e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR THE RESTORATION OF BODY PARTS

V. Yankiv*, V. Chukhrai

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv

AGRICULTURAL MACHINES
АСМ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Key words:
part restoration,
housing parts,
technological process,
multicriteria optimization,
cycle time,
economic efficiency,
machine repair

Article history:
Received 15.08.2026
Reviewed 16.09.2026
Approved 30.10.2026

Corresponding author:*
yankivvv@lnup.edu.ua

ABSTRACT

The article addresses the scientific and applied problem of improving the efficiency of technological processes for restoring machine housing parts subjected to intensive exploitative loads and wear. The current state of research in the field of part restoration is analyzed, showing that the efficiency of repair production is determined by a combination of technical and economic indicators, including the duration of the technological cycle, labor time utilization coefficient, and the efficiency of capital investment in technological equipment.

The feasibility of applying a multicriteria optimization approach is substantiated, as it allows taking into account the contradictory nature of changes in performance indicators when varying process parameters. A method based on the compensated criterion is proposed, which enables determining compromise values of key process parameters, particularly the operation cycle time.

A mathematical model for evaluating economic effect and costs depending on cycle time variation is developed. The model considers the interrelation between production cycle duration, equipment utilization, and labor resource efficiency. Typical defects of gearbox housings are analyzed, and rational restoration technologies are substantiated.

Based on the performed calculations, optimal values of technological process parameters are determined, and rational ranges of production programs for different restoration methods are established, including electroplating, local surfacing, and polymer-based restoration techniques.

The obtained results demonstrate that the proposed approach ensures a balance between technical and economic indicators, improves the productivity of repair production, reduces costs, and enhances the efficiency of resource utilization in the restoration of housing parts.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2324

To cite this article:
Yankiv, V., & Chukhrai, V. (2026). Optimization of technological processes for the restoration of body parts. *Agricultural Machines*, *52*, 18-26. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2324

e-ISSN 2708-9754; ISSN 2307-1699
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ, 2026, Вип. 52
AGRICULTURAL MACHINES, 2026, Vol. 52

УДК 621.9.004.67:519.85

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

В. Янків*, В. Чухрай

Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького

AGRICULTURAL MACHINES
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Ключові слова:
відновлення деталей,
корпусні деталі,
технологічний процес,
багатокритеріальна оптимізація,
такт виробництва,
економічна ефективність,
ремонт машин

Історія публікації:
Отримано 15.08.2026
Прорецензовано 16.09.2026
Затверджено до друку 30.10.2026

***Автор для листування:**
yankivvv@lnup.edu.ua

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто науково-прикладну проблему підвищення ефективності технологічних процесів відновлення корпусних деталей машин, які зазнають значних експлуатаційних навантажень і зношування. Проаналізовано сучасний стан досліджень у галузі відновлення деталей та встановлено, що ефективність ремонтного виробництва визначається сукупністю технічних і економічних показників, зокрема тривалістю технологічного циклу, коефіцієнтом використання робочого часу виконавців і ефективністю використання капітальних вкладень у технологічне обладнання. Обґрунтовано доцільність застосування багатокритеріального підходу до оптимізації технологічних процесів, що дозволяє врахувати суперечливий характер зміни показників ефективності при варіюванні параметрів процесу. Запропоновано методику оптимізації на основі методу компенсованого критерію, яка забезпечує визначення компромісних значень параметрів технологічного процесу, зокрема такту виконання операцій. Розроблено математичну модель оцінювання економічного ефекту та витрат залежно від зміни такту, яка враховує вплив тривалості циклу, завантаження обладнання та використання трудових ресурсів. Проведено аналіз характерних дефектів корпусу коробки передач і обґрунтовано вибір раціональних технологій їх відновлення. На основі виконаних розрахунків визначено оптимальні значення параметрів технологічного процесу та встановлено раціональні діапазони виробничих програм для різних способів відновлення, зокрема гальванічного натирання, місцевого насталювання та застосування полімерних композицій. Отримані результати підтверджують, що застосування запропонованого підходу дозволяє забезпечити узгодження технічних і економічних показників, підвищити продуктивність ремонтного виробництва, зменшити витрати та підвищити ефективність використання ресурсів.

DOI: 10.36910/acm.vi52.2324

Цитувати цю статтю:
Янків, В. В., & Чухрай, В. Є. (2026). Оптимізація технологічніих процесів відновлення корпусних деталей. *Сільськогосподарські машини*, *52*, 18-26. https://doi.org/10.36910/acm.vi52.2324

СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У сучасних умовах експлуатації машин і механізмів корпусні деталі (зокрема корпуси коробок передач, редукторів та інших вузлів) піддаються інтенсивному зношуванню, що призводить до погіршення технічного стану агрегатів і зниження їх надійності. Відновлення таких деталей є економічно доцільною альтернативою їх заміни, однак ефективність відновлювальних процесів значною мірою залежить від раціональності побудови технологічного процесу.

Проблема полягає в тому, що під час проектування технологічних процесів відновлення корпусних деталей необхідно одночасно враховувати кілька суперечливих критеріїв ефективності: тривалість технологічного циклу, рівень використання робочого часу виконавців, ефективність використання обладнання та капітальних вкладень. Як зазначено в роботі , мінімізація одного з цих показників часто призводить до погіршення інших, що ускладнює прийняття оптимального інженерного рішення.

Особливо актуальною є задача скорочення тривалості циклу відновлення, оскільки її збільшення безпосередньо впливає на тривалість ремонту агрегатів і може спричинити затримки у виробничому процесі складання машин. Водночас надмірне скорочення циклу може вимагати додаткових витрат ресурсів або призводити до неефективного використання обладнання та трудових ресурсів.

Таким чином, виникає науково-прикладна проблема багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів відновлення корпусних деталей, яка полягає у визначенні такого поєднання параметрів процесу (зокрема такту виконання операцій), що забезпечує компроміс між економічними та технологічними показниками. Необхідність врахування обмежень, пов’язаних із технічними можливостями обладнання, організацією виробництва та допустимими термінами ремонту, додатково ускладнює задачу.

Отже, актуальним є розроблення науково обґрунтованих методів і моделей, які дозволяють здійснювати оптимізацію технологічних процесів відновлення корпусних деталей із урахуванням комплексу взаємопов’язаних критеріїв ефективності та забезпечують підвищення загальної продуктивності ремонтного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання відновлення деталей машин та оптимізації відповідних технологічних процесів є предметом значної кількості наукових досліджень як в Україні, так і за кордоном. Проблема оптимізації технологічних процесів відновлення корпусних деталей тракторів є актуальною у зв’язку зі значними експлуатаційними навантаженнями, зношуванням та високою вартістю заміни таких деталей. У сучасних дослідженнях основна увага приділяється підвищенню довговічності, ресурсозбереженню та зниженню витрат ремонтного виробництва.

У роботах (Afanasyev V. K.,2018; Afanasyev V. K. e*t al.,2018)* розглянуто фундаментальні підходи до відновлення поверхонь деталей сільськогосподарських машин. Зокрема, запропоновано концепцію формування ремонтних технологічних модулів і обґрунтовано вибір оптимальних способів відновлення залежно від умов експлуатації та типу зношування. Встановлено, що правильний вибір технології дозволяє значно підвищити ресурс відновлених деталей.

Суттєвий внесок у розвиток технологій відновлення зроблено у дослідженнях, присвячених наплавленню та зварюванню. Так, у роботі (Zakharova I.,2024) показано, що зварювання є одним із ключових методів ремонту корпусних конструкцій, оскільки забезпечує відновлення геометрії та міцності елементів. При цьому вибір параметрів процесу (струм, швидкість, тип електрода) істотно впливає на якість з’єднання, довговічність і економічну ефективність ремонту.

Дослідження (Dudnikov A., *et al*.,2020). присвячені оптимізації режимів дугового наплавлення. Встановлено критеріальні залежності, які дозволяють визначати раціональні параметри процесу відновлення та забезпечувати необхідну твердість і зносостійкість покриттів. Це створює наукову основу для багатофакторної оптимізації технологічних процесів відновлення.

Окремий напрям становлять дослідження відновлення корпусних деталей із чавуну, які є складними з точки зору зварюваності. У роботах (Bekana, D., *et al*.,2020; Voloshchenko, S. M., 2022) показано, що відновлення таких деталей потребує ретельного вибору технології (традиційне зварювання, лазерне або плазмове наплавлення), оскільки можливе утворення тріщин та внутрішніх напружень. Застосування комбінованих технологій дозволяє підвищити якість ремонту та зменшити дефектність.

Значну увагу приділено сучасним методам інженерії поверхні. У роботі (Tandon, D., *et al*.,2023) показано, що наплавлення (hardfacing) є ефективним способом підвищення зносостійкості деталей

завдяки формуванню захисного шару з покращеними властивостями (зносостійкість, корозійна стійкість, жаростійкість). Це особливо важливо для корпусних деталей, що працюють в абразивних середовищах.

У роботах (*Wang Y., et al.,2023; Ahola A., et al.,2023; Li, Y., et al. 2023*) розглянуто питання зношування та довговічності деталей машин. Встановлено, що оптимізація технології відновлення повинна базуватися на аналізі механізмів зношування, включаючи абразивне, адгезійне та корозійне руйнування. При цьому підвищення твердості поверхні та застосування композиційних матеріалів є ефективними шляхами підвищення ресурсу.

Сучасні дослідження (*Mishra A., Sharma S.2021; Bazanella A., et al. 2024; Wiebe J., et al., 2018)* спрямовані на цифровізацію та інтелектуалізацію процесів відновлення. Зокрема, застосування методів машинного навчання, генетичних алгоритмів і методів поверхні відгуку дозволяє оптимізувати режими обробки та наплавлення за критеріями якості поверхні та енергоспоживання. Такі підходи забезпечують перехід до адаптивних технологічних систем.

У роботах, присвячених технологіям відновлення деталей, підкреслюється економічна доцільність їх застосування: вартість відновлення зазвичай становить лише 10–50 % від вартості виготовлення нової деталі, що забезпечує значну економію матеріальних і енергетичних ресурсів (*Сідашенко О., Науменко О.2010)*. При цьому ефективність відновлення визначається здатністю відновити геометричні та фізико-механічні властивості деталі з мінімальними витратами.

Окремий напрям досліджень пов’язаний із оптимізацією технологічних процесів. У відповідних наукових працях розглядаються підходи до вибору раціональних режимів обробки та параметрів технологічних систем з урахуванням кількох критеріїв, таких як продуктивність, трудомісткість, енерговитрати та собівартість *(Катренко А..2004;Теслюк В., Загарюк Р.2012; Таха Х.2001)*. Встановлено, що використання математичних моделей і методів дослідження операцій дозволяє формалізувати задачу оптимізації та отримати більш обґрунтовані інженерні рішення.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень показує, що основними напрямами розвитку технологій відновлення корпусних деталей тракторів є:

- оптимізація режимів зварювання та наплавлення;
- застосування нових матеріалів і покриттів;
- використання методів математичного моделювання та штучного інтелекту;
- комплексний підхід до реманufактурингу.

Разом з тим, більшість існуючих досліджень зосереджені або на вдосконаленні окремих технологічних операцій, або на оптимізації процесів механічної обробки, тоді як питання комплексної оптимізації процесів відновлення корпусних деталей з урахуванням організаційних, технологічних і економічних факторів висвітлені недостатньо повно. Зокрема, недостатньо дослідженими залишаються питання вибору оптимальних параметрів технологічного процесу в умовах обмежень за часом ремонту, завантаженням обладнання та ефективністю використання трудових ресурсів. Це обумовлює необхідність подальших досліджень у даному напрямі.

Таким чином, аналіз сучасних досліджень свідчить про наявність значного наукового доробку у сфері відновлення деталей і оптимізації технологічних процесів, проте існує потреба в подальшому розвитку методів багатокритеріальної оптимізації, орієнтованих саме на відновлення корпусних деталей із урахуванням специфіки їх дефектів і умов ремонтного виробництва. Це обумовлює актуальність проведення даного дослідження.

Постановка завдання. На основі проведеного аналізу особливостей відновлення корпусних деталей та існуючих підходів до оптимізації технологічних процесів встановлено, що ефективність ремонтного виробництва значною мірою визначається обґрунтованим вибором параметрів технологічного процесу, зокрема такту виконання операцій і структури технологічного маршруту. При цьому необхідно забезпечити узгодження між тривалістю відновлення, завантаженням обладнання та ефективністю використання трудових ресурсів, що вимагає застосування методів багатокритеріальної оптимізації .

У зв’язку з цим метою даної роботи є підвищення ефективності технологічних процесів відновлення корпусних деталей на основі розроблення та застосування методики їх багатокритеріальної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати конструктивні особливості корпусних деталей та характерні дефекти, що виникають у процесі експлуатації;
- систематизувати існуючі технологічні способи відновлення корпусних деталей та визначити умови їх ефективного застосування;
- обґрунтувати вибір системи критеріїв оптимізації технологічного процесу (тривалість циклу відновлення, коефіцієнти використання робочого часу та обладнання, економічні показники);
- розробити математичну модель оцінювання ефективності технологічного процесу відновлення з урахуванням взаємозв'язку критеріїв;
- визначити область компромісних рішень та дослідити вплив параметра такту на показники ефективності процесу;
- встановити умову оптимальності технологічного процесу на основі співвідношення економічного ефекту та витрат;
- виконати розрахунок оптимальних параметрів технологічного процесу для відновлення корпусу коробки передач;
- сформувати практичні рекомендації щодо вибору раціональних технологій і виробничих програм відновлення корпусних деталей.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси відновлення корпусних деталей машин.

Предметом дослідження є закономірності зміни техніко-економічних показників ефективності процесу відновлення залежно від його параметрів.

Отже, розв'язання поставлених завдань дозволить підвищити ефективність організації ремонтного виробництва та забезпечити обґрунтований вибір раціональних технологічних процесів відновлення корпусних деталей.

Виклад основного матеріалу. Ефективність відновлення корпусних деталей машин значною мірою визначається раціональністю побудови технологічного процесу, який повинен забезпечувати необхідну якість відновлення при мінімальних витратах часу та ресурсів. В основу дослідження покладено підхід багатокритеріальної оптимізації, який дозволяє врахувати взаємний вплив технічних та економічних показників процесу.

Загальні положення оптимізації технологічного процесу

У процесі відновлення корпусних деталей як основний параметр, що визначає організацію виробництва, розглядається такт виконання операцій τ. Саме від нього залежать тривалість технологічного циклу відновлення ($T_{т.ц}$), коефіцієнт використання робочого часу виконавців ($\eta_р$) та ефективність використання капітальних вкладень у технологічне обладнання ($\gamma_к$).

При цьому оптимальне значення такту, визначене за критерієм $\gamma_к$, буде τ_1, а за критерієм $T_{т.ц} - \tau_2$. Для компромісного вирішення такої задачі може бути використаний спосіб компенсованого критерію *(Катренко А..2004;Теслюк В., Загарюк Р.2012)*.

Зміна такту призводить до суперечливих змін зазначених критеріїв: зменшення τ сприяє підвищенню ефективності використання обладнання, але водночас може збільшувати тривалість циклу та знижувати ефективність використання трудових ресурсів. Це обумовлює необхідність пошуку компромісного рішення.

Формування критеріїв ефективності. Вихідні міркування цього способу такі: в діапазоні значень параметра $\tau_1 - \tau_2$ критерії змінюються в протилежних напрямах. Так, в діапазоні $\tau_1 - \tau_2$ відбувається зниження ефективності капітальних вкладень в комплекс обладнання з одночасним збільшенням ефективності використання фонду часу виконавців і зменшенням тривалості циклу. Потрібно вибрати таке значення такту в діапазоні $\tau_1 - \tau_2$, при якому зберігалось би величина основного критерію, що відповідає оптимальному параметру; одночасно з цим були б забезпечені найкращі за цих умов значення інших критеріїв (рис.1). При цьому значення одного з критеріїв повинно компенсуватися за рахунок економії значень інших критеріїв.

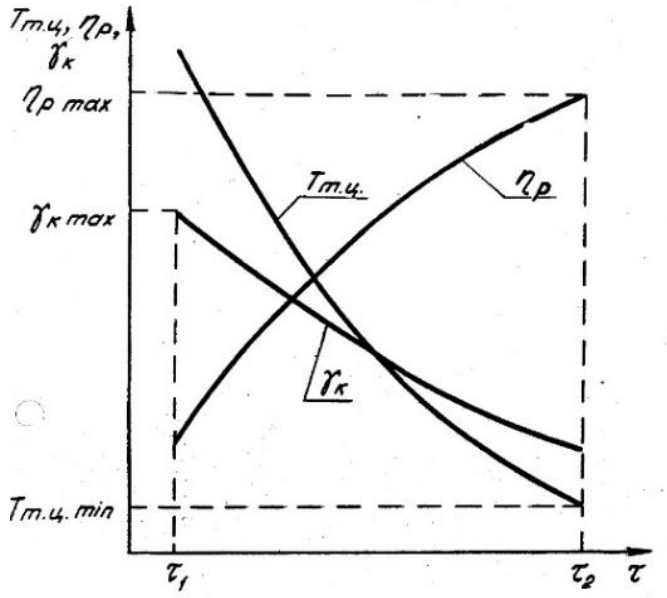


Рис. 1. – Тенденція зміни $\eta_р$, $\gamma_к$, $T_{т.ц}$ за умови неперервності їх функціональної залежності від τ

Так, наприклад, вибираючи такт в інтервалі $\tau_2 - \tau_1$, збільшується тривалість технологічного циклу і знижується ефективність використання робочого часу виконавців, але економимо на підвищенні ефективності капітальних вкладень в комплекс обладнання (рис.1).

Початкові умови під час розв'язання задачі оптимізації виробничих програм на відновлення корпусних деталей прийняті наступні:

1) мінімальна тривалість технологічного циклу відновлення деталей більша (або дорівнює) дозволеному часу на відновлення цієї деталі, $T_{т.ц\ min} \geq T_д$;

2) відновний процес корпусної деталі територіально не відділяється від основного розбирально-складального процесу, $t_{т.р} = 0$.

Початкове значення такту вибираємо τ_2 , за якого досягається мінімальне значення тривалості технологічного циклу - $T_{т.ц\ min}$. Область компромісу - діапазон значень $\tau_2 - \tau_1$.

Методика визначення оптимального параметра

Для розв'язання задачі використано метод компенсованого критерію, який передбачає визначення області компромісу між різними критеріями ефективності. Така область обмежується значеннями такту (τ_1.) і (τ_2), що відповідають екстремумам окремих критеріїв.

У межах цієї області визначаються економічний ефект та витрати, пов'язані зі зміною параметрів процесу.

Визначимо значення економії і затрат для будь-яких значень τ з діапазону $\tau_2 - \tau_1$. При зменшенні такту коефіцієнт $\gamma_к$ зростає, а значення неефективного використання капітальних вкладень в обладнання в кожній точці інтервалу $\tau_2 - \tau_1$ складе

$$З_н = (1 - \gamma_к) \cdot C_о \cdot E_н, \quad (1)$$

де $C_о$ -сумарна вартість обладнання; $E_н$ – нормативний коєфіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Таким чином, економія (щодо базового варіанту - точки 2) в і-й точці інтервалу $\tau_2 - \tau_1$, отримана від підвищення ефективності капітальних вкладень в комплекс обладнання (або зниження абсолютної величини неефективно використаних вкладень) визначається з виразу (в розрахунку на одну деталь)

$$\Delta Э = [(1 - \gamma_{к2}) \cdot C_о \cdot \tau_2 - (1 - \gamma_{к\ і}) \cdot C_о \cdot \tau_і] \ E_н / Ф_о, \quad (2)$$

де $Ф_о$ – річний фонд часу роботи обладнання.

Зі зменшенням такту збільшується тривалість циклу $T_{т.ц}$ і зменшується $\eta_р$. Затрати через збільшення тривалості циклу пов'язані зі створенням запасу деталей для забезпечення безперервного

ходу складального процесу *($\Delta З_1$),* а зменшення коефіцієнта використання фонду часу виконавців приведе до затрат на їх оплату *($\Delta З_2$),* Таким чином, загальні затрати визначаються з виразу

$$\Delta З = \Delta З_1 + \Delta З_2 = \{[(T_{т.ц} - T_{т.ц\ min})/\tau]C_д + \Sigma\Phi_р \cdot C_т[(1-\eta_{р1})\cdot m_1 - (1-\eta_{р2})\cdot m_2]\}\ \tau/\Phi_р, \quad (3)$$

де $C_д$ – прейскурантна ціна нової деталі; $\Phi_р$, $C_т$, m – відповідно дійсний річний фонд часу, тарифна ставка і кількість працівників.

Оптимальний технологічний процес визначиться з умови

$$\Delta Э - \Delta З \rightarrow max \quad (4)$$

Аналіз об'єкта дослідження

Об'єктом дослідження є корпус коробки передач трактора, для якого характерні такі групи дефектів :

- тріщини корпусу;
- зношування посадочних місць під підшипники;
- спрацювання отворів під вали та механізми перемикання;
- пошкодження різьбових отворів.

Аналіз показує, що ці дефекти можуть бути об'єднані за технологічною подібністю, що дозволяє застосовувати типові технологічні маршрути відновлення.

Результати оптимізації

Виходячи з положень вищенаведеної методики оптимізації технологічних процесів відновлення деталей і результатів розрахунку показників ефективності процесу, підставивши значення початкових величин у рівняння (2) і (3) з використанням розробленого алгоритму, розраховано значення величин *$\Delta Э$ і $\Delta З$* для значень такту з області компромісу (рис.2). Аналіз показує, що значення *$\Delta Э$-$\Delta З$* змінюється скачко-подібно за аналогією з характером зміни показників $\eta_р$ *і* $\gamma_к$. Загальна тенденція зміни вказує на те, що зі збільшенням такту зменшується економія і збільшуються затрати і за певних значень такту останні за абсолютною величиною перевищують економію, а значення *$\Delta Э$-$\Delta З$* переходить в зону від'ємних значень.

Представлені результати розрахунків уможливлюють для існуючого попиту на відновлення корпусних деталей визначити найбільш раціональний технологічний процес і визначити оптимальні програми відновлення. Встановлено, що зі збільшенням такту:

- зменшується економічний ефект від використання обладнання;
- зростають витрати, пов'язані з тривалістю циклу та оплатою праці;
- значення функції (*$\Delta Э$-$\Delta З$*) має максимум у певному інтервалі значень τ.

Отримані результати дозволили визначити раціональні діапазони виробничих програм для різних технологій відновлення корпусних деталей:

- гальванічне натирання — 810…900; 1060…1350; 1560…1740; 2180…4000 од.;
- місцеве насталювання — 480…530; 600…1715 од.;
- нанесення епоксидних композицій — 1000…1090; 1150…2000 од.

Узагальнення результатів

Проведені дослідження показали, що застосування багатокритеріального підходу дозволяє:

- обґрунтувати вибір оптимального такту виконання операцій;
- забезпечити збалансованість між технічними та економічними показниками; підвищити ефективність використання виробничих ресурсів;
- визначити раціональні програми відновлення корпусних деталей.

Таким чином, запропонована методика оптимізації технологічних процесів може бути використана під час проєктування та вдосконалення ремонтних виробництв для підвищення їх продуктивності та економічної ефективності.

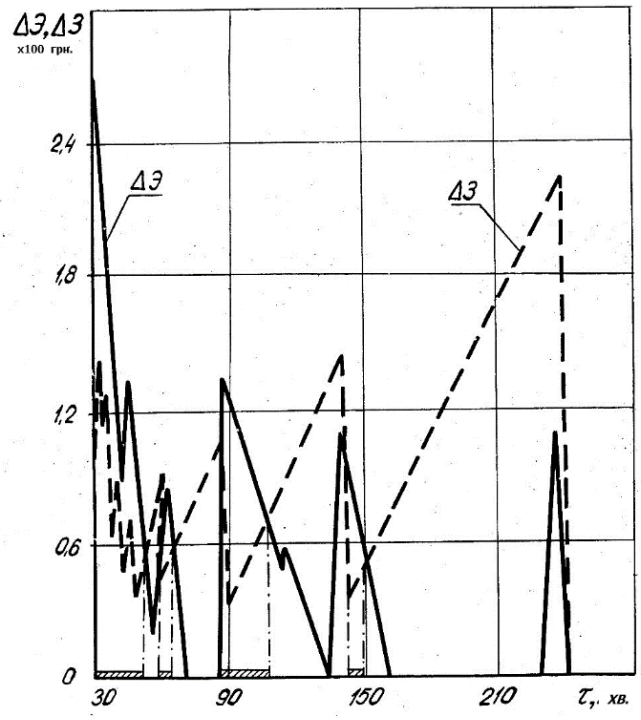


Рис. 2. – Оптимальне значення (заштриховано) такту (τ) відновлення корпусу коробки передач гальванічним натиранням

ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень, спрямованих на оптимізацію технологічних процесів відновлення корпусних деталей, отримано такі основні наукові та практичні результати:

1. Встановлено, що ефективність процесів відновлення корпусних деталей визначається сукупністю взаємопов'язаних критеріїв, основними з яких є тривалість технологічного циклу, коефіцієнт використання робочого часу виконавців та ефективність використання капітальних вкладень у обладнання .
2. Обґрунтовано доцільність застосування багатокритеріального підходу до оптимізації технологічних процесів, який дозволяє врахувати суперечливий характер зміни показників ефективності при варіюванні параметрів процесу, зокрема такту виконання операцій.
3. Розроблено методику визначення оптимального технологічного процесу на основі методу компенсованого критерію, що передбачає пошук компромісного рішення в області допустимих значень параметра та максимізацію різниці між економічним ефектом і витратами.
4. Встановлено, що оптимальне значення такту виконання операцій знаходиться в області компромісу між мінімальною тривалістю циклу та максимальною ефективністю використання обладнання і трудових ресурсів.
5. Виконано аналіз характерних дефектів корпусу коробки передач, що дозволило згрупувати їх за технологічною подібністю та обґрунтувати вибір раціональних способів відновлення.
6. За результатами розрахунків визначено раціональні діапазони виробничих програм для різних технологій відновлення (гальванічне натирання, місцеве насталювання, застосування полімерних матеріалів), що забезпечують максимальну ефективність процесу.
7. Доведено, що застосування запропонованої методики дозволяє підвищити ефективність ремонтного виробництва за рахунок скорочення тривалості відновлення, зменшення витрат та більш раціонального використання виробничих ресурсів.

Отже, отримані результати можуть бути використані під час проектування та вдосконалення технологічних процесів відновлення корпусних деталей машин, а також при формуванні виробничих програм ремонтних підприємств.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

Afanasyev V. K. (2018)Restoration of agricultural machines surfaces by white cast iron with alloying elements // Materials Science Forum. Vol. 927. P. 43–48.

Afanasyev V. K., others. (2018).Technological bases of restoration of machine parts // Materials Science Forum. Vol. 927. P. 1–6.

Zakharova I. Welding processes in the restoration of industrial and energy facilities // Machinery & Energetics. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 56–64.

Dudnikov A., Gorbenko O., Kelemesh A., Drozhchana O. (2020). Improving the technological process of restoring tillage machine parts // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 2, No. 1 (104).

Bekana, D., Zh. Kolev, S. Kadirova, T. Nenov, G. Kadikyanov (2020). Investigation of Operational Parameters of Coatings for Rebuilding Worn Out Cast Iron Parts of Self-Propelled Agricultural Machines *INMATEH Agricultural Engineering*, 3 Vol. 62, 165-172, doi: 10.18805/IJARe.A-5400

Voloshchenko, S. M., & Hohaiev, K. O. (2022). Application of high-strength bainitic cast iron for the production of replaceable parts of soil-cultivating agricultural machinery. *Engineering Review*, *42*(2), 89–96.

Tandon, D., Li, H., Pan, Z., Yu, D., & Pang, W. (2023). A review on hardfacing, process variables, challenges, and future works. *Metals*, *13*(9), Article 1512.

Wang Y., Liu X., Zhang H. (2023.) Research progress on wear resistance of agricultural machinery components // Materials.. Vol. 16, No. 24. Article 7646. DOI: 10.3390/ma16247646.

Ahola, A., Lipiäinen, K., Afkhami, S., & Björk, T. (2022). Fatigue performance of the welded details of an old, demolished steel railway bridge. *Engineering Structures*, *256*, Article 113999. doi.org

Li, Y., Schreiber, P., Schneider, J., & Greiner, C. (2023). Tribological mechanisms of slurry abrasive wear. *Friction*, *11*(6), 1079–1093. doi.org

Mishra A., Sharma S. (2021).Process parameter optimization of friction stir welding using machine learning // Journal of Manufacturing Processes.. Vol. 68. P. 130–140.

Bazanella A., others. (2026).Improving the GMAW process through current control: optimization approach // Journal of Manufacturing Processes. Vol. 80. P. 210–218.

Wiebe, J., Cecílio, I., & Misener, R. (2018). Data-driven optimization of processes with degrading equipment. *Computers & Chemical Engineering*, *119*, 408–418. doi.org

Сідашенко О.І., Науменко О.А. (2010).Ремонт машин та обладнання: Підручник. Х.: «Міськдрук», 744с.

Катренко А.В. (2004).Дослідження операцій. Підручник. Львів: «Магнолія Плюс»,. 549 с.

Теслюк В.М., Загарюк Р.В. (2012).Методи багатокритеріальної оптимізації: Конспект лекцій. Львів: Видавництво НУ ЛП, 64 с.

Таха Х.А. (2001).Введение в исследование операций. 6-е издание. Пер. с англ. М.: «Вильямс»,. 912с.