

Голотюк М. В., к.т.н., доцент, Налобіна О. О., д.т.н., професор, Бундза О. З., к.т.н., доцент, Тхорук Є. І., к.т.н., доцент, Дорошук В. О., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН

У статті представлено результати аналізу існуючих на сьогодні форм організації технічного обслуговування сільськогосподарської техніки, що експлуатується підприємствами агропромислового комплексу. Розглянуто варіанти сучасних методів організації системи технічного обслуговування і ремонту на основі управління технічним станом машин з урахуванням теорії їх старіння. Ці нові погляди на організацію обслуговування машинно-тракторного парку, засновані на конструктивних особливостях сучасної техніки, можуть істотно вплинути на ефективність обслуговування машин за рахунок скорочення часу виконання робіт і скорочення переліку технологічних операцій. Розроблено та запропоновано до впровадження рекомендації щодо формування нової, перспективної, організації технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. Представлено теоретичні основи експлуатаційної надійності машин, які формуються на фактичному матеріалі лабораторних, стендових і виробничих випробувань машин, на результатах багаторічних спостережень за їх експлуатацією в реальних умовах. На основі результатів досліджень встановлено, що на сьогодні в поточному ремонті вузлів машин використовуються дві стратегії: без застосування технічного діагностування і на основі технічного діагностування. Залежно від умов відновлення перша стратегія має два різновиди: профілактична реставрація, при якій здійснюється своєчасне подання заміни комплектуючих після планового розбирання; заміна компонентів у разі потреби після їх виходу з ладу. При другій стратегії профілактичне відновлення проводиться за наявності штатного технічного діагностування, що дозволяє більш повно використовувати ресурс заміненних компонентів і збільшувати частоту їх заміни, така стратегія доцільна тільки при оптимальних економіч-

них показниках, в іншому випадку слід переходити до першої стратегії поточного ремонту.

Ключові слова: технічне обслуговування; ремонт машин; експлуатаційна надійність машин; безвідмовність; ресурс.

Вступ. У сучасних умовах функціонування сільськогосподарських підприємств роль ефективного забезпечення технологічних процесів машинними комплексами, а також роль технічної служби, як найважливішої складової функціонування машинно-тракторного парку агропромислового комплексу, зростає багаторазово.

У більшості випадків оптимізація параметрів технічного обслуговування досягається за рахунок вирішення одного з двох завдань – забезпечення необхідних робіт з мінімальними витратами на обслуговування або забезпечення максимального рівня робіт, можливих при обмежених витратах [1; 2; 3].

Для складних технічних систем, які все частіше використовуються на сільськогосподарських підприємствах і в різних сервісних підрозділах, зниження показників нижче допустимого рівня може призвести до серйозних наслідків, в зв'язку з чим показники ефективності є пріоритетними, а витрати, як менш важливі, розглядаються як об'єктивна оптимізаційна функція.

Конкретні завдання оптимізації системи технічного обслуговування залежать від типу і складності технічного об'єкта, виконуваних ним функцій, виду і кількості можливих станів і т. д.

Розглядаючи моделі експлуатації технічних систем з різними видами обслуговування, виділяють кілька характерних груп потоків, тобто переходів з одного стану в інший: виникнення відмов і несправностей; усунення відмов і несправностей; зняття на технічне обслуговування; зняття з технічного обслуговування [4; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок у дослідження питань стратегії технічного обслуговування машин для агропромислового комплексу, розвиток технології ТО і ремонту машин внесли відомі дослідники Грушецький С. М., Бендера І. М., Козаченко О. В., Коновалюк О. В., Кіяшко В. М., Колісник М. В., Гунько І. В., Музичук В. І., Служанюк М. О., Сідашенко О. І., Лудченко О. А., Чередник В. В. [6; 7; 8]. Важливим є досвід технічного обслуговування і організації ремонту закордоном, в основі якого лежить скорочення витрат на механізацію агропромислового комплексу. Розуміння сучас-

ного стану технічного сервісу є завжди актуальною проблемою [9; 10].

Постановка мети і задачі дослідження. Метою проведених досліджень є обґрунтування стратегії технічного обслуговування машин для агропромислового комплексу, підвищення ефективності процесу змішування та обґрунтування параметрів експлуатаційної надійності машин.

Виклад основного матеріалу. Теоретичні основи експлуатаційної надійності машин формуються на фактичному матеріалі лабораторних, стендових і виробничих випробувань машин, на результатах багаторічних спостережень за їх експлуатацією в реальних умовах. Обробка та узагальнення такої інформації базується на теорії ймовірностей, математичній статистиці, системному аналізі, які при необхідності поєднуються з методами оптимізації, прогнозування, подібності, кластерного аналізу, експертних оцінок та ін.

Нині в поточному ремонті вузлів машин використовуються дві стратегії: без застосування технічного діагностування і на основі технічного діагностування [11; 12].

Залежно від умов відновлення перша стратегія має два різновиди:

- 1) профілактична реставрація, за якої здійснюється своєчасне подання заміни комплектуючих після планованого розбирання;
- 2) заміна компонентів у разі потреби після їх виходу з ладу.

При другій стратегії профілактичне відновлення проводиться за наявності штатного технічного діагностування, що дозволяє більш повно використовувати ресурс заміненних компонентів і збільшувати частоту їх замін, така стратегія доцільна тільки при оптимальних економічних показниках, в іншому випадку слід переходити до першої стратегії поточного ремонту.

Розглянемо розрахунок оптимальних замін при поточному ремонті. Систему, відмова в якій настає при відмові одного із блоків, наведено на рис. 1.



Рис. 1. Система, відмова в якій настає при відмові одного із блоків

Введемо позначення: – T_{cp} середній наробіток до виходу з ладу будь-якого вузла машини; $f(t)$ – щільність розподілу наробітку; $t_{П.З.}$ – періодичність профілактичних замін (П.З.).

Тоді час між оновленнями складе:

$$T_{ОБН} = \begin{cases} T_{cp}, & \text{якщо } T_{cp} \leq t_{П.З.}; \\ t_{П.З.}, & \text{якщо } T_{cp} > t_{П.З.} \end{cases} \quad (1)$$

На основі (1) знайдемо математичне очікування $M[T_{ОБМ}]$

$$\begin{aligned} M[T_{ОБМ}] &= \int_0^{t_{П.З.}} t \cdot f(t) dt + t_{П.З.} \cdot p(t_{П.З.}) = \\ &= - \int_0^{t_{П.З.}} t \cdot dp(t) + t_{П.З.} \cdot p(t_{П.З.}), \end{aligned} \quad (2)$$

де $p(t_{П.З.})$ – ймовірність безаварійної роботи компонентної частини під час роботи $t_{П.З.}$.

Застосовуючи правило інтеграції по частинах, отримуємо

$$\begin{aligned} M[T_{ОБМ}] &= -t \cdot p(t) \Big|_0^{t_{П.З.}} + \int_0^{t_{П.З.}} p(t) dt + t_{П.З.} \cdot \\ &\cdot p(t_{П.З.}) = \int_0^{t_{П.З.}} p(t) dt. \end{aligned} \quad (3)$$

Для оптимізації $t_{П.З.}$ будемо виходити з мінімуму конкретних сумарних витрат $C_{y\delta}$ на усунення несправності (аварійний ремонт) і профілактичне відновлення.

Позначимо через C_1 середню вартість усунення відмови; C_2 – середня вартість профілактичних замін. Ці показники пов'язані співвідношенням $C_1 > C_2$.

Тоді в проміжку між оновленнями середні загальні витрати дорівнюватимуть

$$S(t_{П.З.}) = C_1 \cdot q(t_{П.З.}) + C_2 \cdot p(t_{П.З.}), \quad (4)$$

де $q(t_{П.З.})$ – ймовірність виходу з ладу складової частини протягом наробітку $t_{П.З.}$.

Знайдемо сукупні витрати за одиницю продукції:

$$C_{уд} = \frac{S(t_{П.З.})}{M[T_{ОБМ}]} = \frac{C_1 \cdot q(t_{П.З.}) + C_2 \cdot p(t_{П.З.})}{\int_0^{t_{П.З.}} p(t) dt} \quad (5)$$

Розв'яжемо рівняння для розрахунку $t_{П.З.}^{OPT}$:

$$\frac{dC_{yD}}{dt_{П.3.}} = 0. \quad (6)$$

Після диференціації ми матимемо:

$$\int_0^{t_{П.3.}} p(t) dt \left[C_1 \frac{dt(t_{П.3.})}{dt_{П.3.}} + C_2 \frac{dp(t_{П.3.})}{dt_{П.3.}} \right] - [C_1 q(t_{П.3.}) + C_2 \cdot p(t_{П.3.})] \frac{d}{dt_{П.3.}} \left[\int_0^{t_{П.3.}} p(t) dt \right] = 0. \quad (7)$$

Врахуємо наступні співвідношення:

$$\frac{dq(t_{П.3.})}{dt_{П.3.}} = - \frac{dp(t_{П.3.})}{dt_{П.3.}} = f(t_{П.3.});$$

$$\frac{d}{dt_{П.3.}} \left[\int_0^{t_{П.3.}} p(t) dt \right] = p(t_{П.3.}) = 1 - q(t_{П.3.}).$$

Тоді замість (7) після перетворень отримаємо:

$$(c_1 - c_2) f(t_{П.3.}) \int_0^{t_{П.3.}} p(t) dt = p(t_{П.3.}) [(c_1 - c_2) q(t_{П.3.}) + c_2]. \quad (8)$$

Розділивши обидві частини (8) на $p(t_{П.3.}) (c_1 - c_2)$ і враховуючи, що коефіцієнт відмов $\lambda(t_{П.3.}) = f(t_{П.3.}) / p(t_{П.3.})$, в кінцевому підсумку отримує загальне розрахункове рівняння, математичну модель запобігання відмов

$$\lambda(t_{П.3.}) \int_0^{t_{П.3.}} p(t) dt - q(t_{П.3.}) = \frac{c_2}{c_1 - c_2} \quad (9)$$

Розглянемо способи визначення основної надійності в умовах експлуатації або при проведенні спеціальних випробувань.

Щоб знайти ймовірність безвідмовної роботи при напрацюванні Δt , скористаємося залежністю

$$p(t) = \frac{N_0 - n(\Delta t)}{N_0}, \quad (10)$$

де N_0 – загальна кількість тестованих об'єктів одного типу; $n(\Delta t)$ – кількість блоків, що вийшли з ладу.

Якщо при напрацюванні Δt жоден з об'єктів не відмовив, то для визначення $p(\Delta t)$ справедливо співвідношення

$$p(\Delta t) = 1 - \frac{1}{N_0 + 1}. \quad (11)$$

Ймовірність відмови є протилежністю ймовірності безвідмовної роботи

$$q(\Delta t) = 1 - p(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0}. \quad (12)$$

Графіки зміни функцій $p(t)$ і $q(t)$ для циклу експлуатації технічного об'єкта наведено на рис. 2.

Враховуючи залежності, частота відмов буде визначатися за залежністю

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (13)$$

де $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$; N_i і N_{i+1} – це відповідно кількість неремонтопридатних обсягів, які працювали належним чином на початку і кінці інтервалу напрацювання Δt .

Графік функції $\lambda(t)$ для циклу роботи однотипних об'єктів приведено на рис. 3.

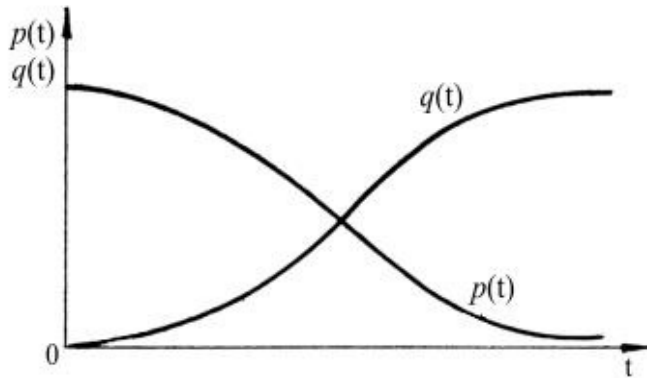


Рис. 2. Взаємне розташування графів $p(t)$ і $q(t)$



Рис. 3. Зміна інтенсивності відмов з плином часу

Висновки. Аналізуючи отримані залежності та математичні моделі, можна зробити висновки:

1. Якщо функція $\lambda(t_{П.З.})$ монотонно збільшується, то рівняння має одиничний і кінцевий розв'язок $t_{П.З.}^{OPT}$, це можливо тільки для нормального закону розподілу і закону розподілу Вейбула при $m > 1$.

2. Якщо $\lambda(t_{П.З.}) = const$, профілактичні заміни нерентабельні, тому що надійність залишається на постійному рівні, а оновлення завжди вимагає додаткових витрат. В цьому випадку оптимальною є заміна комплектуючої деталі після виходу з ладу.

3. Якщо функція $\lambda(t_{П.З.})$ знижується (закон розподілу Вейбула при $m > 1$), то профілактичні заміни тільки знижують безвідмовність.

1. Коновалюк О. В., Кіяшко В. М., Колісник М. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі : навч. посіб. К. : Аграрна освіта, 2013. 404 с.
2. Kotenko I., Saenko I., Ageev S. Hierarchical fuzzy situational networks for online decision-making: Application to telecommunication systems. *Knowledge-Based Systems*. 1 December 2019. № 185, 104935. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.104935>. (дата звернення: 10.07.2022).
3. Лудченко О. А., Лудченко Я. О., Чередник В. В. Управління якістю технічного обслуговування автомобілів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. ; за ред. О. А. Лудченка. К. : Ун-т «Україна», 2012. 327 с.
4. Голотюк М. В. Розвиток роботомеханічних систем в машинобудуванні. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Проблеми надійності машин*. Харків : ХНТУСГ, 2018. Вип. 192. С. 248–255.
5. Оптимізація рівня технічної готовності рухомого складу на основі витрат на сервісні обслуговування / О. І. Субочев, О. Є. Січко, М. Г. Погорєлов, Р. А. Горбань. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. К. : НТУ, 2020. Вип. 1(46). С. 313–323.
6. Андрусенко С. І., Бугайчук О. С. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. *Вісник НТУ. Сер. Технічні науки : наук.-техн. зб.* Вип. 1 (34). К. : НТУ, 2016. С. 12–20.
7. Гунько І. В., Музичук В. І., Служанюк М. О. Дослідження технічного сервісу машин в АПК. *Техніка, енергетика, транспорт АПК : всеукраїнський наук.-техн. журнал*. Вінниця, 2019. № 2(105) С. 43–51.
8. Lotko M. Measuring and assessment of the quality of motorcar maintenance and repair services with using the SERVQUAL model with regard to customer's profile. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2017. Vol. 77(3). P. 51–62. URL: <http://doi.org/10.14669/AM.VOL.77.ART4>. (дата звернення: 10.07.2022).
9. Труханська О. О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК : всеук-*

раїнський наук.-техн. журнал. Вінниця, 2018. № 3 (102). С. 53–62. **10.** Голо-
тюк М. В. Дослідження мехатронних систем в машинобудуванні. *Сільськогосподарські машини* : зб. наук. ст. Луцьк, 2017. Вип. 37. С. 31–37. **11.** Сухарев
Е. О. Теорія експлуатаційної надійності машин : навч. посіб. Рівне : РДТУ,
2000. 162 с. **12.** Ремонт машин та обладнання : підручник / О. І. Сідашенко
та ін. ; за ред. проф. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. К. : Агроосвіта, 2014.
665 с.

REFERENCES:

1. Konovaliuk O. V., Kiiashko V. M., Kolisnyk M. V. *Tekhnichniy servis v ahropromyslovomu kompleksi* : navch. posib. K. : Ahrarna osvita, 2013. 404 s.
2. Kotenko I., Saenko I., Ageev S. Hierarchical fuzzy situational networks for online decision-making: Application to telecommunication systems. *Knowledge-Based Systems*. 1 December 2019. № 185, 104935. URL: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.104935>. (data zvernennia: 10.07.2022).
3. Ludchenko O. A., Ludchenko Ya. O., Cherednyk V. V. *Upravlinnia yakistiu tekhnichnoho obsluhovuvannia avtomobiliv* : navch. posib. dlia stud. vyshch. navch. zakl. ; za red. O. A. Ludchenka. K. : Un-t «Ukraina», 2012. 327 s.
4. Holotyiuk M. V. Rozvytok robotomekhanichnykh system v mashynobuduvanni. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. Problemy nadiinosti mashyn*. Kharkiv : KhNTUSH, 2018. Vyp. 192. S. 248–255. **5.** Optyimizatsiia rivnia tekhnichnoi hotovnosti rukhomoho skladu na osnovi vytrat na servisni obsluhovuvannia / O. I. Subochev, O. Ye. Sichko, M. H. Pohorielov, R. A. Horban. *Visnyk Natsionalnoho transportnoho universytetu. Ser. Tekhnichni nauky*. K. : NTU, 2020. Vyp. 1(46). S. 313–323. **6.** Andrusenko S. I., Buhaichuk O. S. Orhanizatsiia tekhnichnoi ekspluatatsii avtomobiliv v Ukraini za suchasnykh umov. *Visnyk NTU. Ser. Tekhnichni nauky* : nauk.-tekhn. zb. Vyp. 1 (34). K. : NTU, 2016. S. 12–20. **7.** Hunko I. V., Muzychuk V. I., Sluzhaniuk M. O. Doslidzhennia tekhnichnoho servisu mashyn v APK. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK* : vseukrainskyi nauk.-tekhn. zhurnal. Vinnytsia, 2019. № 2(105) S. 43–51. **8.** Lotko M. Measuring and assessment of the quality of motorcar maintenance and repair services with using the SERVQUAL model with regard to customer's profile. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2017. Vol. 77(3). P. 51–62. URL: <http://doi.org/10.14669/AM.VOL.77.ART4>. (data zvernennia: 10.07.2022). **9.** Trukhanska O. O. Pidvyshchennia yakosti remontu i tekhnichnoho obsluhovuvannia silskohospodarskoi tekhniki. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK* : vseukrainskyi nauk.-tekhn. zhurnal. Vinnytsia, 2018. № 3 (102). S. 53–62. **10.** Holotyiuk M. V. Doslidzhennia mekhatronnykh system v mashynobuduvanni. *Silskohospodarski mashyny* : zb. nauk. st. Lutsk, 2017. Vyp. 37. S. 31–37. **11.** Sukhariev E. O. Teoriia ekspluatatsiinoi nadiinosti

mashyn : navch. posib. Rivne : RDTU, 2000. 162 s. **12.** Remont mashyn ta obladnannia : pidruchnyk / O. I. Sidashenko ta in. ; za red. prof. O. I. Sidashenka, O. A. Naumenka. K. : Ahroosvita, 2014. 665 s.

Holotiuk M. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Nalobina O. O., Doctor of Engineering, Professor, Bundza O. Z., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Tkhoruk Y. I., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Doroshchuk V. O., Senior Lecturer (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

IMPROVING THE EFFICIENCY OF MACHINE MAINTENANCE

The article presents the results of the analysis of currently existing forms of organization of technical maintenance of agricultural machinery operated by enterprises of the agro-industrial complex. It was considered the variants of modern methods of organizing the system of maintenance and repair based on the management of the technical condition of machines, taking into account the theory of their aging. These new views on the organization of maintenance of the machine-tractor park, based on the design features of modern technology, can significantly affect the efficiency of machine maintenance by reducing the time of work and reducing the list of technological operations. It has been developed and proposed the recommendations on the formation of a new, perspective organization of technical maintenance of agricultural machinery for implementation. It has also presented the theoretical foundations of operational reliability of machines, which are formed on the actual material of laboratory, bench and production tests of machines, on the results of long-term observations of their operation in real conditions. Based on the research results, it was established that two strategies are currently used in the ongoing repair of machine components: without the use of technical diagnostics and on the basis of technical diagnostics. Depending on the restoration conditions, the first strategy has two varieties: preventive restoration, in which timely submission of component replacement is carried out after the planned disassembly; replacement of components as necessary after their failure. In the case of the second

strategy, preventive maintenance is carried out in the presence of regular technical diagnostics, which allows for more complete use of the resource of replaced components and to increase the frequency of their replacements. Such a strategy is appropriate only with optimal economic indicators, otherwise one should proceed to the first strategy of ongoing repair.

***Keywords:* maintenance; machine repair; machine operational reliability; reliability; resource.**
