

ВІСНИК
СУМСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
АГРАРНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Видається 4 рази на рік.

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)

СЕРІЯ «Механізація та автоматизація виробничих процесів»

ВИПУСК 1-2 (35-36), 2019

Шандиба О.Б., Хурсенко С.М., Семерня О.В. Еколого-економічна оцінка
попередженої шкоди від забруднення водойм.....3

Коноплянченко Є.В., Колодненко В.М., Бало П.М. Розробка методики інтегральної
оцінки економічних показників процесу автоматизованого складання виробів.....7

Горовий С.О. Моменти основних радіальних та кутових сил шпаринного ущільнення
відцентрового насоса 14

Тарельник В.Б., Саржанов Б.А., Гапон А.А. Новий спосіб відновлення і зміцнення
деталей з листової сталі, що піддаються в процесі експлуатації абразивному зносу 18

Довжик М.Я., Соларьов О.О., Калнагуз О.М., Таценко О.В. Спосіб врахування
відводу коліс при визначенні траєкторії криволінійного руху трактора25

Яковлев В.Ф. Експериментальні дослідження процесу трансформації ударного
імпульсу через біологічні об'єкти фіксованої геометричної форми.....30

Бондар М.М., Плавинська О.В. Розвивальні можливості контролю навчальних
досягнень студентів у формуванні їх готовності до майбутньої діяльності в галузі
агроінженерії36

Саржанов О.А., Барабаш Г.І. Обґрунтування вибору посівних комплексів
вітчизняного виробництва методом математичного моделювання за критеріями
експлуатаційних показників43

Зубко В.М., Соколік С.П. Фактори, що впливають на глибину обробітку ґрунту
дисковими боронами48

Думанчук М.Ю. Використання комп'ютерного моделювання при проектування УСР
для хонінгування гільзи ДВС53

Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів» наукового журналу «Вісник Сумського національного аграрного університету» належить до фахових видань (наказ Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 р. № 1528)

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

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 №14 від 01.07.2019 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. №5

© Сумський національний аграрний університет, 2019

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПОПЕРЕДЖЕНОЇ ШКОДИ ВІД ЗАБРУДНЕННЯ ВОДОЙМ

Шандиба Олександр Борисовичкандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-3003-7173
email: Alexandrshandyba@gmail.com**Хурсенко Світлана Миколаївна**ORCID: /0000-0001-6307-2042
email: khursenkosvetlana@gmail.com**Семерня Олена Володимирівна**ORCID: 0000-0002-0201-1294
email: semernya.olena@gmail.com

Внаслідок захворюваності людей при забрудненні довкілля суспільство зазнає суттєвих економічних втрат. У процедурі оцінюванні завданих збитків та плануванні заходів безпеки зазвичай виділяють два основних етапи, що полягають в прямому підрахунку різноманітної фінансової та інших видів шкоди та маркетинговому аналізі з мінімізацією співвідношення „витрати – попереджена шкода”. В останньому випадку необхідно мати не лише репрезентативну статистичну базу даних моніторингу забруднення та захворюваності, але й прийнятну оптимізаційну модель з визначеними ризиками прояву небезпечних факторів забруднення. У запропонованому підході процедура оцінювання шкоди та оптимізації витрат обмежується лише грануляційним складом мінеральних добрив та водоохоронним ефектом пролонгованої (уповільненої) дії більш крупних гранул.

Ключові слова: довкілля, водойма, забруднення води, міграція, концентраційний фон, еколого-економічна оцінка, мінеральні добрива, шкідливі компоненти.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.1>**1. Вступ**

Порівняльну еколого-економічну ефективність капітальних витрат на водоохоронну діяльність слід розраховувати вже на стадії планування агрохімічних заходів в рослинництві, впровадження нових видів сільськогосподарської техніки, будівництва нових чи реконструкції існуючих систем зрошення.

Величину попередженої економічної шкоди від забруднення поверхневих водойм визначаємо згідно типової широко розповсюдженої методики, схваленої керівними господарчими та науково-дослідними установами:

$$Ш_n = k\Phi M, \quad (1)$$

де k – чисельна константа шкоди, прийнята з еколого-економічних обґрунтувань, що оцінюється приблизно 400 грн на умовну тону забруднюючої речовини;

Φ – тарифна константа самоочисної потужності водойми залежно від антропогенного навантаження на неї та кліматичного поясу;

M – приведена маса забруднення, попередженого від потрапляння до водойми.

У свою чергу приведена маса попередженого забруднення M визначається через обсяг та токсичність забруднень різної природи, що потрапляють до водойми внаслідок міграції:

$$M = W \sum_{i=1}^N A_i m_i \quad (2)$$

де W – загальна кількість опадів, що спричинили міграцію забруднень обсягом M ;

N – загальна кількість забруднень, що мігрують до водойми;

i – номер контрольованого забруднення;

m_i – попереджена маса річного скиду i -го забруднення внаслідок його міграції;

A_i – показник відносної токсичності скидання i -го забруднення до водойми.

$$\frac{1}{ГДК_i}$$

При цьому $A_i = \frac{1}{ГДК_i}$ визначається як відношення деякого умовного токсичного забруднення з одиничною гранично допустимою концентрацією $ГДК$ до $ГДК_i$ фактичного контрольованого забруднення.

Розрахункова кількість мігруючих забруднень у ґрунтово-водній системі сільськогосподарських угідь узгоджується з перевищенням фактичної концентрації забруднення над допустимим його рівнем для контрольних ділянок. Наприклад, розрахунок приведеної маси по забрудненню «азот» слід вести за показником «азот загальний» та за величиною відносної небезпеки мігруючого забруднення.

2. Огляд проведених досліджень в галузі забруднення водойм мігруючими розчинними токсичними компонентами. Постановка мети та задач роботи.

Одним з цільових елементів екологічної безпеки є система оцінювання та аналізу реального концентраційного фону забруднень та прогнозування його змін з часом. На основі сукупності таких даних стає можливим розрахунок еколого-економічних ризиків і підтримка оптимальних управлінських рішень [1-3].

Процедури моніторингу якості води в природних водоймах передбачає:

- створення геогідродинамічних та геохімічних карт прибережних зон;

- визначення характеру господарської діяльності в цих зонах;
 - ідентифікацію існуючих та потенційних джерел забруднення, особливо неорганізованих;
 - розробку методики збирання та оброблення лабораторних даних контрольних ділянок, в першу чергу, найбільш інформаційних, індикативних;
 - менеджмент моніторингових даних, що включає статистичний аналіз, інтерпретацію, презентацію та розповсюдження в інформаційних мережах, включаючи широкий суспільний загал [12,13,14].

В зв'язку з підвищенням рівня радіаційної небезпеки та розповсюдженням полігонів для складування токсичних відходів акцент досліджень в галузі міграції рухомих компонентів стосувався переважно ідентифікації та аналізу зон забруднення [4-5]. Фізико-хімічні механізми розчинення та вимивання рухомих компонентів в ґрунтах розглядалися стосовно гранульованих мінеральних та органо-мінеральних добрив [6-8]. Лабораторну процедуру дослідження кінетики процесу розчинення гранульованого продукту представлено в роботі [9]. Ідентифікації небезпек, оцінюванню та попередженню ризиків з точки зору безпеки життєдіяльності присвячені роботи [10,11].

Слід зауважити, що результати еколого-економічного оцінювання шкоди від забруднення довкілля розраховувались на основі різних методик і часто не давали ґрунтовних об'єктивних підстав для прийняття управлінських рішень [6,11].

Таким чином, в представленому дослідженні поставлена мета розробити інженерний підхід до мінімізації шкоди

довкіллю, зокрема, ґрунтовим та поверхневим водам внаслідок міграції розчинних компонентів гранульованих мінеральних добрив.

3. Вплив гранулометричного складу мінеральних добрив

Для оцінювання впливу гранулометричного складу та розчинності мінеральних добрив наведемо розрахунки розподілу маси вимитих та мігруючих компонентів. Пікова висота C_{max} кривих вимивання теоретично ілюструється порівняльною таблицею 1, де наведені відносні міграційні характеристики гранул різного діаметру d (пропорційно його кубу d^3) та коефіцієнта масовіддачі (обернено пропорційного діаметру) за однакової агротехнічної норми внесення та тривалості опадів.

Ідентичність норми внесення мінеральних добрив до ґрунту $idem$ гранулами різного розміру обґрунтована рівнянням матеріального балансу:

$$H = \frac{\rho n \pi d^3}{6} = idem, \quad (3)$$

де H – маса (норма) внесених гранул на одиницю площі;

ρ – густина гранул мінеральних добрив;

n – кількість гранул діаметром d , що припадає на одиницю площі;

d – діаметр гранул міндобрив.

Приймаючи $\rho = const$, отримаємо ідентичність норми внесення мінеральних добрив до ґрунту:

$$idem = nd^3.$$

Таблиця 1

Вплив гранулометричного складу міндобрив на відносну кількість вимитої речовини %, що приймає участь у міграційному процесі

Діаметр d гранул, мм	10	8	6	4	2
Відносна маса гранули, %	100	51,2	21,6	6,4	0,8
Кількість n гранул відносно базового діаметра $d = 10$ мм	1	1,95	4,63	15,6	125
Відносна площа поверхні гранули	1	0,64	0,36	0,16	0,04
Відносна кількість вимитої речовини	1	1,25	1,67	2,5	5

Слід зауважити, що за однакової норми внесення добрив на базовий діаметр гранули $d = 10$ мм припадає 1,95 гранул діаметром 8 мм, 4,63 гранул діаметром 6 мм, 15,6 гранул діаметром 4 мм та 125 гранул діаметром 2 мм. Враховуючи, що масовіддача гранул збільшується пропорційно квадрату їх діаметра, загальна кількість вимитої активної речовини, що приймає участь в міграції по рельєфу контрольної ділянки до водойми, буде визначатись добутком відносної кількості гранул на відносну площу поверхні гранули. Тобто останній рядок таблиці 1 є добутком другого та третього рядка цієї таблиці. Очевидно, що для гранул діаметром 2 мм за однакової норми внесення та ідентичної інтенсивності опадів в аналогічних геогідродинамічних умовах відносна кількість вимитої речовини у 5 разів перевищує аналогічний показник для базового розміру 10 мм.

4. Оцінювання характеру міграції та шкоди до-вкіллю

Аналіз міграційних кривих показав кореляцію пікових концентрацій з грануляційним складом внесених добрив (рис. 1). Розглянуті характеристики міграції розчинних компонентів мінеральних добрив в ґрунтово-водних системах дає

підстави для агрохімічної оптимізації та еколого-економічного розрахунку попередженої шкоди довкіллю.

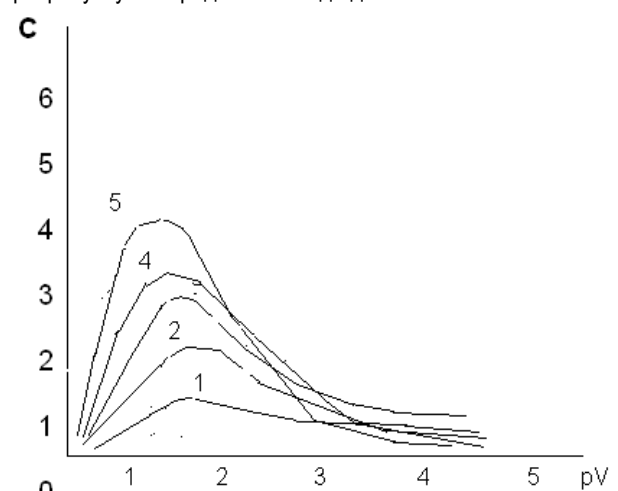


Рис. 1. Характер міграційних кривих рухомих компонентів залежно від гранулометричного складу внесених мінеральних добрив: 1 – 10 мм, 2 – 8 мм, 3 – 6 мм, 4 – 4 мм, 5 – 2 мм.

В якості прикладу проведемо оцінювання еколого-економічних наслідків застосування вказаного спектру мінеральних добрив. Для цього скористаємося базовою формулою шкоди довкіллю (1), де в якості M , відносної маси забруднення (розчинних компонентів гранульованого добрива), що ймовірно потрапить у водойму внаслідок міграції, візьмемо розрахункові дані таблиці 1.

Трансформуємо індикативний графік еколого-економічного аналізу (рис. 1) до конкретних умов застосування гранульованих добрив на контрольних ділянках сільськогосподарських угідь. Результати аналізу наведено на рис. 2.

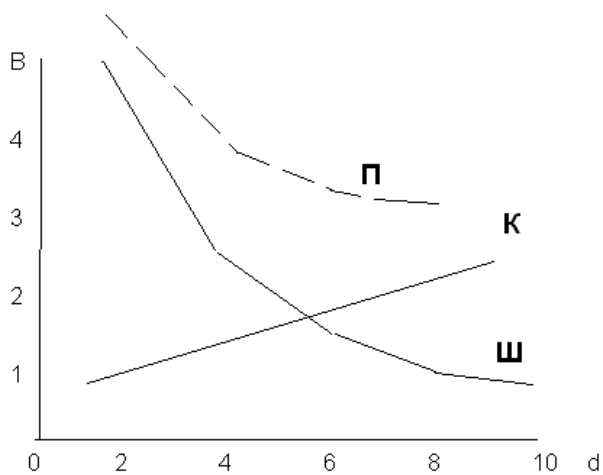


Рис. 2. Співвідношення приведеної вартості природоохоронних заходів П, капітальних витрат К та шкоди від забруднення Ш мігруючими компонентами внесених гранульованих добрив різного діаметру

Спадаюча крива кількості мігруючих компонентів і відповідна еколого-економічна шкода водоймам залежно від гранулометричного складу має переважно експоненціальний характер відповідно до значень відносної кількості вимитої речовини (останній рядок таблиці 1). Зростаюча вартість виробництва гранульованих добрив у першому наближенні апроксимується лінійною функцією. Таким чином, в результаті взаємодії двох протилежних тенденцій є підстави знайти оптимум гранулометричного складу добрив пролонгованої дії і пов'язаних з їх виробництвом витрат (рис. 2).

Висновки

Екологічно небезпечним наслідком міграції токсичних компонентів мінеральних добрив, інтенсивного забруднення територій та земель сільськогосподарського призначення внаслідок хибного застосування мінеральних добрив можливо запобігти ефективною агротехнічною практикою, моніторингом довкілля та безпечним застосуванням мінеральних добрив та пестицидів.

Для обмеження і мінімізації руху будь-яких компонентів до ґрунтових або поверхневих вод слід проводити довгостроковий ґрунто-екологічний прогноз, що включає геохімічне картографування на базі комп'ютерного моделювання разом з еколого-економічним оцінюванням попередженої шкоди.

Список використаної літератури:

- Надточій П.П. Екологія ґрунту та його забруднення / Надточій П.П., Германенко В.Г., Вольвач Ф.В. – К. : Аграрна наука, 1998. – 286 с.
- Добрива та їх використання: Довідник. – К. : Арістей, 2010. – 254 с. за фін. підтримки ДП «АГРОЦЕНТР ЄВРОХІМ-УКРАЇНА».
- Измайлов Р.Р., Голованова О.А. Биорезорбируемость гранулированного композита на основе карбонатгидроксилапатита и желатина в средах с различными значениями pH // Вест. Ом. ун-та. 2015. № 2. С. 61–65.
- Шандиба О.Б. Застосування методів Ейлера та Лагранжа в прикладних задачах гідродинаміки // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – № 2 (55). – 2016. – С. 181-185.
- Шандиба О.Б., Шпетний Д.М. Моделювання динаміки концентраційного фону рухомих забруднень засобами EXCEL // Збірник наукових статей ІХ Міжнародної науково-практичної конференції „Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення” (9-13 вересня 2013) – Алушта, 2013. – Т. 2. – С. 156-159.
- Шандиба О.Б., Шандиба І.О., Курило А.О., Шпетний Д.М. Економічна ефективність впровадження заходів охорони праці та довкілля // Технічний сервіс агропромислового та транспортного комплексів. – № 5. – 2016. – С. 188-192.
- Холин Б.Г., Шандыба А.Б., Хохлов Л.Г. и др. Расчет перфорированных оболочек центробежных и вибрационных грануляторов // Химическая промышленность. – № 4. – 1991. – С. 40-42.
- Шандиба О.Б., Вакал С.В., Толбатов А.В., Смоляров Г.А. Еколого-технологічні аспекти виробництва та застосування гранульованих мінеральних добрив // Монографія «Научное окружение современного человека». – 2018. – С. 147-155.
- Данилов Д.Г. Экспериментальное исследование процесса растворения гранулированного коагулянта // Вестник ИГЭУ, вып. 2, 2008, С.1-4.
- Шандиба І.О., Кузема О.С., Шандиба О.Б. Оцінювання впливу виробничих факторів на рівень техногенної безпеки // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення»: – Т.2. – 2010. – С. 147-150.
- Идентификация опасностей, оценка рисков и управление рисками [Электронный ресурс] // Услуги по охране труда и безопасности в Беларуси и Минске – Режим доступа: <http://helper.by/identifikaciya-opasnosteie-i-ocenka-riskov-upravleni.html>.
- A.B.Shandyba, D.M.Shpetny. Pollution migration forecast for soil geochemistry mapping // Geomatics, Landmanagement and Landscape. – № 3. – Poland, Krakow. – december 2015. – P. 101-112.
- D.Han, X.Tong, M.G.Kurrel, G.Cao, M.Jin, C.Tong. Evaluation of the impact on uncontrolled landfill on surrounded ground-water quality- Journal f Geochemical Exploration (2013), Elsevier-com.

14. D.Russo, A.Laufer, A.Silber, S.Assouline. Water up take, active root volume and solute leaching drip irrigation: A numerical study. – Water resources research, vol.45., W12413, 2009.

Шандыба А.Б., Хурсенко С.Н., Семерня Е.В.

Эколого-экономическая оценка предотвращенного ущерба от загрязнения водоемов

Вследствие заболеваемости людей при загрязнении окружающей среды общество претерпевает существенные экономические потери. В процедуре оценки нанесенного ущерба и планирования мер безопасности обычно выделяют два основных этапа, состоящие в прямом подсчете разнообразного финансового и других видов ущерба и маркетинговом анализе с минимизацией соотношения «затраты – предотвращенный ущерб». В последнем случае необходимо иметь не только репрезентативную статистическую базу данных мониторинга загрязнения и заболеваемости, но и приемлемые оптимизационные модели с определенными рисками проявления опасных факторов загрязнения. В предложенном подходе процедура оценки ущерба и оптимизации расходов ограничивается только грануляционным составом минеральных удобрений и водоохраным эффектом пролонгированного (замедленного) действия более крупных гранул.

Ключевые слова: окружающая среда, водоем, загрязнение воды, миграция, концентрационный фон, эколого-экономическая оценка, минеральные удобрения, вредные компоненты.

Shandyba A.B., Khursenko S.N., Semernya E.V.

Ecology-economical damage assessment under water pollution

Due to human morbidity due to environmental pollution, society suffers significant economic losses. In the procedure for assessing damage and planning security measures, two main stages are usually distinguished, consisting of a direct calculation of various financial and other types of damage and a marketing analysis with minimization of the "cost - prevented damage" ratio. In the latter case, it is necessary to have not only a representative statistical monitoring database pollution and morbidity, but also acceptable optimization models with certain risks of manifestation of hazardous pollution factors. The hurra of damage assessment and cost optimization is limited only by the granulation composition of mineral fertilizers and the water-protective effect of the prolonged (delayed) action of larger granules.

Key words: environment, water resources, pollution, migration, pollution concentration distribution, ecology-economical damage assessment, fertilizers, dangerous chemicals.

Дата надходження до редакції: 14.02.2019

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО СКЛАДАННЯ ВИРОБІВ

Коноплянченко Євген Владиславович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4814-1796
email: konoplyanchenko@ukr.net

Колодненко Віталій Миколайович

старший викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-8450-6759
email: kolodnenko_vn@ukr.net

Бало Павло Миколайович

старший викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0001-7042-8772
email: technology@i.ua

В статті приведено інтегральну оцінку впливу часової структури процесу автоматизованого складання виробів на надійність виробничих систем з урахуванням економічних показників. Запропонована математична модель зміни капітальних витрат в незавершеному виробництві, яка дає можливість поопераційно відстежити витрати в незавершеному виробництві з метою їх мінімізації.

Ключові слова: виробничий процес, складання, часовий технологічний ланцюг, незавершене виробництво, мінімізація витрат.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.2>

Вступ

Сучасний рівень технічного прогресу, використання досягнень науки і техніки у виробництві, вимоги до підвищення якості виробництва, визначають необхідність удосконалення структури технологічного процесу складання (ТПС), так як складання є заключним і визначальним етапом виробничого процесу, який забезпечує технічні характеристики виробів і їх якість. При виборі варіантів структур ТПС велике значення набуває вирішення завдання синтезу, поетапного аналізу і оцінки ефективності проектних рішень. Розробка і впровадження заходів з побудови часової структури в даний час здійснюється головним чином на основі номінальних значень, з використанням уточнюючих коефіцієнтів. Недостатня методична розробка питань синтезу раціональних варіантів ТП за рахунок оптимізації часової складової є важливим стримуючим фактором використання раціональних технологічних рішень. Відсутність інженерних методик розрахунків елементів часу технологічного процесу є однією з причин суб'єктивізму при виборі виробничої структури і оцінки ефективності системи в цілому.

Постановка проблеми

Розглянемо вплив часового резерву на собівартість операції складання на основі залежності, визначеної проф. В.С. Корсаковим [1]. Використання поняття вартості машини години передбачає поділ сукупних витрат по складальному обладнанню протягом аналізованого проміжку часу на тривалість останнього. У структурі собівартості складання виробу присутні два типи витрат. Витрати, залежні від кількості випущених виробів тобто залежать від трудомісткості складальних операцій (t_i) - змінні витрати. Витрати, що розподіляються на весь період роботи обладнання - постійні витрати.

В якості останніх виступають витрати на амортизацію складального обладнання, а також амортизація будівлі під складальним устаткуванням. Використовуючи в якості подільника дійсний річний фонд часу роботи обладнання (Fd) в результаті ми не враховуємо час, який пов'язаний з організаційними і позаплановими простоями обладнання.

Розроблена математична модель операційної собівартості є функцією вартісних показників, часових показників, і показників надійності експлуатації [2]:

$$C_i = S_{з.р.i} + Z_{маші} + S_{нал.i} + Z_{oi}, \quad (1)$$

де $S_{з.р.i}$ - заробітна плата робітників, зайнятих на i -й операції складання; $S_{нал.i}$ - заробітна плата наладчиків на i -й операції складання; Z_{oi} - витрати на оснащення на i -й операції складання; $Z_{маші}$ - витрати на обладнання:

$$Z_{маші} = \left[S_{зі} + S_{ei} + S_{pi} + S_{г.м.i} + \frac{(S_{ai} + S_{a.з.i})}{(k_{зі} \cdot K_{zi})} \right] \cdot t_i, \quad (2)$$

де S_{ei} - витрати на електроенергію; $S_{ві}$ - витрати на стиснене повітря; S_{pi} - витрати на ремонт обладнання; $S_{г.м.i}$ - витрати на допоміжні матеріали з випуску продукції; S_{ai} - витрати на амортизацію складального обладнання; $S_{a.з.i}$ - витрати на амортизацію будівлі під складальним устаткуванням.

Враховуючи розроблену модель можна дослідити залежність економічних показників – технологічної собівартості складання (C), організаційних – коефіцієнту завантаження обладнання ($K_{зі}$), та показників надійності автоматизованих

складальних систем – коефіцієнту готовності (K_r) (рис. 1).

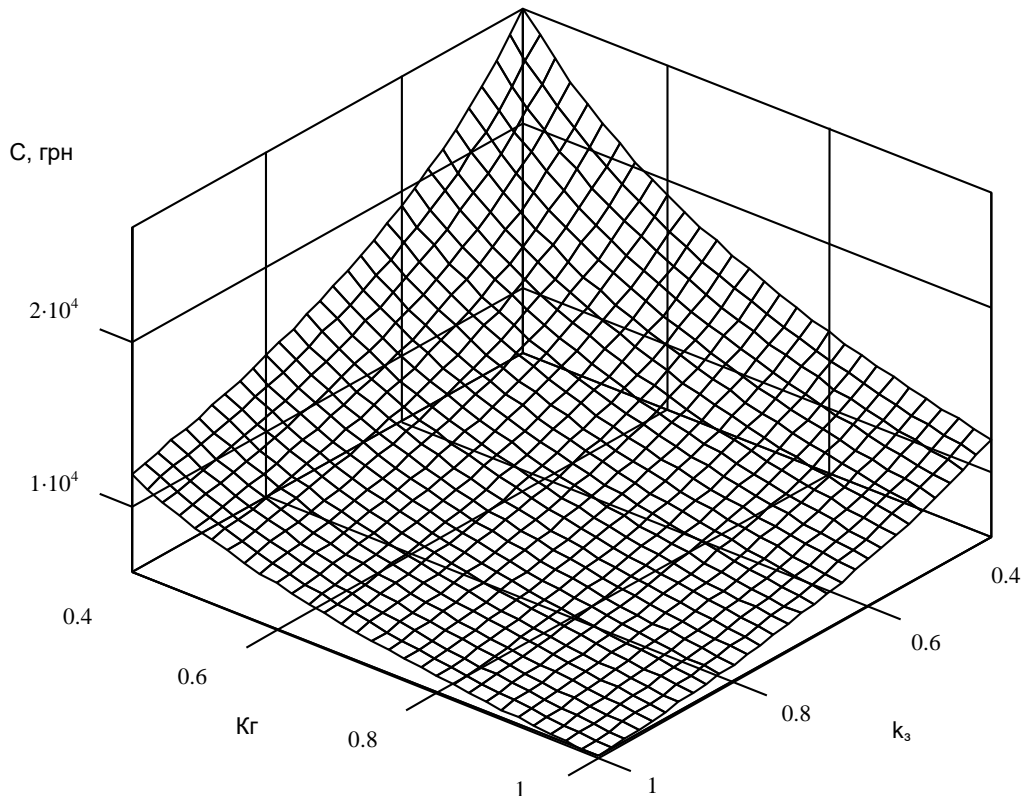


Рис. 1 Залежність собівартості складання від надійності обладнання і його завантаження

В залежності (2) сума витрат, приведених в у квадратних дужках, є вартість машино-години роботи обладнання: - змінна частина (електроенергія, стиснене повітря, ремонт, допоміжні матеріали), тобто витрати, що залежать від t_i . - постійна частина (амортизація обладнання і будівлі під обладнанням), що розраховуються на весь F_d . Для обліку постійних витрат в структурі вартості машино-години їх суму необхідно поділити на коефіцієнт використання обладнання (K_b), що дорівнює [3]:

$$K_b = k_3 \cdot K_r \cdot K_{нал}, \quad (3)$$

де k_3 - коефіцієнт завантаження; K_r - коефіцієнт готовності; $K_{нал}$ - коефіцієнт переналадок.

Так як планова частка часу на переналагодження враховується в F_d , то в нашому випадку залежність (3) представляється у вигляді:

$$K_b = k_3 \cdot K_r$$

Таким чином, знизити собівартість складання виробів

можна зменшивши витрати на ремонт обладнання, тобто підвищивши його параметричну надійність обладнання. Другий шлях – підвищити ефективність експлуатації складального обладнання збільшивши його завантаження (2), або підвищити його експлуатаційну надійність за допомогою синтезу раціональної часової структури [4]. У першому випадку витрати на ремонт знизяться, а коефіцієнт готовності підвищиться. Однак це в свою чергу призведе до збільшення амортизаційних відрахувань на обладнання, внаслідок збільшення його вартості. Вважаємо, що встановлений оптимальний рівень параметричної надійності обладнання в залежності від сумарних витрат на обладнання і експлуатацію [5,6]. Значить знизити собівартість складання можна шляхом збільшення завантаження устаткування, і підвищення коефіцієнта готовності, за рахунок введення величини $\Delta t^{вост}$ до складу часового резерву (рис.2) [7]. Нівелювання здійснюється за рахунок збільшення $t^{пр}$ і/ або $t^{мо}$, але з іншого боку це загрожує підвищенням собівартості і збільшенням тривалості виробничого циклу відповідно (рис. 3). Крім того, простий устаткування і міжопераційні пролежування взаємопов'язані між собою і утворюють виробниче протиріччя [4].

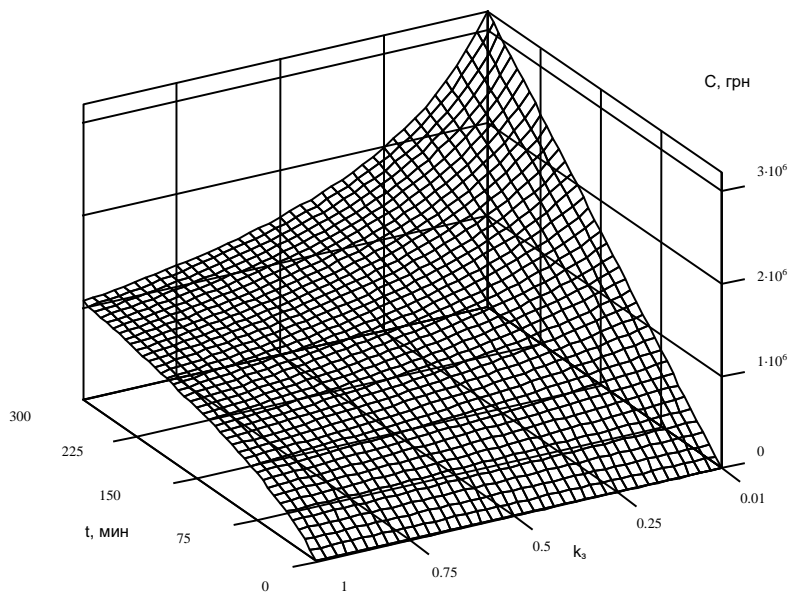


Рис. 2 Залежність собівартості від завантаження устаткування і трудомісткості виконання складальних операцій



Рис. 3 Пролежування деталей у виробництві

Крім збільшення тривалості виробничого циклу міжопераційні пролежування виробів праці у виробництві призводять до необхідності використання міжопераційних накопичувачів [8,9].

Якщо на початку ТПС в якості накопичувачів застосовують бункерні пристрої (рис. 4, а), то на останніх операціях ТПС це вже проміжні склади (рис. 4,б).



а)



б)

Рис. 4 виробничі накопичувачі

Відбувається наростання витрат в незавершеному виробництві. За визначенням зміна витрат в незавершеному виробництві є зміною капітальних витрат [9]:

$$K = K^{об} + K^{кв} + H \quad (4)$$

де $K^{об}$ - капітальні витрати по обладнанню; $K^{кв}$ - капі-

тальні витрати по накопичувальним системам; H - сума оборотних коштів в незавершеному виробництві.

Якщо склад обладнання не змінюється, то зміна капітальних витрат по устаткуванню дорівнює нулю. Поява в часовій структурі часу міжопераційного пролежування призведе до зміни капітальних витрат за накопичувальними системам. Врахування цієї зміни відбувається в математичній моделі собівартості шляхом збільшення в залежності (2) величин ΔS_{ai} , і $\Delta S_{a,i}$.

Таким чином зміна в капітальних витратах зводиться до зміни витрат в незавершеному виробництві [9]:

$$\Delta K = \Delta H \quad (5)$$

Методика досліджень

Розглянемо процедуру наповнення накопичувального пристрою (рис. 5) складальними одиницями, яке відбувається внаслідок різної тривалості операцій складання.



Рис. 5 Міжопераційний накопичувач

Для наочності уявлення візьмемо часову структуру з максимальною тривалістю останньої операції (рис. 6) [4]. В якості об'єкту дослідження виберемо другу операцію ТПС.

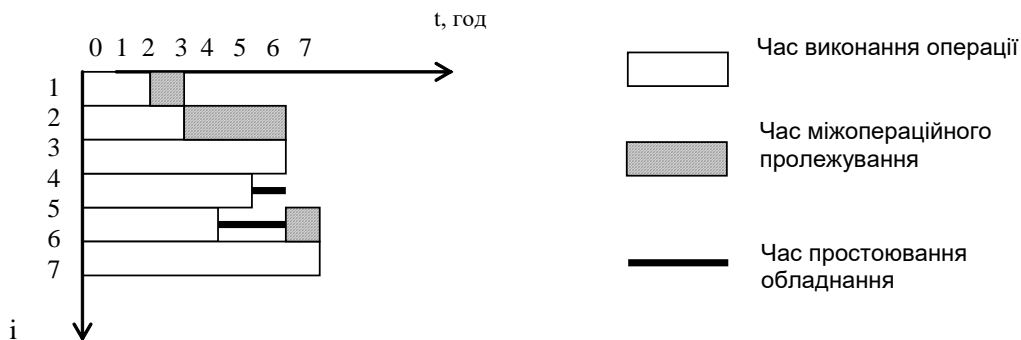


Рис. 6 Часова структура складання виробу

Вихідними даними для дослідження є: - тривалість операції складання: $t_2 = 3$ год (час міжопераційного пролежування на другій операції: $t^{mo_2} = 3$ год); - тривалість наступної операції збирання: $t_3 = 6$ год.

Рисунки 7 - 9 ілюструють процедуру наповнення накопичувача при наступних входженнях в ТПС. На рисунках прийнято позначення CE - складальна одиниця; t - хронометраж ТПС.

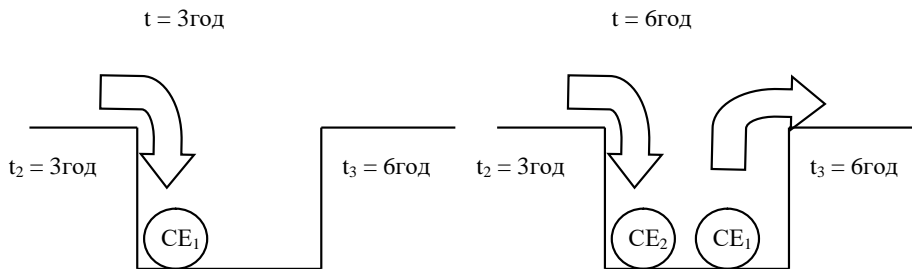


Рис.7 Ситуація при другому та третьому входженні в ТПС

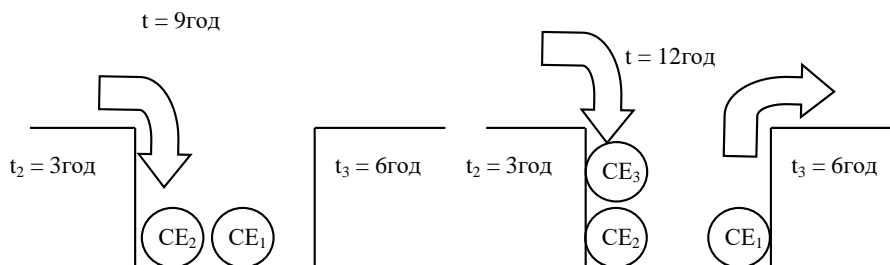


Рис.8 Ситуація при четвертому і п'ятому входження в ТПС

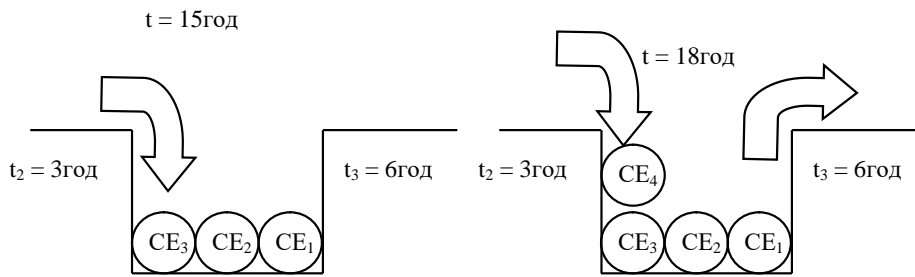


Рис.9 Ситуація при шостому і сьомому входженні в ТПС

В результаті дослідження впливу часу міжопераційного пролежування (t_{ij}^{MO}) на швидкість наповнення накопичувального пристрою була розроблена математична модель роботи накопичувального пристрою (6) [2].

$$m_{n_{ij}} = \text{ceil} \left(\frac{t_{ij}^{MO}}{t_{(i+1)}} \right), \quad (6)$$

де m_{nij} - кількість СЕ в накопичувальному пристрої після i -ої операції при j -му входженні в ТПС.

Функція **ceil** округлює до більшого цілого результат ділення в дужках. Дана математична модель дає можливість визначити витрати по незавершеному виробництву в натуральному вигляді на будь-якій стадії ТПС при будь-якій кількості входжень в нього.

Обсяг виробів у незавершеному виробництві в залежності від кількості входжень в ТПС при різних відносинах t_{ij}^{MO} до $t_{(i+1)}$ розподіляється відповідно до рис. 10.

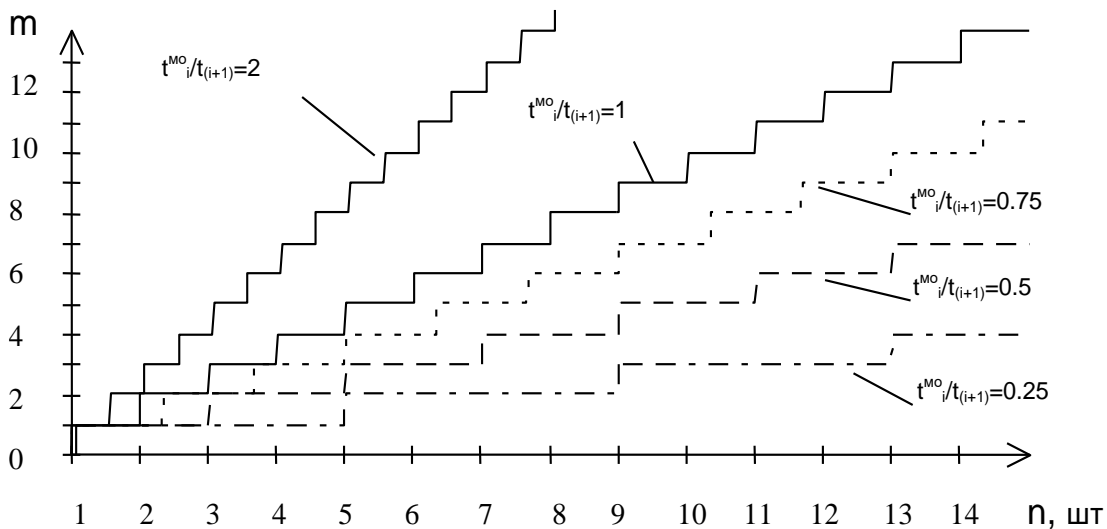


Рис. 10 Залежність обсягу виробів у незавершеному виробництві від кількості входжень в ТПС.

Залежно від стадії проходження виробом ТПС відбувається накопичення в виробі коштів, вкладених у виробництво. Аналітичну криву, представлену проф. Балакшином Б.С. [10] можна представити у вигляді дискретних ділянок наростання витрат на яких відбувається в залежності від собівартості збірки на суміжних операціях (рис. 11)

Існуючі математичні моделі засобів в незавершеному виробництві не відображають повною мірою їх структуру протягом ТПС так як розраховуються на всю тривалість

виробничого циклу. В них облік відбувається на підставі емпіричного коефіцієнта наростання витрат, який в залежності від виду виробництва змінюється в межах 0,5 до 1 [9,11].

Результати досліджень

Пропонована математична модель зміни капітальних витрат в незавершеному виробництві дає можливість поопераційно відстежити зміну коштів в незавершеному виробництві з метою їх раціонального використання.

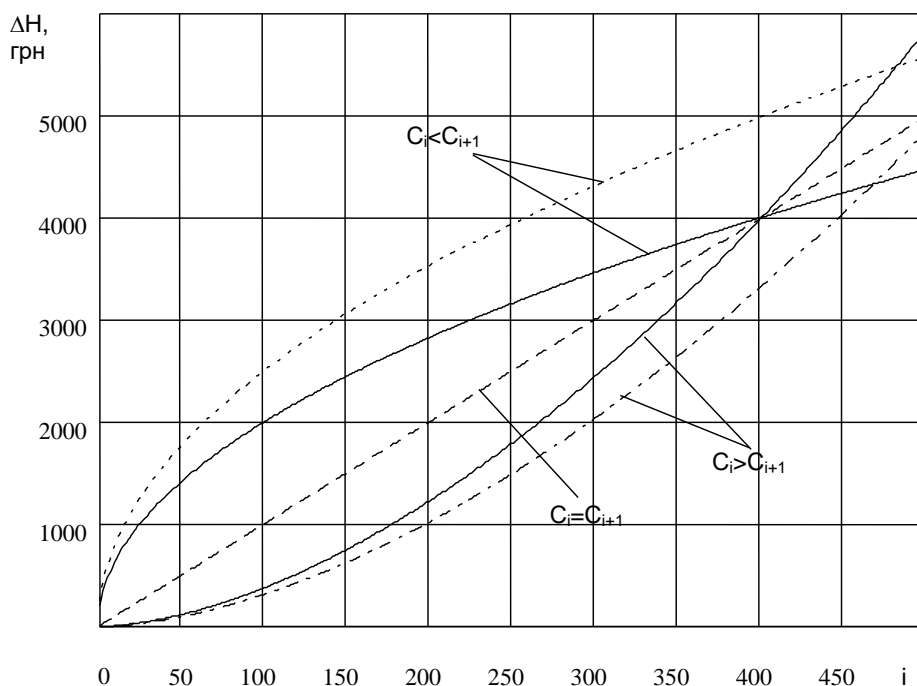


Рис. 11 Наростання витрат у незавершеному виробництві

$$\Delta H = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k m_{nij} \cdot \left(\sum_{\zeta=1}^i C_{\zeta} + M_n \right), \quad (7)$$

$$S_{\text{прив}} = \sum_{i=1}^k C_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k m_{nij} \cdot \left(\sum_{\zeta=1}^i C_{\zeta} + M_n \right)$$

де M_n - початкові матеріальні витрати на деталь або складальну одиницю.

Відповідно до даної математичної моделі, кожна складальна одиниця містить у своїй структурі собівартості суму собівартості складання попередніх операцій ТПС, а також матеріальні витрати за попередніми складальними операціями.

Висновки

Таким чином часова складова ТПС впливає як на собівартість складання так і на капітальні витрати складання виробу. В якості критерію оптимізації часових технологічних ланцюгів необхідно використовувати приведені витрати на складання виробу:

Для раціональної організації виробництва необхідно в комплексі оцінювати вплив всіх елементів часу технологічного процесу, на економічні показники і показники надійності експлуатації, враховуючи наслідки мінімізації. Це дозволяє розкрити і використовувати для забезпечення нормального функціонування систем внутрішні резерви закладені в самих системах. Більш глибоке проникнення в сутність досліджуваних процесів функціонування дозволяє виявити і обґрунтувати нові, ефективні методи забезпечення надійності складних систем в реальних умовах експлуатації.

Список використаної літератури:

1. Справочник технолога-машиностроителя: В 2т./Машиностроение. – М., 1986. – Т.2/ Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – 496с.
2. Коноплянченко Е.В. Применение теории временных цепей в интегрированной логистической поддержке автоматизированного сборочного производства/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н. //Системи розроблення та постановлення продукції на виробництво: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції (м. Суми, 17-20 травня 2016 року) / редкол.: О. Г. Гусак, К. О. Дядюра. - Суми : Сумський державний університет, 2016 – С.68-69.
- 3.Проников А.С. Надежность в технике. Технические системы. Методы оценки надежности сборочных операций: М. Р.-М.: ГК СТ, 1980. – 120с.
4. Коноплянченко Е.В. Підвищення надійності роботи складальних систем шляхом оптимізації часових технологічних ланцюгів / Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. — Харків: НТУ «ХПІ», 2001. — 20с.
5. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем/ В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин, В.А. Заславский, И.А. Ушаков / Под ред. В.С. Михалевича. – К.: Наук. думка, 1992. – 312с.
6. Надежность технических систем : Справочник / Под ред. И.А. Ушакова. - М.: Радио и связь, 1985. - 606 с.
7. Коноплянченко Е.В. Практические аспекты применения временных технологических цепей в ремонтных методах обеспечения надежности сложной техники/ Коноплянченко Е.В., Колодненко В.Н., Герасименко В.А.// Вісник ХНТУСГ. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ. – 2012. – Вип. 128 –

C.152- 156.

8. Лебедевский М.С., Вейц В.Л., Федотов А.И. Научные основы автоматической сборки. - Л.: Машиностроение, 1985. - 316 с.

9. Организационно-технологическое проектирование ГПС /В.О. Азбель, А.Ю. Звоницкий, В.Н. Каминский и др. /Под ред. С.П. Митрофанова.- Л.: Машиностроение. - 1986.-294 с.

10. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1969. - 358 с.

11. Технологические основы ГПС /В.А. Медеведев, В.П.Вороненко, В.Н. Брюханов и др./ Под ред. Ю.М.Соломенцева – М.: Машиностроение, 1991. – 239с.

Konoplianchenko Ie. V., Kolodnenko V. M., Balo P. M.

Development of methods of integral evaluation of economic indicators of the automated storage products process

The article presents an integrated estimation of the influence of the products automated assembly process time structure on the production systems reliability, taking into account economic indicators. A mathematical model of the change in capital costs in work in progress is proposed, which makes it possible to track operational costs of work in progress in order to minimize them.

Keywords: *production process, assembly, time chain, work in progress, cost minimization.*

Дата надходження до редакції: 10.02.2019

МОМЕНТИ ОСНОВНИХ РАДІАЛЬНИХ ТА КУТОВИХ СИЛ ШПАРИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Горовий Сергій Олександрович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4136-5965
e-mail: gorovyj64@gmail.com

У шпаринних ущільненнях відцентрових насосів внаслідок ексцентричного зміщення та кутового перекоосу ротора виникає деформація епюри розподілу тиску по довжині та периметру, що породжує виникнення рівнодійних основних складових гідродинамічної сили: пружної, демпфуючої та циркуляційної. Рівнодійні основних сил можуть бути перенесені до геометричного центру ущільнення з утворенням відповідних гідродинамічних моментів. Ці гідродинамічні моменти радіальних та кутових гідродинамічних сил в шпаринному ущільненні відцентрового насоса мають вплив на динамічні характеристики агрегата у випадку здійснення ротором насоса сумісних радіально-кутових коливань. Куткові моменти є функціями кутів повороту ротора в шпаринному ущільненні. Момент пружної сили створює кутову нестабільність ротора в одиночному ущільненні, а за наявності двох симетричних шпаринних ущільнень цей момент компенсується моментами рівнодійних пружних сил відносно центра ротора в цілому.

Ключові слова. Відцентровий насос, шпаринне ущільнення, опора-ущільнення, виток рідини, тиск рідини, напор рідини, гідродинамічні сили, моменти гідродинамічних сил.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.3>

Постановка проблеми у загальному вигляді. Ряд дослідів, які були здійснені на спеціально створених стендах, підтвердили теоретичні висновки про вплив ущільнень на динамічні характеристики ротора [1, 2, 3, 4, 5]. На сьогоднішній день існують конструктивні схеми відцентрових насосів так званої „безвальної“ конструкції, в яких робоче колесо насоса має можливість вільно самоорієнтуватися в симетричних ущільненнях, які виконують функції головних опорно-ущільнюючих вузлів з необхідними гідродинамічними параметрами [6]. При цьому робоче колесо здійснює вимушені радіально – кутові коливання під дією гідродинамічних сил та їх моментів в межах радіальних зазорів ущільнень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Роботи багатьох науковців були присвячені дослідженню структури гідродинамічних сил та їх моментів у безконтактних ущільненнях проточної частини відцентрових насосів. Розрахункові та дослідні дані, що зумовлюють величини та напрями сил, докладно наведені в роботах [4, 5]. Гідродинамічні сили в ущільненнях можуть бути причиною руйнівних автоколивань ротора, або стабілізувати останній та суттєво зменшити віброактивність агрегату в цілому [1, 2, 3]. Цілеспрямована оптимізація вібраційних параметрів відцентрових насосів реалізується шляхом вдосконалення динамічних характеристик ротора з урахуванням гідродинамічних процесів, що мають місце в розвиненій системі шпаринних ущільнень між ротором та статором [7]. Гладкі шпаринні ущільнення дифузornoї форми повздожнього перетину створюють передумови для статичної та динамічної нестійкості ротора, а конфузornoї, навпаки, сприяють стабілізації ротора.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). В даній роботі пропонується якісно оцінити гідравлічні можливості безконтактних ущільнень створювати радіальні та кутові моменти основних гідродинамічних сил при виконанні функцій динамічних опор та ущільнень в єдиному вузлі шпаринного ущільнення відцентрового насоса. Самовстановлення ротора в симетричних шпаринних ущільненнях досягається за рахунок дії основних гідродинамічних

сил та їх моментів радіальної та кутової природи. Отримуються вирази щодо чисельного розрахунку гідравлічних коефіцієнтів моментів основних гідродинамічних сил.

Виклад основного матеріалу дослідження. Гідродинамічні процеси в рідинних шарах ущільнень породжують силову взаємодію між ротором та статором, що дуже суттєво впливає на динаміку відцентрового агрегату в цілому. Ротори відцентрових насосів окрім головних підшипникових вузлів спіраються на додаткову опорну систему, яка складається з безконтактних шпаринних ущільнень проточної частини.

Фізичні процеси гідродинамічного походження радіальних та кутових гідродинамічних сил в шпаринних ущільненнях зумовлюють той факт, що рівнодійні цих сил не проходять точно через геометричний центр ущільнення, що викликає появу гідродинамічних моментів при переносі рівнодійних в серединний перетин. В даній роботі розраховуються моменти гідродинамічних сил, які є функціями як радіального ексцентриситету, так і саме кутів перекоосу (або повороту) вісі ротора по відношенню до двох взаємно перпендикулярних вісей – діаметрів серединного перетину гладкого циліндричного шпаринного ущільнення. Гідродинамічне походження гідродинамічних сил пов'язане з деформацією епюри тиску рідини в ущільненні вздовж периметру та вздовж довжини дроселюючого кільцевого каналу ущільнення. Деформація епюри тиску, що зумовлюється кутовими переміщеннями ротора, породжує гідродинамічну силу, складові якої характеризуються такими коефіцієнтами: коефіцієнт кутової (або кутової гідростатичної) жорсткості, коефіцієнт кутового демпфювання та коефіцієнт кутової циркуляційної сили щодо кутових коливань ротора в ущільненні. Такий розділ складових сумарної гідродинамічної сили окремо на радіальні та кутові компоненти можливий тому, що ці складові є функціями двох незалежних параметрів, а саме: радіального ексцентриситету ротора в ущільненні та кута перекоосу (або повороту) вісі ротора в ущільненні.

Функціональні вирази для моментів сил відносно двох взаємно перпендикулярних діаметрів серединного перетину

ущільнення отримуються у вигляді інтегралів від елементарних моментів:

$$M_X = -\frac{\pi \cdot r \cdot l^2}{4} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 P(\bar{z}, \varphi) \cdot \bar{z} \cdot d\bar{z} \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \quad (1)$$

$$M_Y = -\frac{\pi \cdot r \cdot l^2}{4} \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 P(\bar{z}, \varphi) \cdot \bar{z} \cdot d\bar{z} \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi,$$

де: $P(\bar{z}, \varphi)$ - функція розподілу тиску в кільцевому каналі ущільнення;

x, y - дві взаємно перпендикулярні радіальні вісі в

серединному перетині ущільнення;

z - вісь симетрії ущільнення (вздовж каналу);

r, l - геометричні параметри ущільнення;

φ - змінний кут в серединному перетині ущіль-

нення.

Функція розподілу тиску в каналі ущільнення $P(\bar{z}, \varphi)$ залежить від двох складових загального витoku

рідини крізь ущільнення: g_o та Δg , де g_o - виток рідини крізь канал одиничної ширини при стаціонарному режимі течії рідини; Δg - виток рідини, який зумовлюється малими

радіальними та кутовими зміщеннями ротора в ущільненні. Виток рідини крізь канал одиничної ширини при статичній рівновазі ротора може бути обчислений за формулою:

$$g_o = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot \xi_o}} \cdot h_o, \quad (2)$$

де: ΔP - вісьовий перепад тиску на ущільненні;

ξ_o - коефіцієнт втрат напору рідини в ущільненні;

h_o - радіальний зазор в ущільнення;

ρ - густина рідини.

Зміна витoku рідини крізь ущільнення, яка зумовлена малими радіальними та кутовими зміщеннями ротора, з деякими спрощеннями може бути записана у вигляді рівняння:

$$\Delta g \approx -g_o \cdot \left(\gamma_1 \cdot \frac{d_o}{h_o} + \gamma_2 \cdot \frac{d_1 \cdot l}{h_o} \right) - g_2 \cdot d_2 - g_3 d_3, \quad (3)$$

де: $\gamma_1 = x \cdot \cos \varphi + y \cdot \sin \varphi$;

$\gamma_2 = g_y \cdot \cos \varphi + g_x \cdot \sin \varphi$;

d_o, d_1, d_2, d_3 - коефіцієнти, що пов'язують гідравлічні втрати тиску по кільцевому каналу в залежності від його геометричних параметрів;

d_2, d_3 - витoki рідини з каналу з урахуванням висхідного тиску рідини внаслідок радіального та кутового переміщення вала.

В загальному вигляді функція $P(\bar{z}, \varphi)$ розподілу тиску зумовлюється всією сукупністю геометричних та силових факторів шпаринного ущільнення. Проте вплив інерційних та гіроскопічних складових на вираз функції $P(\bar{z}, \varphi)$ дуже незначний (не перевищує 10 %) [7], тому цими величинами в розрахунках можна нехтувати, отримуючи формулу тиску у вигляді:

$$P(\bar{z}, \varphi) \approx P_{10} - \frac{\lambda \cdot \rho}{8 \cdot h_o} \cdot B(\bar{z}) \cdot dz; \quad (4)$$

де:

$$B(\bar{z}) = g_o^2 \cdot \frac{2}{h_o} \cdot \gamma_1 + \frac{4}{3} g_o \cdot \Delta g + \frac{4}{3} g_o \cdot (g_2 - g_3) + \frac{4}{5} g_o \cdot g_3;$$

P_{10} - вхідний тиск рідини (перед ущільненням).

Комплекс $\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho}{8 \cdot h_o^3}$, з урахуванням виразу для

коефіцієнта втрат напору по довжині каналу:

$$\xi_o = \xi_1 - \xi_2 + \frac{\lambda \cdot l}{2 \cdot h_o}, \text{ може бути записаний в такій}$$

формі:

$$\frac{\lambda \cdot l \cdot \rho}{8 \cdot h_o^3} = \frac{1}{4} \cdot \frac{\rho}{h_o^2} \cdot \xi_o \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_2), \quad (5)$$

де: $\alpha_1 = \frac{\xi_1}{\xi_o}$ - відносний коефіцієнт вхідних втрат

напору в ущільненні,

$\alpha_2 = \frac{\xi_2}{\xi_0}$ - відносний коефіцієнт вихідних втрат напорів в ущільненні.
Маючи вирази (2), (3), (4) та (5), шляхом послідовних

взаємопідстановок їх у вирази (1) отримуємо після інтегрування трансформованих виразів (1) за змінною φ проєкції гідродинамічних моментів радіально-кутових сил в шпаринному ущільненні:

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\omega}{2} \cdot \alpha_v & \alpha_e \\ \alpha_e & -\frac{\omega}{2} \alpha_v \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \alpha_v \\ \alpha_v & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \beta_g & -\frac{\omega}{2} \cdot \beta_{gv} \\ \frac{\omega}{2} \beta_{gv} & \beta_g \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathcal{G}_x \\ \mathcal{G}_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\beta_{gv} & \alpha_v \\ 0 & -\beta_{gv} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{\mathcal{G}}_x \\ \dot{\mathcal{G}}_y \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де:

$$\alpha_e = \frac{1}{12h_0} \cdot \pi \cdot r \cdot l^2 \cdot \Delta P \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_2) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2),$$

$$\alpha_v = \frac{1}{24h_0} \cdot \pi \cdot r \cdot l^3 \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho \cdot \xi_0} \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_2) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2),$$

$$\beta_g = \frac{1}{12h_0} \cdot \pi \cdot r \cdot l^3 \cdot \Delta P \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_2) \cdot (\alpha_1 + \alpha_2),$$

$$\beta_{gv} = \frac{1}{144h_0} \cdot \pi \cdot r \cdot l^4 \sqrt{2 \cdot \Delta P \cdot \rho \cdot \xi_0} \cdot (1 - \alpha_1 + \alpha_2) \cdot (\alpha_1 - \alpha_2 + 0,25).$$

Вирази (6) є аналітичними виразами для моментів основних гідродинамічних сил в шпаринному ущільненні, які породжуються як ексцентриситетом ротора (x, y) в статорній оболонці ущільнення, так і кутовими зміщеннями ($\mathcal{G}_x, \mathcal{G}_y$) вісі ротора відносно вісі статора. При цьому важливо зауважити, що кутова гідростатична складова моменту:

$$M_{x[y]} = \beta_g \cdot \mathcal{G}_x [\mathcal{G}_y]$$

спрямована таким чином, що збільшує кут перекосу ротора; тому вільний ротор в одному ущільненні статично нестійкий відносно перекосів при дрослюванні на ущільненні вже зовсім незначного вісьового перепаду тиску (починаючи з 0,2 – 0,3 бар) і миттєво самостійно втрачає співвісність з ущільненням, повертаючись на максимально можливий кут в ущільненні. У випадку ротора в двох симетричних однакових за розмірами гладких циліндричних ущільнень втрата кутової статичної стійкості не відбувається внаслідок компенсуючої дії моментів радіальних гідростатичних сил умовно прикладених в геометричних центрах ущільнень. Ці сили намагаються ліквідувати радіальний ексцентриситет ротора в ущільненнях, який виникає при перекосі вісі

ротора, та створюють моменти відносно геометричного центра самого ротора. Дані моменти перевищують дію дестабілізуючих кутових гідростатичних складових моменту

$M_{x[y]} = \beta_g \cdot \mathcal{G}_x [\mathcal{G}_y]$ і повертають ротор до співвісного з ущільненнями положення.

Висновки з даного дослідження. Фізичні процеси гідродинамічного походження радіальних та кутових гідродинамічних сил в шпаринних ущільненнях зумовлюють той факт, що рівнодіючі цих сил не проходять точно через геометричний центр ущільнення, що викликає появу гідродинамічних моментів при переносі рівнодіючих в серединний перетин. Гідростатична складова моменту намагається збільшити кут перекоса ротора в одиничному шпаринному ущільненні. Гідродинамічні моменти стають суттєвим чинником, який впливає на динамічні властивості ротора відцентрового насоса у випадку здійснення останнім сумісних радіально-кутових коливань в шпаринних ущільненнях проточної частини відцентрового насоса.

Список використаної літератури:

1. Марцинковский В.А. Бесконтактные уплотнения роторных машин. / В.А. Марцинковский - М.: Машиностроение, 1980. - 200 с.
2. Марцинковский В. А. Насосы атомных электростанций. / В.А. Марцинковский, П.Н. Ворона - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 256 с.

3. 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.
4. Гулый А.Н. Гидродинамическая жесткость бесконтактных уплотнений // Вестник машиностроения. - 1987. - N 2. 21-25.
5. Беда И.Н. Разработка уточненной модели и исследование динамических характеристик системы ротор-щелевые уплотнения. /Дис...канд.техн.наук. - М., 1992.- 192 с.
6. Горовой С. А. Экспериментальные исследования насоса с самоустанавливающимся рабочим колесом / С.А. Горовой - Ежемес. межд. научно-техн. и производств. журнал "Химическое и нефтегазовое машиностроение", М.: МПУ, 2019 - № 2 - С. 36 - 40.
7. Горовой С. А. Гидродинамический расчет опорно-уплотнительных узлов центробежного насоса с самоустанавливающимся ротором / С. А. Горовой – Ежем. междуна. научно - техн. и произв. журнал Химическое и нефтегазовое машиностроение - М.: МГМУ, 2017 - № 3 - С. 21 – 24.

Горовой С.А.

Моменты основных радиальных и угловых сил щелевого уплотнения центробежного насоса

В щелевых уплотнениях центробежных насосов вследствие эксцентричного смещения и углового поворота (перекоса) ротора возникает деформация эпюры распределения давления по длине и периметру уплотнения, что порождает возникновение равнодействующих основных составляющих гидродинамической силы: упругой, демпфирующей и циркуляционной. Равнодействующие основных сил могут быть перенесены в геометрический центр уплотнения с образованием соответствующих гидродинамических моментов. Эти гидродинамические моменты радиальных и угловых гидродинамических сил в щелевом уплотнении центробежного насоса имеют существенное влияние на динамические характеристики агрегата в случае, когда ротор насоса совершает связанные радиально-угловые колебания. Угловые моменты есть функциями углов поворота (перекоса) ротора в уплотнении. Момент упругой силы создает угловую неустойчивость ротора в одиночном уплотнении, но при наличии двух симметричных щелевых уплотнений этот момент компенсируется моментами равнодействующих упругих сил относительно геометрического центра всего ротора.

Ключевые слова. Центробежный насос, щелевое уплотнение, опора-уплотнение, расход жидкости, давление жидкости, напор жидкости, гидродинамические силы, моменты гидродинамических сил, ротор насоса.

Gorovoy S.A.

Moments of basic radial and angular forces gap seal of centrifugal pump

In slotted seals of centrifugal pumps, due to eccentric displacement and angular rotation (skew) of the rotor, deformation of the pressure distribution diagram along the length and perimeter of the seal arises, which gives rise to the resultant main components of the hydrodynamic force: elastic, damping and circulating. The resultant main forces can be transferred to the geometric center of compaction with the formation of the corresponding hydrodynamic moments. These hydrodynamic moments of radial and angular hydrodynamic forces in the slit seal of a centrifugal pump have a significant effect on the dynamic characteristics of the unit in the case when the pump rotor makes coupled radial-angular oscillations. Angular moments are functions of the angles of rotation (skew) of the rotor in the seal. The moment of elastic force creates the angular instability of the rotor in a single seal, but in the presence of two symmetrical gap seals, this moment is compensated by the moments of the resultant elastic forces relative to the geometric center of the entire rotor.

Keyword. Centrifugal pump, gap seal, bearing seal, liquid presse, hydrodynamic forces, hydrodynamic moment, rotor of pump.

Дата надходження до редакції: 02.03.2019

НОВИЙ СПОСІБ ВІДНОВЛЕННЯ І ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ З ЛИСТОВОЇ СТАЛІ, ЩО ПІДДАЮТЬСЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АБРАЗИВНОМУ ЗНОСУ

Тарельник Вячеслав Борисович

доктор технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2005-5861>
e-mail: tarelnik@i.ua

Саржанов Богдан Олександрович

Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9796-9499>
e-mail: sarzhanov_b@i.ua

Гапон Олександр Олександрович

Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2222-9378>
e-mail: gapon_a@i.ua

В статті описане технічне рішення, яке відноситься до галузі машинобудування і ремонту машин, зокрема до відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, які піддаються, в залежності від умов зовнішнього впливу, різним видам абразивного зносу. Спосіб включає видалення зношеної частини деталі і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу, і сполучення його з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням, в якому, відповідно до одного з варіантів технічного рішення, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним пазом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним шипом, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом електроерозійного легування (ЕЕЛ) до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні паза сегмента покривають металополімерним матеріалом (МПМ). Згідно з другим варіантом технічного рішення, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним шипом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним пазом. Технічним результатом рішення, що заявляється, є відсутність жолоблення, а також підвищення твердості і зносостійкості відновлених і зміцнених деталей в умовах інтенсивного абразивного зношування; можливість використання в якості відновлювального матеріалу зносостійких металів з будь-яким ступенем зварюваності; невелика витрата електроенергії і екологічна безпека.

Ключові слова: відновлення, ремонт, дискова борона, зношування, електроерозійне легування, поверхнево-пластичне деформування.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.4>

Вступ

На сьогоднішній день однією з найважливіших проблем людства, пов'язаних з тертям, є проблема зношування машин і механізмів. Підвищення надійності та довговічності устаткування залишається актуальним завданням і вимагає комплексного підходу.

Надійність і довговічність машин багато в чому обумовлені явищами тертя і зношування, що відбуваються в їхніх вузлах. Зношування призводить до порушення герметичності вузлів, втрачається точність взаємного розміщення деталей і переміщень. Виникають заклинювання, удари, вібрації, які призводять до поломок. Тертя призводить до втрат енергії, перегріву механізмів, зниження передатних зусиль, підвищених витрат пального та інших матеріалів. Явища тертя і зношування взаємно обумовлені: тертя призводить до зношування, а зношування поверхонь деталей у ході роботи призводить до зміни тертя.

Найважливішими завданнями ремонтно-обслуговуючого виробництва є підтримка працездатності, відновлення ресурсу машин і устаткування, забезпечення їхньої високої надійності та можливості ефективного використання. Для вирішення цих завдань передбачається поліпшення якості ре-

монту за рахунок впровадження сучасних методів його організації і оптимальних технологічних процесів зміцнення та відновлення деталей. Ресурс відновлених деталей, як правило, значно вище завдяки використанню ефективних способів відновлення і поліпшених властивостей зміцнених поверхонь.

Сучасні ремонтні технології мають у своєму розпорядженні достатню кількість способів захисту від абразивного зношування: наплавлення зносостійким матеріалом, газоплазмове напилювання твердосплавними порошками, приварювання окремих сегментів з наплавленням композиційним матеріалом типу стеллит, напайка твердосплавних пластин безпосередньо на поверхню, що зношується і ін. Їх застосовують як при виготовленні, так і при ремонті деталей машин. Одним з основних недоліків застосовуваних технологій є їхній негативний вплив на навколишнє середовище.

При цьому видалення зношеної частини деталі, заміна її окремими сегментами й зміцнення поверхонь, що піддаються в процесі роботи абразивному зношуванню, нерідко здійснюється методами, що роблять шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Серед розглянутих методів зміцнення й відновлення деталей великої уваги заслуговують електроерозійне легування (ЕЕЛ), нанесення металополімерних матеріалів

(МПМ), поверхнєве пластичне деформування (ППД), які екологічно безпечні й останнім часом всі частіше використовуються в ремонтному виробництві.

Таким чином, незважаючи на наявність ряду відомих екологічно безпечних способів зміцнення й відновлення, що зношуються ділянок поверхонь деталей, проблема не втратила своєї актуальності.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Абразивному зношуванню в різних його проявах, залежно від того захоплюються абразивні частинки потоком рідини або газу, відбувається зношування закріпленим або вільним абразивом, піддається більшість деталей машин.

Абразивний знос незакріпленим абразивом. Технічне забезпечення сільського господарства є важливим чинником забезпечення стабільних процесів виробництва продовольства. У багатьох господарствах при підготовці ґрунту використовують його механічну обробку.

Сферичні диски в якості робочих органів знарядь, призначених для обробки ґрунту, широко використовуються на таких ґрунтообробних машинах, як плуги, луцильники, сівалки, борони, картоплесаджалки та ін. Виготовляють диски найчастіше з листів сталей 65Г и 70Г. Твердість їх робочої зони після термічної обробки становить HRC 35-45 з кутом заточення 37° при товщині леза 0, 3-0,5 мм. Робочі органи ґрунтообробних машин працюють в ґрунтовому середовищі, яке є сильним незакріпленим абразивом. Під дією цього середовища лезо диска швидко змінює свою форму, що призводить до його затуплення і втрати працездатності [1, 2].

Прикладом сферичного диска в якості робочого органу знарядь, призначених для обробки ґрунту, є відвал корпусу плуга. Відома конструкція відвалу корпусу плуга, яка передбачає його відновлення за рахунок приварювання дуговым зварюванням сегмента, що компенсує знос, у заздалегідь видалену зношену область відвалу. Сегмент попередньо піддається термічній обробці до твердості 50 ... 60 HRC по всій його глибині. Для забезпечення необхідних механічних властивостей відновлюваного відвалу проводиться наплавочне армування області зварних швів [3]. Однак виготовлення сегмента, використовуюваного для компенсації зносу відвалу, пов'язане з рядом труднощів. Головна з них полягає в тому, що для отримання заданої твердості сегмента його піддають термічній обробці. В результаті, витримати необхідний радіус кривизни сегмента, який має досить велику площу, стає занадто трудомістким через його викривлення при термічній обробці, яка до всього іншого негативно впливає на навколишнє середовище.

Найбільш близьким до пропонованого способу з технічної сутності і результату, який досягається, є спосіб відновлення і зміцнення відвалу корпусу плуга, що включає видалення зношеної частини відвалу, забезпечення наявності компенсуючого знос профільного сегмента, його приварювання з робочого боку поверхні відвалу, причому, розміри сегмента вибирають, виходячи з умов розташування зварювального шва поза зоною інтенсивного зношування відвалу, і наплавку в області відновлення армувальних валиків із зносостійкого електродного матеріалу. При цьому армувальні валики розташовані перпендикулярно переміщенню ґрунту на відстані 20 мм один від одного, з виходом їх в зону очікуваного лучевидного зносу відвалу [4].

Недоліком даного способу є сильний тепловий вплив

на довкілля при напавленні армувальних зносостійких валиків, тому що наплавка відбувається з глибоким проплавленням основного металу. Це призводить до викривлення відвалів, що підлягають відновлюванню та зміцнюванню. Крім того, спосіб не забезпечує високих показників зносостійкості і ресурсу відновлених і зміцнених відвалів корпусів плугів при їх експлуатації на ґрунтах, що володіють високою зношувальною здатністю, насамперед піщаних і супіщаних. При цьому застосування дугового зварювання при проведенні відновлювальних робіт передбачає:

- неможливість використання в якості матеріалу при відновленні: металів з задовільною зварюваністю, коли зварюваний метал для запобігання тріщин попередньо нагрівається, а після зварювання піддається термообробці; металів з обмеженою здатністю до зварювання, коли сталь схильна до утворення тріщин і її попередньо піддають термообробці, а також термічно обробляють після зварювання; металів з низькою здатністю до зварювання, коли метал має схильність до утворення тріщин, і зварювання виконується з попередньою термообробкою, і при цьому підігрів проводиться і після зварювання;

- застосування спеціальних зварювальних перетворювачів і зварювальних трансформаторів;

- велика витрата електроенергії;

- залежність якості з'єднань від кваліфікації зварника;

- складність технології та необхідність контролю на всіх її етапах;

- шкідливі умови процесу зварювання для оточуючих.

Гідроабразивне зношування. Промислові підприємства, які використовують в своєму виробничому процесі центрифуги, насосне та компресорне обладнання, стикаються з необхідністю захисту при експлуатації або відновлення при ремонті гвинтових поверхонь шнеків центрифуг, які виготовлені з листового прокату і піддаються гідроабразивному зносу. Не затриманий пісколовками пісок, що міститься в осаді, є основною причиною зносу шнеків центрифуг. Шнеки, виготовлені зі сталі X18H10T, істотно зношуються через 1,5 - 3 тисячі годин роботи. Оскільки вартість шнека досить висока (30% вартості центрифуги), практикується періодична заміна шнеків, які реставруються в заводських умовах [5].

Традиційно, при ремонті шнеків, зношені ділянки лопастей замінюють окремими сегментами, які приварюють до вцілілих поверхонь. Наприклад, при ремонті центрифуги, марки ОГШ-631К-02, що вийшла з ладу на очисних спорудах, які входять до складу ДКП "Місьководканал" м. Суми, на окремі сегменти наносили покриття, які потім приварювали відповідно шаблону до поверхонь шнека. Сегменти, як і шнек, виготовляли з нержавіючої корозійностійкої сталі 12X18H10T [6].

Недоліком такого способу ремонту є значна трудомісткість і висока вартість нанесення покриттів, а також негативний вплив на навколишнє середовище способу прикріплення сегментів до зношеної поверхні шнека методом зварювання.

Газоабразивне зношування. Не менш важливою проблемою є захист деталей машин і агрегатів від газоабразивного зносу. Так, після деякого часу роботи в умовах запиленого потоку будь-який початковий профіль вхідної кромки лопатки робочого колеса відцентрового компресора перетво-

рюється в загострений. Лопатки дуттьових машин виготовляють зазвичай з листового прокату [7].

Таким чином, кожен спосіб має, свої недоліки і переваги. Одним з основних недоліків таких ремонтних технологій, як наплавка, напайка, газоплазмове напилення, зварювання та ін., є їх негативний вплив на навколишнє середовище.

Технічною задачею пропонованого технічного рішення є: підвищення довговічності відновлених і зміцнених деталей з листової сталі при їх експлуатації в середовищах, що володіють високою зношувальною здатністю; відсутність жолоблення, а також підвищення твердості і зносостійкості відновлених і зміцнених деталей в умовах інтенсивного абразивного зношування; поява можливості використання зносостійких металів з будь-яким ступенем зварюваності в якості

матеріалу при здійсненні процесу відновлення; невелика витрата електроенергії; екологічна безпека.

Метою роботи є підвищення безпечної діяльності підприємства й зниження негативного впливу на навколишнє середовище ремонтних технологій, використовуваних при відновленні й зміцненні деталей машин, що виготовляються зі сталевих аркушів, за рахунок використання екологічно чистих і безпечних методів ремонту й зміцнення.

Методика досліджень

Для дослідження структури й виміру мікротвердості поверхневого шару використовували шліфи зразків листової сталі 65Г і корозійностійкої нержавіючої сталі 12Х18Н10Т розміром 10х10х6 після цементації методом ЕЕЛ (ЦЕЕЛ). Легування відбувалося на різних режимах на установці з ручним вібратором «Элитрон-52А» (рис. 1, а) у діапазоні енергій розряду (W_p) від 3,9 до 6,8 Дж.

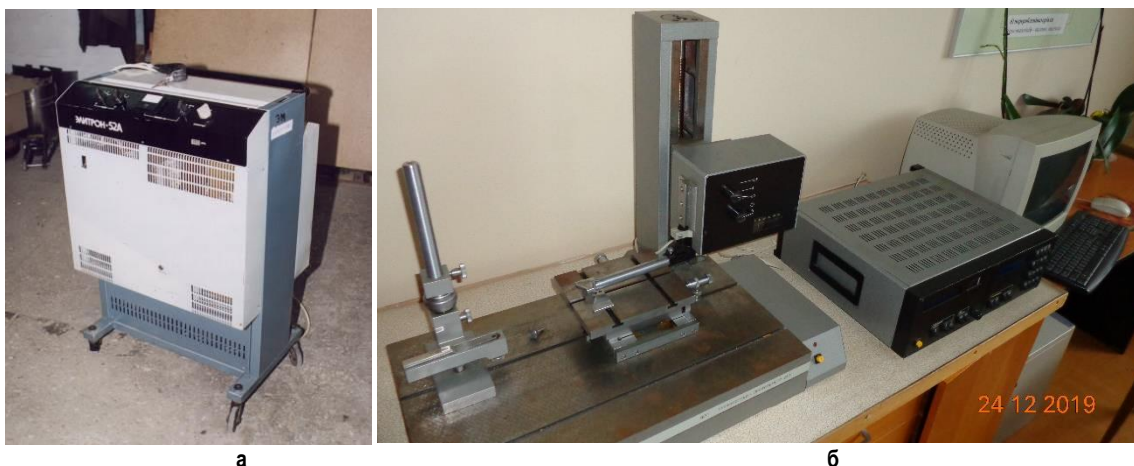


Рисунок 1 – Установка ЕЕЛ «Элитрон-52А» (а) і измерение шероховатости на приборе профилографе – профилометре мод. 201 завода «Калибр» (б).

На зразки сталі 12Х18Н10Т методом ЕЕЛ наносили покриття електродами з твердого сплаву Т15К6 послідовно спочатку при енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж, а потім при $W_p = 0,90$ Дж, а на покриття з твердого сплаву Т15К6 наносили МПМ, попередньо армований порошком в вигляді твердо-сплавної суміші ВК6, доданої до двокомпонентної епоксидної системи, наповненої феросіліконом марки Loctite 3478 при концентрації армувальної речовини ~ 60%. Зміцнення поверхонь зразків зі сталі 65Г проводили поетапним нанесенням покриття методом цементації ЕЕЛ, знижуючи на кожному етапі енергію розряду в діапазоні від $W_p = 6,8$ Дж до $W_p = 3,9$ Дж.

Після виготовлення шліфи досліджували на оптичному мікроскопі «Неофот-2», де проводилася оцінка якості шару, його суцільності, товщини й будови зон підшару - дифузійної зони й зони термічного впливу. Одночасно проводився дюрOMETричний аналіз на розподіл мікротвердості в поверхневому шарі й по глибині шліфа від поверхні. Вимір мікротвердості проводили на мікротвердомірі ПМТ-3 вдавненням алмазної піраміди під навантаженням 0,05 Н.

Шорсткість вимірювали на приладі профилографі-профилометрі мод. 201 заводу «Калибр» (рис. 1, б) шляхом зняття й обробки профилограм.

Перед створенням нероз'ємної сполуки контактуючі поверхні диска й сегмента, заповнювали МПМ.

Результати досліджень

Поставлена технічна задача вирішена [10, 11] завдяки

створенню способу екологічно безпечного відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі і таких, що піддаються абразивного зносу в процесі експлуатації, який, включає видалення зношеної частини деталі і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу, і сполучення його з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням, але в якому, відповідно до одного з варіантів технічного рішення, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним пазом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним шипом, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕЕЛ до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні паза сегмента покривають МПМ. При цьому шип відновлюваної деталі вставляють у паз сегмента по пресовій посадці, а встановлений сегмент додатково фіксують заклепками, гвинтами або іншими кріпильними елементами. Причому, до відновлюваної деталі приєднують сегменти, виконані як з однакових з відновлюваною деталлю, так і відмінних від неї матеріалів. Наприклад, для відвалу корпусу плуга, виготовленого зі сталі 65Г, сегменти можуть бути виконані з будь-якої зносостійкої до абразивного зносу сталі: 70Г, 45, Л53 і ін.

Застосування пропонованого способу пояснюється на прикладах відновлення дискових робочих органів і шнеків центрифуг.

Спосіб, відновлення дискових робочих органів

Варіант 1 (сегмент із пазом)

Спосіб, відновлення зношеної поверхні дискових робочих органів (рис. 2), виготовлених з листової сталі 65Г, товщиною 6 мм, здійснюється в такий спосіб. Зношену поверхню

диска (рис. 2, вид В) проточують як чисто й на пелюстках, залежно від форми паза в сегменті (рис. 3, а), виготовляють виточення (рис. 3, б).

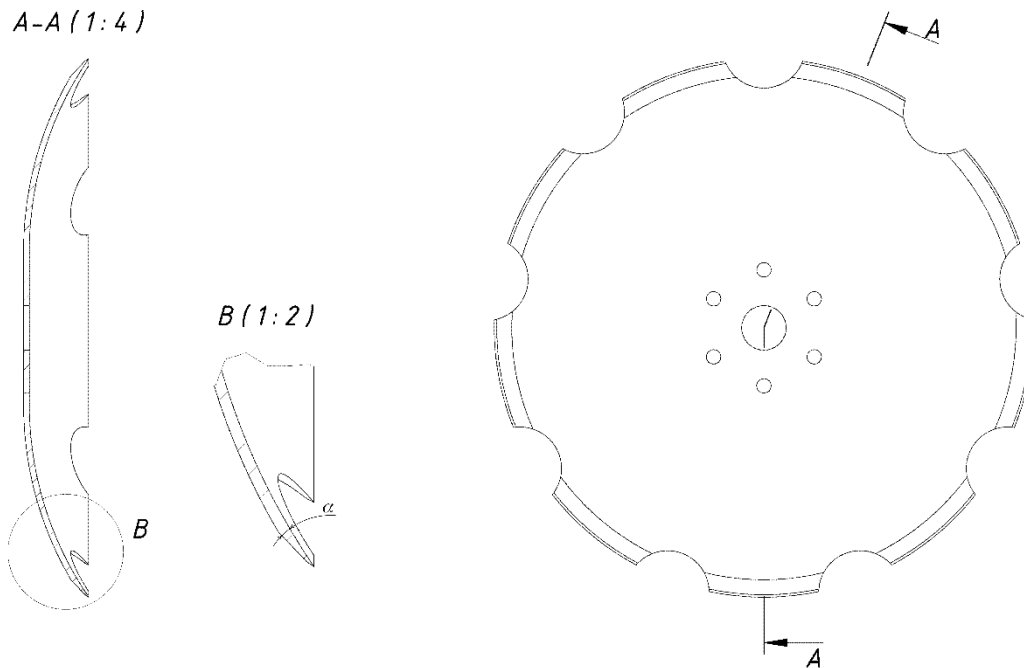


Рисунок 2 - Дисковий робочий орган, що піддається в процесі експлуатації абразивному зношуванню.

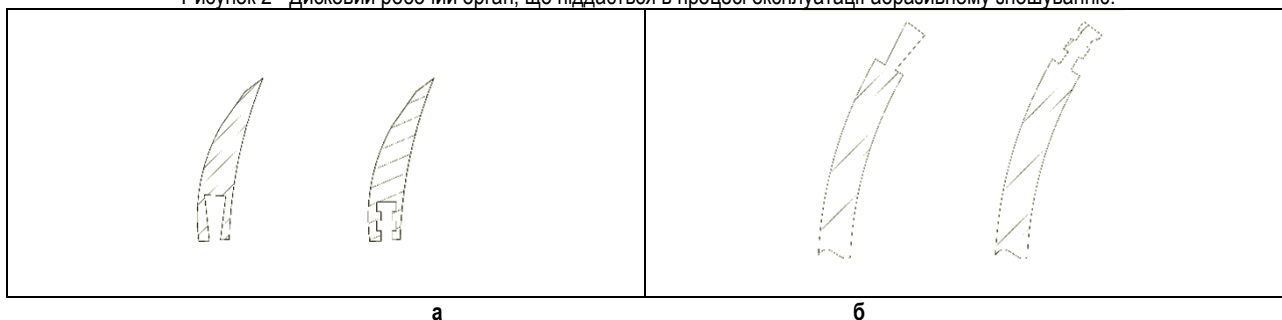


Рисунок 3 – Форми: а - паза в сегменті, б - виточення на диску.

Відповідна деталь (сегмент), виготовляється в наступній послідовності:

1) на токарському верстаті з листа товщиною 12 мм і твердістю HRC 25 виготовляють диск із пазом необхідної форми (див. рис. 2, а) і заточеннями на зовнішньому діаметрі по куті α , як у готового виробу (див. рис. 2).

2) диск із пазом розріжуть на фрезерному верстаті на окремі деталі (сегменти), згідно рис. 4.

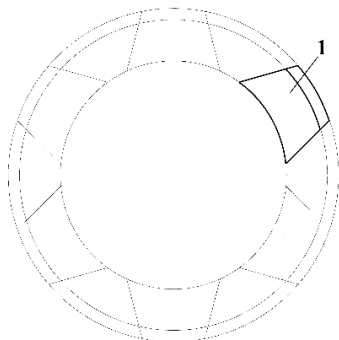


Рисунок 4 – Схема виготовлення сегментів: 1 – сегмент.

Монтаж сегментів на диску роблять у наступній послідовності:

- стінки паза розгинають до проходження в нього виточень на диску й заповнюють МПМ;
- вставляють виточення на диску в паз сегмента й стискають стінки паза в замок
- фіксують з'єднання за допомогою додаткових кріпильних елементів (рис. 5);

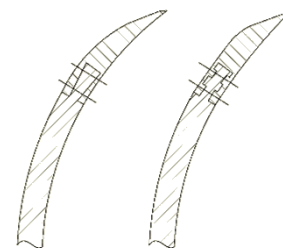


Рисунок 5 - Схема фіксації наконечника на виточенні диска.

- проводять ЦЕЕЛ бічних стінок паза, що мають вихідну твердість HRC 25 при енергії розряду $W_p = 6,8$ Дж із продуктивністю $T = 2,5$ см²/хв, підвищуючи при цьому твердість до HRC 55;

- проводять ЦЕЛ поверхні сегмента, що перебуває нижче бічних стінок паза й вище заточеної поверхні, що мають вихідну твердість HRC 25 при енергії розряду $W_p = 6,8$ Дж із продуктивністю $T = 0,7$ см²/хв, підвищуючи при цьому твердість до HRC 65.

Варіант 2 (сегмент із шипом)

Зношену поверхню диска проточують як чисто й на пелюстках, залежно від розмірів сегмента, зображеного на рис. 6, виготовляють наскрізні пази (рис. 7).

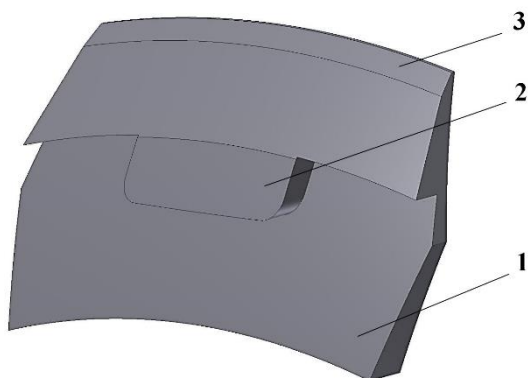


Рисунок 6 - 1-сегмент, 2-шип, 3-заточення.

Сегмент, виготовляється в наступній послідовності:

1) на токарському верстаті, з листа товщиною 12 мм, термообробленого на твердість HRC 40 - 45 виготовляють диск із заточеннями по зовнішньому діаметрі й куту α , як у готового виробу (рис. 2).

2) диск розрізають на фрезерному верстаті на окремі деталі (рис. 3) з яких, наступним фрезеруванням виготовляють сегменти із шипами, згідно рис. 5.

3) виконують термообробку сегмента на твердість HRC 40-45.

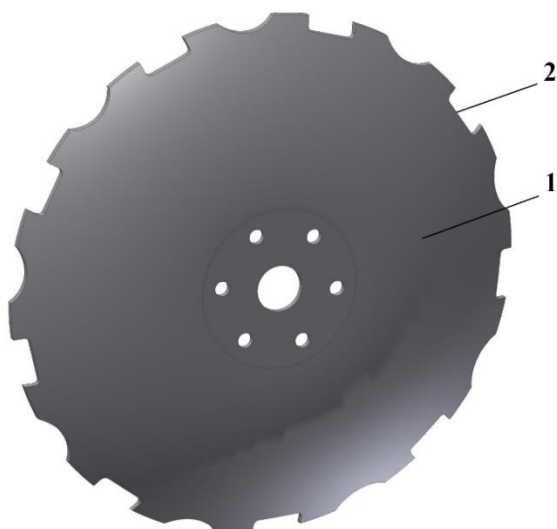


Рисунок 7 - Диск (1) з пазами (2) під вставки сегментів.

Монтаж сегментів на диску роблять у наступній послідовності: вставляють шипи сегментів (рис. 5) у пази дисків (рис. 6), з'єднують поверхні сегмента з поверхнею

диска; просвердлюють наскрізні отвори через диск і сегмент; виймають сегмент із диска; термообробляють сегмент на твердість HRC 55 - 60; вставляють шипи на сегментах у пази дисків і фіксують з'єднання заклепками або гвинтами (рис. 8).

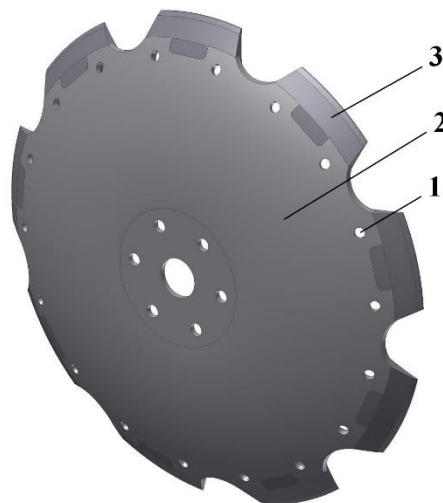


Рисунок 8 - Дисківі борони в зборі: 1 - наскрізний отвір через диск і сегмент, 2 - диск, 3 - сегмент.

Пропонований вище спосіб екологічно безпечно відновлення й одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зношуванню в процесі експлуатації можна використовувати й для інших деталей, наприклад шнеків центрифуг, що піддаються в процесі експлуатації гідроабразивному зношуванню, що виготовляються зі сталі 12X18H10T.

Відновлення зношеної поверхні витків шнека, виготовлених з листової сталі 12X18H10T, товщиною 6 мм, здійснюється в такий спосіб.

Зношену поверхню лопат проточують як чисто й залежно від розмірів паза в сегменті (рис. 9, а), виготовляють виточення (рис. 9, б).

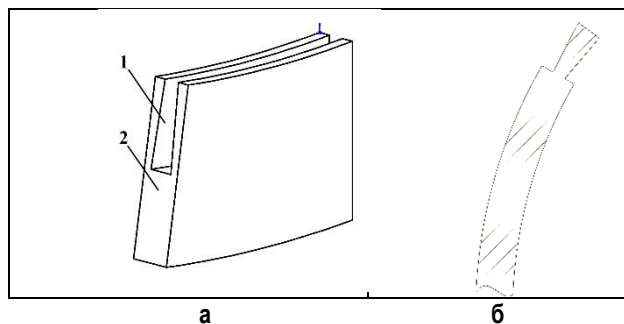


Рисунок 9 – Форми: а – паза 1 у сегменті 2, б - виточення на лопатці шнека.

Відповідна деталь (сегмент), виготовляється в наступній послідовності:

1) з листа товщиною 12 мм і твердістю HRC 20 виготовляють сегменти розміром 50 x 50 x 12 мм.

2) на фрезерному верстаті в сегменті виготовляють паз (рис. 9, а).

Монтаж сегментів на витках шнека роблять у наступній послідовності: стінки паза розгинають до проходження в нього виточень на витках шнека й заповнюють МПМ; вставляють виточення на лопатці в паз сегмента й стискають стінки

паза в замок; фіксують з'єднання за допомогою додаткових кріпильних елементів (заклепок, гвинтів і ін.); проводять зміцнення поверхонь сегмента шляхом нанесення методом ЕЕЛ покриття електродами із твердого сплаву Т15К6 послідовно при $W_p = 0,55$ Дж, а потім при $W_p = 0,90$ Дж.

Послідовне формування покриття із твердого сплаву Т15К6 забезпечує 100%-ну суцільність. Товщина прирощеного шару, обмірюваного мікрометром по окремих виступах,

досягає 0,12 мм. Шорсткість поверхні при цьому становить $R_z = 37$ мкм. [8]. Згідно [9] на сформоване покриття наносять МПМ.

На рис. 10 зображені структури зразків сталі 12Х18Н10Т після послідовного ЕЕЛ при $W_p = 0,55$ Дж і $W_p = 0,90$ Дж твердим сплавом Т15К6 (рис. 10, а), а так само послідовного ЕЕЛ твердим сплавом Т15К6 по указаним режимам і нанесення МПМ (рис. 10, в).

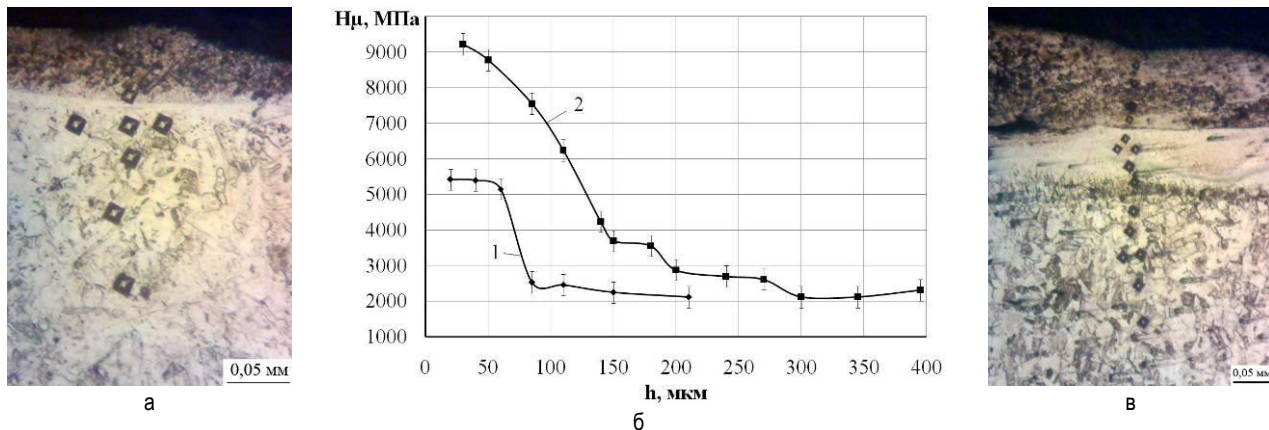


Рисунок 10 – Структури сталі 12Х18Н10Т після послідовного ЕЕЛ Т15К6 (а), послідовного ЕЕЛТ15К6 + МПМ (в) і розподіл мікротвердості покриттів у міру поглиблення від поверхні (б): 1 – послідовного ЕЕЛ Т15К6; 2 – послідовного ЕЕЛ Т15К6 + МПМ.

Мікроструктурний аналіз показав, що після ЕЕЛ сталі 12Х18Н10Т твердим сплавом структура поверхневого шару складається із трьох зон (рис. 10, а). На поверхні розташована зона товщиною до 50 мкм, що має більше темний колір, мікротвердість якої перебуває в межах 5000 - 5400 МПа (рис. 10, б, крива 1). У міру віддалення в глиб металу від поверхні, розташована перехідна зона, мікротвердість у якій плавно знижується й, на глибині ~ 70 мкм відповідає мікротвердості основи.

Як показали дослідження, покриття, отримані за технологією ЕЕЛ твердим сплавом і нанесення МПМ, складаються з 4-х зон. На поверхні утворюється зона більш темного кольору товщиною до 120 мкм, мікротвердість якої перебуває в межах 6200 - 9200 МПа. Під ним розташована зона світлого кольору, товщиною до 90 мкм, мікротвердість якої становить близько 3200 МПа. У міру віддалення від поверхні мікротвердість плавно знижується, і на глибині ~ 280 мкм відповідає мікротвердості основи.

На рис. 11 показаний шнек цинтрифуги з витками, відновленими за запропованою технологією.

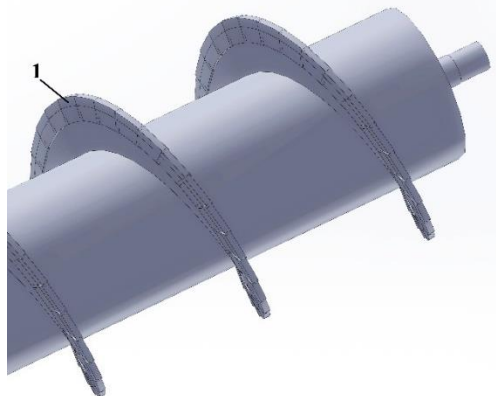


Рисунок 11 - Відновлений шнек із сегментами (1), прикріпленими за запропованою технологією.

Висновки:

1. Розроблений новий спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей, виготовлених з листової сталі, які піддаються, в залежності від умов зовнішнього впливу, різним видам абразивного зносу, який включає видалення зношеної частини деталі і заміну її окремим сегментом, також виготовленим з листового матеріалу, і сполучення його з відновлюваною деталлю нероз'ємним з'єднанням.

2. Відповідно до одного з варіантів запропонованого способу, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним пазом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним шипом, при цьому зміцнення відновлюваної деталі здійснюють методом ЕЕЛ до досягнення заданої твердості сегмента, а перед створенням нероз'ємного з'єднання відновлюваної деталі і сегмента поверхні паза сегмента покривають МПМ.

3. Згідно з другим варіантом запропонованого способу, забезпечують наявність сегмента з попередньо виконаним шипом, який приєднують до відновлюваної деталі, забезпеченої попередньо виконаним пазом.

4. Технічним результатом запропонованого способу є відсутність жолоблення, а також підвищення твердості і зносостійкості відновлених і зміцнених деталей в умовах інтенсивного абразивного зношування; можливість використання в якості відновлювального матеріалу зносостійких металів з будь-яким ступенем зварюваності; невелика витрата електроенергії і екологічна безпека.

Список використаної літератури:

1. А. В. Шовкопляс. Дисковые рабочие органы борон: технологии изготовления и восстановления // Лесотехнический журнал 1/2016. - Технологии. Машины и оборудование. С. 203-211.
2. Тарельник В. Б. Экологически безопасный способ восстановления и одновременного упрочнения стальных деталей, изготовленных из металлических листов / В. Б. Тарельник, Б. А. Саржанов // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Techniques in a machine industry : зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХПІ", 2019. – № 19 (1344). – С. 16-21.
3. Патент РФ на корисну модель 92823, В23К 9/04. Отвал корпуса плуга / С.Н. Прудников А.М. Михальченков / Опубл. 10.04.2010 Бюл. №10.
4. Патент РФ 2533957, В23Р 6/00, А01В 15/04. Способ восстановления и упрочнения отвала корпуса плуга / А.М. Михальченков / Опубл. 27.11.2014 Бюл. №33.
5. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения. Справочник. Авторы-составители: В.Д. Дмитриев, Д.А. Коровий, А. И. Кораблев, Г. П. Медведев, Б.Г. Мишуков, М.П. Наумов, Г.С. Чистова // Стройиздат, Ленинградское отделение, 1988, 384 с.
6. Саржанов О.А., Саржанов Б.О. Аналіз методів ремонту відповідальних деталей центрифуг для стічних вод. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 10/3 (31), 2016.- С. 58-62
7. Лившиц С.П. Высоконапорные дутьевые машины центробежного типа. - Л.: Машиностроение, 1976.- 295 с.
8. Патент України на корисну модель № 115676, МПК В23Н 5/00. Спосіб відновлення зношених поверхонь металевих деталей / В.Б. Тарельник, В. С. Марцинковський, О. Г. Павлов / Опубл. 25.04.2017, Бюл. № 8. - 15 с.
9. Патент України на корисну модель № 131805, МПК В23Н 5/02. Спосіб відновлення зношених поверхонь деталей машин з нержавіючої сталі / В.Б. Тарельник, В. С. Марцинковський, О.П. Гапонова, Є.В. Коноплянченко, Б.О. Саржанов / Опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2. - 21 с.
10. Патент України на корисну модель, (позитивне рішення 18.12.2019 №u201909105) МПК В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, Б.О. Саржанов, А.О. Прокопенко.
11. Патент України на корисну модель, (позитивне рішення 18.12.2019 №u201909103) МПК В23Н 5/02. Спосіб відновлення і одночасного зміцнення деталей з листової сталі, що піддаються абразивному зносу в процесі експлуатації / В.Б. Тарельник, В.С. Марцинковський, А.В. Белоус, О.А. Саржанов, О.О. Гапон, Б.О. Саржанов, А.О. Прокопенко.

Tarelnyk V.B., Sarzhanov B.O., Gapon O.O.

A new way of repairing and strengthening sheet steel parts that are have abrasive wear during operation

The article describes a technical solution that relates to the field of mechanical engineering and repair of machines, in particular to the restoration and simultaneous strengthening of steel sheet parts, which, depending on the conditions of external influence, various types of abrasive wear. The method involves removing the worn part of the workpiece and replacing it with a separate segment. The segment is also made of sheet material, and connect it to the recoverable part with an integral connection. According to one variant of the technical solution, the segment has a pre-made groove, which is attached to the recoverable part with a pre-made thorn. Strengthening of the recovered part is carried out by the method of electro-erosion alloying (EEA) to achieve the desired hardness of the segment. Before creating an integral connection of the recoverable part and the surface of the groove surface of the segment is covered with metal-polymer material (MPM). According to the second variant of the technical solution, the segment has a pre-made thorn, and the recoverable part is a groove. The technical result of the solution is the absence of grooves, as well as improving the hardness and wear resistance of the recovered and hardened parts in the conditions of intensive abrasive wear, the ability to use as a reducing material wear-resistant metals with any degree of weldability, low energy consumption and environmental safety.

Keywords: restoration, repair, disc harrow, wear, electro-erosion alloying, surface-plastic deformation.

Дата надходження до редакції: 21.03.2019

СПОСІБ ВРАХУВАННЯ ВІДВОДУ КОЛІС ПРИ ВИЗНАЧЕННІ ТРАЄКТОРІЇ КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ ТРАКТОРА

Довжик Михайло Яковичкандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-1627-4888
email: dovgukm@ukr.net**Соларьов Олександр Олексійович**кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-1485-0685
email: lmcsan@i.ua**Калнагуз Олексій Миколайович**ст. викладач
Сумський національний аграрний університет
ORSID: 0000-0003-1710-8416
email: fakyltet-mex@ukr.net**Таченко Олександр Володимирович**ст. викладач
Сумський національний аграрний університет
ORSID: 0000-0003-1762-8219
email: AlexTatsenko@ukr.net

У даній статті розглянуто спосіб побудови траєкторії криволінійного руху чотирьохколісної машини з передніми керованими колесами. Важливий вплив на криволінійний рух мають такі явища, як буксування та юз, що в свою чергу впливають на побудову траєкторії руху. Знаючи, як саме на рух впливає відведення коліс, ми можемо максимально точно побудувати траєкторію руху, а саме вхід та вихід з повороту. Основне завдання, яке ми прагнули вирішити, це знайти найпростіші способи для побудови криволінійної траєкторії руху машини.

Ключові слова: машино тракторний агрегат, криволінійна траєкторія, відвід коліс.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.5>

Постановка проблеми. Як відомо, кут між вектором швидкості колеса і позитивним напрямом осі трактора, що відповідає нейтральному положенню коліс, називається кутом відведення. Відомо також, що кути відведення, що виникають при криволінійному русі колісних машин внаслідок деформації шин, спотворюють траєкторію руху і мають істотний вплив на керованість машини аж до повної її втрати. Тому не випадково дослідженню причин виникнення кутів відведення та їх залежності від різних факторів присвячена велика кількість робіт.

Теорія відведення коліс викладається у всій навчальній літературі з даного предмету, але, незважаючи на це, не можна вважати, що явище вивчено досить добре. Щоб його можна було впевнено використовувати при визначенні траєкторій руху, що особливо важливо при розробці способів автоматичного керування транспортним та засобом. Кут відведення коліс залежить від великої кількості факторів, і часто ці залежності мають досить складний характер. Так, наприклад, з залежність між бічною силою і кутом відведення при постійному навантаженні на колесо може бути лінійної тільки при невеликих значеннях бічної сили і за умови, що колесо котиться без ковзання чи юзу [1, рис. 2]. Відхилення середньої площини колеса від напрямку руху викликається не тільки еластичністю шин, але і ковзанням плями контакту і піддатливості ґрунту, що особливо важливо для тракторів. Відведення коліс супроводжується бічним ковзанням, яке

стає переважаючим, коли бічна сила досягає значення сили зчеплення, при цьому кут відведення зростає навіть при постійній бічній силі.

На коефіцієнт опору бічному відведенню впливає безліч конструктивних і експлуатаційних факторів: розміри і конструкція шини, тиск повітря в шині, характер і значення сил, що діють на колесо, стан опорної поверхні, траєкторія руху і особливо швидкість. Як відомо, сили опору майже завжди пропорційні квадрату швидкості руху, а кожна нелінійність співвідношень ускладнює вирішення завдання.

Аналіз досліджень та публікацій. Д.А. Антонов на підставі теорії нелінійного відведення для отримання істинного значення коефіцієнта опору відведенню запропонував множити деякі постійні величини цього коефіцієнта на додаткові коефіцієнти: нормального навантаження, тангенціальної реакції, коефіцієнта зчеплення та інші – всього сім коефіцієнтів [1]. Використовувати їх в теоретичних дослідженнях практично неможливо. Складно також використовувати для отримання рівнянь руху і формули для кутів відведення передніх і задніх коліс, що наведені в [1], з огляду на їх громоздкості. Тому не випадково з'являються роботи, в яких вводяться спрощування припущення, якщо вони не чинять істотного впливу на кінцевий результат. Наприклад, в роботі [2] бічна сила розподіляється між мостами пропорційно жорсткості їх підвісок, кути розвалу керованих коліс приймаються рівними нулю, кути бічного відведення коліс однієї

віссю вважаються однаковими, коефіцієнти опору відведенню коліс, швидкість руху автомобіля і реакції на колеса - постійними. При таких припущеннях кути бічного відведення залишаються пропорційними бічним силам, які, в свою чергу, пропорційні квадрату швидкості руху автомобіля і обернено пропорційні радіусу повороту. Автори стверджують, що отримані при таких припущеннях результати можуть бути використані тільки в попередніх розрахунках. Тим не менше, використання навіть цих припущень не спрощує, наприклад, завдання знаходження рівняння траєкторії руху.

Тоді необхідно подивитися на цю задачу з іншого боку.

Постановка задачі. Відомо, що в реальних умовах експлуатації машин кути бічного відведення не перевищують $7 - 8^\circ$, в деяких випадках вони досягають $10 - 12^\circ$ [3]. При таких малих межах майже не має значення, як складно змінюються ці параметри. Завжди можна підібрати закономірність, яка не надто відрізняється від реальної. Правда, лінійна залежність кутів бічного відведення від бічної сили часто переходить в нелінійну вже при кутах відведення $2 - 4^\circ$, після чого мають місце не тільки пружні деформації шин, а й

їх ковзання. Коли ж бічні реакції досягають сили зчеплення, відбувається повне ковзання колеса в бік. Але із цим явищем можна боротися відомими способами, з тим, щоб розширити межі прямої пропорційності.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо спосіб теоретичного визначення траєкторії руху центру тяжіння машини C (рис. 1) на прикладі чотириколісного трактора з передніми керованими колесами з урахуванням мінливого кута їх повороту і явища відведення передніх коліс. Проекції швидкості центру C на нерухомі осі координат будуть

$$v_x = v \cos(\varphi + \alpha); \quad v_y = v \sin(\varphi + \alpha), \quad (1)$$

де φ - кут повороту осі трактора щодо осі Ox ; α - кут відхилення вектора швидкості від осі трактора v , який в нашому випадку може бути визначений відповідно до [4, с. 219] з виразу $\operatorname{tg} \alpha = [l_2 \operatorname{tg}(\alpha_1 - \alpha_1') + l_1 \operatorname{tg} \alpha_2'']/L$. Тут l_1 і l_2 - відстані від центру мас, відповідно, до переднього і заднього мостів; L - база трактора; α_1' і α_2'' - кути відхилення вектора від осі трактора, викликані явищем відведення коліс, відповідно, передньої і задньої осей трактора.

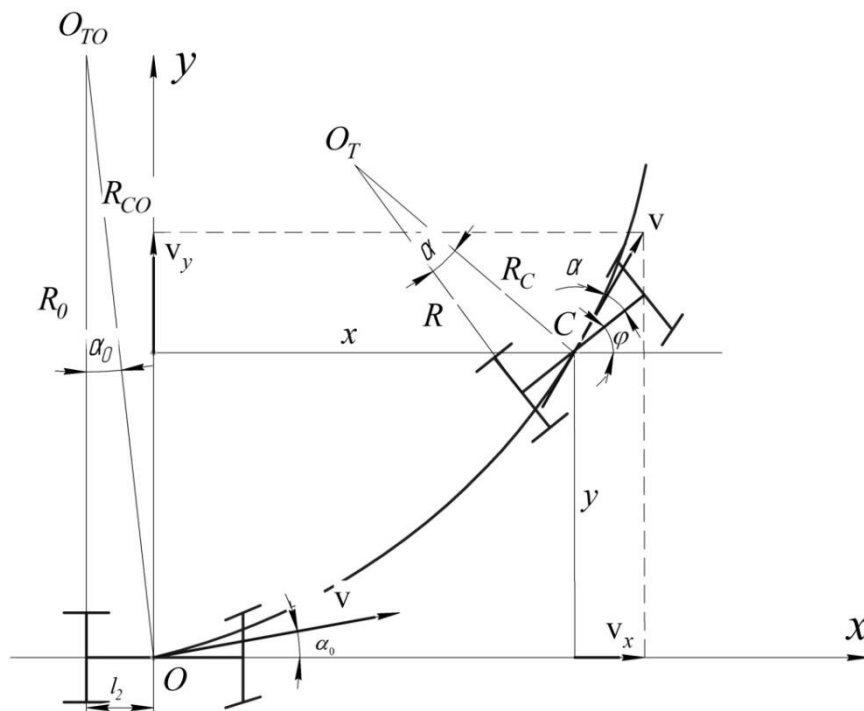


Рис. 1. Схема руху трактора по криволінійній траєкторії при змінних значеннях кута α

Координати центра C в системі координат xOy можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} x &= \int v_x dt = \int v \cos(\varphi + \alpha) dt; \\ y &= \int v_y dt = \int v \sin(\varphi + \alpha) dt. \end{aligned} \quad (2)$$

Представимо функцію кута α в залежності від φ наступним чином:

$$\alpha = \alpha' - \alpha'' = (\alpha'_0 + k_1 \varphi) - (\alpha''_0 + k_2 \varphi) = \alpha_0 + k \varphi, \quad (3)$$

де α' і α'' - кути відхилення вектора швидкості v від осі трактора, викликані, відповідно, поворотом передніх коліс або поворотом керма і бічним відведенням коліс, які змінюються в процесі повороту; α'_0 і α''_0 - початкове значення кутів α' та α'' , залежні від повороту керма на початку входу в поворот і на початку виходу з повороту; k_1 і k_2 - коефіцієнти, що визначають інтенсивність повороту і прийняті

залежності від меж кутів, в яких виконується поворот. Таким чином, маємо очевидне відношення:

$$\alpha_0 = \alpha'_0 - \alpha''_0; \quad k = k_1 - k_2. \quad (4)$$

Розглядаючи бескінечно малу ділянку траєкторії $C_1 C_2 = ds$ (рис.2), відмітимо, що за час dt кут α зміниться на $d\alpha$, кут φ - на $d\varphi$, а радіус кривизни - на $dR_C = R_{C2} - R_{C1}$. Центр кривизни за цей час переміститься з O_1 в точку O_2 , а кут між радіусами R_{C1} та R_{C2} буде дорівнювати $(d\varphi + d\alpha)$. Тоді $dS = v dt = (R_C + dR_C)(d\varphi + d\alpha)$, звідки, якщо знехтувати бескінечно малим другого порядку, отримаємо

$$dt = \frac{R_C}{v} (d\varphi + d\alpha) = \frac{R_C}{v} (1 + k) d\varphi, \quad (5)$$

А з урахуванням, що $R_C = l_2 / \sin \alpha \approx l_2 / \alpha$, в залежності від малого кута α , знаходимо

$$dt = \frac{l_2}{v} \cdot \frac{1+k}{\alpha} d\varphi,$$

І кінцеві рівняння криволінійного руху в інтегральній формі будуть:

$$\begin{aligned} x &= l_2(1+k) \int \frac{\cos(\alpha + \varphi)}{\alpha} d\varphi = \\ &= l_2(1+k) \int \frac{\cos[\alpha_0 + (1+k)\varphi]}{\alpha_0 + k\varphi} d\varphi; \\ y &= l_2(1+k) \int \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\alpha} d\varphi = l_2(1+k) \int \frac{\sin[\alpha_0 + (1+k)\varphi]}{\alpha_0 + k\varphi} d\varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

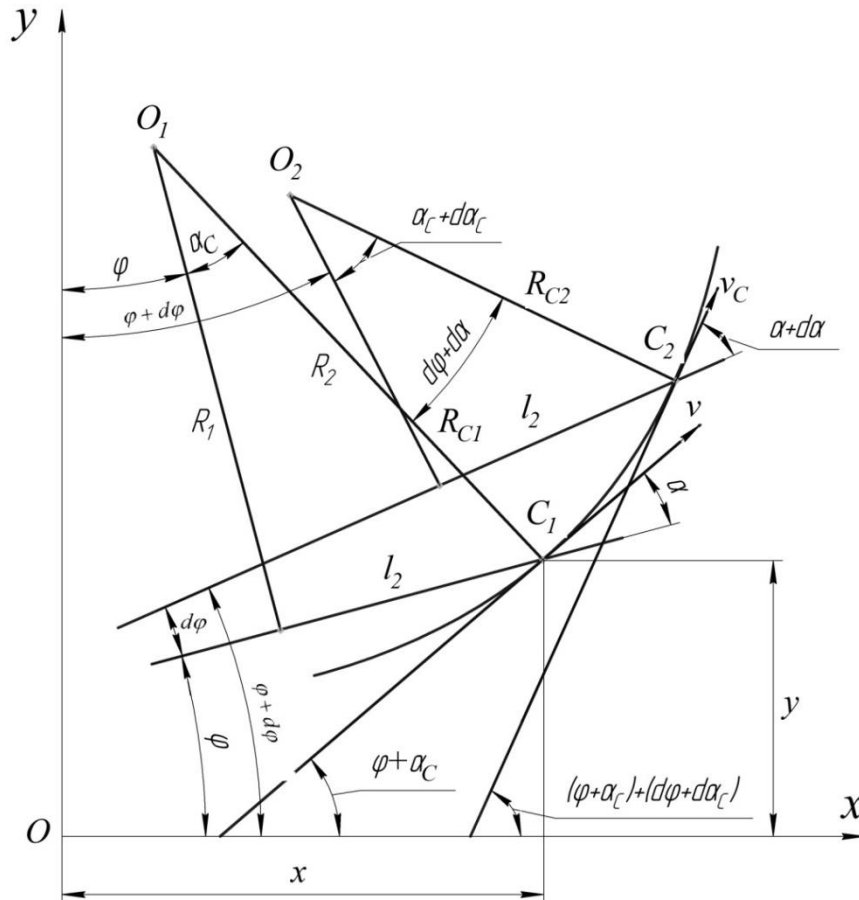


Рис. 2. До зміни диференціала dt на $d\varphi$

Далі, розкладаючи функції $\cos[\alpha_0 + (1+k)\varphi]$ та $\sin[\alpha_0 + (1+k)\varphi]$ в ряди Маклорана і беручи для косинуса два перших члена ряду, а для синуса один, після інтегрування і визначення постійних з умов ($x = 0$; $\varphi = 0$) і ($y = 0$; $\varphi = 0$) отримаємо кінцеве рівняння траєкторії руху

трактора з передніми керованими колесами і змінним кутом на ділянці входу в поворот:

$$\begin{aligned} x &= \frac{l_2(1+k)}{k} \left[-\frac{(1+k)^2}{4} \varphi^2 + \frac{\alpha_0(1-k^2)}{2k} \varphi - \frac{\alpha_0^2 - 2k^2}{2k^2} \ln \left| \frac{\alpha_0 + k\varphi}{\alpha_0} \right| \right]; \\ y &= \frac{l_2(1+k)}{k} \left[(1+k)\varphi - \frac{\alpha_0}{k} \ln \left| \frac{\alpha_0 + k\varphi}{\alpha_0} \right| \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

На ділянці виходу з повороту рівняння руху отримаємо аналогічно, якщо прийmemo $\alpha = \alpha_0 - k\varphi$:

$$\begin{aligned} x &= \frac{l_2(1-k)}{k} \left[\frac{(1-k)^2}{4} \varphi^2 + \frac{\alpha_0(1-k^2)}{2k} \varphi + \frac{\alpha_0^2 - 2k^2}{2k^2} \ln \left| \frac{\alpha_0 - k\varphi}{\alpha_0} \right| \right]; \\ y &= \frac{l_2(1-k)}{k} \left[-(1-k)\varphi - \frac{\alpha_0}{k} \ln \left| \frac{\alpha_0 - k\varphi}{\alpha_0} \right| \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

Застосовуючи ці рівняння при побудові конкретної траєкторії з коефіцієнтами k_1 та k_2 , початковими кутами α'_0 і α''_0 , а також значеннями кута φ .

Рівняння справедливі тільки в межах розглянутих

ділянок.

Розглянемо конкретний випадок на прикладі трактора МТЗ-80 ($l_2 = 0,93$ м), прийнявши наступні вихідні дані на ділянці входу в поворот: $\varphi = 0 \dots 90^\circ$ і $\alpha'_0 = 5^\circ$; $k_1 = 0,2 -$

цей коефіцієнт визначає інтенсивність, а отже і радіус кривизни траєкторії. Знаходимо максимальне значення кутів $\alpha' = \alpha'_0 + k_1\varphi = 5 + 0,2 \cdot 90 = 23^\circ$ і $\alpha'' = \alpha''_0 + k_2\varphi = 0,5 + 0,05 \cdot 90 = 5,0 = 0,087$ рад, що відповідає середньому куту повороту керованих коліс в кінці повороту $\alpha_1 = 45,6^\circ$. Для розрахунку та побудови процесу відведення коліс слід виходити з конкретних умов, використовуючи наявні відомості про тип коліс, стан ґрунту, передбачувану швидкість руху під час входу в поворот. В даному прикладі $k = 0,2 - 0,05 = 0,15$; $\alpha_0 = 5 - 0,5 = 4,5^\circ = 0,0785$ рад і рівняння руху на ділянці входу в поворот мають вигляд:

$$\begin{aligned} x &= 7,13(-0,33\varphi^2 + 0,226\varphi + 0,863\ln|1 + 1,91\varphi|); \\ y &= 7,13(1,15\varphi - 0,523\ln|1 + 1,91\varphi|). \end{aligned} \quad (9)$$

На ділянці виходу з повороту початок системи координат слід помістити в кінцеву точку траєкторії входу в поворот і прийняти такі вихідні дані: $\varphi = 90^\circ \dots 0$; $\alpha'_0 = 23^\circ$; k_1

$= 0,2$; $\alpha''_0 = 5,0^\circ$; $k_2 = 0,05$. Оскільки бічні сили при вході в поворот і при виході з повороту напрямок зберігають незмінним, то при виході з повороту $k = k_1 - k_2 = 0,15$; $\alpha_0 = 18^\circ = 0,314$ рад. Тоді спрощені рівняння руху на ділянці виходу з повороту приймають вид:

$$\begin{aligned} x &= 5,27(0,181\varphi^2 + 1,023\varphi + 1,191\ln|1 - 0,478\varphi|); \\ y &= 5,27(-0,85\varphi - 2,093\ln|1 - 0,478\varphi|). \end{aligned} \quad (10)$$

На рис. 3 зображено траєкторії входу в поворот і виходу з повороту для наведених вище умов як з урахуванням впливу відведення коліс, так і без нього. Як видно, при прийнятних середніх значеннях коефіцієнта k_2 , враховуючого вплив відведення коліс, зміна траєкторії відбувається з впливом відведення коліс як на ділянці входу в поворот, так і на ділянці виходу з повороту і має місце істотна розбіжність цих траєкторій.

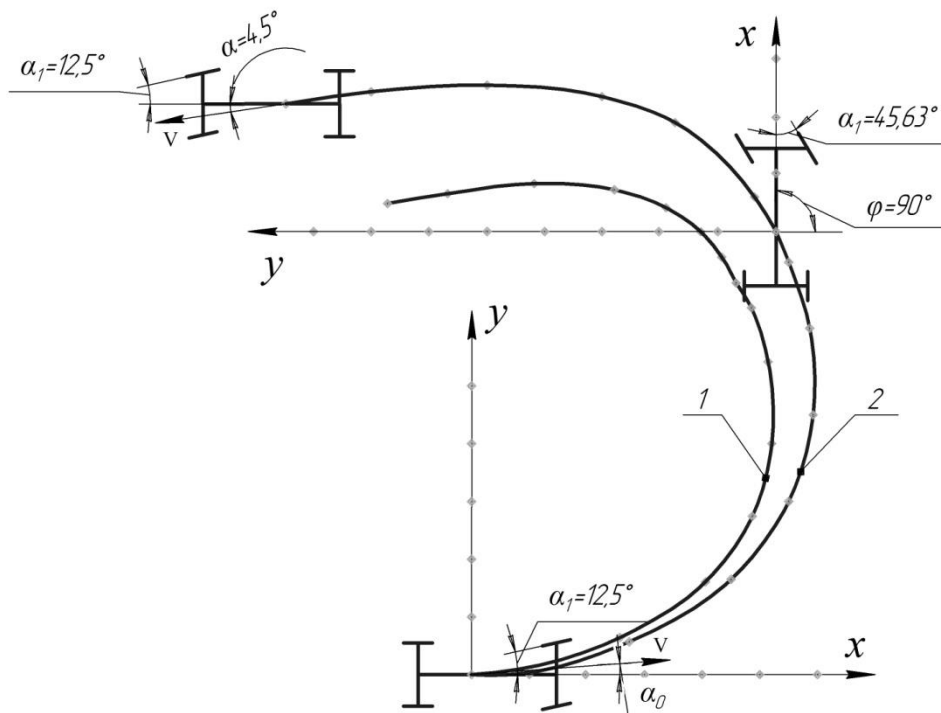


Рис.3 Траєкторії входу в поворот і виходу з повороту трактора МТЗ-80: 1 - без урахування відведення коліс; 2 - з урахуванням відведення коліс

Час руху трактора на ділянках входу в поворот і виходу з повороту при постійній швидкості v можна визначити, скориставшись наведеною вище формулою для dt . $R_c =$

$$l_2/\alpha \text{ і } d\varphi = d\alpha/k:$$

$$t = \int_0^\varphi \frac{R_c}{v} (d\varphi + d\alpha) = \frac{l_2}{v} \cdot \frac{1 \pm k}{k} \int_{\alpha_0}^{\alpha_{max}} \frac{d\alpha}{\alpha} = \frac{l_2}{v} \cdot \frac{1 \pm k}{k} \ln \left| \frac{\alpha_{max}}{\alpha_0} \right|. \quad (11)$$

Знак «плюс» відноситься до випадку входу в поворот, а знак «мінус» - при виході з повороту.

Результати розрахунків для наведеного в статті прикладу у випадку постійної швидкості $v = 7$ км/час ≈ 2 м/с, без врахування впливу явища відведення коліс, наступні: $t_{вх} = 4,26$ с; $t_{вих} = 2,84$ с. Довжини ділянок траєкторії, відповідно, будуть $S_{вх} = vt_{вх} = 8,52$ м; $S_{вих} = vt_{вих} = 5,68$ м.

Якщо врахувати вплив відведення коліс, ці величини

будуть рівні: $t_{вх} = 4,92$ с; $t_{вих} = 3,64$ с; $S_{вх} = 9,84$ м; $S_{вих} = 7,27$ м.

Отримані загальні рівняння руху по криволінійній траєкторії з урахуванням впливу відведення коліс можуть бути використані для будь-якої колісної машини як для лівого, так і для правого повороту. В останньому випадку кут φ негативний.

Використовуючи відомі з механіки криволінійного руху

залежності, можна визначити значення радіуса повороту R , кутової швидкості корпусу трактора ω і інші параметри як функції кута φ :

$$R = \frac{L}{\operatorname{tg}(\alpha'_1 - \alpha''_1) + \operatorname{tg}\alpha''_2};$$

$$\omega = \frac{v}{R_C};$$

$$R_C = \frac{R}{\cos\alpha};$$
(12)

де $\alpha'_1 = \alpha_1$; $\alpha''_1 = \alpha''_{10} + k_2\varphi$; $\alpha''_2 = \alpha''_{20} + k_2\varphi$ і т. д.

Висновки. Розроблено аналітичний метод отримання траєкторії криволінійного руху двовісних колісних машин з урахуванням впливу явища відведення передніх коліс. Отримані рівняння руху на ділянках входу в поворот і виходу з повороту придатні як для лівого, так і для правого поворотів в будь-якому діапазоні зміни кута повороту корпусу машини.

Список використаної літератури:

1. Гузьков В. В. Трактора теория / В. В. Гузьков., 1988.- 376 с.
2. Любимов И. И. Исследование связи увода колес автомобиля з жесткостью подвески / И. И. Любимов. Весник СГТУ 2013 2(70).
3. Смирнов Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов., 1990. – 272 с.

Dovzhyk M.Ya, Solarov O.O., Kalnahuz O.M., Tatsenko O.O.

The method of taking into the drift in determining the trajectory of the curvinal movement of the tractor

This article discusses how to construct a curvilinear trajectory for a four-wheeled machine with front steered wheels. Important effects on curvilinear motion are phenomena such as slipping and skidding, which in turn influence the construction of the trajectory. Knowing how the movement of the wheels affects the movement, we can accurately construct the trajectory, namely the entrance and exit of the turn. The main task we wanted to solve was to find the easiest ways to construct a curved trajectory of the machine.

It is known that the angle between the velocity vector of the wheel and the positive direction of the axis of the tractor corresponding to the neutral position of the wheels is called the angle of withdrawal. It is also known that the deflection angles arising from the curvilinear movement of wheeled vehicles due to tire deformation distort the trajectory of motion and have a significant effect on the controllability of the machine up to its complete loss. Therefore, it is no coincidence that a large number of works is devoted to investigating the causes of the emergence of angles and their dependence on various factors.

Tire theory is taught throughout the course of this subject, but nevertheless it cannot be assumed that the phenomenon has been sufficiently studied so that it can be confidently used in determining trajectories, which is especially important in the development of methods of automatic control of the vehicle. The angle of rotation of the wheels depends on many factors, and often these dependencies are quite complex.

Keywords: machine tractor unit, curvilinear trajectory, wheel deflection.

Дата надходження до редакції: 12.03.2019

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТРАНСФОРМАЦІЇ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ ЧЕРЕЗ БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ ФІКСОВАНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

Яковлев Валерій Федорович

кандидат технічних наук, професор
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5261-4432>
e-mail: VFJAKOV@gmail.com

Успішна реалізація продукції сільського господарства вимагає дотримання вимог стандартів по забезпеченню її високої якості, забезпечення технологічного процесу (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина розташування пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування.

Для оцінки якісних і кількісних ознак сільськогосподарської продукції застосовуються різні фізичні методи, з великого числа яких, особливе місце займає метод акустичного зондування, який полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками, які в свою чергу, змінюються в процесі їх вегетації при досягненні відповідного ступеню стиглості.

Наведений матеріал представляє результати експериментальних досліджень по встановленню зв'язків параметрів післядії ударного збудження біологічних об'єктів рослинного походження фіксованої геометричної форми з їх якісними ознаками, визначенню інформативних ознак та їх кількісних значень, що в свою чергу, дає можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: акустичне зондування, параметри акустичного поля, ударне збудження, амплітудно-частотний спектр коливань, коефіцієнт поглинання, частота, мода коливань, асиметрія, ексцес.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.6>

Постановка проблеми. Дотримання вимог стандартів на продукцію сільського господарства забезпечує її успішну реалізацію. Такі якісні ознаки продукції, особливо фіксованої геометричної форми, як ступень стиглості, наявність та глибина пошкоджень, не завжди можливо визначити по зовнішньому стану продукту (наприклад, баштанні) без його руйнування. Особливо важко визначати названі ознаки в технологічному потоці, що призводить до значних втрат часу, знижує продуктивність та збільшує собівартість кінцевого продукту. Позитивне вирішення цієї задачі можливо лише при широкому впровадженні сучасних методів і технічних засобів неруйнівного експресного контролю стану продукції. Як було відмічено раніше, одним із раціональних методів, які забезпечують експресний неруйнівний контроль вище названих якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми є метод акустичного зондування [1,2,3].

У зв'язку з цим виникає необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень і встановлення, на їх підставі, взаємозв'язку між параметрами акустичного поля та якісними ознаками продуктів фіксованої геометричної форми.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Цілий ряд вчених внесли суттєвий вклад в дослідження, які пов'язані із застосуванням акустичних методів контролю, досліджень по вивченню взаємозв'язків якісних і кількісних ознак сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля [1,3,4, 5, 6, 7]. Але, з часом, з'являються нові, більш сучасні методи, які потребують нових технічних рішень та проведення відповідних експериментальних досліджень по встановленню взаємозв'язку між параметрами акустичного поля та якісними ознаками продуктів.

Аналіз наведених в джерелах інформації результатів

досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем неруйнівного експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції, а саме визначення стиглості біологічних об'єктів рослинного походження, більшість з них не має глибоких теоретичних проробок, які б дозволяли з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю.

Все вище викладене потребує більш глибокого дослідження зв'язку між якісними ознаками, а саме визначення стиглості продуктів фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, визначає мету та основні задачі досліджень.

Формулювання мети статті. Робота направлена на встановлення залежностей між параметрами акустичного зондування і якісними ознаками

біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, визначення інформативних ознак та їх кількісних значень.

Основні матеріали досліджень. Необхідність розробки технічних засобів контролю якісних ознак та систем обробки продуктів, а саме електроакустичних систем, їх об'єм та область застосування диктується вимогами технології виробництва того чи іншого виду продукції [7]. При дослідженнях, які базуються на механіко-математичному опису задачі о вільних коливаннях об'єкту контролю при ударному збудженні, для отримання первинної кількісної інформації, щодо параметрів моделі та її конкретизації, було проведено відповідні експериментальні дослідження. У зв'язку з цим та з урахуванням поставлених задач програмою експериментальних досліджень передбачено:

- спектральний аналіз вихідного сигналу (визначення

амплитуд, частот, коефіцієнту поглинання складових вільних коливань об'єкту);

- обґрунтування інформативних параметрів післядії ударного збудження об'єкту, які характеризують його якість.

Дослідження проводились для об'єкту (кавуна) наступних фракцій по ступеню зрілості: незрілі, недозрілі, зрілі, перезрілі. Для дослідження параметрів післядії ударного збудження плодів було розроблено пристрій відтворення ударного імпульсу в об'єкті контролю, опис якого наведено в [8].

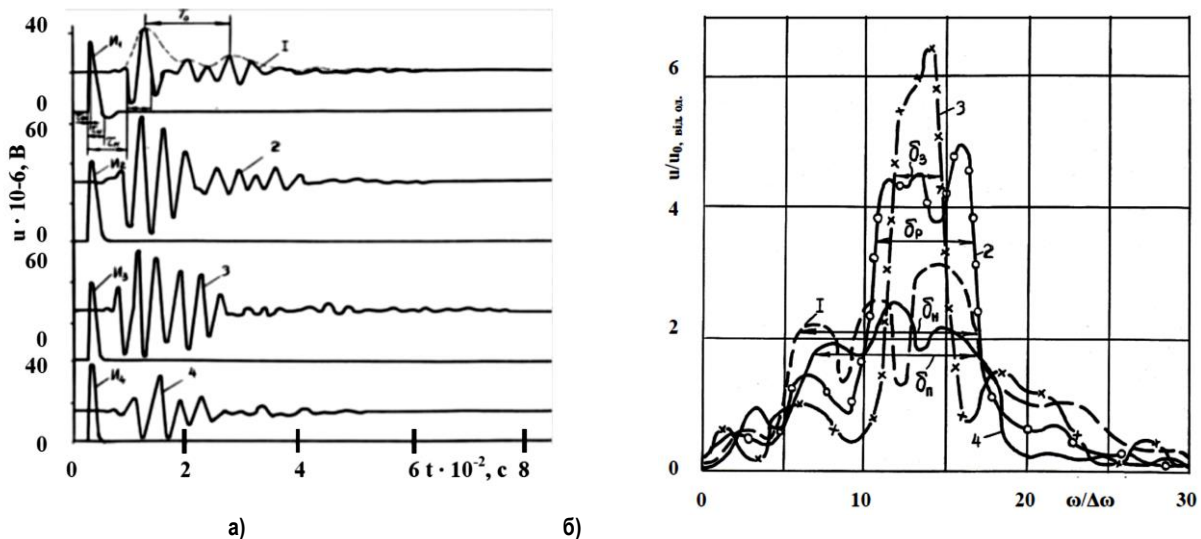
З урахуванням того, що плод є складною біологічною системою з наперед невідомою кількістю ступенів вільності, отримати кінцеві залежності важко. Тому, найбільш доцільним методом дослідження процесу трансформації ударного імпульсу через об'єкт контролю є спектральний метод [8].

Для порівняння між собою параметрів об'єкту контролю різних фракцій по якості, а також в межах однієї фракції дослідження проводились в деяких стандартних умовах, до яких відносяться: початкові умови та характер зовнішньої дії. За початкові умови об'єкту контролю прийнято стан покою,

тобто нульові початкові умови. Зовнішня дія представляє собою одиночний імпульс тривалістю t_u .

Параметри вихідного сигналу при трансформації ударного імпульсу через плід залежать від параметрів вхідної дії та фізичного стану об'єкту контролю. У зв'язку з тим, що при дослідженні було стабілізовано параметри ударної дії, характер вихідного сигналу та імпульсу збудження будуть визначатися фізичними властивостями плодів. Крім того, для отримання необхідної стабільності і достовірності результатів дослідів експериментальні зразки плодів підбиралися порівняно однаковими по розмірам, відповідно максимальному, середньому і мінімальному для кожної фракції по якості.

На рисунку 1 наведено сукупності характерних форм вхідних та вихідних сигналів, а також частотні спектри післядії ударного збудження плодів різних фракцій по зрілості з урахуванням їх розмірних характеристик для сорту Астраханський (для зразка D- 0,20 м).



а) б)
Рисунок 1 - Форми вхідних та вихідних сигналів плодів при їх ударному збудженні: а - ударного імпульсу u та вільні коливання плодів; б - амплітудно-частотний спектр коливань плодів (D=0,20 м): 1 - незрілі, 2 - недозрілі, 3 - зрілі, 4 - перезрілі

Як видно із рисунку 1, коливання є експоненціально загасаючими, низькочастотними з невеликою амплітудою. Характер кривих післядії ударного збудження плодів для різних фракцій по якості та при однакових розмірно-масових характеристиках в значній мірі відрізняються між собою (рисунок 1а). Амплітуда цих коливань не перевищує величини $U_{max} = 65 \times 10^{-6}$ В при заданих параметрах п'єзоприймачів та підсилюючої апаратури.

При цьому було також проведено статистичний аналіз отриманих результатів: визначено закон розподілу вибіркового даних спостережень по значенням асиметрії та ексцесу, різницю вибіркового середнього значень для визначених параметрів спостережень, їх похибки і довірчі границі відхилень та інші статистичні показники, які наведено у таблицях 1...4.

Для отримання кількісної оцінки післядії ударного збудження плодів вихідні сигнали об'єктів контролю було розкладено у ряд Фур'є та визначено сукупність частот, їх амплітуд, початкових фаз, які апроксимують дані сигнали (рисунок 1 б). Параметри спектрального розкладу визначалися за

виразами, згідно [8, 9]:

$$A_j = \frac{2}{m} c \sum_{k=0}^{m-1} y_k \cos j\omega_{1i} t_k \quad (1)$$

$$B_j = \frac{2}{m} \sum_{k=0}^{m-1} y_k \sin j\omega_{1i} t_k \quad (2)$$

$$A_0 = \frac{1}{m} \sum_{k=0}^{m-1} (-1)^k y_k \quad \varphi_j = \arctg \frac{A_j}{B_j} \quad \text{при} \quad n \leq \frac{m}{2}$$

де m - кількість значень аргументу ;

$k = 0, 1, 2 \dots m - 1$

$y_k - k$ - е значення функції;

ω_{1i} - частота першої гармоніки i -ої фракції стиглості, с;

t_k - поточне значення аргументу, с;

φ_j - початкова фаза j -ої гармоніки.

Аналіз амплітудно-частотного спектру та даних таблиці 1 дозволило виділити характерні резонансні частоти та їх амплітуди для плодів кожної фракції з урахуванням їх розмірно – масових характеристик. Із рисунку 1 б видно, що незріла і перезріла фракції мають три явно виражені піки в амплітудно – частотному спектрі, незрілі плоди мають два піки, а зрілі – один пік. При цьому амплітуди резонансних частот збільшуються з поліпшенням якісних показників плодів,

тобто при їх дозріванні, і мають максимальне значення для зрілої фракції. Зі зміною якісних показників плодів в бік дозрівання спектр становиться більш вузькополосним. Встановлено також, що для середнього зразка значення частот які відповідають характерним резонансним пікам у спектрі, для плодів різної якості розподіляються наступним чином: незрілі - $\omega_{1n} = 781...839 \text{ c}^{-1}$; незрілі - $\omega_{1p} = 1269...1278 \text{ c}^{-1}$; зрілі - $\omega_{13} = 1342...1360 \text{ c}^{-1}$; перезрілі - $\omega_{1n} = 715...940 \text{ c}^{-1}$.

Таблиця 1 – Статистичні параметри оцінки різниці середніх складових частот та відповідних до них амплітуд коливань біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні (сорт Астраханський, середній плід)

Найменування різниці середніх значень	Мода резонансної частоти, ω_i	Довірчі границі визначення різниці середніх значень		Відносна похибка визначення середніх значень		Достовірність	
		По частоті $d_{\omega_i-\omega_k}, \text{ c}^{-1}$	По амплітуді $(d_{U_i-U_k}) \cdot 10^{-6}, \text{ В}$	По частоті $C_{S_{\omega_i}}, \%$	По амплітуді $C_{S_{U_i}}, \%$	d_{ω}	d_U
Зрілі - незрілі	ω_3	$25 \pm 87,2$	$25,35 \pm 2,28$	-	4,50	-	+
Зрілі - незрілі	ω_3	$260 \pm 105,0$	$14,95 \pm 2,52$	20,2	8,43	+	+
Зрілі - перезрілі	ω_3	$86 \pm 105,4$	$30,05 \pm 2,16$	61,3	3,60	-	+
Незрілі - незрілі	ω_3	$235 \pm 91,6$	$10,40 \pm 1,86$	19,5	8,94	+	+
Незрілі - перезрілі	ω_3	$111 \pm 92,2$	$4,70 \pm 1,32$	41,5	14,04	+	+
Недозрілі - перезрілі	ω_3	$346 \pm 109,2$	$15,10 \pm 1,72$	15,8	5,70	+	+
Незрілі - незрілі	ω_2	$139 \pm 95,0$	$10,86 \pm 1,78$	34,2	8,20	+	+
Незрілі - перезрілі	ω_2	$23 \pm 97,6$	$13,49 \pm 1,12$	-	4,15	-	+
Недозрілі - перезрілі	ω_2	$227 \pm 109,2$	$22,10 \pm 1,64$	24,1	3,71	+	+
Незрілі - перезрілі	ω_1	$101 \pm 75,4$	$11,72 \pm 1,40$	37,3	5,97	+	+

де $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – відповідні моди вільних коливань (перша, друга, третя)

Розподіл визначених параметрів по значенням асиметрії (As_{ω_i}, As_{u_i}) і ексцесу (Ex_{ω_i}, Ex_{u_i}) мають відхилення від нормального закону розподілу. Але ці відхилення незначні, що дозволяє прийняти закони розподілу даних параметрів для кожної фракції як нормальні. Різниця вибірових середніх значень частот визначається за [9,10]:

$$d_{i-k} = |\overline{\omega_i} - \overline{\omega_k}| \quad (3)$$

де d_{i-k} - різниця вибірових середніх значень частоти між i -ою та k -ою фракціями по якості, c^{-1} ;

$\overline{\omega_i}, \overline{\omega_k}$ - середнє значення частот i -ої та k -ої фракцій, відповідно, c^{-1} .

Похибка різниці середніх визначається за виразом [9,10]:

$$\overline{\sigma_d} = \sqrt{\overline{\sigma_i^2} + \overline{\sigma_k^2}} \quad (4)$$

де $\overline{\sigma_i^2}, \overline{\sigma_k^2}$ - похибка середніх значень i -ої та k -ої фракцій, відповідно, c^{-1} ; $\overline{\sigma_i} = \sigma_i / \sqrt{n}$;

Критерій достовірності цих різностей:

$$t_d = \frac{d_{i-k}}{\overline{\sigma_d}} \quad (5)$$

Визначені також довірчі границі оцінки різниці середніх:

$$\Delta_d = t_{st} \overline{\sigma_d} \quad (6)$$

де t_{st} - критерій Стюдента.

Відносна похибка визначення різниці середніх [9,10]:

$$Cs_d = \frac{\overline{\sigma_d}}{d_{i-k}} \cdot 100 \quad (7)$$

де Cs_d - відносна похибка різниці середніх значень частот

однорічних мод коливань між i -ою та k -ою фракціями

за якістю, %.

У ряді випадків, а саме, різниці між максимальною резонансною частотою (ω_3) зрілої фракції та найближчими резонансними частотами інших фракцій (зрілі – незрілі, зрілі – перезрілі), між фракціями незрілі – перезрілі, незрілі – перезрілі на середній резонансній частоті (ω_2) і незрілими – перезрілими низької резонансної частоти (ω_1) є недостовірними.

Крім того, похибка визначення різниці середніх між резонансними частотами у більшості випадків дуже значна та коливається в широких межах

(15,8...61,3%), що вказує на низьку інформативність даного признака про якісний стан плодів; довірчі границі визначення різниці середніх в окремих випадках перекривають значення самої різниці, що також передбачає низьку інформативність даного параметра.

Суттєвим, у даному випадку, є відмінність між кількістю резонансних частот у спектрі коливань плодів при ударному збудженні в залежності від їх якісного стану, що може бути покладено в основу критерію оцінки їх якості.

При дослідженні частотного спектру невід'ємним є амплітудний параметр, який визначає максимуми та мінімуми в енергетичному спектрі коливань. Статистичні параметри оцінки вибірових середніх і різниці середніх значень частот та відповідних до них амплітуд, як між фракціями, так і в межах кожної фракції, показує, що:

- значення амплітуд резонансних частот спектру коли-

вань плодів різних фракцій розподілені по нормальному закону, є достовірними, похибка при визначенні даного параметра складає 1,83...3,21%;

- найбільш суттєвим, в енергетичному відношенні, є резонансна частота зрілої, а потім недозрілої фракцій;

- амплітуди складових частот спектрів коливань в залежності від якісного стану плодів змінюється в широких межах ($8,5 \dots 65,0 \times 10^{-6}$ В);

- різниця амплітудних значень на відповідних резонансних частотах для плодів різних фракцій є несуттєвим, що свідчить про неможливість застосування даного критерію при розділі плодів по ступеню їх зрілості.

При вивченні спектру коливань плодів було проведено

дослідження по визначенню значень коефіцієнта поглинання цих коливань. Інформація про кількісну оцінку цього параметра знімалась з амплітудно – частотного спектру.

Коефіцієнт поглинання (втрати) визначався як ширина спектру для даної фракції на рівні зрізу, що дорівнює 0,707 мінімальної амплітуди із сукупності явно виражених резонансних піків (рисунок 1 б).

Результати свідчать, що значення коефіцієнта загасання змінюються в широких межах в залежності від якості плоду та від його розмірних характеристик. Варіювання складає 6,6...18,6%. Найбільш широкий розмах мають перезрілі плоди ($138,5 \dots 210,7$ с⁻¹).

Таблиця 2 – Статистичні параметри оцінки вибірових середніх коефіцієнта поглинання біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні (сорт Астраханський)

Ступінь зрілості	Діаметр зразка, D_1 , м	Довірчі границі визначення середніх значень	Відносна похибка визначення середніх значень	Досто-вірність
Незрілі	0,15	$151,6 \pm 3,41$	1,12	+
	0,20	$136,5 \pm 4,20$	1,53	+
	0,25	$116,3 \pm 3,15$	1,36	+
Недозрілі	0,15	$105,5 \pm 3,19$	1,51	+
	0,20	$85,4 \pm 3,47$	2,03	+
	0,25	$66,3 \pm 2,32$	1,75	+
Зрілі	0,15	$46,8 \pm 2,74$	2,92	+
	0,20	$39,2 \pm 2,17$	2,76	+
	0,25	$28,9 \pm 1,59$	2,92	+
Перезрілі	0,15	$210,7 \pm 4,94$	1,17	+
	0,20	$171,7 \pm 5,19$	1,51	+
	0,25	$138,5 \pm 4,94$	1,78	+

Розподіли даного параметра, про що свідчать значення асиметрії (As_6) та ексцесу ($Ex_{\omega i}$), відхиляються від нормального, але не перевищують значень $As_6/K_3 > 3$ та $Ex_6/K_4 > 3$. Тому, згідно [9, 10] закон розподілу для кожної із фракцій прийнято нормальним. Також як і для амплітудно – частотних параметрів, було проведено статистичну оцінку вибірових середніх коефіцієнта поглинання кожної якісної фракції з урахуванням розмірів плодів: мінімального - 0,15 м, середнього - 0,20 м, максимального - 0,25 м. Дані наведено у таблиці 2.

Похибка при оцінці середніх складає 1,12...2,92%. Як видно із таблиці межі зміни та середні значення коефіцієнта поглинання зменшуються при збільшенні розмірів і поліпшенні якості плодів. Межі зміни даного параметра достатньо широкі та перекриваються між фракціями, основною причи-

ною чого є вплив розмірних показників на коефіцієнт загасання. Але, якщо розглядати зміни цього признака при постійних розмірах, то його значення будуть вже залежать від якісного стану плоду.

В цьому зв'язку було визначені статистичні показники різниці середніх значень коефіцієнта поглинання між різними фракціями при постійних розмірах. Для середнього зразка сорта Астраханський порівняльна оцінка наведено у таблиці 3. Розрахунок проведено по методики [9, 10] і формулам (3)...(7).

Аналіз цих результатів (табл. 3) свідчить про те, що різниця середніх значень коефіцієнта поглинання між плодами різної якості суттєві та достовірні та, що цей показник може бути визначено, як інформативний та покладений в основу способу виділення стандартної фракції та розділу плодів на фракції по якості.

Таблиця 3 – Статистичні параметри оцінки різниці середніх значень коефіцієнта поглинання коливань біологічних об'єктів різних фракцій по якості при акустичному зондуванні

Найменування різниці середніх значень (для $D = 0,2$ м)	Мода коливань	Довірчі границі визначення різниці середніх значень	Відносна похибка визначення середніх значень	Досто-вірність
Зрілі - незрілі	01	$97,4 \pm 4,75$	2,44	+
Зрілі - недозрілі	01	$46,2 \pm 4,11$	4,45	+
Зрілі - перезрілі	01	$132,5 \pm 5,64$	2,13	+
Незрілі - недозрілі	01	$51,2 \pm 5,45$	5,32	+
Незрілі - перезрілі	01	$35,1 \pm 6,69$	9,52	+
Недозрілі - перезрілі	01	$86,3 \pm 6,24$	3,62	+

Похибка оцінки різниці середніх (крім різниці незрілі – перезрілі) складає 2,13...5,32 %, що в повній мірі може задовільнити потреби виробництва. Невисока точність розділу незрілої та перезрілої фракцій (похибка 9,52 %) пояснюється близькістю параметрів плодів цих фракцій. Але з урахуванням того, що як одна, так і друга фракції є нестандартними, розділ їх між собою є вторинною задачею і тому даний інформативний признак може бути прийнятим.

Висновки

1. Для виділення стандартної фракції із партії плодів інформативними параметрами є:

- різниця амплітудних значень спектру на резонансних частотах зрілої та недозрілої фракцій;
- коефіцієнт поглинання коливань плодів при ударному їх збудженні.

2. Розроблений новий спосіб неруйнівного контролю якості плодів по коефіцієнту поглинання, забезпечує можливість виділення 97 % плодів стандартної фракції з одночасним розділенням останніх на незрілу, недозрілу, перезрілу

фракції з похибкою 2,13...9,52 %. Верхня межа відноситься до розділу між собою незрілої та перезрілої фракцій максимального діаметру плодів.

3. В результаті експериментальних досліджень встановлено граничні значення інформативних параметрів розділення партії плодів на фракції по якості. Ці значення при виділенні стандартної фракції дорівнюють:

- для коефіцієнта загасання - $46,8 \text{ с}^{-1}$ та нижче при мінімальному стандартному діаметрі і $28,9 \text{ с}^{-1}$ - при максимальном;

- для амплітуди на резонансній частоті зрілих плодів $37,65 \times 10^{-6} \text{ В}$ для середнього зразка;

- для амплітуди на резонансній частоті недозрілих плодів $21,95...33,90 \times 10^{-6} \text{ В}$ для середнього зразка.

4. Найбільш ефективним по простоті технічної реалізації, точності є метод оцінки якості плодів по коефіцієнту поглинання. Втрати стандартної фракції при оцінці даним способом не перевищують 2,92 %.

Список використаної літератури:

1. Іноземцев Г.Б., Яковлев В.Ф., Козирський В.В. Застосування акустичних технологій в агарному виробництві: Навчальний посібник -К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2013. - 171 с.: іл..

2. Яковлев В.Ф. Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом / В.Ф. Яковлев // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» - Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 175. – С.97-99.

3. Kontrola jakosci owocow V.F. Jakovlev, A.N. Terechov (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Ekologiczne aspekty, mechaniracjii nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby: 111 Miedzynarodowe sympozjum /Instytut Budownictwa Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa Warszawa, 25 wrzesnia 1996 c.231-235.

4. The acoustic control of fruit damage V.F. Jakovlev, I.P. Nazarenko, M.V. Yakovleva, A.N. Terechov (Tavrijskaja Derčavna Agrotehnična Arademija w. Melitopolu (Ukraina). Systemy mikropro-cesorowe wrolnictwie . 2nd conference on mickroprocessor systems in acgriculture. Conference materials. 18...19 September 1997, Plock, Poland. c.113-117.

5. Яковлев В.Ф., Максимочкин Г.И. Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур // Применение ультразвуки к исследованию вещества /Сб. научн. тр. Всесоюзный заочный машиностроительный институт. -М.:1986 - с. 54...59

6. А.с. № 1291866 (СССР) МКИ⁴ G01N29/00 Б. И. №7, 1987 Яковлев В.Ф.,Бородин И.Ф. Максимочкин Г.И. Способ определения зрелости и поврежденности плодов.

7. Яковлев В.Ф. Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом / В.Ф. Яковлев // Вісник НАУ Науковий журнал. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». Вип.5 (33), 2018 – с.66 – 73

8. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний,- М.: Машиностро-ение, 1972. - 368с.

9. Корн Г., КорнТ. Справочник по математике для научных работников и инженеров.- М.: Наука, 1984. - 832с.

10. Технологія наукових досліджень енергетичних систем в агарному виробництві: Навчальний посібник. / Г.Б. Іноземцев, В.В.Козирський. За редакцією Г.Б. Іноземцева. – К.: ТОВ «Аграр Медіа Груп», 2011. – 198 с.

Yakovlev V.F.

Experimental research of the process of shock pulse transformation through biological objects of fixed geometric shape

Successful implementation of agricultural products requires compliance with the requirements of standards to ensure its high quality, ensuring the technological process (production, processing, storage) with a sufficient level of quality characteristics of the initial raw materials, product quality control at intermediate and final operations. Such qualitative characteristics of products, particularly a fixed geometric shape, the degree of ripeness, presence and depth of the damage, it is not always possible to determine the external condition of the product (e.g., melons) without its destruction.

To assess the qualitative and quantitative characteristics of agricultural products, various physical methods are used, of which a special place is occupied by the method of acoustic sensing, which consists in the fact that the properties of products (as biological objects) that determine the excitation and propagation of elastic vibrations are closely related to their anatomical structure and physical and biochemical characteristics, which in turn change during their vegetation when reaching the appropriate degree of ripeness.

This material presents the results of experimental studies to establish the relationship between the parameters of the aftereffect of shock excitation of biological objects of plant origin of a fixed geometric shape with their qualitative characteristics, to determine the characteristics and their quantitative values, which in turn makes it possible to implement technical devices Express nondestructive control of qualitative characteristics of agricultural products.

Keywords: *acoustic sounding, acoustic field parameters, shock excitation, amplitude-frequency spectrum of oscillations, absorption coefficient, frequency, mode of oscillations, asymmetry, kurtosis.*

Яковлев В.Ф.

Экспериментальное исследование процесса трансформации ударного импульса через биологический объект фиксированной геометрической формы

Успешная реализация продукции сельского хозяйства требует соблюдения тренований стандартов по обеспечению ее высокого качества, обеспечения технологического процесса (производства, переработки, хранения) достаточным уровнем качественных признаков начальной продукции, контролем качества продукции на промежуточных и конечных операциях. Такие качественные признаки продукции, особенно фиксированной геометрической формы, как степень зрелости, наличия и глубина расположения повреждений, не всегда можно определить по внешнему состоянию продукта (например, бахчевые) без их разрушения.

Для оценки качественных и количественных значений признаков сельскохозяйственной продукции применяются различные физические методы, из большого числа которых, особое место занимает метод акустического зондирования, заключающийся в том, что свойства продуктов (как биологических объектов), которые определяют возбуждение и распространение упругих колебаний, тесно связаны с их анатомической структурой и физико-биохимическими характеристиками, которые в свою очередь, изменяются в процессе их вегетации при достижении соответствующей степени зрелости.

Приведенный материал представляет результаты экспериментальных исследований по установлению связей параметров последствия ударного возбуждения биологических объектов растительного происхождения фиксированной геометрической формы с их качественными признаками, определению информативных признаков и их количественных значений, что в свою очередь, дает возможность технической реализации устройств экспрессного неразрушающего контроля качественных признаков сельскохозяйственной продукции.

Ключевые слова: *акустическое зондирование, параметры акустического поля, ударное возбуждение, амплитудно-частотный спектр колебаний, коэффициент поглощения, частота, мода колебаний, асимметрия, эксцесс.*

Дата надходження до редакції: 15.03.2019

РОЗВИВАЛЬНІ МОЖЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ НАВЧАЛЬНИХ ДОСЯГНЕНЬ СТУДЕНТІВ У ФОРМУВАННІ ЇХ ГОТОВНОСТІ ДО МАЙБУТНЬОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В ГАЛУЗІ АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Бондар Марія Миколаївна

кандидат педагогічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

ORCID: 0000-0002-8437-4602

e-mail: sergiybondar@ukr.net

Плавинська Олександра Володимирівна

ст. викладач

Сумський національний аграрний університет

ORCID: 0000-0003-2837-2087

e-mail: alekscandrawl@ukr.net

Статтю присвячено дослідженню ролі процесу контролю навчальних досягнень студентів вищого навчального закладу у формуванні їх готовності до професійного саморозвитку як майбутніх фахівців з механізації сільського господарства. У вищій аграрній освіті на перший план висувається актуальне завдання – створення умов, які забезпечують ефективний професійний саморозвиток творчого потенціалу особистості студента. Досягти високого рівня розвитку і підготовки майбутніх професіоналів можливо через нові, переосмислені підходи до змісту та організації процесу контролю навчальних досягнень студентів. У дослідженні обґрунтовуються тези стосовно того, що головним завданням всіх видів контролю навчальних досягнень студентів є перевірка виконання кінцевої мети професійного навчання – сформованості багатокomпонентної структури технічного мислення та інженерних і навчально-пізнавальних умінь, тобто перевірки того, чи досягло технічне мислення, структуру якого ми формували, рівня готовності до майбутньої інженерної діяльності за обраним фахом.

Ключові слова: особистісно-розвивальне навчання, контроль, навчальні досягнення, професійний саморозвиток.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.7>

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями.

Випускник вищого навчального закладу має бути високо кваліфікованим фахівцем відповідної галузі. Проте, чи є він професіоналом у своїй галузі? Адже, професіонал має бути орієнтований на роботу з реальними справами у досить складних і швидкоплинних виробничих умовах, для нього важливо вирішити проблему. Він готовий наполегливо шукати і знаходити нові продуктивні знання, у тому числі й в інших сферах виробництва. Тобто, професіонал володіє крім суто галузевих знань ще й усвідомленою, нормальною потребою (звідси — спонуканням → мотивом) самостійно і постійно навчатися новому [1]. Проведений аналіз виявив суперечність між необхідністю підвищення рівня пізнавальної самостійності студентів та обмеженими можливостями наявних дидактичних засобів, які не повною мірою враховують відбір змісту, методів та педагогічних можливостей контролю навчальних досягнень студентів [2]. У більшості випадків контроль використовується тільки для перевірки ступеня засвоєння знань, запам'ятовування навчального матеріалу, тобто з його допомогою контролювалась в основному пам'ять, знання а не перевірка того, чи досягло технічне мислення, структуру якого ми формували, рівня готовності до майбутньої самостійної інженерної діяльності.

З огляду на зазначене, у вищій аграрній освіті на перший план висувається завдання створення умов, які забезпечують професійний саморозвиток творчого потенціалу особистості студента. Досягти високого рівня розвитку і підготовки майбутніх професіоналів можливо через нові, переосмислені підходи до змісту та організації контролю навчальних досягнень студентів [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Концепцію розвивального навчання розробив у 30-х роках ХХ століття Л. Виготський, який обґрунтував визначальні принципи цієї дидактичної теорії. Гіпотеза Л. Виготського про розвивальне навчання стала експериментально перевірятися з кінця 1950-х рр. Праці С. Рубінштейна, О. Леонтєва, Г. Костюка, Н. Менчинської, А. Запорожця та інших. Як і Л. Виготський, О. Леонтєв виходив з того, що розвиток здібностей людини, особистості в цілому здійснюється в процесі оволодіння суспільним досвідом, який закріплюється у засобах виробництва, книгах, мові тощо [4]. Провідною ідеєю концепції О. Кабанової-Меллер є таке положення: в розумовому розвитку учня суттєву роль відіграють прийоми навчальної роботи (планування, самоконтроль, організація учіння й відпочинку, управління своїми пізнавальними інтересами, увагою), на основі яких в учнів формуються навчальні уміння й навички [5, с. 7]. Концепції провадження контролю в процесі навчання розглядалися видатними педагогами минулого – Я. Коменським, К. Ушинським В. Сухомлинським. Теоретичні аспекти контролю навчальних досягнень студентів розглянуті в наукових дослідженнях Л. Виготського, Д. Чернилевського, С. Архангельського, Ю. Бабанського, А. Кузьмінського, В. Аванесова, І. Підласого та ін. [6]. Досвід організації професійної освіти США свідчить, що контроль навчальних досягнень спрямований на мотивування активної пізнавальної діяльності студентів, їхньої самостійної роботи, оцінювання динаміки індивідуальних досягнень і комплексних умінь студентів, тобто оптимальній реалізації навчальної та розвивальної функцій контролю [8]. Отже, основну увагу дослідників сконцентровано на тому, що майбутньому спеціалісту потрібно не тільки успішно займатися в системі відповідної фахової підготовки, а й весь час працювати над

собою, професійно саморозвиватися та самовдосконалюватися [9]. Разом із тим, цей процес буде ефективним за наявності виразних педагогічних умов контролю виконання кінцевої мети навчання – сформованості багатокомпонентної структури технічного мислення та інженерних і навчально-пізнавальних умінь.

Формулювання цілі. Метою статті є дослідження ролі контролю навчальних досягнень студентів у формуванні готовності до професійного саморозвитку в галузі агроінженерії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Передумовою прояву елементів творчості в навчальному процесі під час вивчення загальноінженерних дисциплін є обов'язкова наявність певних базових знань, способів дій, які сформовані в результаті репродуктивного способу організації навчально-пізнавальної діяльності майбутніх фахівців агроінженерної галузі сільськогосподарського виробництва. З метою контролю сформованості базових знань ми широко використовували тестовий контроль (під час перевірки готовності студентів до виконання лабораторних робіт, практичних занять, розрахунково-графічних робіт, для виставлення проміжної атестації тощо). Тестування є однією з найбільш технологічних форм проведення автоматизованого контролю з параметрами якості, якими можна управляти. У цьому аспекті жодна з відомих форм контролю знань студентів порівняти не може.

Нині розробники мають у своєму розпорядженні велику кількість видів тестових завдань. При цьому в питанні їх класифікації фахівці застосовують різні підходи. Так, В. Безпалько виділяє форми і види тестових завдань залежно від рівня засвоєння знань, на вияв якого вони спрямовані. Для учнівського рівня — тести на пізнання, відмінності і класифікацію, для алгоритмічного — тести-підстановки, конструктивні і типові задачі, для евристичного — тести-задачі, рішення яких вимагає певного перетворення типових алгоритмів рішення, а для творчого — тести, що дозволяють проявити творчі здібності [8].

Разом з тим В. Аванесов виділяє [10] завдання першої форми з вибором однієї правильної відповіді, однієї найбільш правильної відповіді, з вибором кількох правильних відповідей. Якщо до тестових завдань даються готові відповіді на вибір (як правило одна правильна, а інші – неправильні), то такі завдання називають завданнями з вибором однієї правильної відповіді. Вибір правильної відповіді породжує істинне судження, а неправильної – неістинне. Третього не дано. Тому в кожному завданні з вибором однієї правильної відповіді остання має бути такою, що надає однозначність замислу самого завдання й не допускає суперечливих думок у студентів. Другий варіант завдань цієї ж першої форми використовується для перевірки порівняльних знань – з вибором однієї найбільш правильної відповіді з числа відповідей, що правильні в різній мірі. Третій варіант завдань першої форми містить не одну, а кілька правильних відповідей. Це завдання з вибором кількох правильних відповідей.

У другій формі завдання сформульовано так, що готової відповіді немає а кожному студенту під час тестування відповідь приходиться вписувати самому у відведеному для цього місці. Такі завдання можна назвати завданнями відкритої форми [10].

Тестові завдання, де елементам однієї множини потрібно поставити у відповідність елементи іншої множини,

можна назвати завданнями на встановлення відповідності між елементами множин. Це третя форма завдань.

І нарешті, у тих випадках, коли потрібно встановити послідовність інженерних розрахунків, дій, кроків, операцій, термінів застосовуються завдання на встановлення правильної послідовності. Це четверта форма тестових завдань.

Приблизно такої ж думки притримується й К. Інгенкамп, який відзначає, що для практичних цілей контролю знань достатньо відрізнити вільну форму відповідей і форму, що передбачає вибір відповідей з кількох запропонованих [11, с. 92]. Кожна форма, що використовується для контролю знань має кілька видів завдань. До відкритої форми відносяться завдання на доповнення й на встановлення правильної послідовності, а до закритої форми — з вибором відповіді та на встановлення зв'язку (або класифікації). К. Інгенкамп, крім того, вважає, що до відкритої форми контрольних тестів необхідно зарахувати і завдання у вигляді короткої відповіді й мікротвору [11]. Кожна з перерахованих форм тестового контролю дозволяє перевірити специфічні види загальноінженерних знань, а також використати відповідні їм контрольні матеріали. Вибір форм залежить від мети тестування й змісту тесту, від технічних можливостей і рівня підготовленості викладачів у галузі теорії і методики тестового контролю знань.

Для тестування навчального матеріалу із загальноінженерних дисциплін, найбільш придатною є перша форма тестових завдань із вибором однієї правильної відповіді з 4-6 наведених у тесті. За допомогою даної форми можна контролювати не тільки наявність, а й продовжувати формувати:

1. Наочно-образну складову технічного мислення;
2. Понятійну складову технічного мислення;
3. Мову техніки.

Багаторічний викладацький досвід та проведені експериментальні дослідження показують, що розвивальні можливості контролю навчальних досягнень студентів найкраще реалізуються при використанні тестових завдань відкритої форми. Такі тести дозволяють перевірити, крім запам'ятовування певної суми знань з дисципліни, також здатність творчого оперування знаннями при відповіді на поставлені контрольні запитання.

Методика проведення такого контролю передбачала включення студентів у тестування без попереднього попередження. Тестування проводилось письмово і його тривалість – 30 хв. Кожний студент отримував індивідуальний тест і мав право при підготовці письмової відповіді залучати будь-яку довідкову літературу. Ця обставина дозволяє наблизити проведення контролю навчальних досягнень студентів до реальних умов роботи інженера на виробництві і сприяла встановленню позитивного емоційного фону. Кожний тест містив 10 запитань, з яких: 40 % складали запитання на запам'ятовування певної суми теоретичних знань; 60 % — запитання на здатність студента творчо застосовувати одержані теоретичні знання.

Запитання типу: «Яких заходів повинен вжити інженер-конструктор у такій-то розрахунковій ситуації, якщо ... ?» Або ж давалися неповні умови для вирішення розрахунково-конструкторських задач і студент має відповісти, які в них дані не вказані і якими можна «задаватись» самому і чому тощо. Останній тип запитань – основний, який вимагає від студента глибокого розуміння методів розрахунку і причинно-наслідкових зв'язків у них. Приклад змісту типового тесту даного типу

приведено в табл. 1.

Рубіжний тематичний контроль передбачав контроль і самоконтроль за ходом процесу розвитку особистості, формування у неї творчого технічного мислення й інженерних умінь та навичок при виконанні інженерних розрахунків з окремих тем.

Критеріями рубіжного тематичного контролю були характеристики оволодіння інформацією на рівні творчості з основних тем курсу дисципліни. Для цього кожному студенту

видавались особисті, комплексні домашні завдання для самостійного виконання. Крім того, зазначене домашнє завдання містило дані для проведення невеликої дослідницької роботи. Перевірка повноти цього невеликого самостійного дослідження, узагальнених висновків та пропозицій, що зроблені студентом, показували його творчі можливості й уміння виконувати продуктивну загально інженерну діяльність, яка має характер суб'єктивної новизни на основі засвоєної ним інформації.

Таблиця 1.

Приклад тесту для контролю рівня сформованості творчого технічного мислення

1) Потрібно зробити орієнтовний розрахунок вала. Ваші дії.
2) Вкажіть рекомендовані кути нахилу зубів циліндричних косозубих коліс.
3) Напишіть умову, при якій передача вважається довго працюючою при розрахунку на згин ?
4) Що таке нереверсивна передача ?
5) Яких заходів може вжити конструктор для зменшення міжосьової віддалі a_w при проектуванні передачі? (Передача додається).
6) Які параметри зубчастої передачі вимагають уточнення після того, як передача спроектована ?
7) Яких заходів може вжити конструктор для зменшення дійсного контактного напруження прямозубої циліндричної передачі ?
8) Що може запропонувати конструктор, якщо Z_Σ при проектуванні прямозубої циліндричної передачі виходить дуже великим ($Z_\Sigma > 200$) ?
9) Яких заходів може вжити конструктор для збільшення дійсного контактного напруження в зубах прямозубої циліндричної передачі ?
10) Як визначається розрахункове допустиме напруження згину для тривало працюючої реверсивної передачі ?

Запитання рубіжного контролю складені так, щоб перевіряти не просто рівень засвоєння студентами тих або інших знань, а й здатність майбутнього інженера осмислено, творчо оперувати ними. Інформація про хід цього процесу допомагала студентам у самонавчанні, своєчасному виявленні та усуненні ще недопрацьованого ними матеріалу. Викладачу така інформація давала можливість вносити коригування у процес навчання.

Рубіжний тематичний контроль проводився двічі. Перший етап рубіжного контролю – перевірка змісту комплексних індивідуальних домашніх завдань, що виконані письмово. Другим етапом є захист кожної теми домашнього завдання за спеціально розробленими контрольними тестами комбінованої форми. Хоча поставлені запитання стосуються матеріалу конкретного завдання, але умови розрахунку і кінематична схема принципово видозмінені. Саме тому така форма захисту домашнього завдання вимагає широкої теоретичної підготовки студента з теми, творчого підходу до рішення пропонувананих нетипових задач, перевіряє його уміння здійснювати перенос знань та умінь у нестандартні розрахункові ситуації [12]. Критеріями рубіжного контролю служили як вищевказане, так і засвоєння студентом принципів і правил конструювання, уміння виконувати аналіз конструкцій, вибирати доцільну конструкцію з типових, що враховує специфіку розрахункової схеми, здатність пропонувати усно та графічно свої конструктивні рішення.

Рубіжний тематичний контроль дозволив впевнитись у повноті і правильності засвоєння знань та умінь, виявити недоопрацювання в діяльності окремих студентів, з'ясувати їх слабкі місця у процесі самоконтролю, а також недоліки в навчальному процесі та внести своєчасно коригування.

Для реалізації розвивальних можливостей контролю навчальних досягнень студентів важливе значення має письмова п'ятихвилинка з вирішення конструкторської проблеми, що проводиться на початку лекції. Вона має за мету збудити і мобілізувати інженерну думку, активізувати студентів, залучити їх до самостійного рішення невеликих реальних задач,

що взяті з практичної діяльності інженера, і, таким чином, ввести студентів до творчої лабораторії конструктора і винахідника. Зміст п'ятихвилинки складають переважно творчі задачі і призначення її – психологічно готувати студента до зустрічі з проблемними ситуаціями різного ступеня складності у майбутній професійній діяльності.

Проблемні запитання п'ятихвилинки повинні відповідати таким вимогам:

- мають бути короткими і доступними для студента, тобто щоб він зміг відповісти на них, спираючись на свій особистий теоретичний та практичний досвід; вимагати порівняно невеликої глибини проробки навчального матеріалу, не мають бути безвихідними;
- повинні бути сформульовані так, щоб служити способом ознайомлення студента з окремими евристичними прийомами технічної творчості (морфологічний аналіз, синтез, окремі елементи теорії рішення винахідницьких задач тощо);
- щоб можна було на основі запитань організувати дискусію, «мозкові атаки» тощо, тобто вони мають торкатися визначення максимальної кількості недоліків технічних об'єктів, що розглядаються, а також вимагати від студента пропозицій, які дозволяють усунути ці недоліки у нових виробках відповідно до сучасного рівня розвитку техніки та технологій;
- містити потенційно велику кількість варіантів рішення, тобто бути багатоваріантними;
- мають будуватися на наочному матеріалі (ескізах, кресленнях, схемах, натурних деталях тощо);
- містити запитання, які вимагають критики нераціональних, помилкових для даних умов роботи рішень;
- запитання мають стосуватися пройденого матеріалу, різноманітних аспектів проблемних ситуацій (технології виготовлення, складання, розбирання, експлуатації, ремонту тощо);
- орієнтувати на правильне визначення кінцевої мети або виявлення того, що перешкоджає одержанню бажаного

результату, відшукав раціональні засоби, які ведуть до кінцевої мети;

- відповіді студентів у письмовій формі мають бути максимально короткими, що розкривають суть пропозиції і коротку аргументацію, без переписування умов проблемної задачі.

Суттєво сприяє реалізації розвивальних можливостей контролю проведення поточного опитування студентів на практичних і лабораторних заняттях із використанням простих і нестандартних виробничих ситуацій [12]. Останні характеризують особливі умови та обмеження, суперечливі вимоги технології виготовлення й конструювання, виробничі труднощі тощо. Перед студентами ставляться питання, які вимагають проведення технічної експертизи, видачі дозволів на використання заготовок або деталей, операцій, що виконані з відхиленнями від креслення через порушення технології виготовлення, оцінювання рацпропозицій [13, 14].

Для вирішення частини проблемних ситуацій студент повинен самостійно виконати невелике теоретичне дослідження. При цьому йому потрібно сформулювати проблему і осмислено застосувати для її вирішення фундаментальні знання з дисципліни, в обов'язковому порядку залучаючи довідкові матеріали для аргументованого захисту своєї точки зору. При вирішенні цієї проблеми майбутній фахівець повинен виявити творчий підхід, кмітливості, продемонструвати володіння інтелектуальними вміннями (наприклад, вміння вести теоретичний аналіз ситуацій, проводити бесіду з викладачем на професійному рівні відповідно до логічної схеми: проблема → судження → умовивід). При цьому належить показати вміння передбачати результати вирішення проблеми, здатність бачити недостатні та надлишкові дані, вміння поставити себе на місце виробника, професійно сформулювати питання до нього (тобто показати свою виробничу підготовку), висловлювати технічно коректною своєю думку [15]. Ілюстрацією до цих ситуацій, як правило, служить конструкція редуктора (розріз), або схема його виконання, або зовнішній вигляд редуктора без розрізів.

Друга частина проблемних ситуацій — із галузі інженерної практики. Як правило, додається натурна деталь, її ескіз, фото зруйнованої поверхні (знімок поверхні, що виконаний за допомогою електронного мікроскопа). Такі проблемні ситуації вимагають від студента розробки конкретної творчої технічної пропозиції та її теоретичного обґрунтування із залученням довідкової літератури, яка дозволить виявити рівень сформованості багатокomпонентної структури творчого технічного мислення. Наведемо приклади таких типів теоретичних проблем і проблемних запитань.

1. Ви – технічний експерт. Відбулась поломка косозубої циліндричної передачі редуктора. Зубчаті колеса доставлені Вам на технічну експертизу. Визначте причини виходу з ладу даної передачі. Як проведете аналіз аварії? Який вихід Ви можете запропонувати для відновлення роботоzдатності передачі і редуктора в цілому? Свої пропозиції обґрунтуйте теоретично. (До даної проблеми додаються натурні деталі, що вийшли з ладу, і фотознімок зруйнованої поверхні).

2. Ви — конструктор. Передача закрита, циліндрична косозуба. При виготовленні зубчатого колеса на заводі не витримали задану Вами на кресленні шорсткість поверхні зуба 1,6, а дають тільки 3,2. Як конструктор, чи дозволите Ви дане відхилення як виключення? Якщо не даєте дозволу, то

запропонуйте вихід з даної виробничої ситуації. Аргументуйте свої рішення.

3. Ви – технічний експерт. Вам на відзив передали наступну рацпропозицію: замінити матеріал вала шестерні прямозубої циліндричної передачі редуктора Сталь 40 ХН на більш дешевий Сталь 45, залишивши без зміни твердість зубів, і підвищити ступінь точності з 8 на 7. Редуктор знаходиться в цеху. Аргументуйте свою точку зору на доцільність даної пропозиції.

Як видно з наведених прикладів, фактично рішення конкретної виробничої проблеми включає дві підпроблеми:

а) за зруйнованою поверхнею конкретної деталі студенту необхідно гіпотетично виявити і теоретично обґрунтувати причини передчасного руйнування, використовуючи накопичений теоретичний багаж знань, проявляючи при цьому добру орієнтацію в сучасній довідковій технічній літературі;

б) продумати свої пропозиції конструкторського і технологічного характеру по відновленню роботоzдатності деталі для даної конкретної виробничої ситуації і доказати теоретично ці варіанти.

Отже, під час проведення поточного контролю знань, навчально-пізнавальних та інженерних умінь студентів умовно можна виділити наступні етапи роботи студента:

I. Побачити проблему і сформулювати її;

II. Висунути теоретично обґрунтовані аргументи на захист своєї гіпотези;

III. Проаналізувати ситуацію і «запросити» при необхідності у викладача відсутні дані;

IV. Для доказу гіпотези залучити необхідну довідкову технічну літературу;

V. Запропонувати декілька варіантів конкретного рішення проблеми, обґрунтовуючи найбільш раціональний для конкретних умов варіант.

Проведення поточного контролю засвоєного матеріалу за даною формою дозволяє об'єктивно виявити і оцінити розуміння законів фізики та процесів, що відбуваються у конструкціях, механізмах машин та їх деталях, вміння студентів на сучасному професійному рівні вільно оперувати одержаним обсягом теоретичних знань, здатність давати гаму суб'єктивно нових пропозицій з розрахунку і конструювання машин і механізмів, самостійно виконувати багатоваріантний аналіз технічних рішень, теоретично обґрунтувати вибір раціонального варіанту тощо. За якісними відповідями студента викладач має можливість за багатьма параметрами перевірити здобутий ним обсяг знань із дисципліни, об'єктивно і точно оцінити комплексну сформованість багатокomпонентної структури творчого інженерного мислення.

У дослідженні критеріями оцінювання обрані самостійність і суб'єктивна новизна пропонованих рішень, їх кількість та рівень інтелектуальної активності студента (репродуктивний, перехідний, творчий). Підсумковий контроль сформованості творчого технічного мислення, навчально-пізнавальних та інженерних умінь майбутніх фахівців аграрників проводився під час іспиту та захисту курсового проекту.

Перший етап – захист курсового проекту. Проектування будь-якої машини або споруди складається з конструювання та розрахунку, ці поняття тісно пов'язані між собою. Тут проводилась перевірка сформованості багатокomпонентної структури технічного мислення, навчально-пізнавальних

та інженерних умінь на матеріалі методик конструювання й встановлення можливості студента видавати суб'єктивно нові конструктивні рішення або пропозиції стосовно удосконалення конструкцій різних типів редукторів.

Другий етап – іспит. Перевірка здійснювалась на матеріалі індивідуальних, комплексних контрольних завдань теоретичного напрямку. Зміст контрольних завдань дозволяв перевіряти засвоєння методик розрахунків на прикладі типових деталей з'єднань, що широко застосовуються у сільсько-господарському машинобудуванні.

Результати порівняльного дослідження дали змогу зробити висновок щодо суттєвих переваг показників студентів експериментальних груп перед контрольними (табл. 2.) [1, 2]. Зокрема, навчальні досягнення цих студентів, які реєструвалися за результатами поточного та підсумкового

(іспит з курсу, захист курсового проекту) контролю були значно вищими порівняно з результатами навчання студентів контрольної масиви. Під час іспиту більшість студентів вільно оперували необхідними технічними термінами, ґрунтовно володіли уміннями розрахунків деталей, вузлів, передач.

На захисті курсового проекту студенти вільно відтворювали технічні знання в логічній послідовності та взаємозв'язку, демонстрували уміння виявляти недоліки у конструкціях вузлів та деталей і їх усунення, професійно вирішувати виробничо-технічні проблеми. Про зрушення у розвитку технічного творчого мислення свідчить і факт участі 26% студентів експериментальних груп у щорічній олімпіаді, тоді як у контрольних групах бажання взяти участь у цьому змаганні виявили лише 14% студентів.

Таблиця 2.

Розподіл студентів експериментальних і контрольних груп за рівнями навчально-пізнавальної діяльності ($K_{(1)}$, $K_{(2)}$ – контрольні групи; Е – експериментальні групи; %) [2]

Заміри	Групи	Рівні навчально-пізнавальної діяльності студентів		
		Репродуктивний	Перехідний	Творчий
На початку експерименту	$K_{(1)}$	34,60	48,07	17,33
	$K_{(2)}$	36,36	49,09	14,55
	Е	37,62	44,56	17,82
В кінці експерименту	$K_{(1)}$	30,00	48,00	22,00
	$K_{(2)}$	25,45	52,72	21,83
	Е	20,00	51,00	29,00
Приріст	$K_{(1)}$	- 4,6	- 0,7	+ 4,67
	$K_{(2)}$	- 10,91	+ 3,66	+ 7,28
	Е	- 17,62	+ 6,44	+ 11,18

Отримані результати графічно відображені на (рис. 1).

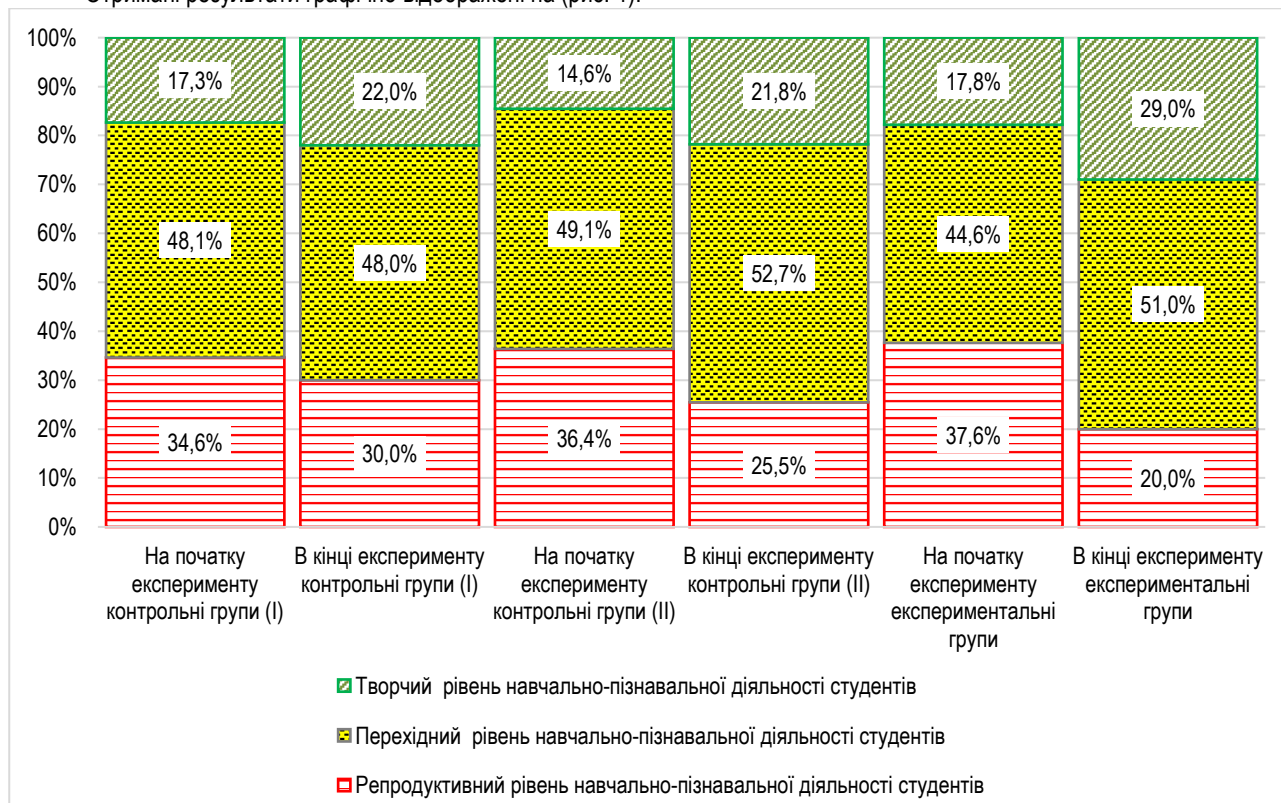


Рис. 1. Розподіл студентів експериментальних і контрольних груп за рівнями навчально-пізнавальної діяльності

Ефективність використаної методики розвивального навчання відсвічує динаміка рівнів сформованості навчально-пізнавальної діяльності студентів при вивченні курсу „Деталі машин і основи конструювання” у формувальному експерименті: на закінчення експерименту 29% студентів експериментальних груп демонстрували творчий рівень навчально-пізнавальної діяльності, тоді як в контрольних групах таких студентів налічувалося 22%; до перехідного рівня було віднесено 51% студентів експериментальних груп і 48% студентів контрольних груп. Було констатовано на репродуктивному рівні 20% і 30% студентів відповідно в експериментальних і контрольних групах.

Висновок. Реалізація розвивальної функції контролю навчальних досягнень здійснюється за рахунок залучення студентів у пошукову продуктивну діяльність, що спрямована

на вирішення реальних інженерних проблем і проблемних ситуацій. Стандартизований тестовий контроль, в основі якого лежить застосування сучасних комп'ютерних технологій, є важливим компонентом сучасного інноваційного навчання, що сприяє розвитку творчого технічного мислення і формує інженерні уміння майбутнього фахівця-аграрника. Це дає змогу підвищити частоту контролю та його всеосяжність, диференціювати та індивідуалізувати контроль за навчально-пізнавальною діяльністю студентів, що позитивно позначається на формуванні їхньої потребо-мотиваційної сфери та професійно-пізнавальних інтересів. Встановлено необхідність систематичного контролю і самоконтролю за просуванням студентів у творчій пізнавальній діяльності, при цьому основним критерієм оцінювання є суб'єктивна новизна рішень ними інженерних проблем і задач.

Список використаної літератури:

1. Трансформація самостійної навчальної діяльності у готовність до професійного саморозвитку засобами технологій особистісно орієнтованого навчання : Монографія. / [М. М. Бондар, Л. М. Журавська, Е. О. Остапенко та ін.]. – Ніжин : АСПЕКТ – Поліграф, 2016, — 752 с.: іл.
2. Бондар М. М. Розвивальне навчання майбутніх аграрників засобами загальноінженерних дисциплін / Бондар М. М. – Ніжин : ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф». 2007. – 240 с.: іл.
3. Остапенко Е.О. До питання про визначення важливості саморозвитку професійно значущих якостей студентів фінансово-економічного профілю / Е.О. Остапенко // Тренінгові технології як засіб формування знанневих і практичних компетенцій: досвід факультетів і кафедр : зб. матеріалів наук.-метод. конф. (Київ, 3-4 лют. 2009 р.). – К. : КНЕУ, 2009. – Т. 2. – С. 603-605.
4. Леонтьев А. Н. Проблемы развития психики. / Леонтьев А. Н. 4-е изд. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. – 584 с.
5. Кабанова-Меллер Е. Н. Формирование приемов умственной деятельности и умственного развития учащихся / Е. Н. Кабанова-Меллер. – М.: Просвещение, 1968. – 288 с.
6. Савченко О.Я. Контроль і оцінка результатів навчання // Савченко О.Я. Дидактика початкової школи: Підручник для студентів педагогічних факультетів. – К.: Грамота, 2012. – 504 с.
7. Кальнік О. Контроль навчальних досягнень у системі освіти США : досвід для України [Електронний ресурс] Олександр Кальнік – Режим доступу: /http://77.121.11.9/bitstream/PolNTU/324/1/Kalnik_Kontrol_Navch_Dosyagnen_U_SSHA.pdf (дата звернення 10.02.2017 р.). – Назва з екрана.
8. Беспалько В. П. Слагаемые педагогической технологии. / В. П. Беспалько – М.: Педагогика, 1989. – 192 с.
9. Словник-довідник з професійної педагогіки / [ред.-упоряд. А. В. Семенова]. –Одеса: Пальміра, 2006. –272 с.
10. Аванесов В. С. Композиция тестовых заданий. / В. С. Аванесов – М.: Центр тестирования, 2002. – 239 с.
11. Ингенкамп К. Педагогическая диагностика. / Ингенкамп К. – М.: Педагогика, 1991. – 240 с.
12. Журавська Л. М. Системний підхід щодо організації самостійної роботи студентів у вищій школі / Журавська Л. М. // Придніпровський науковий вісник. – Дніпропетровськ, 1998. - № 127 (194). - С. 24-33.
13. Манько, В. М. Дидактичні умови формування у студентів професійно-пізнавального інтересу до спеціальних дисциплін / В. М. Манько // Соціалізація особистості: зб. наук. пр. Національного педагогічного університету ім. М. Драгоманова. – К.: Логос, 2000. – Вип.2. – 153-161с.
14. Манько В. М. Теоретичні та методичні основи ступеневого навчання майбутніх інженерів-механіків сільськогосподарського виробництва: дис. ... д-ра. пед. наук: 13.00.04 / Володимир Миколайович Манько; Тернопіль. нац. пед. ун-т ім. Володимира Гнатюка. – Київ, 2005. – 400 с.
15. Зінченко В. О. Формування професійної спрямованості студентів економічних спеціальностей на початковому етапі навчання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.04 «Теорія і методика професійної освіти» / В. О. Зінченко. – Луганськ, 2008. – 20 с.

Бондарь М.Н., Плавинская А.В.

Развивающие возможности контроля знаний студентов в формировании их готовности к будущей деятельности в области агроинженерии

Статья посвящена исследованию роли процесса контроля знаний студентов высшего учебного заведения в формировании их готовности к профессиональному саморазвитию как будущих специалистов по механизации сельского хозяйства. В высшем аграрном образовании на первый план выдвигается актуальная задача – создание условий, обеспечивающих эффективное профессиональное саморазвитие творческого потенциала личности студента. Достичь высокого уровня развития и подготовки будущих профессионалов возможно через новые, переосмысленные подходы к содержанию и организации процесса контроля знаний студентов. В исследовании обосновываются положения о том, что главной

задачей всех видов контроля знаний студентов является проверка выполнения конечной цели профессионального обучения – сформированности многокомпонентной структуры технического мышления, а также инженерных и учебно-познавательных умений, то есть проверки того, достигло ли техническое мышление, структуру которого мы формировали, уровня готовности к будущей инженерной деятельности по выбранной специальности.

Ключевые слова: личностно-развивающее обучение, контроль, учебные достижения, профессиональное саморазвитие.

Bondar M.M., Plavynska O.V.

Educational opportunities monitoring academic progress of students in shaping their readiness for future activities in ahroinzheneriyi

The article studies the role of process control of educational achievements of students of higher educational institution in the formation of their readiness for professional self-development as future specialists in agricultural mechanization. In Higher Agricultural Education highlights the important task - to create conditions that ensure effective professional self-development of creative potential of students. To achieve a high level of development and training of future professionals is possible through a new, redefined approach to the content and organization of the process control of educational achievements of students. In the thesis, the thesis to the effect that the main task of all types of control of educational achievements of students is to test the performance of the ultimate goal of professional training - forming multicomponent structure technical thinking and engineering, educational and cognitive abilities that check whether the achieved technical thinking, structure which we formed, the level of preparedness for future engineering of the chosen specialty.

Key words: personal development training, control, educational achievements, professional self-development.

Дата надходження до редакції: 27.03.2019

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ ВІТЧИЗНЯНОГО ВИРОБНИЦТВА МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЗА КРИТЕРІЯМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ

Саржанов Олександр Анатолійович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3973-0185>
email: alexsar@i.ua

Барабаш Григорій Іванович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-1075-479X
email kaf_et@i.ua

В запропонованій статті наведені методичні підходи по визначенню основних техніко-експлуатаційних показників використання нових посівних комплексів вітчизняного виробництва, по яких ще відсутня в літературних джерелах інформація що до ефективності їх роботи в певних виробничих умовах; наведені конкретні значення режимів роботи, продуктивності, витратах палива цих машин.

Ключові слова: сівба, посівні комплекси, методика, потужність, швидкість руху, продуктивність, витрата палива, рівень використання.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.8>

Постановка проблеми.

Технологічні процеси по обробітку ґрунту та сівбі є основними складовими частинами зональних науково обґрунтованих систем землеробства. Особливо важливе значення це набуває в сучасних умовах, коли істотно ускладнилось ресурсне забезпечення аграрних підприємств [3].

Традиційно техніко-експлуатаційні показники використання машинних агрегатів в рослинництві визначаються, виходячи з того, що за довідковими даними по питомому опору робочих органів машин які експлуатуються в певних ґрунтово-кліматичних умовах, та відомими тяговими зусиллями тракторів вибирають необхідну передачу, завантажуючи таким чином двигун трактора до оптимального значення, але в межах певного діапазону агротехнічно допустимих швидкостей [1,2,4]. Але на даний момент ситуація помінялась. Інформація що до згаданих показників відсутня через те, що офіційно лабораторно-польові дослідження або не проводяться або інформація про це відсутня.

Щоб вийти з такого положення пропонується дещо інший шлях: довіритись виробникам машин, які стверджують, що для ефективного використання сільськогосподарської машини потрібен трактор певної потужності, як це наприклад: для використання посівного комплексу Сіріус – 10 необхідно мати трактор з потужністю двигуна 300 к.с. (220 кВт). Найбільше для цієї ролі підходить трактор Беларусь МТЗ – 3022 ДЦ-1. Потужність його двигуна – 222 кВт. Умовно його можна віднести до 5 класу тяги. Він може агрегатувати посівний комплекс в діапазоні швидкостей 8 – 10 км/год., при якій забезпечується найбільш якісна робота посівного комплексу. Але для визначення показників використання машини потрібно знати конкретну передачу, на якій забезпечується робоча швидкість в межах зазначеного діапазону.

Маючи це на увазі можна аналітичним шляхом визначити питомий та загальний опір робочих органів посівного комплексу, а в подальшому і завантаженість двигуна.

Аналіз результатів останніх досліджень. Аналітичні дослідження стосовно оцінки ефективності роботи посівних комплексів і їх порівняльної оцінки в умовах Ліссостепу Сумської області не проводились.

Формулювання цілей статті та мета досліджень. Вони полягають в тому, щоб надати методичні підходи по визначенню техніко-експлуатаційних та енергетичних показників використання посівних комплексів, що дасть можливість в подальшому обґрунтувати вибір одного із альтернативних агрегатів по необхідних критеріях.

Обґрунтування робочої швидкості

Загальний опір посівного комплексу в складі машинного агрегату, R_M (кН):

$$R_M = k \cdot B_K + G_M \left(f + \frac{i}{100} \right), \quad (1)$$

де k – фактичний питомий опір робочих органів, кН/м;

B_K – конструкційна ширина захвату, м;

G_M – експлуатаційна вага посівного комплексу, кН;

f – коефіцієнт опору коченню;

i – схил місцевості в умовах використання, %.

Фактичний питомий опір робочих органів k залежить від швидкості руху машинного агрегату V_p :

$$k = k_0 \left[1 + \frac{\Delta k}{100} (V_p - V_0) \right]. \quad (2)$$

де k_0 – початковий питомий опір робочих органів при швидкості руху агрегату до $V_0=5$ км/год.;

Δk – темп приростання питомого опору при збільшенні швидкості руху агрегату на 1 км/год, % ($\Delta k = 1 \dots 3$).

У посівних комплексів початковий питомий опір слід розглядати як суму питомих опорів різних робочих органів, що входять до складу комплексу. (таблиця 1).

Питомий опір робочих органів

Технологічні операції	Питомий опір, кН/м
Лущення дисковими знаряддями	2,0
Борони дискові	
- дискування парів і зябу	1,4...1,6
- лущення стерні	3...6
Суцільна культивация	
- парові при глибині обробітку	
- 6...8 см	1,2...2,6
- 10...12 см	1,6...3,0
Дискові сошники сівалки	1,0...1,8
Коткування кільчато - шпоровими котками	0,5...1,0

Конструкційна ширина захвата посівного комплексу наведена в його технічній характеристиці.

Вага комплексу G_M (кН) визначається за формулою:

$$G_M = \frac{(m_M + m_D + m_N) \cdot g}{1000}, \quad (3)$$

де m_M – конструкційна маса комплексу, кг;

m_D – маса добрив у бункері, кг;

m_N – маса насіння у бункері, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с². $g=9,81$ м/с².

Конструкційна маса комплексу наведена в його технічній характеристиці.

Маса зерна та добрив визначається за формулою:

$$m = V_b \cdot \gamma, \quad (4)$$

де V_b – об'єм бункера, м³;

γ_n – об'ємна маса матеріалу (насіння, добрив), кг/м³.

Розміри бункерів наведені в технічній характеристиці.

тиці.

Питома об'ємна маса, кг/м³:

-пшениця _____ 850; -жито _____ 800;

-ячмінь _____ 750 -овес _____ 550;

-просо _____ 900 -гречка _____ 700;

-горох _____ 900 -кукурудза _____ 900;

-соняшник _____ 400; -сечовина _____ 1140;

-суперфосфат _____ 1000.

$$V_p = V_T \left(1 - \frac{\delta}{100} \right), \quad (5)$$

де V_T – теоретична швидкість руху агрегату на вибраній передачі, км/год.

Передача трактора вибирається з такого розрахунку, щоб робоча швидкість вписувалась в діапазон швидкості, наведений в технічній характеристиці комплексу (здебільшого $V_p = 10...12$ км/год).

δ – буксування рушіїв трактора:

- гусеничного 2...5%;

- колісного: 4x4 – 10...12%; 4x2 – 14...16%.

Втрати потужності двигуна трактора (енергетичного засобу) на виконання технологічного процесу, N_e , (кВт):

$$N_e = N_{mp} + N_f + N_\delta + N_\alpha + N_M + N_{BPI}, \quad (6)$$

де N_{mp} – втрата потужності в трансмісії, кВт;

N_f – втрата потужності на перекочування трактора, кВт;

N_δ – втрата потужності на буксування рушіїв трактора, кВт;

N_α – втрата потужності на подолання підйому, кВт;

N_M – втрата потужності на подолання опору робочої машини, кВт;

N_{BPI} – втрата потужності на привід робочих органів машини від валу відбору потужності (ВВП), кВт.

Втрата потужності в трансмісії, кВт:

$$N_{mp} = N_{en} \cdot (1 - \eta_{mp}), \quad (7)$$

де N_{en} – номінальна ефективна потужність двигуна трактора, кВт (наводиться в технічній характеристиці трактора, прийнятого до розрахунків)

η_{mp} – ККД трансмісії трактора:

Для колісного трактора $\eta_{mp} = 0,89...0,92$.

Втрата потужності на перекочування трактора, кВт

$$N_f = \frac{G_{mp} \cdot f \cdot V_p}{3,6}, \quad (8)$$

де G_{mp} – вага трактора, кН;

$$G_{mp} = \frac{m_{mp} \cdot g}{1000}, \quad (9)$$

де m_{mp} – маса трактора, кг (наводиться в технічній характеристиці трактора).

Втрата потужності на буксування рушіїв трактора, кВт

$$N_\delta = \frac{R_M \cdot (V_T - V_p)}{3,6}, \quad (10)$$

Втрата потужності на подолання підйому трактора, кВт

$$N_\alpha = \frac{G_{mp} \cdot i \cdot V_p}{360}, \quad (11)$$

Втрата потужності на подолання опору посівного комплексу, кВт

$$N_M = \frac{R_M \cdot V_p}{3,6}, \quad (12)$$

Втрата потужності на привід робочих органів машин від ВВП, кВт

Потужність N_{BPI} , яка витрачається на привід активних робочих органів машин в дію:

$$N_{ВВП} = N_{Пит} \cdot B_K \quad (13)$$

де $N_{Пит}$ – питома потужність приводу ВВП, кВт/м.

$N_{Пит} = 1,5 \dots 1,8$ кВт/м.

Коефіцієнт завантаження двигуна по потужності при виконанні технологічного процесу, ζ_p :

$$\zeta_p = N_e / N_{ен} \quad (14)$$

Оптимальна величина завантаження дизельних двигунів в залежності від енергомісткості процесу знаходиться в межах $\zeta_p = 0,70 \dots 0,85$.

Визначення техніко-експлуатаційних показників використання посівних комплексів.

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

$$\omega_{ЗМ} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \quad (15)$$

Робоча ширина захвату B_p для посівних комплексів $B_p = B_K$.

де τ – коефіцієнт використання часу зміни:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{ЗМ}}, \quad (16)$$

де T_p – час чистої (основної) роботи за зміну, год.;

$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни, год. При виконанні сівби $T_{ЗМ} = 7$ год.

Кількість циклів за зміну, $n_{ц}$:

$$n_{ц} = \frac{T_{ЗМ} - \sum T_{нц}}{t_{ц}}, \quad (17)$$

де $\sum T_{нц}$ – сума позациклових простоїв за зміну, що включає підготовчо – заключний час, час на виконання технічного і технологічного обслуговування агрегатів, час на власні потреби (задається нормативно). $\sum T_{нц} = 0,42$ год.;

$t_{ц}$ – тривалість циклу, год.;

Тривалість циклу дорівнює:

$$t_{ц} = t_p + t_x + t_{оч} + t_{зав}, \quad (18)$$

де t_p – тривалість чистої роботи за один цикл, год.;

t_x – тривалість холостого повороту, год.;

$t_{оч}$ – тривалість очікування;

$t_{зав}$ – тривалість завантаження насінням та добривами, год.

$$t_p = \frac{L_p}{V_p} \quad (19)$$

де L_p – довжина поля, км.

$$t_x = \frac{L_x}{V_x}, \quad (20)$$

де L_x – довжина холостого повороту, км.

V_x – швидкість руху на поворотах, км/год. $V_x = 5 \dots 7$ км/год.

Чистий час роботи агрегату за зміну, T_p (год.):

$$T_p = t_p \cdot n_{ц}, \quad (21)$$

Час поворотів за зміну, T_x (год.):

$$T_x = t_x \cdot n_{ц}, \quad (22)$$

$$L_x = 7,8 B_K, \quad (23)$$

Тривалість очікування дорівнює тривалості під'їзду та від'їзду завантажувача і можна прийняти $t_{оч} = 3 \dots 4$ хв. = 0.05...0,07 год.

Час завантаження (розвантаження) технологічних місткостей за зміну, $t_{зав}$, год.:

$$T_{зав} = t_{зав} \cdot n_{ц}, \quad (24)$$

Тривалість одного завантаження залежить від місткості бункера посівного комплексу та продуктивності завантажувача:

$$t_{зав} = V_б / w_з. \quad (25)$$

де $V_б$ – об'єм бункера, м³;

$w_з$ – продуктивність завантажувача, м³/год.

Значення $V_б$, $w_з$ наведені в технічній характеристиці відповідних машин.

Продуктивність завантажувача: для ЗС – 30 $w_з = 30$ т/год. (8,3 кг/с.)

Змінна продуктивність МА,

$$W_{ЗМ} = \omega_{ЗМ} \cdot T_{ЗМ}. \quad (26)$$

Витрата палива на одиницю площі, $G_{за}$ (кг/га):

$$G_{за} = \frac{G_p T_p + G_x T_x + G_{неп} T_{неп}}{\omega_{ЗМ} \cdot T_{ЗМ}}, \quad (27)$$

де $G_p, G_x, G_{неп}$ – годинна витрата палива, відповідно, при виконанні технологічного процесу, на поворотах, переїздах, кг/год.;

$T_p, T_x, T_{неп}$ – тривалість, відповідно, чистого часу зміни, поворотів, год.

$$G_p = \frac{g \cdot N_{ен} \cdot \xi_p}{1000}, \quad (28)$$

$$G_x = \frac{0,4 \cdot g \cdot N_{ен}}{1000}, \quad (29)$$

$$G_{неп} = \frac{0,3 \cdot g \cdot N_{ен}}{1000}, \quad (30)$$

$$T_{неп} = \frac{L}{V_{неп}}, \quad (31)$$

де L – довжина (ширина) поля, км.

$V_{неп}$ – швидкість руху на переїздах, км/год.

Необхідна кількість агрегатів.

Кількість сівальних агрегатів $n_{АГР}$, необхідних для своєчасного виконання технологічних операцій, можна визначити за формулою:

$$n_{АГР} = \frac{F}{D_p \cdot w_{ЗМ} \cdot T_{ЗМ} \cdot k_{ЗМ}} \quad (32)$$

де F – обсяги посівних робіт, га.;

D_p – кількість робочих днів (агрозрок);

$k_{ЗМ}$ – коефіцієнт змінності (кількість змін за робочий день).

Результати математичного моделювання

Вихідні дані

Культура – озима пшениця.

Технологічна операція – сівба з одночасним внесенням добрив.

Розміри поля: площа $F = 200$ га; довжина $L = 2000$ м; ширина $B = 1000$ м.

Схил місцевості $i = 4\%$.

Норма висіву насіння $Q_H = 200$ кг/га;

Доза внесення добрив $Q_D = 85$ кг/га.

Питомий опір $k_0 = 2,5$ кН/м.

Об'ємна маса: насіння $\gamma_H = 800$ кг/м³; добрива $\gamma_D =$

1000 кг м³.

Варіанти:

Посівні комплекси:

I МТЗ -3022 ДЦ + Алкор – 7,5

II МТЗ -3022 ДЦ+ Алкор - 10

Загальний вигляд посівних комплексів наведених на рис. 1;2.



Рис.1. Загальний вигляд посівного комплексу Алкор 7,5



Рис.2. Загальний вигляд посівного комплексу Алкор 10

Порядок та результати розрахунків показників роботи посівних комплексів наведених в таблиці 2.

Показники використання посівних комплексів

Показники	Один. виміру	Варіанти	
		МТЗ -3022 ДЦ + Алкор – 7,5	МТЗ -022ДЦ+ Алкор - 10
1	2	3	4
1.Діапазон оптимальних швидкостей машинного агрегату при сівбі зернових	км/год.	9-11	
4.Прийнятна робоча швидкість по передачах, V_p	км/год.	9,2	9,2
6.Загальний опір посівного комплексу на вибраній передачі, R_m :	кН	41,8	48,9
7.Потужність, що витрачається на подолання опору комплексу при виконанні технологічного процесу, N_m	кВт	106,8	124,9
Коефіцієнт завантаженості двигуна при сівбі, ζ_p		0,75	0,84
10. Продуктивність за 1 год. основного часу, ω_o	га/год.	6,7	9,0
8.Коефіцієнт використання часу зміни,		0,69	0,66
9.Продуктивність за 1 год. змінного часу, $\omega_{зм}$:	га/год.	4,6	5,9
10.Змінна продуктивність, $W_{зм}$:	га	32,2	41,3
– тривалість зміни	год.	7	7
14.Необхідна кількість посівних комплексів, n_a	штук	1,0(1)	0,81(1)
19.Гектарна витрата палива, $G_{га}$	кг/га	8,2	7,2
20.Питомі затрати енергії, $З_e$:	$\frac{кВт*год}{га}$	36,3	31,7
21.Рівень використання агрегатів		0,52	0,55

Висновок

З точки зору техніко-експлуатаційних показників більш раціональним посівним агрегатом можна вважати агрегат в

складі Беларусь 3022-ДЦ + Алкор - 10. У нього вища продуктивність (5,9га/год. проти 4,6 га/год.), погектарна витрата менша на 2 кг/га палива, завантаженість двигуна у нього ближче до нормативного.

Список використаної літератури:

1. Методика розробки операційної технології механізованих польових робіт / Г.І.Барабаш, В. М. Зубко, О. Г. Барабаш, Т. В. Хворост. – Суми: ТОВ "Друкарський дім "Папірус", 2016. – 130 с.
2. Експлуатація машинно-тракторного парку / Діденко М.К. 5-е вид.,перероб. і доп.- К.: Вища школа. Головне видавництво, 1983.- 447 арк.
3. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / [Мельник І.І., Гречко-сій В.Д., Марченко В.В., Михайлович Я.М., Мельник В.І., Надточій О.В.]; за ред. І. І. Мельника. – Київ: Видавничий центр НАУ, 2004. – 85 с.
4. Орманджи К.С., Барабаш Г.И. и другие. Правила производства механизированных работ в полеводстве. М., Россельхозиздат, 1983

Саржанов О.А., Барабаш Г.І.

Обоснование выбора посевных комплексов отечественного производства методом математического моделирования

В предложенной статье приведены методические подходы по определению основных технико-эксплуатационных показателей использования новых посевных комплексов отечественного производства, по которым еще отсутствует в литературных источниках информация относительно эффективности их работы в конкретных производственных условиях; приведены конкретные значения режимов работы, производительности, расхода топлива этих машин.

Ключевые слова: посев, посевные комплексы, методика, мощность, скорость движения, производительность, расход топлива, уровень использования.

Sarzhanov O.A, Barabash G.I.

Substantiation of the choice of seeding complexes of domestic production by the method of mathematical modeling

The proposed article provides methodological approaches to determine the main technical and operational indicators of the use of new sowing complexes of domestic production, for which there is still no information on the sources the effectiveness of their work in specific production conditions; The specific values of the robot modes, productivity, fuel consumption of these machines are given.

Key words: sowing, sowing complexes, methodology, power, speed, productivity, fuel consumption, level of use.

Дата надходження до редакції: 24.03.2019

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ГЛИБИНУ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ДИСКОВИМИ БОРОНАМИ

Зубко Владислав Миколайович

кандидат технічних наук, доцент
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0002-2426-2772
email: zubkovladislav@ukr.net

Соколік Сергій Петрович

старший викладач
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-4496-8681
email: Sokolik1009@gmail.com

У статті представлені результати досліджень показників роботи машинних агрегатів у польових умовах при обробітці ґрунту дисковими боронами УДА. Аналіз експериментальних даних дав можливість визначити оптимальні параметри швидкості руху ґрунтообробного агрегату, кута атаки та вагу машини при яких можливо виконати технологічний процес дискового обробітці ґрунту з показників роботи, що відповідають агровигодам.

Ключові слова: дискова борона, обробіток ґрунту, швидкість руху, кут атаки, глибина обробітці.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.9>

Постановка проблеми. Дисковий обробіток ґрунту вирішує важливі агротехнічні завдання: боротьба з бур'янами, шкідниками і збудниками хвороб культурних рослин; збереження й накопичення ґрунтової вологи; активізація мікробіологічних процесів; загорання у верхню частину орного шару післяжнивних решток та добрив; підготовка до якісного виконання подальших технологічних операцій.

Здійснюючи вибір типу дискових ґрунтообробних знарядь та їхніх параметрів, слід зважати на цілий комплекс чинників, зокрема, глибину обробітці, тип ґрунту, вологість, заміщення бур'янами, наявність рослинних решток, радіус сфери, кут атаки, відстань між дисками на батареї тощо, а також особливості кріплення дисків до рами, оскільки вони мають істотний вплив на якість та енергоємність дискування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робочими органами дискових ґрунтообробних агрегатів є плоскосферичні чи пласкі диски із загостреною різальною крайкою. Завдяки зчепленню із ґрунтом диски обертаються і вирізують скибу у вигляді сегмента, яка розпушується, кришиться і частково перекидається та перемішується. Багато факторів впливають на якість кришення ґрунту робочими органами дискових борін: ґрунтові умови, форма та розмір дисків, радіус кривизни сферичних дисків, розміщення їх на рамі й орієнтація у ґрунті [1].

Важливим параметром дискових ґрунтообробних агрегатів є кут атаки – це кут встановлення диска до напрямку руху агрегату, величина якого визначає площу захвату ґрунту диском, оскільки що більший кут атаки, то активніше диск діє на ґрунт. Від кута атаки залежить ступінь кришення ґрунту і ширина захвату диска, ступінь перемішування ґрунту й післяжнивних решток, хоча при цьому зростають і енергозатрати на виконання процесу, інтенсивність спрацювання робочої поверхні диска та ймовірність забивання його рослинними рештками, а отже, погіршується якість розпушення ґрунту. За зменшення величини кута атаки диск краще підрізатиме скибу, але погіршується повнота обробітці поверхні. За деяких умов роботи і геометричних параметрів дисків, за збіль-

шення кута атаки знижується кутова швидкість диска, спостерігається проковзування диска й забивання простору між дисками ґрунтом і рослинними рештками [2,3].

На основі отриманих даних з аналізу способів регулювання глибини дискування було прийнято рішення провести дослідження впливу кута атаки, додаткового баласту, швидкості руху на рівномірність обробітці ґрунту по глибині.

Мета досліджень – становити вплив на глибину обробітці дискових знарядь таких параметрів, як: швидкість руху агрегату, кут атаки дисків, вага машини.

Результати досліджень. Дослідження проводились у різних господарствах Сумської області та на різних агрегатах протягом 3-х років: дослідні поля Сумського НАУ, ПП "Надь", ТОВ «Ворожба-Латінвест». Досліджувалась робота таких машинних агрегатів: МТЗ 892 + УДА-2,4, ХТЗ 17221 + УДА-3,1, Т-150 + УДА-3,8.

Дискування ґрунту проводили після таких агрокультур як: соя, кукурудза, озима пшениця, ріпак.

Характеристика машин, які були досліджені, приведена нижче (табл. 1) [4,5].

За вимогами рослин та з урахуванням особливостей ґрунто-кліматичних умов встановлюють необхідну глибину обробітці ґрунту.

Регулювання глибини обробітці агромашин з дисковими робочими органами є також технологічними особливостями машин.

Вітчизняні машини УДА-2,4, УДА-3,1, УДА-3,8, виробником яких є Білоцерковмаз, регулюються на глибину обробітці за допомогою зміни кута атаки від 12 до 21 град. Таким чином глибина обробітці змінюється від 50 до 180 мм.

При проведенні досліджень був використаний додатковий спосіб зміни глибини обробітці за допомогою використання додаткового баласту, який закріплювався на раму дискової борони УДА-3,1.

Згідно методики були досліджені всі показники окремо.

Таблиця 1 - Технічна характеристика дискових агрегатів типу УДА

Показник	УДА-2,4	УДА-3,1	УДА-3,8
Тип	причіпна		
Ширина захвата, м	2,4	3,1	3,8
Робоча швидкість, км/год., не більше	8-12	8-12	8-12
Число дискових батарей, шт.	4	4	4
Глибина обробітку, мм	50-180	50-180	50-180
Маса, кг	1750	1950	3100
Габаритні розміри, мм	4600	4600	4850
довжина ширина	2800	3550	4450
висота	1350	1350	1900
Агрегування з енергетичним засобом	Т-150К	ХТЗ 17221	ХТЗ 17221

Глибину ходу робочих органів заміряли спеціально виготовленим металевим щупом з поділами, який занурювали у ґрунт до контакту з підшовою, утвореною диском. Після чого оцінювали позначку на шкалі щупа і фіксували її в робочих матеріалах. Отримані дані використовувались для аналізу утримання глибини ходу робочих органів та відхилення середньої фактичної глибини обробітку ґрунту від заданої.

Здатність ґрунту протидіяти вдавлюванню в нього робочого органу ґрунтообробної машини є твердість ґрунту. Для визначення твердості ґрунту на глибині 250 мм використовувався твердомір Рев'якіна, який працює за принципом вдавлювання вимірювального органу в досліджуваний ґрунт. Перед використанням у твердомір був встановлений наконечник конічної форми (конус) з відомою площею вдавлювання діаметром 20 мм. Твердомір оснащений самописцем, за допомогою якого фіксувалась діаграма зміни сил вдавлювання вимірювального конуса в досліджуваний ґрунт. За отриманими даними виконувалась обробка результатів дослідження методами математичної статистики з визначенням середньої

арифметичної величини твердості ґрунту, середнього квадратичного відхилення і коефіцієнта варіації.

Дослідження впливу швидкості на глибину обробітку ґрунту після дискування у 10 місцях по діагоналі ділянки вимірювалась глибиною глибини обробітку ґрунту.

Отримане середнє значення зменшувалось на величину вспушеності ґрунту (20%) і заносилось до таблиці даних. На основі отриманих результатів будувались графіки залежності глибини обробітку від швидкості роботи машини [6].

Отримані дані щодо зміни глибини дискування при зміні швидкісного режиму (рис. 1, рис.2) показують, що зі збільшенням швидкості руху машинного агрегату глибина обробітку збільшується. Так при роботі агрегату у складі Т-150+УДА-2,4 (рис. 1) зафіксовано збільшення глибини обробітку на 15,8% з 101мм до 117мм при зростанні швидкості руху з 4 км/год до 14 км/год. А для агрегату у складі ХТЗ 17221 + УДА-3,8 (рис. 2) зафіксовано збільшення глибини обробітку на 24,2% з 91мм до 113мм при зростанні швидкості руху з 4 км/год до 14 км/год.

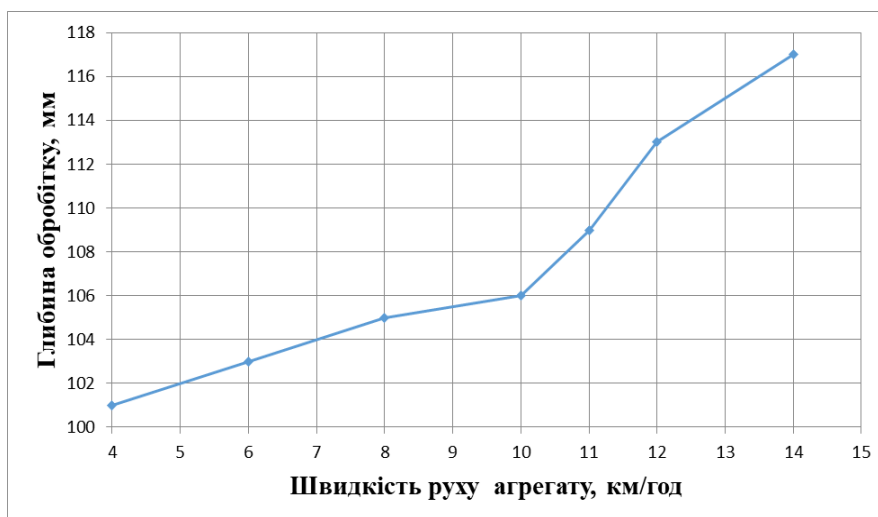


Рис. 1 – Зміна глибини дискування при зміні швидкості руху машинного агрегату у складі Т-150К + УДА-2,4

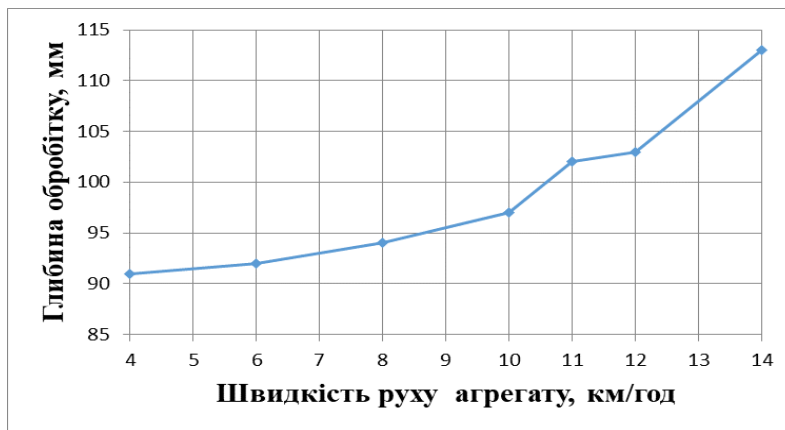


Рис. 2 – Зміна глибини дискування при зміні швидкості руху машинного агрегату у складі ХТЗ 17221 + УДА-3,8

Також проводилось дослідження впливу на роботу машинних агрегатів значення кута атаки дисків. Глибину обробітку досліджували відповідно для чотирьох значень кута атаки: 12, 15, 18 і 21 градусів при постійній швидкості.

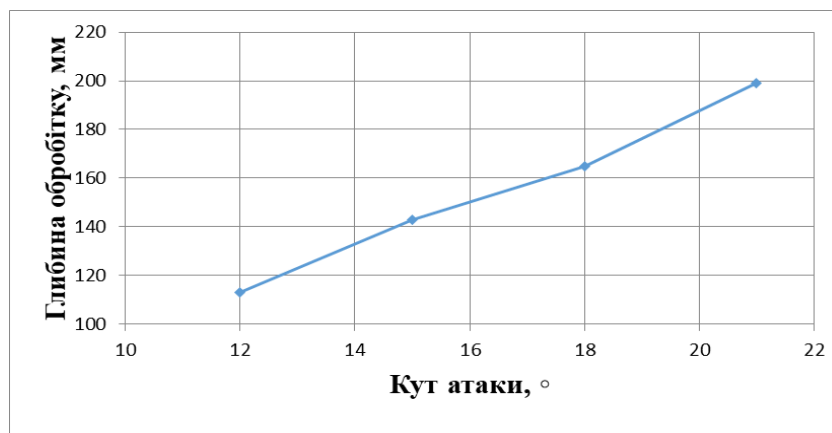


Рис. 3 – Зміна глибини дискування при зміні кута атаки машинного агрегату у складі Т-150К + УДА-2,4

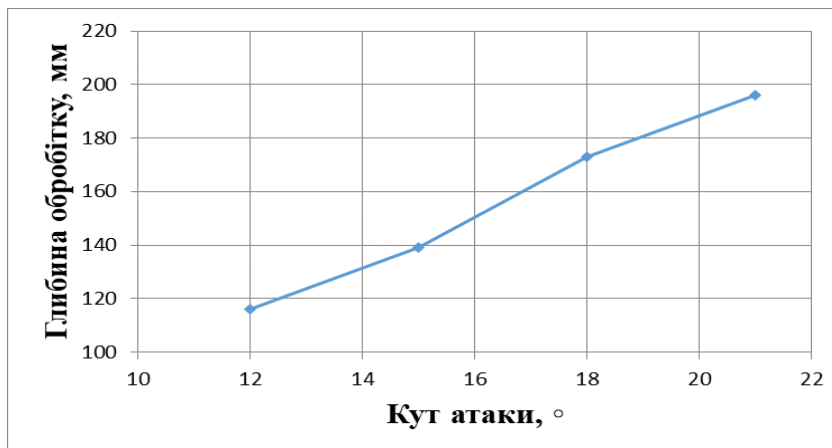


Рис. 4 – Зміна глибини дискування при зміні кута атаки машинного агрегату у складі ХТЗ 17221 + УДА 3,1

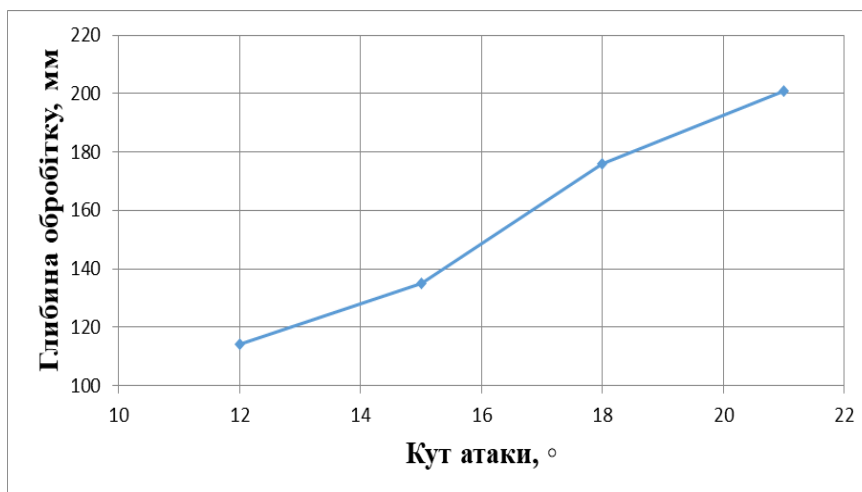


Рис. 5 – Зміна глибини дискування при зміні кута атаки машинного агрегату у складі ХТЗ 17221 + УДА 3,8

Аналіз зміни глибини дискування (рис. 3, 4 та 5) показує, що при збільшенні кута атаки збільшується і глибина обробітку ґрунту. Так у агрегата Т-150К + УДА-2,4, при збільшенні кута атаки з 12° до 21°, глибина дискування збільшилась на 86 мм або на 76,1% (рис. 3). Відповідна тенденція спостерігалась і при дослідженні роботи машинних агрегатів ХТЗ 17221 + УДА 3,1 та ХТЗ 17221 + УДА 3,8, глибина обробітку в яких збільшувалась на 69% та 76,3% відповідно (рис. 4 та 5).

Висновки. Встановлено, що на глибину обробітку ґрунту дисковою бороною впливає швидкість руху. Зі збільшенням швидкості руху у всіх машинних агрегатів з 4 до 15 км/год. спостерігалось збільшення глибини обробітку на 15,8–24,2%. Така тенденція є закономірною, адже повторюється в багатьох дослідженнях інших машинних агрегатів.

Доведено, що на зміну глибини обробітку впливає кут

атаки робочих органів. У залежності від кута атаки (таке регулювання рекомендовано заводом-виробником) при роботі машинних агрегатів Т-150К + УДА-2,4, ХТЗ 17021 + УДА 3,1 та ХТЗ 17221 + УДА 3,8 було встановлено, що при збільшенні кута атаки з 12 до 21° глибина обробітку змінилась на 76,1%, 69% та 76,3% відповідно.

Регулювання глибини обробітку ґрунту у сучасних агромашин з дисковими робочими органами обмежене кутом атаки, прикочуючим котком та опорними колесами. Для того щоб забезпечити потреби рослини на різних ґрунтах та після різних попередників доцільно також заводам-виробникам передбачити регулювання глибини і рівномірності ходу робочих органів агромашин з дисковими робочими органами шляхом зміни робочої швидкості машин та використанням додаткового баласту. Адже це не лише забезпечує якісні показники роботи машини, але й робить машини більш універсальними для різних виробничих умов.

Список використаної літератури:

1. Дегусаров А. Вітчизняна техніка для заготиння рослинних решток [Електронний ресурс] / А. Дегусаров, А. Мазуренко, К. Дорошенко // Аграрний сектор України. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro.ua.net/technics/articles/index.php?aid=33>
2. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / [Д. Г. Войтюк, В. О. Дубровін, Т. Д. Іщенко та ін.]. – Київ: Вища освіта, 2004. – 544 с.
3. Смолінський С. Фактори, що визначають якість роботи дискових знарядь [Електронний ресурс] / С. Смолінський, В. Марченко // AGROEXPERT. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agroexpert.ua/ru/faktori-so-viznacaut-akist-roboti-diskovih-znaryad>.
4. Дискові борони причіпні [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.bcmaz.com.ua/ua/catalog/agregaty_diskovye_pritsepnye_uda_dich/.
5. Тракторы ХТЗ-17021 и ХТЗ-17221. Руководство по эксплуатации 170.00.000 РЭ [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://xtz.ua/files/pdf/170172.pdf>.
6. Орманджи К. С. Контроль качества полевых работ. Справочник. / К.С. Орманджи// М.: Росагропромиздат, 1991.— 191 с.

Zubko V.M., Sokolik S.P.

Factors affecting the depth of soil treatment by disc harrows

In the article researched the requirements for machines with disk working parts which are using today. According to the results of the research, it has been proved that some indicators have lost their relevance and are not necessary in modern conditions, because they are replaced by electronic control systems.

In the materials of the article indicators of work of machine units in field conditions at cultivation of soil by disk working bodies in different farms of Sumy region are given. Machines of domestic production are researched: T-150+UDA-2,4, HTZ 17221+UDA-3,1, HTZ 17221+UDA-3,8. During the study of the performance of machine units in the performance of disking used different techniques and instruments that maximize the accuracy of research.

The aim was to explore the existing and alternative ways of regulating the depth of cultivation by machines with disk working parts. Thus, we conducted research and obtained results on adjusting the depth of the speed of the disk, changing the angle of attack of the working batteries.

The analysis of the experimental data has made it possible to determine the optimal parameters of the speed of movement of the tillage unit and the angles of attack at which it is possible to perform the technological process of disc tillage from the performance indicators that will meet the agro-requirements.

Key words: *disc harrow, tillage, speed of movement, angle of attack, depth of cultivation.*

Дата надходження до редакції: 19.04.2019

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННЯ УСП ДЛЯ ХОНІГУВАННЯ ГІЛЬЗИ ДВС

Думанчук Михайло Юрійович
Сумський національний аграрний університет
ORCID: 0000-0003-3559-4729
email: m_duman@i.ua

В статті представлено результати моделювання процесу хонінгування гільзи циліндра. Досліджено жорсткість універсально-складального пристосування. Визначено напружено-деформований стан елементів пристосування та заготовки. Встановлено вплив деформацій заготовки на точність обробки.

Ключові слова: хонінгування, моделювання, деформація, напруження, пристосування, режими різання.

DOI: <https://doi.org/10.32845/msnau.2019.1-2.10>

Постановка проблеми в загальному вигляді

У зв'язку з інтенсивним розвитком конструкцій машин і механізмів агропромислового виробництва основними напрямками здійснення ефективної технологічної підготовки виробництва при ремонті техніки є скорочення термінів і підвищення коефіцієнта оснащеності. Коефіцієнт оснащеності - це відношення числа найменувань застосовуваних оригінальних пристосувань (або модифікацій переналагоджуваної оснастки) до числа оригінальних деталей в машині або механізмі [1].

Застосування стандартизованих деталей і складальних одиниць пристроїв скорочує їх номенклатуру, знижує собівартість їх виготовлення і підвищує число повторних використань при складанні нових пристосувань. В даний час при конструюванні і виготовленні пристосувань використовують понад 70% стандартизованих деталей [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Стандартизація деталей і вузлів привела до створення конструкцій збірно-розбірних пристосувань. В даний час відомо кілька систем збірно-розбірних пристосувань; всі вони характеризуються загальною ознакою: комплект стандартизованих деталей і складальних одиниць дозволяє створювати без суттєвої механічної дообробки і при досить малій кількості спеціально виготовлених деталей тимчасові, такі що легко збираються та розбираються компонування пристосувань [3]. У набір стандартизованих деталей (рис. 1) входять плити і планшайби, підставки, призми, косинці, планки, втулки, прихвати і ін. [2]



Рисунок 1. Набір деталей УСП.

Систему УСП з успіхом застосовують на ряді заводів одиничного і серійного виробництва. Комплектами УСП оснащують свердлильні, токарні, фрезерні, розточувальні, зубодовбальні, шліфувальні та інші види обробки, а також зварювальні роботи і операції контролю. При верстатних роботах за допомогою УСП обробляють деталі розмірами до 2500×2500×1000 мм [4, 5].

Застосування системи УСП дозволяє [6]:

- а) розширити вузькі місця інструментальних цехів заводів;
- б) збільшити коефіцієнт оснащеності виробництва шляхом застосування пристроїв, заміни складних розмірних операцій кондукторами з деталей комплекту УСП;
- в) поліпшити якість виготовлення деталей машин;
- г) підвищити продуктивність праці;
- д) розширити застосування групової обробки деталей;
- е) організувати повне технологічне оснащення виробництва при мінімальних витратах грошових і матеріальних засобів і часу;
- ж) скоротити терміни підготовки виробництва і прискорити випуск нових більш сучасних машин.

Формулювання цілей статті (постановка завдання).

Метою статті є розробка методики дослідження жорсткості універсально-складальних пристосувань, що застосовуються при хонінгувальній операції, з використанням можливостей систем автоматизованого проектування та моделювання

Виклад основного матеріалу досліджень.

Розглянуте універсально-складальне пристосування (УСП) буде використовуватися при хонінгуванні внутрішньої поверхні гільзи циліндра. Деталь на верстат встановлюється в вертикальному положенні. При проектуванні пристосування необхідно забезпечити під нижньою кромкою гільза щонайменше 50 мм вільного простору для забезпечення виходу інструменту в процесі хонінгування. Схема пристосування представлена на рисунку 2.

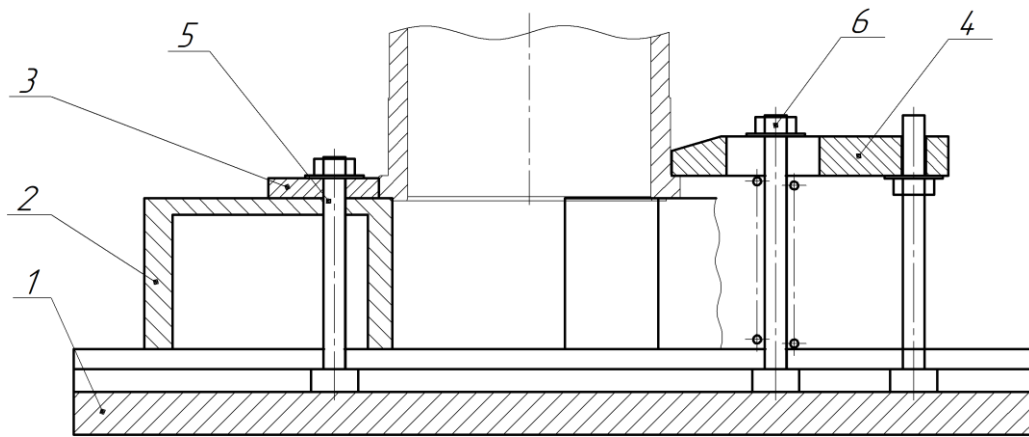


Рисунок 2. Схема пристосування УСП для хонінгувальної операції.

На плиту поз. 1 встановлюємо опори поз. 2, які слугують опорною базою для гільзи та забезпечують вільний простір під нею для інструменту. Для визначення положення заготовки в радіальному напрямку встановлюємо планку поз. 3. Базові елементи закріплюємо болтами і гайками поз. 5. Для закріплення заготовки використовуємо прихват поз. 4, положення якого регулюємо болтами та гайками поз. 6 та пружиною. Запропонована схема є простою та забезпечує можливість виконати базування та закріплення заготовки на верстаті під час обробки.

Визначимо необхідні сили закріплення гільзи в пристосуванні.

Розглянемо схему сил при хонінгуванні (рис. 3) [2].

Абразивний брусок поз. 3 рухається по поверхні гільзи поз. 1, виконуючи 2 рухи: обертальний зі швидкістю $V_{об}$ та зворотно-поступальний вертикальний рух $V_{пост}$. Результуючий рух нахилений до горизонту на кут $\alpha=30^\circ$, який визначається технічними вимогами до поверхні гільзи. Абразивний брусок вдавлюється в гільзу силою $F_{рад}$, яка визначається за формулою:

$$F_{рад} = P_{уд} \cdot B \cdot L = 0,9 \cdot 6 \cdot 150 = 810 \text{ Н}, \quad (1)$$

де $P_{уд}=0,9$ МПа – питомий тиск брусків відповідно до рекомендацій;

$B=6$ мм – ширина бруска;

$L=150$ мм – довжина бруска.

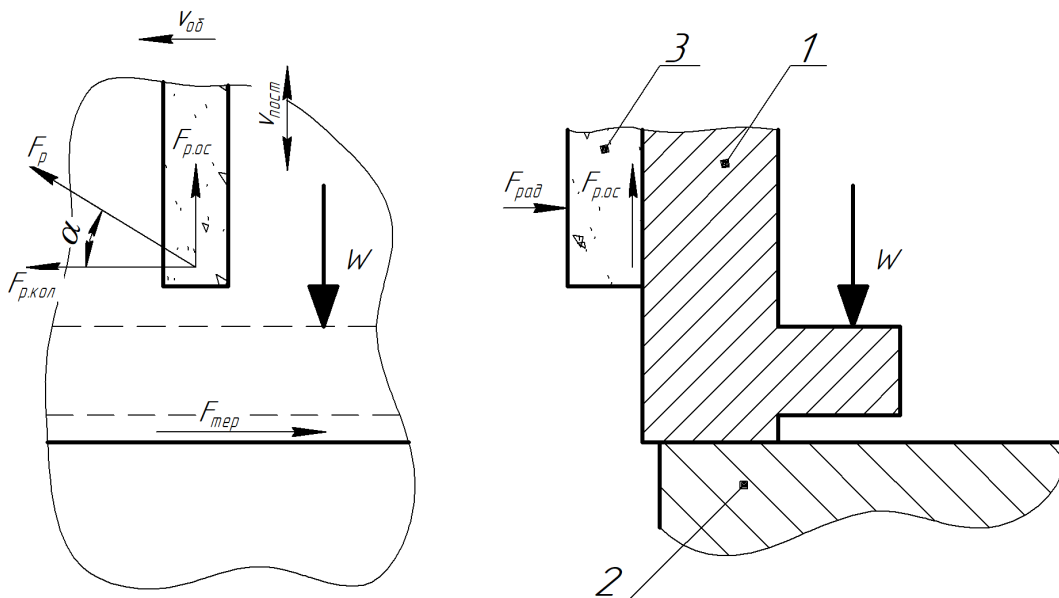


Рисунок 3. Схема сил, що діють при хонінгуванні: 1 – гільза, 2 опора, 3 – абразивний брусок.

Силу різання F_p , що діє на гільзу можна визначити за формулою:

$$F_p = F_{рад} \cdot \mu = 810 \cdot 0,3 = 243 \text{ Н}, \quad (2)$$

де $\mu=0,3$ – коефіцієнт, що визначає співвідношення між тиском абразивного бруска та силою різання;

Ця сила різання розкладається на горизонтальну (колову) $F_{р,кол}$, яка намагається повернути гільзу навколо осі, та вертикальну $F_{р,ос}$, яка діє вздовж осі гільзи та намагається відірвати гільзу від опори. Визначаємо ці складові сили за формулами:

$$F_{р,ос} = F_p \cdot \sin \alpha = 243 \cdot \sin 30^\circ = 121,5 \text{ Н}; \quad (3)$$

$$F_{р,кол} = F_p \cdot \cos \alpha = 243 \cdot \cos 30^\circ = 210,4 \text{ Н}. \quad (4)$$

Використовувана хонголівка має 6 брусків, кожен з яких створює такі сили.

При розрахунку сили закріплення необхідно забезпечити компенсацію вертикальної складової сили різання та створення сили тертя $F_{тер}$, яка перевищує колову силу з коефіцієнтом запасу $k=1,5$. Силу закріплення W визначаємо за формулою:

$$W = \left(\frac{F_{p.кол}}{f} + F_{p.ос} \right) \frac{i}{n} k = \left(\frac{210,4}{0,15} + 121,5 \right) \frac{6}{3} 1,5 = 4572,5 \text{ Н}, \quad (5)$$

де $i=6$ – кількість брусків хонінгувальної головки;
 $\mu=0,15$ – коефіцієнт тертя сталь-сталь;
 $n=3$ – кількість прихватів для закріплення гільзи.

Отримані значення будемо використовувати при статичному аналізі пристосування на жорсткість.

Для створення 3D-моделі пристосування використовуємо САПР SolidWorks.

В проектуваному пристосуванні використовуємо стандартні деталі комплекту УСП-12/ Основою пристосування буде плита кругла 7081-4091 з радіальними Т-подібними пазами. На неї встановлюється опора прямокутна полегшена

7033-4992, яке слугує для встановлення гільзи та її базування в вертикальному напрямку. Планка 7050-2086 встановлюється на опору та виставляється по зовнішньому пояску гільзи та визначає її положення в радіальному напрямку. Ці деталі закріплюються на плиті за допомогою болтів 7001-0090 та стандартних гайок. Закріплення заготовки виконується прихватом, який закріплюється на плиті болтами 7001-0120, стандартними гайками та регулюється пружиною 7006-1128.

Модель пристосування представлено на рисунку 4.

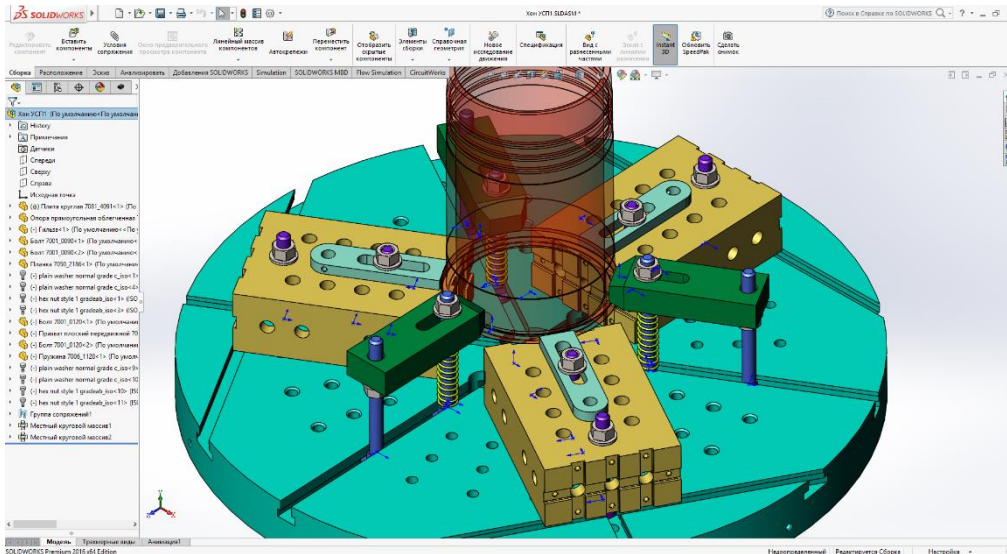


Рисунок 4. 3D модель пристосування для хонінгування.

Аналіз жорсткості пристосування виконуємо з використанням CAD-системи SOLIDWORKS® та її модуля Simulation.

Для проведення дослідження в системі необхідно задати зовнішні сили. В нашому випадку це будуть сили різання

зі сторони брусків хонінгувальної головки на заготовку та сили закріплення. На рисунку 5 представлена система з прикладеними зовнішніми силами.

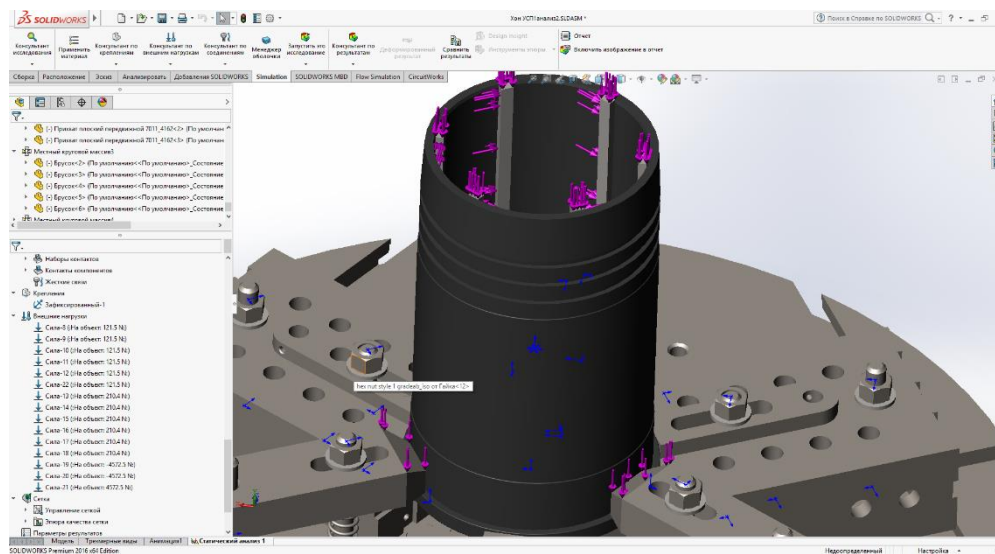


Рисунок 5. Схема зовнішнього навантаження.

Ще один необхідний крок – визначити закріплення пристосування. В нашому випадку пристосування встановлюється на стіл верстата нижньою площиною

круглої плити та фіксується.

Система виконує розрахунок методом скінченних елементів і надає можливість регулювати параметри сітки

для забезпечення необхідної точності розрахунку.

Після призначення всіх параметрів можна запускати процедуру розрахунку, яка займає певний час. За результатами розрахунку система формує візуалізацію напружено-

деформованого стану з можливим представленням внутрішніх напружень (рис. 6), переміщень (рис. 7) та відносних деформацій (рис. 8).

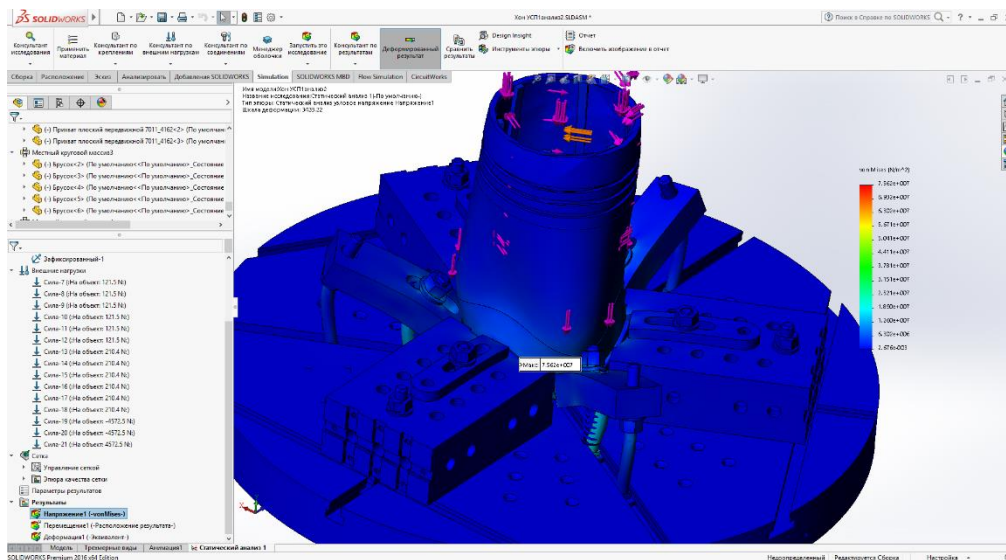


Рисунок 6. Розподілення внутрішніх напружень.

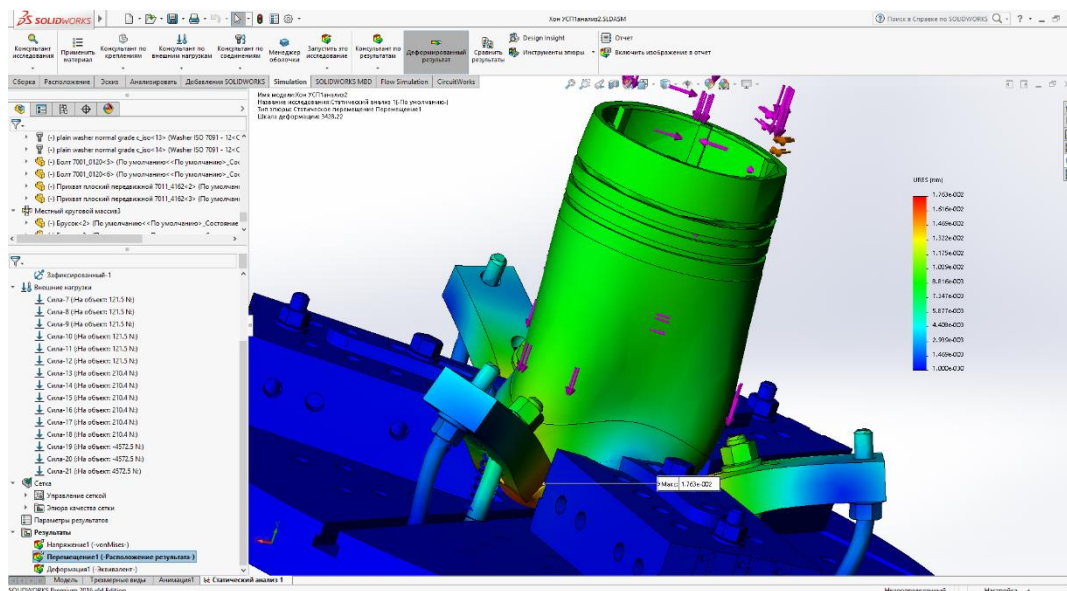


Рисунок 7. Розподілення лінійних переміщень елементів пристосування.

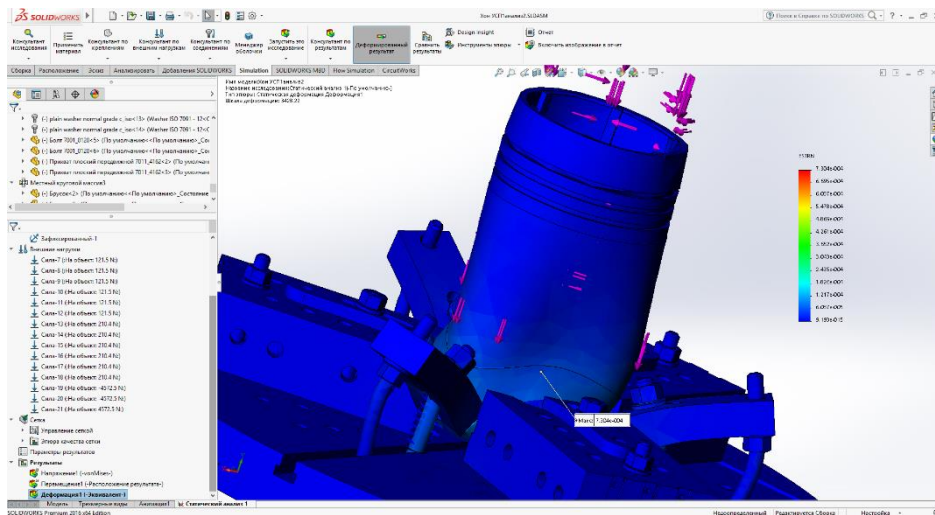


Рисунок 8. Відносні деформації елементів пристосування.

Висновок

Проведений аналіз показує, що максимальні переміщення спостерігаються в точках контакту гільзи та прихватів і становлять 0,017 мм (або 17 мкм), напрямлення переміщень вниз, паралельно оброблюваній поверхні. В той же час допуск на обробку становить 63 мкм. Таким чином,

спроектоване пристосування має достатню жорсткість для виконання хонінгувальної операції. В той же час можна рекомендувати ввести в конструкцію пристосування додаткове підкладне кільце під гільзу, що зменшить величини деформації та підвищить жорсткість конструкції.

Список використаної літератури:

1. Маталин А.А. Технология машиностроения: 4-е издание - Л.: Лань. 2016. - 512 с.
2. Горохов В.А. Проектирование и расчет приспособлений. Минск, 1986.-240 с.
3. Справочник технолога - машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - Т. 1 - 656 с.
4. Панов А.А., Аникин В.В. Обработка металлов резанием: Справочник технолога; Под общ. Ред. А.А. Панова. 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 2004.-784 с.
5. Справочник технолога - машиностроителя: В 2 т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1986. - Т. 2. - 496 с.
6. Ансеров М.А. Приспособления для металлорежущих станков: Расчеты и конструкции. - 3-е изд., стереот. - М.: Машиностроение, 1966.
7. Кремень З. И. Хонингование и суперфиниширование деталей. [Текст]: 3-е изд., перераб. и доп. / З. И.Кремень, И. Х. Стратиевский – СПб.: Машиностроение, 1988. – 137 с.

Dumanchuk M. Y.

The use of computer modeling in the design of USP for honing the engine liner

The article presents the results of modeling the process of honing cylinder liners. The rigidity of a universal assembly device for honing has been investigated. The stress-strain state of the elements of the fixture and the workpiece is determined. The influence of workpiece deformations on machining accuracy has been established.

Key words: honing, modeling, deformation, stress, devices, cutting modes.

Дата надходження до редакції: 25.04.2019