значення положення засувки, яке можна встановити, використовуючи отримані характеристики засувки. Приклад таблиці відповідності положення засувки та подавання у напірному трубопроводі наведено у табл. 1.

У системі передбачені два параметри, які дозволяють визначити момент початку вибірки – фіксування та збереження показань приладів:

- Δ , м³/год – допустиме відхилення (\pm) фактичного значення подавання в напірному трубопроводі від заданого табличного;

- T_{Δ} , с – час перебування фактичного подавання в напірному трубопроводі в межах Δ .

Таким чином, з точки зору керування засувкою завдання зводиться до переміщення засувки в таке положення, при якому величина подавання буде знаходитись у межах $\pm\Delta$ від заданої табличної величини подавання протягом заданого часу T_{Δ} .

Для вирішення цього завдання було розроблено оригінальний поступальний регулятор з кроковими коригуючими поправками. Процес автоматичного зняття вибірок йде від максимального подавання до мінімального по сходам. Сходами є встановлені положення засувки (табл. 1). Важливо, щоб табличні значення положення засувки забезпечували фактичне значення подавання в напірному трубопроводі не менше, ніж зазначене в таблиці.

Таблиця 1 — Попередньо визначені положення засувки та значення подавання в напірному трубопроводі для вибірок

№ вибірки	Положення, %	Подавання в напірному трубопроводі, м ³ /год	№ вибірки	Положення, %	Подавання в напірному трубопроводі, м ³ /год
1	100,0	235	14	15,1	105
2	60,0	225	15	13,6	95
3	48,0	215	16	12,2	85
4	41,0	205	17	10,8	75
5	37,0	195	18	9,5	65
6	33,0	185	19	8,2	55
7	30,0	175	20	6,9	45
8	27,2	165	21	5,8	35
9	24,7	155	22	4,15	25
10	22,7	145	23	2,5	15
11	21,0	135	24	1,5	5
12	18,9	125	25	0	0
13	16,9	115			

Процес обслуговування випробувань відбувається наступним чином:

1) При максимально відкритій засувці (положення 100 %) фіксується поточне значення подавання в напірному трубопроводі.

2) Встановлюється наступне положення засувки згідно з таблицею.

3) Якщо за 30 секунд фактичне значення подавання в напірному трубопроводі не увійшло в межі Δ , формується крокове коригування положення засувки на 0,1 %. У разі необхідності п. 3) повторюється циклічно.

4) Якщо фактичне значення подавання у напірному трубопроводі увійшло в межі Δ , починається відлік секунд перебування фактичного подавання у напірному трубопроводі в межах Δ .

5) Якщо досягнуто заданий час T_{Δ} перебування фактичного подавання у напірному трубопроводі в межах Δ , процес зняття вибірки стартує.

6) Якщо після контрольного часу ($30 \text{ с} + T_{\Delta}$) процес зняття вибірки не стартував (це означає, що фактичне значення подавання в напірному трубопроводі вийшло за межі Δ раніше, ніж було досягнуто заданий час T_{Δ}), процес повертається в п. 3), тобто формується наступна крокова коригуюча поправка положення засувки.

7) У процесі зняття вибірки засувка залишається нерухомою.

8) Після завершення зняття показань перевіряється умова завершення випробувань. Якщо завершено останню вибірку — роботу закінчено. Якщо це була не остання вибірка - повертаємося у п. 2), тобто номер вибірки збільшується, вибираються табличні значення наступної вибірки і процес повторюється.

Враховуючи вищенаведені величини мертвої зони, люфта і нелінійності засувки, виконати крокове коригування положення засувки на 0,1 % шляхом простої зміни керуючого сигналу на 0,1 % неможливо. Оскільки налаштування величини мертвої зони становить 1,5 %, таку малу зміну керуючого сигналу взагалі не буде відпрацьовано електроприводом [8]. Тому крокова коригувальна поправка виконується в кілька прийомів.

1. Керуючий сигнал збільшується на 15 % (напрямок руху засувки змінюється на відкриття).

2. Витримується 5 секунд (пауза, достатня для фізичного виконання переміщення засувки).

3. Потім керуючий сигнал зменшується на 15,1 % (напрямок руху засувки змінюється на закриття).

Таким чином, сумарно засувка фактично переміщується на 0,1 % у бік закриття. Величина 15 %, з одного боку,

дозволяє дійсно виконати переміщення, оскільки ця величина значно більша, ніж налаштування зони нечутливості. З іншого боку, величина 15 % більше, ніж люфт засувки, і це дозволяє при зміні напрямку руху засувки гарантовано вибрати люфт і коректно переміститися по кривій гістерезиса характеристики засувки.

Подібну процедуру необхідно виконувати також при встановлюванні наступного табличного значення положення при малих подаваннях. З табл. 1 видно, що починаючи з вибірки № 15 (13,6 %) різниця між сходишками положення у наступних вибірках становить менше 1,5 %. Це означає, що налаштування зони нечутливості перевищує величину зміни керуючого сигналу. Тому встановлення нового значення положення засувки теж потрібно виконувати подібним чином (перехід від вибірки № 15 до вибірки № 16):

1. $13,6 \% + 15 \% = 28,6 \%$.
2. Витримка 5 секунд.
3. $28,6 \% - 16,4 \% = 12,2 \%$.

Це дозволить реально переміщувати засувку в діапазонах менших, ніж значення налаштування мертвої зони засувки.

Вищенаведений поступальний регулятор з кроковими коригуючими поправками, добре зарекомендував себе при проведенні випробувань з визначення напірної і енергетичної характеристик на модельному стенді.

Висновки

У випадках, коли конструктивні особливості РО або ВМ не дозволяють досягти необхідної точності регулювання при використанні стандартних алгоритмів регулювання, одним з можливих шляхів вирішення цієї проблеми є застосування спеціальних алгоритмів.

Високі значення зони нечутливості, люфта, нелінійності характеристик засувки не є перешкодою для зміни подавання в малих діапазонах середовища, що перекачується. За наявності певних умов запірну арматуру можна використовувати в якості регулюючої.

Список використаної літератури.

1. Кравец А. М. Особенности динамических режимов в гидротранспортных системах с управляемой трубопроводной арматурой / А. М. Кравец, Т. В. Коренькова // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ. – Вип. 3(44). – Ч. 1. – Кременчук: КДПУ, 2007. – С.162-167
2. Электроприводы многооборотные для регулирующей арматуры с блоком управления СЕ.БР-300/34. РЭ. Союзэнерго маш.
3. Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації. Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів у місті Кременчук 09-11 квітня 2013 р. – Кременчук, КрНУ, 2013. – 386 с.
4. Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с., ил.
5. Криль С.О. Дослідження та моделювання комплексу поворотна заслінка – виконавчий механізм на магістральному нафтопроводі // Методи та прилади контролю якості. – Івано-Франківськ. – 2013. - С.84-88.
6. Кравец А. М., Билык А. В., Неборак А. И., Коренькова Т. В. Экспериментальные характеристики гидротранспортной установки при управлении запорно-регулирующей арматурой // Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених і спеціалістів «Електромеханічні та енергетичні системи, методи моделювання та оптимізації». – Кременчук, КрНУ, 2013. – С.110-111.
7. Борисенко В.Ф., Григорьев С.В., Моргунов В.М. и др. Вопросы повышения производительности нагнетательной станции средствами электропривода. Машиностроение и техносфера XXI века// сб. трудов МНТК в г. Севастополе 13-18 сентября 2004 г., Донецк: ДонНТУ, т.1. - С.73-75
8. Криль С.О. Застосування цифрових регуляторів у системі автоматичного регулювання тиску на нафтоперекачувальній станції //Вісник інженерної академії України. – Київ,-2015. - №1. – С.219-225.

Hlushchenko H.A., JSC Research and Design Institute for Atomic and Power Pumpbuilding (Ukraine)

Zaloznyi V.V., JSC Research and Design Institute for Atomic and Power Pumpbuilding (Ukraine)

Davydenko A.K., JSC Research and Design Institute for Atomic and Power Pumpbuilding (Ukraine)

Experience of implementation of microprocessor-based control for adjustable gate valve

The article discusses the features of the implementation of an automated control system for the process of recording the parameters of model hydraulic parts of horizontal centrifugal pumps. The design features of the electric actuator and the control gate valve, which complicate the control process, are given. A method to overcome the dead zone, backlash, nonlinearity of the characteristics of the controlling member is proposed. It is shown that high values of the dead zone, backlash, and nonlinearity of the valve characteristics are not an obstacle to change the flow rate of the pumped fluid within small ranges. An example of overcoming the design shortcoming of the gate valve by using control algorithms is given. The algorithmic sequence of gate valve control is described.

Keywords: gate valve, electric actuator, controlling member, actuator, control algorithm, dead zone, backlash, nonlinearity of the characteristic

Дата надходження до редакції: 03.03.2021

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПОЛИЦЕВОЇ ОРАНКИ

Соколік Сергій Петрович

старший викладач

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-4496-8681

e-mail: Sokolik1009@gmail.com

Руденко Віктор Аркадійович

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0001-7319-2451

e-mail: rudvik1942@ukr.net

В статті досліджено вплив на показники якості полицевої оранки таких параметрів машинного агрегату, як: швидкість руху агрегату, встановлена глибина оранки, тип агрофону. Аналіз даних польового дослідження дав можливість визначити оптимальні параметри швидкості руху ґрунтообробного агрегату та глибини обробки, при яких забезпечується більший кут обертання пласта ґрунту, менша гребенистість та глибистість поверхні поля.

Так само, як і за теоретичними уявленнями для звичайної оранки зростання глибини оранки знижувало, а підвищення швидкості руху збільшувало кут обертання пласта.

Швидкість руху агрегату впливає на показники гребенистості і глибистості поверхні поля, зі зростанням швидкості на обох типах агрофону значення цих показників, хоч і не суттєво, але зменшувались.

При оранці по чорному пару показники якості роботи плуга виявилися теж кращими за оранку стерньового фону: гребенистість поля зменшувалась в діапазоні 11,0 – 9,4% проти 14,3 – 10,8%; глибистість поля зменшувалась в діапазоні 21,0 – 18,1% проти 25,0 – 21,5%.

Ключові слова: обробіток ґрунту, плуг, якість обробітку, оранка, оборот пласта, гребенистість.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.1.8>

Постановка проблеми. Аналіз наукових досліджень свідчить, що одним з головних резервів підвищення родючості ґрунту є забезпечення оптимальних ґрунтових умов. Від ефективності використання машини буде залежати як кінцева врожайність, за рахунок забезпечення машиною потреб культури в цілому, так і собівартість виробництва продукції рослинництва (витрати паливно-мастильних матеріалів, продуктивність, затрати робочого часу) [1, 2].

Актуальним постає питання: як зменшити собівартість виконання механізованої технологічної операції, при цьому, зберегти продуктивність роботи агромашини та не втратити у якості виконання операції. Тому актуальною є проблема проведення відповідних досліджень і розробка рекомендацій для ефективного виконання основного обробітку ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням підвищення якості полицевої оранки та зниженню енерговитрат на оранку присвячені роботи багатьох вчених [2, 3, 5]. Питаннями комбінування робочих органів, диференціації способів обробітку ґрунту за шарами, визначення діючих сил і агротехнічних показників роботи різних ґрунтообробних знарядь займалися багато вчених [4-6]. Аналіз наведених джерел дозволяє сформулювати висновки про ступінь розробленості обраної теми і намітити мету досліджень.

При полицевій обробці констатується вища врожайність культур, що обумовлює компромісне рішення багатьох вчених та аграріїв застосовувати технології з чергуванням у міру необхідності відповідно до засміченості полів, ущільнення ґрунту, утворення плужної підшови та інших факторів. Полицева оранка буде застосовуватися в найближчому майбутньому приблизно на половині площ. Основні напрямки вдосконалення плугів стосуються створення оборотних знарядь, смугових відвалів, комбінованих органів, застосування

вібрації, але покращенню обороту пласта присвячується менше уваги.

Повний оборот пласта вважається переважним способом від полицевої оранки, він все більше поширюється при основному обробітку, але до цього часу реалізований тільки у створенні фронтальних плугів. Фронтальні плуги мають свої недоліки, що стримують їх широке поширення, і потрібні пошуки інших, більш простих конструкцій, що забезпечують надійність технологічного процесу при зміні параметрів знаряддя.

Існують способи збільшення кута обороту пласта за рахунок зміни ширини захвату корпусів, застосування передплужників, кутознімів, бічного зміщення передплужників, зміни форми відвалу тощо, але вони призводять лише до часткового обороту, залишаючи резерв для подальших досліджень з даної теми.

Мета досліджень – є дослідження впливу на якісні показники роботи полицевого плуга таких параметрів, як: швидкість руху агрегату, встановлена глибина обробітку ґрунту, тип агрофону.

Результати досліджень. При оранці чорної пари вологість ґрунту на глибині від нуля до 30 см змінювалася від 11 до 17% і твердість - від 0,13 до 0,94 МПа. Досліди на стерні проводилися в умовах низької вологості ґрунту та, як наслідок, досить високої твердості. Умови випробувань: трактор ХТЗ 17221, плуг ПЛН-5-35, фон поля - пар та стерня озимої пшениці, глибина оранки варіювалася від 18 до 26 см, швидкість руху - від 6 до 10 км/год, вологість та твердість ґрунту на глибині від нуля до 30 см змінювалися відповідно від 8 до 15% та від 0,32 до 0,97 МПа.

Густота пожнивних залишків і ступінь їх загортання у ґрунт вимірювалися підрахунком кількості стебел усередині

рамки розмірами 0,5×0,5 м, накладеної на полі у випадковому місці з трьома повтореннями.

У пластів, що розпадаються, їх кут перевероту можна визначити лише орієнтовно за положенням найбільших брил. За стандартом він вимірюється як кут нахилу скошеної сторони у борозни. Якщо перед проходом плуга встромити вертикально в ґрунт вішки довжиною, що дорівнює глибині оранки, то після проходження плуга можна оцінити їх кут перевероту.

Гребнистість зораної поверхні, вимірjana в поперечному напрямку, характеризується висотою гребенів, що залишаються, або брил. Цей показник вимірювався відносною величиною подовження ламаної лінії, що копіює гребені, порівняно з відстанню між початком і кінцем вимірювань [7, 8].

Гребнистість обробленої поверхні оцінювали вимірюванням подовження шнура при копіюванні рельєфу поверхні ґрунту. Для цього на замірюваному майданчику забивали кілочок і прив'язували до нього шнур із мірною стрічкою на кінці. Шнур натягували поперек напрямку обробки та на відстані 10 м забивали другий кілочок. Якщо довжина натягнутого шнура між кілочками дорівнювала 10 м, то при звільненні шнура його довжина між кілочками збільшувалася внаслідок копіювання нерівностей поверхні ріллі. Подовження шнура визначали за мірною стрічкою. Відношення подовження шнура (см) до базової його довжини (м) дає відсоток гребнистості ріллі [7, 8].

Глибистість поверхні обробленого поля визначається квадратною метровою рамкою, що накладається на поверхню. У наших дослідях застосовувалася та ж рамка, що і при вимірі відсотка загорання рослинних решток. Всі брили діаметром більше 5 см, які знаходяться в площі рамки, заміряли по довжині та ширині з точністю до 1 см, а потім обчислювали площу, яку вони займали [7, 8]. Про величину глибистості поверхні поля судять по відношенню до сумарної площі брил із зазначеним розміром до площі рамки, вираженому у відсотках. За агрономіями, допустима межа глибистості 10 – 15%.

Для агротехнічної оцінки плуга він був випробуваний у польових умовах. Умови проведення випробувань наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Умови проведення польових випробувань плуга на оранці чорної пари

Показники	Значення показників
Склад агрегату	ХТ317221 + ПЛН-5-35
Характеристика умов:	Вилужений чорнозем Рівний, ухил 1° Вирівняний Чорна пара
- тип ґрунту та назва по механічному складу	
- рельєф	
- мікрорельєф	
- попередник	Чорна пара
- вологість ґрунту, %	
у шарі 0-10 см	11
у шарі 10-20 см	13
у шарі 20-30 см	17
- твердість ґрунту, МПа	
у шарі 0-10 см	0,13
у шарі 10-20 см	0,71
у шарі 20-30 см	0,94
Маса рослинних та пожнивних залишків, г/м ²	0
Температура повітря, град.	15

Гребнистість поверхні перевірялася шляхом накладання шнура поперек напрямку руху агрегату.

Кут обороту пласта визначали за допомогою кутоміру. Кут орачки накладали на укіс борозни так, щоб його основа щільно прилягала до скосу борозни здебільшого довжини пласта. Кут вимірювали з числом повторів не менше 10 щоб похибка вимірювань не перевищувала $\pm 1^\circ$.

На відміну від чорного пару, стерньовий фон має набагато більшу твердість поверхневого шару і меншу вологість. Умови проведення випробувань на стерні наведені в таблиці 2. На цьому полі визначалися ті ж показники, що і при оранці чорного пару.

При оранці чорного пару кут обороту пласта проглядається дуже неявно через повне розпушування шарів ґрунту, що обертаються. Протягом усього літа пар підтримувався в пухкому стані, особливо в поверхневому горизонті, ніякої рослинності не було, тому зв'язність ґрунту була недостатньою для утримання прямокутної форми перерізу пластів. Такий малозв'язний ґрунт сповзав з відвалу і формував насип з певним кутом скосу стінки борозни.

Вплив глибини оранки на кут обороту пластів під час роботи плуга вивчався за швидкості руху агрегату 6 км/год. В результаті вимірів виявилось, що зі збільшенням глибини обробки кут обороту пластів слабо зменшується, і цю залежність вважатимуться лінійною (рис. 1). Раніше наведені теоретичні дослідження для пластів із прямокутним перетином показали ту саму залежність, але більш явно виражену.

Таблиця 2. Умови проведення польових випробувань плуга на стерньовому фоні

Показники	Значення показників
Склад агрегату	ХТ317221 + ПЛН-5-35
Характеристика умов:	чорнозем Рівний, ухил 1° Вирівняний Пшениця
- тип ґрунту	
- рельєф	
- мікрорельєф	
- попередник	Пшениця
- вологість ґрунту, %	
в шарі 0-10 см	8
в шарі 10-20 см	12
в шарі 20-30 см	15
- твердість ґрунту, МПа	
в шарі 0-10 см	0,32
в шарі 10-20 см	0,88
в шарі 20-30 см	0,97
Маса рослинних залишків, г/м ²	147
Висота пожнивних залишків, см	15
Густота пожнивних залишків шт./ м ²	260
Температура повітря, град.	11

Вплив глибини оранки на кут обороту пластів під час роботи плуга вивчалось за швидкості руху агрегату 6 км/год. В результаті вимірів виявилось, що зі збільшенням глибини обробки кут обороту пластів слабо зменшується (таблиця 4), і цю залежність вважатимуться лінійною (рис. 5). Раніше наведені теоретичні дослідження для пластів із прямокутним перетином показали ту саму залежність, але більш явно виражену.

Однак прямої аналогії тут немає, можна констатувати

лише загальну тенденцію. Додатковий вплив на пласти передплужниками полегшує їх обертання, і зі збільшенням глибини оранки просто збільшується об'єм ґрунту, що перевертається, висота гребенів збільшується. Разом з цим збільшується крутість укосу борозни, що й реєструється як зменшення кута обороту пласта.

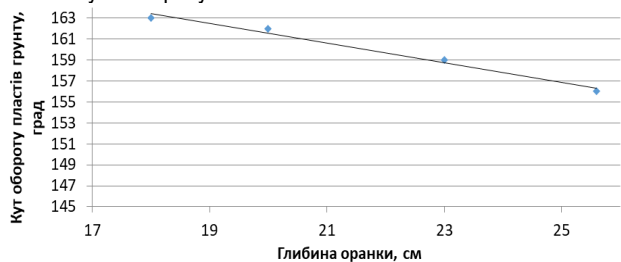


Рис. 1 – Вплив глибини оранки на кут обороту пластів (чорний пар)

За результатами дослідів виявилось, що швидкість руху агрегату сприяє перевороту пластів (рис. 2). З графіка видно, що кут обороту пластів зростає з 155° до 163° при підвищенні швидкості руху у всьому діапазоні від 6 до 10 км/год.

Такий результат можна пояснити тим, що зі збільшенням швидкості руху зростає кінетична енергія відкидання пластів убік, вони повністю руйнуються, і поверхня зораного поля стає більш вирівняною. Зі збільшенням швидкості кути укосів у борозен стають менш крутими, що у методиці стандарту вважається збільшенням кута обороту пластів.

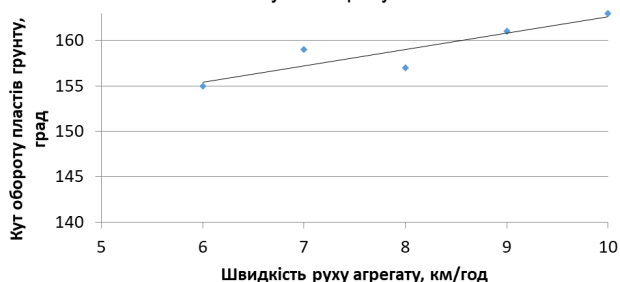


Рис. 2 – Вплив швидкості руху плуга на кут обороту пластів (чорний пар)

Графік зміни гребеністості залежно від швидкості орного агрегату для чорного пару наведено на (рис.3). З графіка видно, що показник гребеністості, хоч і не значно, але зменшується при підвищенні швидкості руху у всьому діапазоні від 6 до 10 км/год. Цей результат також можна пояснити тим, що зі збільшенням швидкості руху підвищується кінетична енергія відкидання пластів убік і вони краще кришаться, а значить поверхня поля стає більш вирівняною. Зменшення гребеністості поверхні поля полегшує наступний обробіток поверхні ґрунту при доведенні його до посівних кондицій.

Глибистість поверхні також трохи зменшувалася при зростанні швидкості оранки через сильніше відкидання пластів убік і більшого їх руйнування (рис.4). Тенденція до незначного зниження величини цього показника спостерігалась у всьому швидкісному діапазоні.

Кут обороту пластів при оранці більш сухого і щільного ґрунту мав більший розкид, так як окремі брили часто займали довільне становище. Глибина обробки мало впливала на кут обороту пластів при оранці. Ця залежність вивчалася за швидкості руху агрегату 6 км/год.

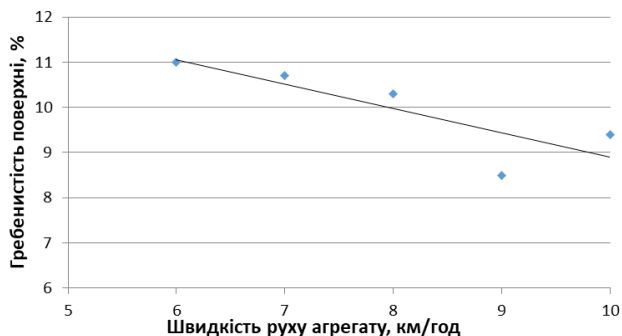


Рис. 3 – Залежність гребеністості поверхні залежно від швидкості руху агрегату

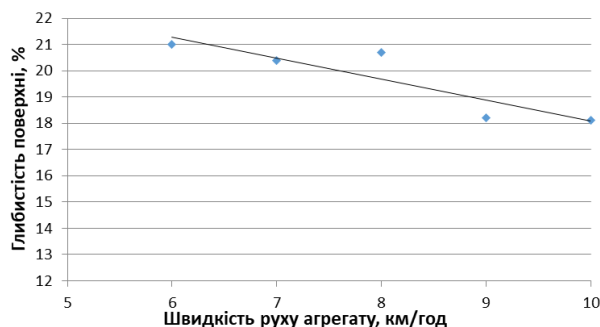


Рис. 4 – Залежність глибистості поверхні залежно від швидкості руху агрегату

Через велику глибистість збільшився розкид результатів вимірювань при загальній тенденції до зменшення кута (рис. 5). В результаті вимірів виявилось, що як і при обробці по чорному пару, зі збільшенням глибини обробки кут обороту пластів слабо зменшується і цю залежність також можна вважати лінійною.

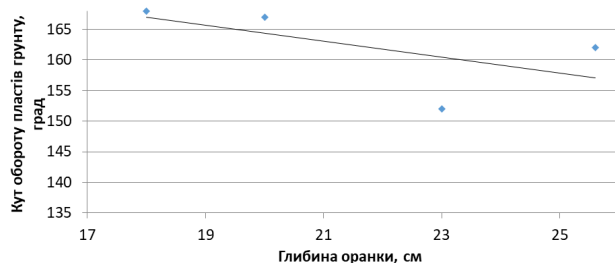


Рис. 5 – Вплив глибини оранки на кут обороту пластів (стерньовий фон)

Як і на фоні чорного пару, при роботі на стерні швидкість руху агрегату гарно впливає на переворот орного шару ґрунту, хоч і незначно в межах випробуваних швидкостей від 6 до 10 км/год (рис. 6).

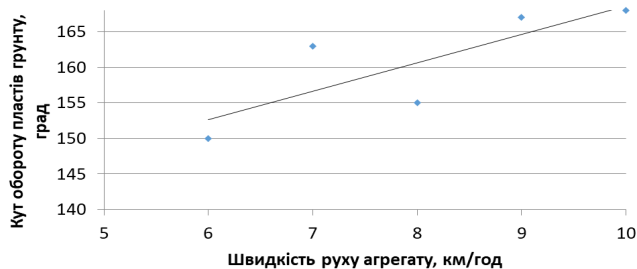


Рис. 6 – Вплив швидкості руху плуга на кут обороту пластів (стерньовий фон)

Порівняно з попереднім дослідом проведеним на чорному пару гребнистість зораної поверхні по стерні збільшилася через меншу вологість та підвищену твердість ґрунту (рис. 7). Так само як і на попередньому агрофоні гребнистість зменшувалась при збільшенні швидкості руху орного агрегату.

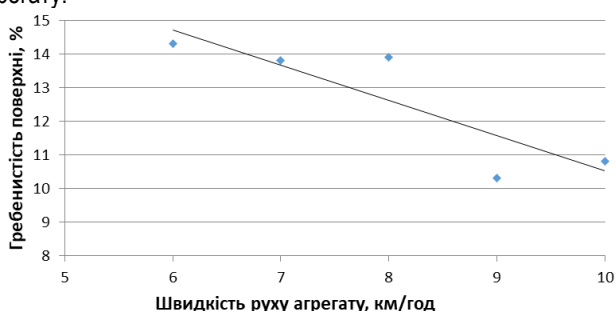


Рис.7 – Залежність гребнистості поверхні залежно від швидкості руху агрегату (стерньовий агрофон)

Показники глибистості поверхні поля після оранки по стерні також були вищими ніж при обробітку чорного пару і таксамо зменшувались при зростанні швидкості руху (рис. 8).

Висновки. Гіпотеза про поліпшення якісних показників оранки шляхом більшого кута обороту пластів підтвердилася. При оранці чорної пари досягнуто куту обороту пластів 156-163° порівняно з кутом 152-168 ° при оранці стерні озимої пшениці.

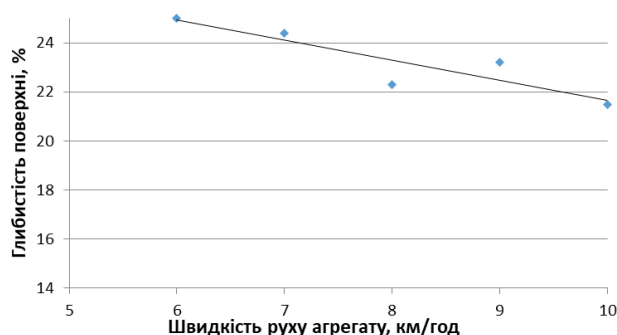


Рис.8 – Залежність глибистості поверхні залежно від швидкості руху агрегату (стерньовий агрофон)

Глибина оранки та швидкість агрегату впливали на кут обертання пластів так само, як і за теоретичними уявленнями: зростання глибини оранки знижує, а швидкість руху збільшує кут обертання.

Швидкість руху агрегату впливає на показники гребнистості і глибистості поєвнрхні поля, зі зростанням швидкості на обох типах агрофону занчення цих показників, хоч і не суттєво, але зменшувались.

При оранці по чорному пару показники якості роботи плуга виявилися теж кращими за оранку стерньового фону: гребнистість поля зменшувалась в діапазоні 11,0 – 9,4% проти 14,3 – 10,8%; глибистість поля зменшувалась в діапазоні 21,0 – 18,1% проти 25,0 – 21,5%.

Список використаної літератури.

1. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / [Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.]. – Київ: Вища освіта, 2004. – 544 с.
2. Булгаков В. М. Теорія і практика обробітку ґрунту в сучасних умовах / В. М. Булгаков, С. П. Танчик, В. Т. Надикто. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2015. – №2. – С. 30–38.
3. Надикто В.Т. Аналіз рівноваги заднього та фронтального плугів у поздовжньо-вертикальній площині / В.Т. Надикто, О.І.Генов, А.М. Аюбов // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. - 2003. - № 21. - С. 105–112.
4. Надикто В.Т. Механіко-технологічні аспекти оранки // Вісник аграрної науки. 2012. № 4. С. 56–60.
5. Надикто В. Науково-практичні аспекти оранки // Техніка і технології АПК. 2017. № 5. С. 10–15.
6. Булгаков В.М. Агрегативання плугів. К.: Аграрна наука, 2008. 152 с.
7. КНД 46.16.02.08 – 95 Техніка сільськогосподарська. Методи визначення умов випробувань УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 1994. - 50 с.
8. КНД.46.16.02.-96. Техніка сільськогосподарська. Номенклатура показників якості. Дослідницьке, 1997, 58 с.

Sokolik S.P., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Rudenko V.A., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Factors affecting plowing quality indicators

The article investigates the influence of such parameters of the machine unit on the quality indicators of plowing as: speed of movement, set plowing depth, surface type. The analysis of the field experiment data made it possible to determine the optimal parameters of the tillage machine speed and tillage depth, which provide a greater angle of rotation of the soil layer, less ridge and depth of the field surface.

As well as according to theoretical ideas for plowing, the increase in plowing depth decreased, and increasing the speed of movement increased the angle of rotation of the soil layer.

The speed of the machine affects the crest and depth of the field surface. With increasing velocity on both types of surface, the values of these indicators, although not significant, decreased.

When plowing on a clean surface, the quality of plow performance was also better than plowing stubble background: the ridge of the field decreased in the range of 11.0 - 9.4% against 14.3 - 10.8%; the depth of the field decreased in the range of 21.0 - 18.1% against 25.0 - 21.5%.

Key words: tillage, plow, tillage quality, plowing, soil layer turnover.

Дата надходження до редакції: 04.03.2021