

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

КАЛІНІЧЕНКО ДМИТРО ЮРІЙОВИЧ

УДК 631.001.4

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ
І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва
(технічні науки)

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.

Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

Д. Ю. Калініченко

Науковий керівник

Роговський Іван Леонідович,

кандидат технічних наук, старший

науковий співробітник

Київ – 2020

АНОТАЦІЯ

Калініченко Д. Ю. Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата наук зі спеціальності 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» (технічні науки). Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2020.

Нагальні проблеми технічної науки з механізації сільськогосподарського виробництва, технічної готовності зернозбиральних комбайнів і виробничої аграрної діяльності в цілому наполегливо окреслюють наукову проблему розробки системного підходу до дослідження довільних явищ і процесів втрати працездатності комбайна. Цілковито природно, що до проблеми оцінки параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів також необхідно застосувати системний підхід.

Складність сучасних високопродуктивних зернозбиральних комбайнів, а також процесів, які в них відбуваються, складність взаємодії елементів один з другим і з навколишнім середовищем, нестабільність властивостей конструкційних матеріалів, значна кількість випадкових факторів, здійснюють вплив на рівень технічної готовності, та не дозволяє розробити єдину методику її визначення і прогнозування. Технічний контроль по фактичному технічному стану зернозбиральних комбайнів дозволяє істотно знизити втрати від недовикористання ресурсу деталей, вузлів і агрегатів комбайнів, що сприяє підвищенню ефективності використання їх в процесі збирання врожаю сільськогосподарських культур.

Серед факторів, що впливають на постановку коректного діагнозу оператором техконтролю при технічному контролі агрегатів зернозбиральних комбайнів, виділяються як об'єктивні (робоча зміна, час доби), так і суб'єктивні (робочий розряд, вік).

Наявність помилок розпізнавання не тільки при визначенні технічного стану направлених в ремонт агрегатів зернозбиральних комбайнів, але і в процесі розподілу дефектних агрегатів по конкретним технологічним маршрутам призводить до появи виробничих втрат на виконання зайвих ремонтних робіт і

витрат на усунення пропущених дефектів, що не дозволяє в повній мірі реалізувати переваги технічного контролю зернозбиральних комбайнів, а в деяких випадках призводить до повної відмови від нього на користь ремонту.

Існуючі на даний момент форми і методи організації відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів не дозволяють повноцінно використовувати переваги даного виду ремонту, тому що для достовірного розподілу агрегатів по ремонтах необхідна акумуляція великих обсягів статистичних даних. Суттєвого зниження впливу людського фактора на результат постановки діагнозу про наявність (або відсутність) дефектів і розподілу агрегатів за технологічними маршрутами технічного контролю сприяє використання штучних когнітивних систем в задачах відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів.

Однак, головні проблеми забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів можна об'єднати в чотири основні групи:

1. Відмови деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, які зменшують ефективність їх експлуатації.

2. Необхідність в значних запасах ресурсу деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів.

3. Недостатня ремонтпридатність деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на технічний контроль.

4. Значна трудомісткість і фінансова ресурсність для відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, що ускладнює отримання інвестицій.

Обґрунтування рішень за цими групами дозволить забезпечити ноу-хау створюваних режимів технічного контролю, що в значній мірі визначає конкурентоспроможність підтримання працездатності зернозбиральних комбайнів. Центральним місцем в рішенні вказаної проблеми займають питання розробки методів і методики, які дозволяють діджиталізувати складний і важко формульований процес побудови математичних моделей технічної готовності зернозбиральних комбайнів на всіх етапах життєвого циклу, і зокрема, експлуатації.

В існуючому технічному контролі комбайнів відсутній взаємозв'язок операцій, що викликає їх нераціональну послідовність, нерівномірну завантаженість виконавців і, як наслідок, значну тривалість процесу. Існуючі критерії оцінки технологічності не враховують динаміки протікання технологічного процесу технічного контролю, не дозволяє порівнювати між собою технології і визначати шляхи їх удосконалення.

Застосовані методи оцінки ефективності системи технічного контролю недостатньо повно оцінюють процес як об'єкт дослідження. Не враховуються взаємозв'язки компонентів і їх вплив на показники ефективності.

Різноманіття показників ремонтпридатності і контролепридатності комбайнів ускладнюють оцінку і порівняння їх конструкцій. Застосовані методи оцінки засновані на використанні статистичних матеріалів, що викликає тривалі терміни доведення і дослідження машин. Відсутня прийнята методика швидкісної оцінки показників ефективності технічного контролю на основі конструктивних факторів комбайна.

Робоча наукова гіпотеза – підвищити ефективність експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств можливо за раціонального застосування комплексу інженерних заходів з технічного контролю параметрів технічного стану вузлів і агрегатів комбайну.

Ціллю дисертаційного дослідження є зменшення витрат на забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну.

Вибір штучної нейронної мережі як математичного апарату для вирішення завдання зниження помилок розпізнавання дефектів агрегатів і їх розподілу за технологічними маршрутами технічного контролю обґрунтований здатністю даного математичного апарату до навчання, аналізу і запам'ятовування результатів, а також високою адаптацією під рішення поставленого завдання.

Запропонований метод і результат визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих параметрах інтенсивностей відмов, трудомісткістю технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль дозволяє мінімізувати значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min}

забезпечення технічної готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом. Так при заданих $\lambda = 10^{-5}$ год⁻¹, $\tau_{tk} = 10$ год, $Z/A = 10$, з врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина мінімальної сукупної оптимізаційної функції $S_{min} = 0,0613$ і оптимальна періодичність технічного контролю $t_{tk}^{opt} = 30,66$ год.

Умовою застосування алгоритму зворотного поширення помилки при навчанні штучної нейронної мережі є те, що обрана функція активації повинна бути диференційована, тому використовується сигмоїдальна активаційна функція, яка диференційована по всій осі абсцис.

Технологічні процеси технічного контролю зернозбиральних комбайнів описуються ступінчатою функцією технологічності, яка з достатньою точністю апроксимується прямою лінією, що проходить через початок координат. Параметр цієї функції характеризує технологічність процесу технічного контролю. Запропоновані операційні технології технічного контролю, які розроблені із врахуванням упорядкування робіт між виконавцями і взаємоузгодження їх з режимом технічного контролю, місця контролю підвищили технологічність процесу технічного контролю при ТК-1 – в 1,51; ТК-2 – в 1,18, ТК-3 – в 1,53 рази. При цьому тривалість технічного контролю скорочується відповідно в 1,42; 1,36; 2,3 рази.

9. Трудомісткість технічного контролю зернозбиральних комбайнів складає 24...48% від нормованої оперативної трудомісткості технічного контролю цих комбайнів. Біля 20% параметрів технічного стану по кожному виду технічного контролю мають трудомісткість: за ТК-3 – більше 45 люд.-хв., за ТК-2 – більше 12 люд.-хв., за ТК-1 – більше 9 люд.-хв. Найбільший об'єм робіт, припадає на двигун, що складає в середньому 54,3%. Частки інших систем складають в середньому: електрообладнання – 8,1%, трансмісії – 7%, гальма і пневмосистеми – 3,9%, механізмів керування – 3,1%, гідросистеми навісного пристрою – 2,1%. В сумарній цикловій трудомісткості технічного контролю 43...53% займають допоміжні роботи. Трудонапруженість процесів технічного контролю є нерівномірною як для видів технічного контролю так і для окремих параметрів технічного стану. Приватні показники трудонапруженості дозволяють виявити «вузькі місця» процесів технічного контролю.

Показники взаємоприспосованості і технологічності компонентів системи «людина-прилад-машина» свідчить про правильність комплексного підходу і необхідності удосконалення усіх компонентів системи технічного контролю. При ТК-1 і ТК-2 методи і засоби технічного контролю вже достатньо відпрацьовані і вдосконаленню підлягають конструкції комбайнів (0,58...0,74, 0,53...0,66), а при ТК-3 – необхідно вдосконалювати методи і засоби технічного контролю (0,48...0,58).

Низька технологічність процесів технічного контролю викликана нерациональною послідовністю виконання робіт виконавцями. При ТК-3 найбільша інтенсивність робіт припадає на комбайнера, яка, однак, складає біля 0,5, що свідчить про використання його можливостей тільки на половину. В операційних технологіях ТК-3 інтенсивність робіт піднялась в середньому: комбайнера – в 1,5, слюсаря – 2,2, майстра – в 2,3 рази і в межах 0,74...0,78. Технологічність робіт, що залежать від компонентів системи технічного контролю при застосуванні операційних технологій підвищилась в середньому по ТК-1: комбайна – на 53%, засобів технічного контролю на 44%, виконавців на 16% (зменшилась), по ТК-2: комбайна – на 14%, засобів технічного контролю – на 22%, виконавців – 35%, по ТК-3: комбайна – на 56%, засобів технічного контролю – на 42%, виконавців – в 2,1 рази.

Ключові слова: зернозбиральний комбайн, відновлення, працездатність, технічний контроль, технічний стан, система.

ANNOTATION

Kalinichenko D. Yu. Justification the technical control and technical parameters of conditions of combine harvesters. – Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.05.11 Machines and Means of Mechanization of Agricultural Production (technical sciences). National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2020.

Urgent problems of technical science on mechanization of agricultural production, technical readiness of combine harvesters and agricultural production in general persistently outline the scientific problem of developing a systematic approach

to the study of arbitrary phenomena and processes of loss of efficiency of the combine. It is quite natural that a systematic approach is also needed to the problem of estimating the parameters of the technical condition of combine harvesters.

The complexity of modern high-performance combine harvesters, as well as the processes that take place in them, the complexity of the interaction of elements with each other and the environment, the instability of the properties of structural materials, a large number of random factors affect the level of technical readiness. definition and forecasting. Technical control over the actual technical condition of combine harvesters can significantly reduce losses from underutilization of parts, components and units of combines, which increases the efficiency of their use in the process of harvesting crops.

Among the factors influencing the correct diagnosis by the technical control operator in the technical control of combine harvester units, there are both objective (work shift, time of day) and subjective (working category, age, etc.).

The presence of recognition errors not only in determining the technical condition of the repaired units of combine harvesters, but also in the distribution of defective units on specific technological routes leads to production losses for unnecessary repairs and costs to eliminate missed defects, which does not allow to fully implement advantages of technical control of combine harvesters, and in some cases leads to a complete abandonment of it in favor of repair.

Existing forms and methods of organizing the restoration of combine harvesters do not allow to take full advantage of this type of repair, because for the reliable distribution of units for repairs requires the accumulation of large amounts of statistics. The use of artificial cognitive systems in the tasks of restoring the efficiency of combine harvesters contributes to a significant reduction in the influence of the human factor on the result of diagnosing the presence (or absence) of defects and the distribution of units along the technological routes of technical control.

However, the main problems of ensuring the technical readiness of combine harvesters can be grouped into four main groups:

1. Failures of parts, assemblies, mechanisms and units of combine harvesters, which reduce the efficiency of their operation.
2. The need for significant reserves of resources of parts, assemblies, mechanisms and units of combine harvesters.

3. Insufficient maintainability of parts, assemblies, mechanisms and units of combine harvesters, which leads to an increase in operating costs for technical control.

4. Significant complexity and financial resources to restore the efficiency of combine harvesters, which complicates the receipt of investment.

Substantiation of decisions on these groups will allow to provide know-how of the created modes of technical control that to a large extent defines competitiveness of maintenance of working capacity of combine harvesters. Central to solving this problem are the development of methods and techniques that allow digitize the complex and difficult to formulate the process of building mathematical models of technical readiness of combine harvesters at all stages of the life cycle, and in particular, operation.

In the existing technical control of combines there is no interconnection of operations that causes their irrational sequence, uneven loading of executors and, as a result, considerable duration of process. Existing criteria for assessing manufacturability do not take into account the dynamics of the technological process of technical control, does not allow to compare technologies and identify ways to improve them.

The methods used to assess the effectiveness of the technical control system do not fully assess the process as an object of study. The relationships of components and their impact on performance are not taken into account.

The variety of indicators of maintainability and controllability of combines complicate the assessment and comparison of their designs. The applied estimation methods are based on the use of statistical materials, which causes long terms of proof and research of machines. There is no accepted method of rapid assessment of technical control efficiency indicators based on the design factors of the combine.

Working scientific hypothesis to increase the efficiency of operation of combine harvesters in the conditions of agricultural enterprises is possible with the rational application of a set of engineering measures for technical control of the parameters of the technical condition of components and units of the combine.

The purpose of the dissertation research is to reduce the costs of ensuring the technical readiness of combine harvesters in the conditions of agricultural enterprises by substantiating the modes of technical control and functional and structural parameters of the technical condition of the combine.

The choice of an artificial neural network as a mathematical apparatus to solve the problem of reducing errors in recognizing defects of units and their distribution by technological routes of technical control is justified by the ability of this mathematical apparatus to learn, analyze and memorize results, as well as high adaptation to the problem.

The proposed method and the result of determining the optimal periodicity of technical control of combine harvesters at given parameters of failure intensities, complexity of technical control and ratio of losses (costs) in case of failure to costs of technical control allows to minimize the value of total optimization function S_{\min} . process. So for a given $\lambda = 10^{-5} \text{ h}^{-1}$, $\tau_{\text{tk}} = 10 \text{ h}$, $Z/A = 10$, taking into account the final probabilities of states, the value of the minimum total optimization function $S_{\min} = 0.0613$ and the optimal frequency of technical control $t_{\text{tk opt}} = 30.66$ hours.

The condition for using the algorithm of inverse error propagation in the training of an artificial neural network is that the selected activation function must be differentiated, so the sigmoidal activation function is used, which is differentiated along the entire abscissa axis.

Technological processes of technical control of combine harvesters are described by a step function of manufacturability, which is approximated with sufficient accuracy by a straight line passing through the origin. The parameter of this function characterizes the manufacturability of the technical control process. The proposed operational technologies of technical control, which are developed taking into account the streamlining of work between performers and their coordination with the regime of technical control, control sites have increased the manufacturability of the process of technical control at TC-1 – in 1.51; TC-2 – 1.18 times, TC-3 – 1.53 times. The duration of technical control is reduced by 1.42, respectively; 1.36; 2.3 times.

The complexity of technical control of combine harvesters is 24...48% of the standardized operational complexity of technical control of these combines. About 20% of the parameters of the technical condition for each type of technical control are time consuming: for TC-3 – more than 45 man-minutes, for TC-2 – more than 12 man-minutes, for TC-1 – more than 9 people min. The largest amount of work is on the engine, which averages 54.3%. The shares of other systems are on average: electrical equipment – 8.1%, transmissions – 7%, brakes and pneumatic systems – 3.9%, controls

– 3.1%, hydraulic systems of the attachment – 2.1%. In the total cyclic complexity of technical control 43...53% are ancillary work. The intensity of technical control processes is uneven for both types of technical control and for certain parameters of the technical condition. Private indicators of labor intensity allow to reveal "bottlenecks" of processes of technical control.

Indicators of adaptability and manufacturability of the components of the system "man-device-machine" indicates the correctness of an integrated approach and the need to improve all components of the technical control system at TC-1 and TC-2 methods and means of technical control are already sufficiently worked out and designs of combines (0.58...0.74, 0.53...0.66) are subject to improvement, and at TC-3 – it is necessary to improve methods and means technical control (0.48...0.58).

Low manufacturability of technical control processes is caused by irrational sequence of works by executors. With TC-3, the greatest intensity of work falls on the combine, which, however, is about 0.5, which indicates the use of its capabilities only half. In TC-3 operating technologies, the intensity of work increased on average: a combine harvester – 1.5, a locksmith – 2.2, a master – 2.3 times and in the range of 0.74...0.78. Manufacturability of works that depend on the components of the technical control system in the application of operational technologies increased on average by TC-1: combine – by 53%, technical control by 44%, contractors by 16% (decreased), by TC-2: combine – by 14%, means of technical control – by 22%, performers – 35%, according to TC-3: combine – by 56%, means of technical control – by 42%, performers – 2.1 times.

Key words: combine harvester, restoration, performance, technical control, technical condition, system.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у науковому фаховому виданні України

1. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

**Статті у наукових фахових виданнях України,
включених до міжнародних наукометричних баз даних**

2. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

3. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

4. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного контролю зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 335–344.

5. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному обслуговуванні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 361–370.

6. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Загальні положення структурної схеми АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 296. С. 155–160. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.155-160.

7. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Рішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбирального комбайна на основі ШНМ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 297. С. 159–168. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.159-168.

8. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Моделювання циклів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Праці Таврійського державного

агротехнологічного університету. Мелітополь. 2018. Вип. 18. Том 2. С. 225–237. doi: 10.31388/2078-0877-18-2-224-236.

9. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Пристосованість зернозбиральних комбайнів до контролю параметрів технічного стану. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 298. С. 137–147. doi: 10.31548/me.2018.04.137-147.

10. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 5 (82). 18 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13314/11632>. doi:10.31548/dopovidi2019.05.015.

11. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні підходи забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів з врахуванням умов експлуатації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 25 (39). С. 106–112. doi:10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-11.

12. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Аналітичні моделі параметрів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 6 (83). 13 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13472/11693>. doi:10.31548/dopovidi2019.06.

Статті у наукових виданнях іншої держави

13. **Kalinichenko Dmytro,** Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

14. **Kalinichenko Dmytro,** Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93–102.

15. **Kalinichenko Dmytro**, Rogovskii Ivan. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

Патенти на корисну модель

16. Патент на корисну модель України №127430, МПК (2006) B60P 3/00. Мобільний засіб технічного контролю зернозбиральних комбайнів. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803380, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

17. Патент на корисну модель України №127433, МПК (2006.01) G01M 15/04. Спосіб оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згорання зернозбиральних комбайнів. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803388, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

18. Патент на корисну модель України №127434, МПК (2006) B60S 5/00. Спосіб визначення екологічної безпеки технічного контролю зернозбиральних комбайнів. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803389, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

Тези наукових доповідей

19. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Технічний засіб для перевірки прецизійних пар низького тиску паливних насосів сільськогосподарських машин. Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities”. Секція 5. Інженерія біосистем. Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 4–8 листопада 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 49–51.

20. **Калініченко Д. Ю.**, Роговський І. Л. Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливоподачі низького тиску сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIII всеукраїнська конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 11–15 березня 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 121–122.

21. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Вихідні дані при формуванні математичного апарату контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. V Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 05–06 червня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 46–47.

22. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 251–252.

23. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Працездатність нагнітальних клапанів паливної системи зернозбиральних комбайнів. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна, 1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. ЦНТУ. 2017. С. 134–136.

24. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Моделі технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць зернозбиральних комбайнів. Сучасні технології аграрного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 7–9 листопада 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 65–68.

25. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Обуховські читання: XIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6 березня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 72–74.

26. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Formalization of provisions of maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року: тези доповіді. Київ. 2018. С. 10–13.

27. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Огляд основних стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів і їх складових факторів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. IV Всеукраїнська науково-практична конференція. м. Житомир, Україна, 28–29 березня 2018 року: тези конференції. ЖАТК. 2018. С. 221–222.

28. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Постановка завдання класифікації ремонтного фонду зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів. Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–22 травня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 139–140.

29. **Калініченко Д. Ю.,** Роговський І. Л. Структурна схема АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. Т. 5. С. 216–217.

30. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Innovation of major systems and maintenance strategies combine harvesters. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. С. 69–71.

31. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Algorithm of construction of system of technical maintenance of combine harvesters by method of back propagation of error. Strategy of Quality in Industry and Education: XIV International conference, Varna, Bulgaria, July 4-7, 2018: proceedings. Varna. 2018. Vol. II. P. 289–294.

32. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Determining optimal period of technical maintenance of combine harvesters. Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and Auto Transport: International scientific symposium, Chisinau, Moldova, October 4-6, 2018: proceedings. Chisinau. 2018. P. 254–258.

33. **Kalinichenko D. Yu.,** Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 25–29 березня 2019 року. Київ. 2019. С. 147–149.

34. **Калініченко Д. Ю.** Сучасний стан зернозбирального парку України в контексті машиновикористання. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. VII Міжнародна наукова конференція в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019»: збірник тез. м. Київ, Україна, 04-07 червня 2019 року. Київ. 2019. С. 92.

ЗМІСТ

ВСТУП	19
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНОЮ ГОТОВНІСТЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	26
1.1. Особливості зернозбиральних комбайнів, як об'єкта технічного контролю	26
1.2. Методи аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів за параметрами технічного стану	33
1.3. Істотність властивостей параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному контролі	37
1.4. Ідентифікація параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж	41
1.5. Узгодженість режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж	48
Висновки до першого розділу	56
РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ	60
2.1. Аналітичні підходи визначення режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів	60
2.2. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів	64
2.3. Аналітичні моделі параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів	84
2.4. Аналітичні моделі параметрів технічної готовності зернозбиральних комбайнів	92
Висновки до другого розділу	96
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ	97

3.1. Програма досліджень з визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів	97
3.2. Методика розподілу агрегатів зернозбирального комбайна за технологічним маршрутом технічного контролю з розпізнаванням комбінацій параметрів технічного стану	98
3.3. Методика вибору застосовуваного математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів	101
3.4. Методика класифікації технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів	104
3.5. Методика нормування вихідних даних при навчанні математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів	105
3.6. Методика розподілу агрегатів зернозбирального комбайна в комплексах технічного контролю з урахуванням поєднань дефектів	111
3.7. Вибір засобів контролю та визначення технічного стану об'єкта дослідження	117
3.8. Методика математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей	123
Висновки до третього розділу	129
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ	130
4.1. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків параметрів для основних ресурсних груп силового енергетичного агрегату зернозбирального комбайна	130
4.2. Розподіл агрегатів зернозбиральних комбайнів за технічним контролем в залежності від їх фактичного технічного стану	139
4.3. Експериментальна перевірка моделі технологічності процесу технічного контролю зернозбиральних комбайнів	143

4.4. Складальні частини процесу технічного контролю зернозбирального комбайнів і їх трудонапруженість	152
4.5. Показники сезонного наробітку, наробітку на відмови, тривалості усунення відмов і коефіцієнта готовності зернозбиральних комбайнів за технологією технічного контролю	163
Висновки до четвертого розділу	166
РОЗДІЛ 5. ВИРОБНИЧЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ	169
5.1. Структурна схема автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбирального комбайна	169
5.2. Техніко-економічний ефект і рекомендації щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів	175
Висновки до п'ятого розділу	180
ВИСНОВКИ	182
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	187
ДОДАТКИ	215

ВСТУП

Актуальність теми. Швидкорозвиваючий зерновий експорт України [121] в теперішній час вимагає особливої уваги до питань забезпечення технічної готовності високопродуктивних зернозбиральних комбайнів. Так як ефективність експлуатації комбайна в першу чергу пов'язана з його використанням за призначенням, тому основна задача керування процесом заключається в підвищенні частки часу експлуатації при раціональних затратах на технічний контроль і усунення несправностей. Ця наукова проблема вирішується методами підвищення структурної надійності комбайнів, оптимальним вибором системи технічного контролю і норм витрат запасних частин. Тому для досягнення необхідного рівня технічної готовності комбайнів є актуальним розроблення наукових основ нормативно-технічного забезпечення інженерного менеджменту агропромислового комплексу з врахуванням ризиків відмов, аварій, технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, виробничих і природних умов збирання зернового збіжжя.

Технічна готовність комбайнів характеризується невизначеністю, випадковістю виникнення подій, результатом яких є збиток аграріїв від простоїв комбайнів під час жнив. Тому міра технічної готовності має включати міру можливості (ризик) настання не прийнятної події (частоту або ймовірність) і міру збитку при її настанні.

Технічний контроль параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів охоплює три основні напрями: превентивність або зменшення рівня зовнішніх впливів на комбайн; запобігання не нормативних дій і застосування інженерних заходів протягом життєвого циклу комбайна; нормативний прогноз технічного стану комбайна в реальних виробничих умовах і при відмовах чи аваріях.

Однією з фундаментальних прикладних задач технічного контролю параметрів технічного стану комбайна є оптимізація рівня технічної готовності через комплекс моделей відмов та регламентованих дій із використанням фізико-математичних методів оцінки їх наслідків. Це в кінцевому слугує основою для аналізу і прогнозування динаміки системи, створюючи можливість для

прийняття обґрунтованих практичних рішень. Для цього застосовується основний метод системного аналізу умов експлуатації і синтез конструкції зернозбиральних комбайнів з результатуючою побудовою моделей, які відтворюють взаємозв'язки між реальними подіями, що відбуваються в технічних системах. Побудова таких взаємозв'язків для зернозбиральних комбайнів практично завжди ускладнюється тим, що вони не є чіткими функціональними залежностями. По-перше, складно виявити всі основні фактори, що впливають на дані події. По-друге, більшість таких залежностей є випадковими, тобто проявляються статистично. По-третє, набір статистичних спостережень завжди обмежений і до того ж містить різного роду похибки.

На теперішній час методи керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в основному направлені на зменшення ймовірності виникнення відмов. В останній час широко застосовується лише механізми економічного регулювання доцільного рівня забезпечення технічної готовності комбайна, існує ряд методик аналізу безвідмовності зернозбиральних комбайнів через постачання запасних частин в циклі агропромислової діяльності.

Однак механізми керування за технічного регулювання рівня технічної готовності зернозбиральних комбайнів все ще далекі від досконалості. На теперішній час практично відсутні не тільки науково обґрунтовані режими технічного контролю забезпечення і підтримання прийнятного рівня технічної готовності, але й загальноприйняті нормативно закріплені кількісні показники технічного стану зернозбиральних комбайнів і критерії її оцінки.

Дослідження процесів, які призводять до виникнення відмов або аварій зернозбиральних комбайнів, розробка і запровадження інженерних заходів із запобігання та усунення наслідків можливі тільки при наявності науково-обґрунтованих даних, технічного контролю і прогнозу технічного стану та динаміки зміни параметрів технічної системи.

Для забезпечення заданого рівня керування технічною готовністю і параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів необхідна виважена технічна експлуатація і оптимальна система технічного контролю, яка представляє собою комплекс нормативів і норм, які визначають організацію і зміст технологічних операцій з технічного обслуговування протягом всього терміну експлуатації.

Перехід від концепції абсолютної технічної готовності зернозбиральних комбайнів до концепції нормативів визначення виникнення принципово нових підходів до інженерного менеджменту, який полягає в тому, що фінансові і трудові ресурси витрачаються за дотримання нормативів забезпечення безпеки людини і навколишнього середовища. Тому актуальним є обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів направлених на забезпечення їх надійності, оцінку ризику відмов і прогнозування можливих збитків при оптимальному співвідношенні між рівнем технічної готовності і рівнем затрат та витрат ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є частиною науково-дослідних робіт кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту імені М. П. Момотенка Національного університету біоресурсів і природокористування України: 126/6 «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно-технологічного забезпечення і технічного обслуговування» (номер державної реєстрації 0113U007633, роки виконання 2013-2019, ініціативна тема); 110/495-пр «Обґрунтувати параметри і режими функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки» (номер державної реєстрації 0115U003464, роки виконання 2015-2016, держбюджетна тема); 110/9-пр-2020 «Обґрунтування методів підвищення виробництва зерна в сільськогосподарських підприємствах інтенсифікацією інженерного менеджменту» (номер державної реєстрації 0120U102086, роки виконання 2020-теперішній час, держбюджетна тема).

Мета та завдання досліджень. Мета дослідження – зменшити витрати на забезпечення технічної готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну.

Завдання досліджень: 1. Здійснити аналіз основних механізмів і методів керування технічною готовністю зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації. 2. Виконати аналітичне визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. 3. Розробити програму і методики визначення режимів технічного контролю і параметрів

технічного стану зернозбиральних комбайнів. 4. Провести експериментальне дослідження застосування математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів у виробничих умовах. 5. Виконати виробниче застосування результатів досліджень при організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів та визначити економічний ефект.

Об'єкт дослідження – процеси технічного контролю і вимірювання параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації та за усуненням наслідків відмов.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей зміни параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесах експлуатації та відновлення працездатності, взаємозв'язок параметрів процесу використання і відновлення працездатності комбайнів.

Методи дослідження. При виконанні аналітичних і експериментальних досліджень застосовувались методи аналізу параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, режимів технічного контролю, методи оцінки показників надійності, елементи теорії ймовірності, математичної статистики, теорії графів.

Наукова новизна одержаних результатів. 1. Вперше отримано аналітичні моделі марковського процесу за перетворенням Лапласа зі встановлення прикладної залежності нерезервованого параметра технічного стану ймовірності стану технічної готовності зернозбирального комбайна при різних поєднаннях заданих значень періодичності і трудомісткості технічного контролю параметрів технічного стану та інтенсивності відмов комбайну для неусталеного (2.26), (2.27), (2.28) і усталеного (2.30), (2.31), (2.32) режимів експлуатації. 2. Удосконалено аналітичні моделі (2.37) і (2.38) визначення періодичності технічного контролю параметрів технічного стану зернозбирального комбайна в залежності від терміну експлуатації, параметрів інтенсивностей відмов, трудомісткості технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль. 3. Вперше отримано аналітичну модель (2.66), яка враховує зміну інтенсивності відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному

з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролі. 4. Дістало подальший розвиток і виявлено, що показники відмов і сезонного наробітку зернозбиральних комбайнів не суперечать диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 4.27), (рис. 4.29), а трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів не суперечить диференціальній функції теоретичного закону гамма-розподілу (рис. 4.28), при цьому коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону нормального розподілу (рис. 4.30). Достовірність одержаних результатів підтверджується оцінкою результатів застосування для реальних виробничих умов, узгодженістю теоретичних та експериментальних даних.

Практичне значення одержаних результатів підтверджено актом (додаток Б) впровадження з рекомендацією застосування на підприємствах агропромислового комплексу (Департамент землеробства та технічної політики в агропромисловому комплексі Міністерства аграрної політики та продовольства України, акт від 30.01.2018 р.). Розроблено методику визначення оцінки повного і залишкового ресурсу зернозбирального комбайна для довільного значення поточної наробітку, проведення «ризик – аналіз» при технічному контролі, оптимізування режимів технічного контролю для підтримання технічної готовності комбайна на нормативному рівні. Обґрунтовано класифікацію систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Розроблено програмний продукт Data TechControl та рекомендації аграрному виробництву щодо технічного контролю зернозбиральних комбайнів.

Особистий внесок здобувача. Результати наукових положень, аналітичні викладки, теоретичні та експериментальні дослідження, що виконані за темою дисертаційної роботи, отримано здобувачем особисто. Спільні публікації виконані тільки з науковим керівником і в дисертації здобувачем використано лише авторську частину результатів теоретичних та експериментальних досліджень, і технічних рішень, що захищені патентами на корисну модель.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень в повній мірі оприлюднено і апробовано на секційних засіданнях таких наукових заходів як: Міжнародний науковий симпозіум «Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and AutoTransport» (Молдова, Кишинев–2018);

XIV Міжнародна конференція «Strategy of Quality in Industry and Education» (Болгарія, Варна–2018); VI Міжнародна наукова конференція «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» (Україна, Київ–2018); Міжнародна науково-практична конференція «Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя» (Україна, Київ–2018); XIV Міжнародна наукова конференція «Раціональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018» (Україна, Київ–2018); XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (Україна, Київ–2018); XIII Міжнародна науково-практична конференція «Обуховські читання» (Україна, Київ–2018); III Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології аграрного виробництва» (Україна, Київ–2017); XI Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (Україна, Кропивницький–2017); XVIII Міжнародна наукова конференція «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Україна, Кам'янець-Подільський–2017); XVIII Міжнародна наукова конференція «Науково-технічні засади розробки, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій» (Україна, Дослідницьке–2017); V Міжнародна наукова конференція «Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК» (Україна, Київ–2017); XV і XVI Міжнародні науково-технічні конференції «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2017», «Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. Motrol 2018» (Польща, Люблін–2017, 2018); XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління «Автоматика – 2017» (Україна, Київ–2017); Міжнародна наукова конференція “Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities” (Україна, Київ–2013); XIII, XVIII і XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів «Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування» (Україна, Київ–2013, 2018, 2019); IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (Україна, Житомир–2018). За результатами експонування і участі в конкурсі наукова

розробка «Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів» нагороджена «Золотою Медаллю» XXX Міжнародної агропромислової виставки «Агро-2018» (додаток В).

Публікації. Основні положення і результати дисертаційних досліджень опубліковано у 34 наукових працях, з яких 11 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття наукового фахового видання України, 3 статті у наукових виданнях іншої держави, 3 патенти України на корисну модель та 16 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Загальний обсяг дисертаційної роботи з 284 сторінок складають анотації на українській і англійській мовах, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел із 262 найменувань (119 англійською) і 7 додатків. Основний текст дисертаційної роботи викладений на 161 сторінці, містить 87 рисунків і 32 таблиці.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ МЕХАНІЗМІВ І МЕТОДІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНІЧНОЮ ГОТОВНІСТЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1.1. Особливості зернозбиральних комбайнів, як об'єкта технічного контролю

Аграріями України лише в період 2017-2020 років завезено понад 11032 зернозбиральних комбайнів (рис. 1), з них 52% нових і 48% вживаних [AgroPolit.com 07.12.2020]. Витрачено 1 млрд. 45 млн доларів США на придбання імпорتنих зернозбиральних комбайнів [Landlord.ua 07.12.2020]. Крім того ринок лізингу комбайнів зріс на 28% і склав майже 6 млрд грн [business.ua]. Серед них в першій трійці: New Holland, John Deere Claas [Український клуб аграрного бізнесу].

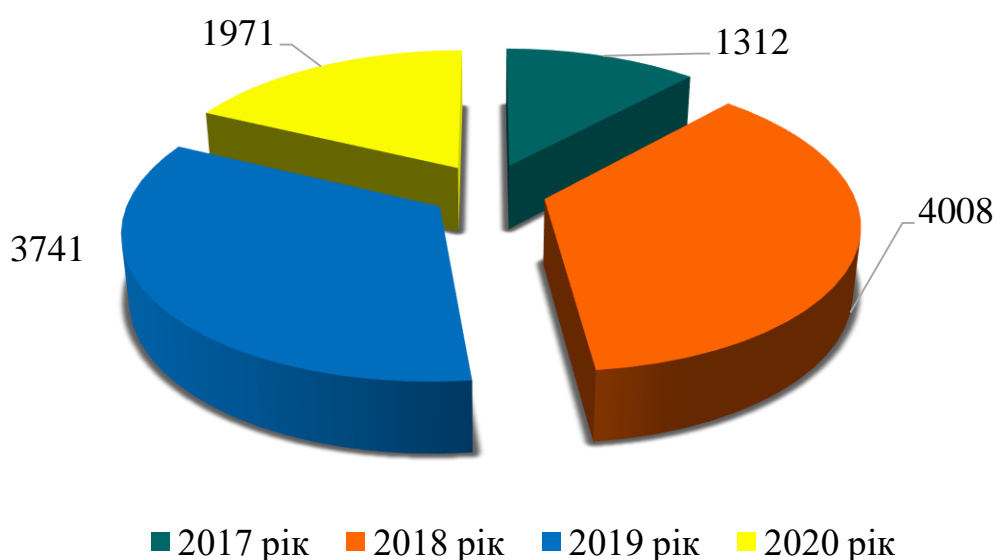


Рис. 1.1. Чотирирічна динаміка закупівлі аграріями України імпорتنих зернозбиральних комбайнів, одиниць

Зернозбиральні комбайни складаються з деталей різного розміру, які з часом зношуються і приходять в непридатність [99]. Їх поломка тягне за собою зупинку всього процесу збору врожаю сільськогосподарських культур, тому такі несправності необхідно не усувати якомога швидше, а не допускати [118].

Сільськогосподарська техніка під назвою зернозбиральний комбайн призначена для збору врожаю зернових культур [207]. Установка спеціальних пристосувань дозволяє використовувати її для збирання: соняшнику, кукурудзи, сої, ріпаку, гречки [199].

Процес збирання супроводжується виконанням таких технологічних процесів (рис. 1.2), як зрізання і підбір стебел, а також подача їх на обмолот. Тут відбувається вимолот і сепарація зерна, що надходить в бункер по транспортеру. Стебла подрібнюються і розкидаються на полі або в причіпне обладнання [216].

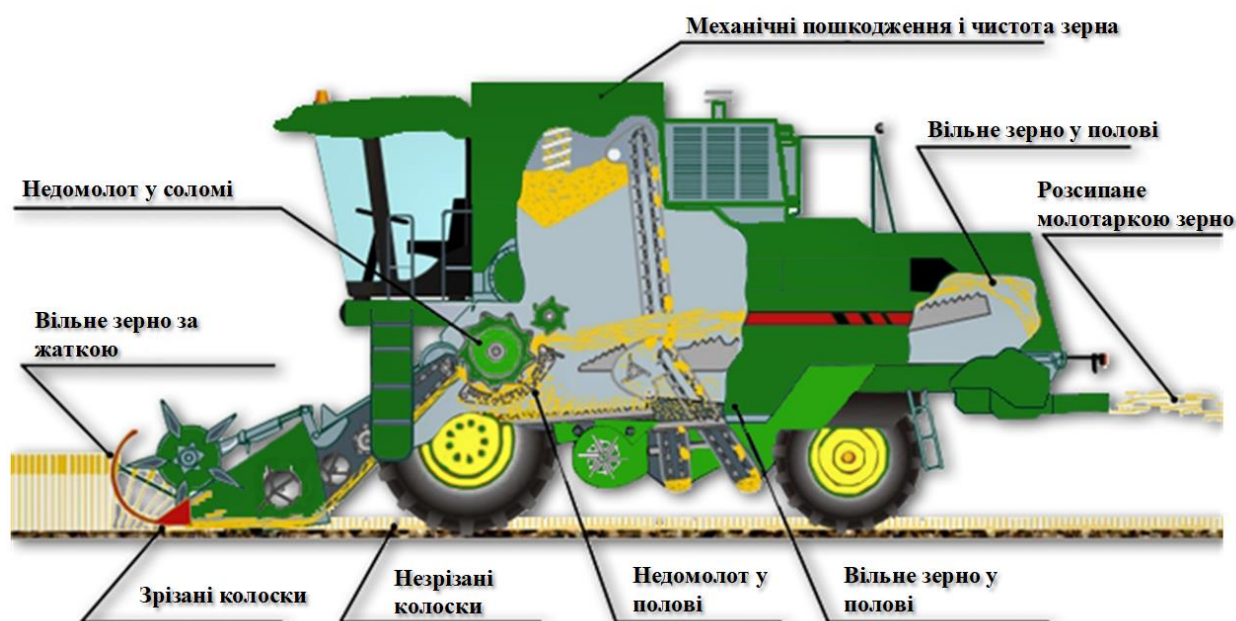


Рис. 1.2. Технологічність зернозбирального комбайна

Виконання всіх операцій відбувається за рахунок відповідних механізмів, що складаються з різних деталей і вузлів [8]. Якщо одна із запчастин на комбайні виходить з ладу, то це сприяє відмові роботи відповідного механізму [183]. Відновити його працездатність часто можливо тільки після заміни деталі, що вийшла з ладу [176].

Іноді виникають ситуації, коли несвоєчасне виявлення або усунення поломки може призвести до виникнення аварійної ситуації [50]. Нормальна і безвідмовна робота зернозбиральних комбайнів можлива тільки при ретельному і систематичному технічному контролі за нею [30].

Розглянемо результати власних досліджень за реальними умовами збирання зернового збіжжя сезону 2019 року на агропідприємстві Київської

області (табл. 1.1, табл. 1.2., рис. 1.3): площа під зернові 2012 га; середня врожайність 47 ц/га; середня довжина гону 1082 м.

Таблиця 1.1

Дані з безвідмовності і ремонтпридатності зернозбиральних комбайнів

Показники	Номер комбайна				
	1	2	3	4	5
Рік експлуатації	2	4	3	2	5
Ширина жнивarki, м	7	7	7	7	6
Намолот зерна (за бортовим ПК), т	1042,7	1532,4	1436,4	1412,1	925,9
Наробіток молотарки (за бортовим ПК), год	122	117	126	124	112
Основний час, год	112,8	107,6	122,3	123,1	106,3
Експлуатаційний час, год	182,6	182,5	182,7	182,4	182,6
Сума складових експлуатаційного часу, год	51,9	49,1	50,2	52,4	47,8
Тривалість усунення несправностей, год	17,2	24,3	12,3	11,8	26,1
Коефіцієнт готовності	0,923	0,812	0,911	0,932	0,806

Аналіз причин низької безвідмовності конкретних зернозбиральних комбайнів (табл. 1.1) є науковою задачею, за результатами якої реалізуються інженерні заходи технічного контролю із забезпечення ефективності збирання зернового збіжжя [173]. Велике навантаження сприймає молотильний механізм, що стає причиною виходу з ладу його складових частин (рис. 1.3). Прискорюється знос при попаданні металевих предметів всередину молотильного апарату. Залежно від конструктивних елементів зернозбирального обладнання, з ладу найчастіше виходять такі деталі: жнивarka – ножі і шків, муфти, транспортер і пальці; молотарка – зірочки, паси, муфти та вентилятори; подрібнювач – барабан і ножі.



Рис. 1.3. Математичне очікування трудомісткості усунення відмов III групи складності зернозбирального комбайна

Таблиця 1.2

Розподіл за групами складності відмов зернозбиральних комбайнів

Група складності відмов	Математичне очікування		
	кількості відмов на комбайн, од.	тривалості усунення відмов, год	сумарного часу на усунення відмов, год.
I	8,45	0,87	7,88
II	12,22	1,32	16,37
III	1,38	5,24	6,74

Найбільша кількість відмов I групи складності при наробітку на відмову 7,2 га приходить на жниварку і двигун, II групи – 13,9 га на жниварку, двигун, трансмісію, копнувач і очистку, III групи – 127,3 га на жниварку, двигун, трансмісію, молотарку.

Несправність зернозбирального механізму, двигуна, трансмісії або елементів керування сприяє припиненню робіт зі збору врожаю [122]. Кожна хвилина простою комбайнів це великі збитки для її власника [38]. Досвідчені комбайнери і механіки знають не тільки особливості ремонту зернозбиральних комбайнів [184], а й значимість якості технічного контролю [82].

Загальна ймовірність працездатності зернозбирального комбайна після його r -го контролю і регулювання визначається за відомою формулою 1.1:

$$P^{(r)} = \prod_{i=1}^{n_1} D_i^{(r)} \prod_{i=1}^{n_1} P_{\sigma i/i-1} \prod_{i=n_1+1}^n P_{\sigma i/i-1} \quad (1.1)$$

де $D_i^{(r)}$ – достовірність r -го контролю і регулювання i -го параметра технічного стану зернозбирального комбайна, $P_{\sigma i/i-1}$ – умовна ймовірність безвідмовної роботи по i -му контрольованому параметру, n – загальне число параметрів, які характеризують працездатність об'єкта, n_1 – число контрольованих параметрів.

У загальному випадку достовірність r -го контролю і регулювання i -го контрольованого параметра зернозбирального комбайна залежить від ймовірності невиявлених [20] і тих неправдивих відмов [210], які при налаштуванні переходять в невиявлені відмови [59]. Достовірність r -го контролю і регулювання i -го контрольованого параметра зернозбирального комбайна визначається за формулою 1.2:

$$D_i^{(r)} = 1 - P_{hi}^{(r)} - P_{f \rightarrow hi}^{(r)}, \quad (1.2)$$

де $P_{hi}^{(r)}$ – ймовірність існування невиявленої відмови, $P_{f \rightarrow hi}^{(r)}$ – ймовірність невиявлених і тих неправдивих відмов, які при налаштуванні переходять в невиявлені відмови.

В [60] також наголошується, що одним із шляхів підтримки необхідного рівня надійності зернозбирального комбайна в процесі їх експлуатації є контроль працездатності та пошук несправностей. Важливе значення має також контроль в процесі виробництва зернозбирального комбайна [249]. Незалежно від того, якими способами і засобами повинен проводитися технічний контроль, завжди важливо мати якомога менше витрат часу і апаратури контролю [17]. У зв'язку з цим має велике значення впровадження методів отримання мінімальних сукупностей впливів і контрольних параметрів [52], а також методів оптимізації програм перевірок [56, 72]. При цьому розглядається методика побудови оптимальних універсальних систем контролю на основі теорії статистичних рішень за класифікації систем технічного контролю (рис. 1.4). Структурно система контролю складається з формувача (перетворює простір станів у простір сигналів), класифікатора (що вказує по прийнятим сигналам приналежність стану до відповідного класу) і інформатора (видає повідомлення на основі прийнятих сигналів і вказівок класифікатора).

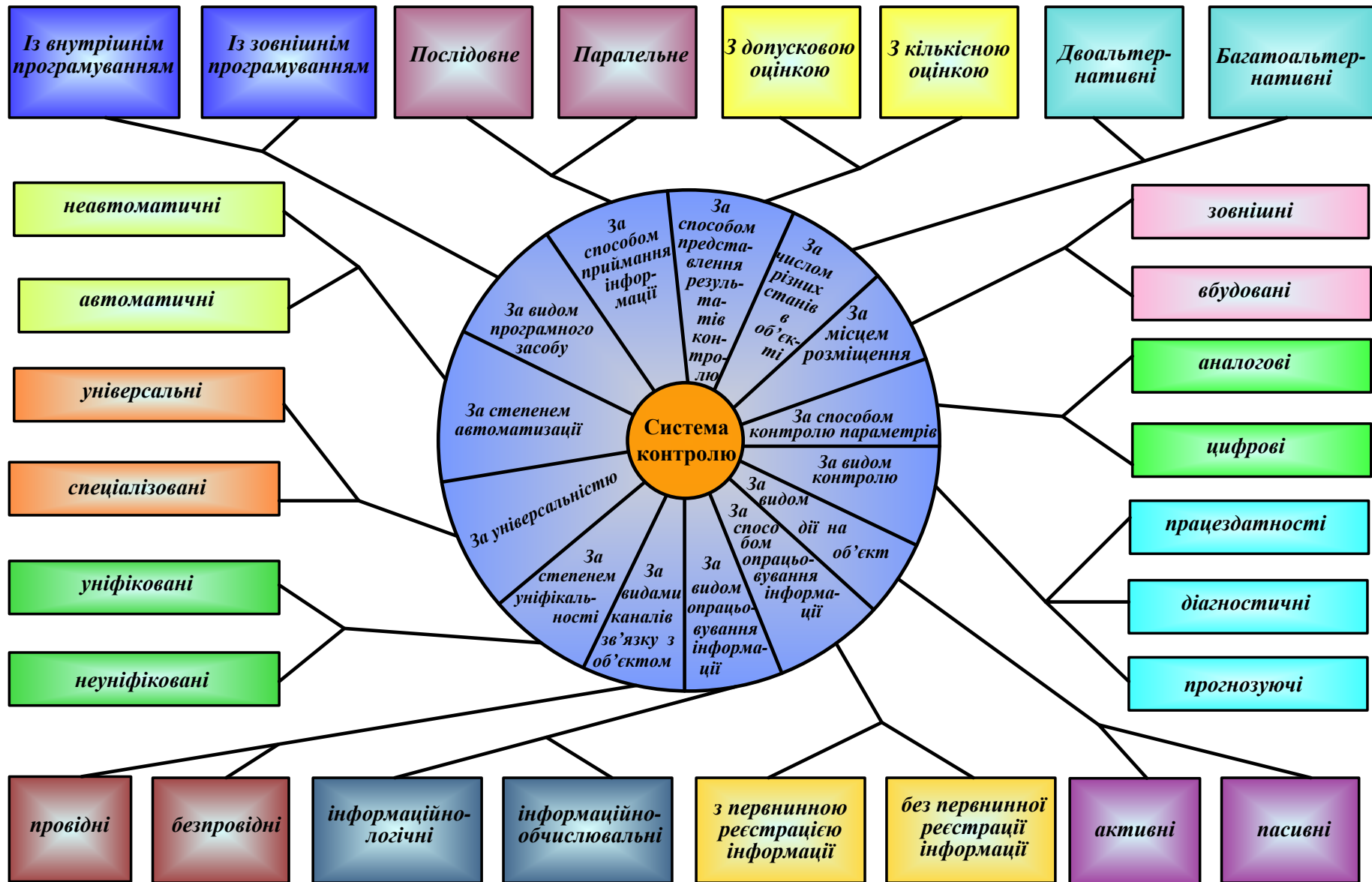


Рис. 1.4. Класифікація систем технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Згідно [28] з основними характеристиками якості розпізнавання є помилки розпізнавання і середні втрати. Там же наводяться статистичні критерії виявлення: мінімального ризику Байеса, ідеального спостерігача Зигерта-Котельникова, максимальної правдоподібності Фішера, мінімаксий, спостерігач Неймана-Пірсона, мінімальна тривалість експерименту Вальда; а також статистичні критерії розпізнавання: мінімального ризику надійності [171], продуктивності [186] і складність зернозбирального комбайна [40]. Сучасні зернозбиральні комбайни відрізняються високою складністю структурної організації [222], великою кількістю вхідних в їх склад елементів, здатністю виконувати одночасно цілий набір функцій [57].



Рис. 1.5. Класифікація методів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Для таких досить складних систем практично не існує загальноприйнятого поняття відмови, тому що відмови елементів призводять [166], як правило, до деякого погіршення якості функціонування, але не до повного порушення. Це може бути застосовано в надлишкових структурах з резервуванням [78]. Для оцінки [227] функціональних систем можна вводити показники надійності по кожній функції. Але більш доцільно взяти глобальний показник ефективності [187], наприклад, коефіцієнт збереження ефективності (коефіцієнт оперативної готовності). Класифікація методів і принципів функціонального технічного контролю зернозбиральних комбайнів показана на рис. 1.5. При контролі технічного стану зернозбиральних комбайнів в просторі параметрів [165, 211]

визначаються їх поточні значення коефіцієнтів передавальних функцій, тестування більш складних класів стикається зі значними труднощами [166]. З огляду на те, що реальні модулі містять велику кількість входів і внутрішніх станів, ясно, що практично неможливо реалізувати процедуру контролю на основі повного перебору за прийнятний час.

Перше завдання автоматизації процедур [140, 206] технічного контролю полягає в розробці оптимальних по тимчасовим співвідношенням (по довжині) тестів контролю, що включає в себе автоматизоване складання тестових впливів і очікуваних реакцій (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Організація процедури технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Друге завдання автоматизації процедур [41, 242] технічного контролю зернозбиральних комбайнів полягає в створенні автоматизованої системи контролю, що дозволяє задавати тестові впливи, фіксувати вихідні реакції, виробляти їх порівняння з очікуваними, приймати рішення про придатність і повідомляти оператору. Очікувані реакції можуть моделюватися або зніматися з еталонного модуля. Процедура пошуку дефекту складніше технічного контролю.

1.2. Методи аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів за параметрами технічного стану

Наукову основу аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів складає [18, 42, 61, 77, 102]:

- фізика, хімія і механіка відмов;

- математичне моделювання сценаріїв відмов і аварій;
- методи і принципи технічного контролю і моніторингу параметрів технічного стану;
- біомеханіка взаємодії оператора технічного стану і комбайнів в ситуаціях відмов;
- методи і принципи захисту персоналу комбайнів під час відновлення працездатності і навколишнього середовища;
- критерії нормативного обґрунтування і підвищення технічної готовності.

Фундаментальна проблема аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів [51, 141] зводиться до створення узагальнених моделей технічних систем забезпечення технічної готовності для аналізу виникнення і розвитку відмов. Ці моделі характеризуються багаторівневою структурою з глобальними, локальними і об'єктивними аспектами [58, 231].

Інформаційно-математичне забезпечення і системні математичні моделі [98], які розробляються з метою запобігання відмов і моніторингу параметрів технічного стану, прогнозів і оперативної ліквідації їх наслідків, орієнтовані на рішення задач побудови узагальнених математичних моделей складних технічних систем, якими є зернозбиральні комбайни, на різних стадіях виникнення відмов і динаміки зміни параметрів технічного стану [164, 228].

Важливішою особливістю відмов зернозбиральних комбайнів є неможливістю їх повного запобігання і забезпечення гарантованого сто відсоткового коефіцієнта готовності з нульовим ризиком [43, 251]. Всебічна оцінка ризику виникнення відмов базується на аналізі причин їх виникнення (відмов механізмів, вузлів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, помилок комбайнера або оператора технічного контролю, зовнішніх впливів) та умов розвитку [163], спричинення матеріальних збитків і шкідливого впливу на навколишнє природне середовище [237].

Узагальнена процедура аналізу технічної готовності зернозбиральних комбайнів складається із встановлення рішень наступних задач [31, 119, 258]:

- визначення досліджуваного зернозбирального комбайна, режимів і умов його експлуатації, функціональних зв'язків [194];

- визначення всіх вимог або цілей технічної готовності і працездатності зернозбирального комбайна [252], а також характеристик системи, режимів його експлуатації, умов навколишнього середовища і вимог технічного контролю;
- розподілення вимог або цілей технічної готовності за підсистемами на гарантійній стадії зернозбирального комбайна (за необхідності) [213];
- якісний і кількісний аналіз технічної готовності на основі методів надійності і відповідних даних ефективності експлуатації [193].

Існуючі методи рішення загальних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів узагальнені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

Методи рішення загальних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів

Метод	Розподіл вимог / цілі технічної готовності	Якісний аналіз	Кількісний аналіз
Прогнозування інтенсивності відмов	Діє в межах послідовних систем без резервування	Діє при аналізі стратегій технічного контролю	Визначення інтенсивності відмов для деталей і складальних одиниць
Аналіз дерева несправностей	Дієвий при поведінці відмов комбайнів в залежності від часу або послідовності подій	Аналіз комбінацій несправностей	Визначення показників безвідмовності і відносного впливу підсистем в системі
Аналіз дерева відмов	Дієвий з обмеженнями	Аналіз послідовності відмов	Визначення інтенсивності відмов комбайнів
Аналіз структурної схеми технічної готовності	Діє для комбайнів, у яких відмови можна виділити незалежні блоки	Аналіз шляхів відновлення працездатності	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна
Марковський аналіз	Дієвий для рішення задачі	Аналіз послідовності відмов	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна

Аналіз мережі Петрі	Дієвий для рішення задачі	Аналіз послідовності відмов	Підготовка показників безвідмовності для марковського аналізу
Аналіз FMA(C)A режимів і наслідків критичності відмов	Діє для комбайнів, у яких відмови мають одиничний характер	Аналіз впливу відмов	Визначення інтенсивності відмов і критичності показників
Аналіз HAZOP	Дієвий для рішення частини задачі	Аналіз причин і наслідків відхилень параметрів технічного стану	Визначення похибки зміни параметрів технічного стану
Аналіз людського фактора	Дієвий для рішення задачі	Аналіз впливу дій ефективності людини на технічну готовність	Визначення ймовірності помилок людини (комбайнер або оператор техконтролю)
Аналіз міцності деталей	Не дієвий для рішення задачі	Аналіз для запобігання несправностей	Визначення показників безвідмовності деталей
Таблиця дійсності (аналіз функціонально і структури)	Не дієвий для рішення задачі	Можливий	Визначення показників безвідмовності і коефіцієнта готовності комбайна
Статистичні методи технічної готовності	Дієвий з обмеженнями	Аналіз впливу несправностей	Визначення показників безвідмовності з невизначеністю

На теперішній час сформульовані наступні основні методи кількісної оцінки, аналізу і прогнозування параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів [39, 55, 229]:

- екстраполяційні – параметри технічного стану на визначеному відрізку часу визначається із заданою достовірністю за статистичними даними про основні реалізовані ситуації відмов на попередньому відрізку часу [193];

- ймовірнісні – базуються на дереві відмов або дереві подій з декомпозиції складної потенційно відмовної технічної системи, поетапним дослідженням

сценарієм відмов на базі статистичної інформації визначаються параметри технічного стану і ризиків відмов елементів комбайнів [208];

- математичне імітаційне моделювання – найбільш відмовних процесів всередині деталей, вузлів і агрегатів і комбайна в цілому, як складної технічної системи, які призводять до наростання пошкоджуючих факторів і виникнення відмов [241];

- логіко-ймовірнісні і нечітких множин – дозволяє вирішувати складні комбінації впливу на людино-машинні системи і їх реакції на ці впливи [230].

При виборі методів аналізу технічної готовності і параметрів технічного стану необхідно враховувати етап функціонування зернозбирального комбайну, а саме експлуатацію, цілі аналізу, критерії прийнятної похибки, тип аналізуемого відмовившого елемента, наявність ресурсів для проведення аналізу, досвід і кваліфікацію виконавців, наявність необхідної інформації [196, 253].

Практика показує, що застосування складних кількісних методів аналізу технічної готовності і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів частіше дає значення, точність якого не висока [95, 236].

В зв'язку з цим проведення повної кількісної оцінки більш ефективно для порівняння джерел виникнення відмов [96, 250] або різних заходів запобігання їх виникнення, ніж для створення висновку про ступінь технічної готовності комбайна [202]. Однак, кількісні методи аналізу завжди дієві, а в де-яких ситуаціях і єдиний можливий, для порівняння відмов комбайнів в різних умовах експлуатації або наслідків крупних аварій комбайнів [180, 257].

1.3. Істотність властивостей параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному контролі

Конструкції і технології виготовлення сучасних зернозбиральних комбайнів забезпечують можливість оперативної заміни вузлів, які відмовили [203]. Однак це не виключає виникнення в них відмов за зміною параметрів технічного стану [79, 255]. Ці обставини показують, що існує типовість відмов:

- відмова внаслідок зношування: відмова, ймовірність виникнення якої зростає з плином часу через накопичення пошкоджень, викликаних тертям в складових механічних елементах зернозбирального комбайна [245];

- відмова внаслідок старіння: відмова, ймовірність виникнення якої зростає через зовнішні збурюючі дії [212]; як і в попередніх поколіннях збиральної техніки, хоча і в меншій мірі, відмови внаслідок старіння обумовлені наступними основними причинами:

- висока температура та вологість у вузлах і агрегатах зернозбирального комбайна, призводять до розтріскування, порушення, корозії або електролізу;
- забруднення повітря (наприклад, пилом, солями, сірчистим газом), що є причиною корозії і порушень [137];
- удари і вібрації, ослаблюють жорсткість монтажу та викликають закорочування, термоудар (через включення і виключення) [220];
- зовнішні впливи при обслуговуванні і застосуванні [170].

Для оцінення параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів з типовим зносом використовується нормальний розподіл або розподіл Гауса. Він залежить від двох параметрів: математичного очікування часу роботи до відмови T_0 і середньоквадратичного відхилення напрацювання на відмову σ . Щільність нормального розподілу має дзвонеподібну форму, симетричну щодо середнього значення T_0 . Нормальна щільність розподілу відмінна від нуля при $t < 0$. Цей недолік несуттєвий, якщо $T_0 \gg \sigma$. При цій умови частиною кривої розподілу при $t < 0$ можна знехтувати. Якщо ця умова не виконується, то використання нормального розподілу призводить до погрішностей [100, 128]. Частину кривої розподілу при $t < 0$ відсікають. Отримують відсічений нормальний розподіл.

В якості моделі відмов зернозбиральних комбайнів через знос або старіння використовується розподіл Вейбулла-Гнеденко, а також розподіл Ерланга [53]. Слід зазначити, що при великому значенні числа r (вже при $r > 10$) розподіл Ерланга трансформується в нормальний розподіл. При цьому зберігається математична простота, притаманна операціями над розподілом Ерланга. В якості моделі випадкового часу до відновлення зернозбиральних комбайнів широко застосовується логарифмічно нормальний розподіл [116, 138].

У відповідності до [37, 127] всі відмови зернозбиральних комбайнів або будь-якого його технічного об'єкта поділяються на явні і приховані. Явна відмова – відмова, що виявляється візуально або штатними методами і засобами технічного контролю при підготовці об'єкту до застосування або в процесі його застосування за призначенням [94, 150]. Прихована відмова – відмова, що не

виявляється візуально чи штатними методами і засобами технічного контролю, але виявляється при проведенні технічного обслуговування або іншими пристроями за зовнішніми ознаками [133, 188]. Ці визначення зачіпають одну з центральних проблем надійності зернозбиральних комбайнів – проблему оперативності виявлення відмов [54, 136, 147]. Справа в тому, що будь-яка відмова зернозбиральних комбайнів – прихована [190]. Це впливає з того очевидного факту, що жодна відмова зернозбиральних комбайнів не може виявлятися миттєво [145]. Йдеться про тривалість виявлення [36, 125, 167]. Якщо в системах загального функціонування зернозбиральних комбайнів є можливість після виявлення факту відмови заново виконати передбачені завдання або частину з них, то в системах, що реалізують функціональність в реальному масштабі часу, така можливість відсутня, оскільки невиявлені своєчасно відмови призводить до невиконання завдань із забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів [124, 209, 234].

В реальних вузлах, механізмах, агрегатах в конструкції зернозбиральних комбайнів завжди є природний резерв часу, інакше – час перерви в роботі [6, 160]. Це пояснюється наступним. Зернозбиральні комбайни виконують передбачені завдання в реальному масштабі часу в жорсткі директивні агротерміни, які називаються циклами машиновикористання [135, 223].

Аналітична складова команди управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів дискретно змінюється по певній траєкторії [80]. При правильному виконанні функціональності процесу розрахункова траєкторія управління уточнюється з періодичністю, рівної тривалості циклу управління T_{Π} , а її відхилення Δ від істинних значень знаходяться в допустимих межах (рис. 1.7) залежність часу перерви в роботі від інерційності параметра технічного стану зернозбиральних комбайнів. Якщо протягом декількох циклів внаслідок відмов зернозбиральних комбайнів і викликаних ними або іншими причинами помилок в управлінні траєкторія не уточнюється [97, 244], то відхилення розрахункових значень від справжніх досягають граничного значення Δ_{Π} . Це означає, що природний резерв часу вичерпаний і зернозбиральний комбайн знаходиться на межі відмови, яка може наступити в черговому циклі управління, якщо не будуть змінені параметри технічного стану [126, 211].

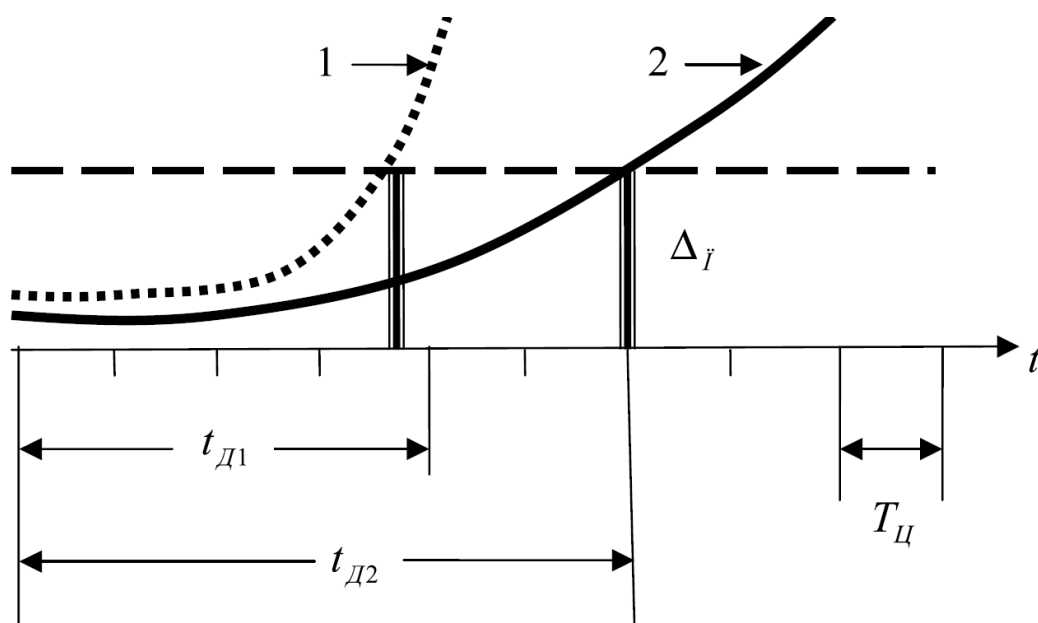


Рис. 1.7. Якісні характеристики залежності допустимого часу перерви в роботі t_D зернозбиральних комбайнів від інерційності управління параметрів технічного стану, гранично допустимого відхилення $\Delta_{\text{Д}}$ і тривалості циклу управління $T_{\text{Ц}}$

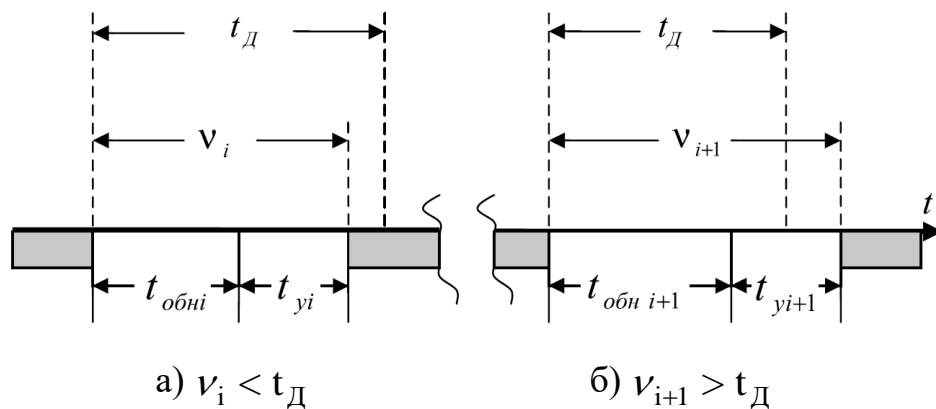


Рис. 1.8. Взаємозв'язок тривалості зміни параметра технічного стану зернозбиральних комбайнів з допустимим часом перерви в роботі

Перевищення граничної величини $\Delta_{\text{Д}}$ викликає зрив управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів. Час, протягом якого відхилення розрахункової траєкторії управління від істинної траєкторії досягає граничної величини, називають допустимим часом прориву у роботі t_D зернозбиральних комбайнів [151, 215]. Чим менше інерційний параметр технічного стану управління (траєкторія 1 на рис. 1.7), тим швидше настає

граничне відхилення і тим менше значення t_d і навпаки (траєкторія 2 на рис. 1.7). Це допустимий час зазвичай в кілька разів перевищує тривалість циклу управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів [191, 221].

Наявність природного резерву часу в системах управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів дозволяє регулювати рівень їх безвідмовності навіть при відсутності структурної надлишковості [181, 254]. Покажемо це, попередньо позначивши випадковий час існування i -ї прихованої відмови як ν_i , яка являє собою суму часу оновлення $t_{обн.i}$ і часу усунення t_{yi} відмови (рис. 1.8). якщо час ν_i менше або дорівнює допустимому часу t_d , то цією відмовою в розрахунках параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів можна знехтувати, оскільки система встигає своєчасно адаптуватися до даної відмови. У протилежному випадку $(i+1)$ -а відмова на рис. 1.8 буде зафіксована як відмова зернозбиральних комбайнів.

1.4. Ідентифікація параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж

Основним елементом ідентифікація параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж є штучний нейрон (рис. 1.9), який перетворює векторний вхід $x \in R$ у скалярний вихід $y \in R$. Кожен вхідний сигнал, $x_i, i = 1, \dots, n$ характеризується ваговим коефіцієнтом (вагою або синапсом), що представляє собою деяке число $\omega_i \in R$. Процес перетворення вхідного сигналу складається з двох етапів.

Етап 1. Обчислення рівня активації нейрона net за відомою формулою [15]:

$$net = \omega_0 + \sum_{i=1}^n \omega_i x_i, \quad (1.3)$$

де $\omega = [\omega_1 \dots \omega_n]^T \in R^n$ – вектор вагів; $x = [x_1 \dots x_n]^T \in R^n$ – вхідний вектор; ω_0 – зміщення нейрона.

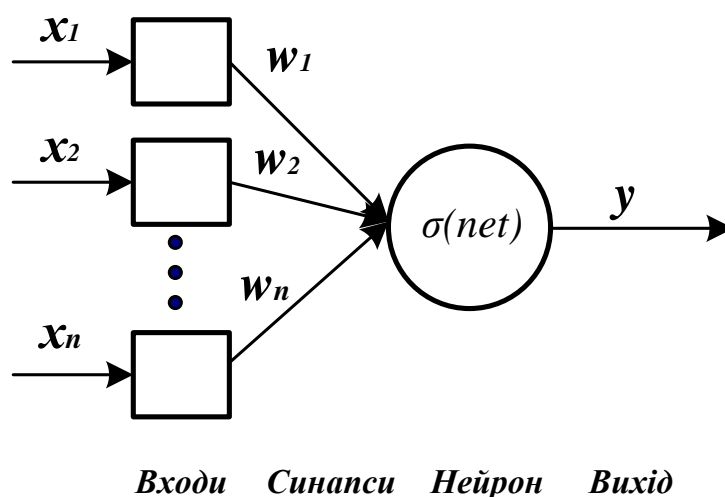


Рис. 1.9. Штучний нейрон

Етап 2. Застосування деякої, як правило, нелінійної функції активації $\sigma : R \rightarrow R$ до значення рівня активації

$$y = \sigma(net).$$

Для зручності роботи у вектор вхідних сигналів вводиться додатковий фіктивний постійний одиничний вхідний сигнал $x_0 = 1$ з ваговим коефіцієнтом ω_0 . Після перетворення формула обчислення рівня активації нейрона має вигляд:

$$net = \sum_{i=0}^n \omega_i x_i \quad (1.4)$$

Навчанням нейронних мереж називається процес визначення значень вагів нейронних мереж фіксованої структури на основі набору відомих вхід-вихідних даних [12]. Ці дані задаються таблицею, яка називається навчальною безліччю. В такій таблиці містяться значення виходів і відповідні їм комбінації значень вхідних величин [34]. Рядки навчальної множини називаються прикладами, а значення виходів – вказівками вчителя [16, 17]. Описана таблиця має наступний вигляд [14]:

$$\left[\begin{array}{cccc|cccc} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \dots & \tilde{x}_{1n} & \tilde{y}_{11} & \tilde{y}_{12} & \dots & \tilde{y}_{1r} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \dots & \tilde{x}_{2n} & \tilde{y}_{21} & \tilde{y}_{22} & \dots & \tilde{y}_{2r} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{x}_{k1} & \tilde{x}_{k2} & \dots & \tilde{x}_{kn} & \tilde{y}_{k1} & \tilde{y}_{k2} & \dots & \tilde{y}_{kr}, \end{array} \right]$$

де k – кількість прикладів; n – кількість входів; r – кількість виходів.

Миттєвий функціонал якості характеризує ступінь близькості вектора виходів нейронних мереж на i -му прикладі $y_i = (\omega)$ до вказівок учителя \tilde{y}_i [18]:

$$Q(\varepsilon_i(\omega)) = \varepsilon_i^T(\omega) V \varepsilon_i(\omega), \quad (1.5)$$

де $Q(\varepsilon_i(\omega)) = \varepsilon_i^T(\omega) V \varepsilon_i(\omega)$ – вектор відхилень виходів нейронних мереж від вказівок вчителя; $V \in R^{r \times r}$ – позитивно певна матриця, яка задає зважену норму вектора $\varepsilon_i(\omega)$. По суті, функціонал (1.5) є евклідовою нормою вектора відхилень, оскільки в ролі матриці зазвичай виступає одинична:

$$Q(\varepsilon_i(\omega)) = \varepsilon_i^T(\omega) \varepsilon_i(\omega) = (y_i(\omega) - \tilde{y}_i)^T (y_i(\omega) - \tilde{y}_i) = \sum_{j=1}^r (y_{ij}(\omega) - \tilde{y}_{ij})^2. \quad (1.6)$$

Сукупна (по всіх прикладах) помилка навчання нейронних мереж задається функціоналом [14]:

$$J(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k Q_i(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r (y_{ij}(\omega) - \tilde{y}_{ij})^2. \quad (1.7)$$

Завдання навчання нейронних мереж є нелінійна задача про найменші квадрати [71]. Мета навчання полягає у визначенні такого вектора ваг, при якому значення функціоналу (1.7) мінімальне. Одним з методів навчання багатосарових нейронних мереж прямого поширення є процедура зворотного поширення помилки [74, 233].

Нейронна мережа прямого поширення являє собою сукупність пов'язаних нейронів, об'єднаних в шари [103, 162]. При цьому виходи нейронів одного шару передають сигнали на входи нейронів наступного шару. Не мають зв'язків один з одним нейрони одного шару і нейрони шарів, які не є сусідніми [65, 246].

Окремий шар утворюють входи нейронної мережі прямого поширення. Елементи вхідного шару фактично не є нейронами, оскільки лише розподіляють

інформацію, а не перетворюють її [105]. З цієї причини вхідний шар зазвичай виключають з кількості шарів нейронної мережі прямого поширення [3].

Виходи нейронів вихідного шару не передаються на входи інших нейронів, що відрізняє вхідний шар від інших, які називаються прихованими або проміжними [120]. Проходження сигналу по мережі відбувається у напрямку від вхідного шару до вихідного [158].

Розглянемо m -шарову нейронну мережу прямого поширення з одним виходом, в l -ому шарі якому знаходяться N_l нейронів, $l=0, \dots, m$; $N_0=n$ - кількість входів. Нехай $\omega_j^{(l,i)}$ j -а вага i -го нейрона l -го шару, $l=1, \dots, m$, $i=1, \dots, N_l$, $j=0, \dots, N_{l-1}$. Тоді вихід i -го нейрона l -го шару можна знайти за формулою:

$$y^{(l,i)} = \sigma(\text{net}^{(l,i)}) = \sigma\left(\sum_{j=0}^{N_{l-1}} \omega_j^{(l,i)} y^{(l-1,j)}\right), \quad (1.8)$$

де $y^{(l-1,0)} = 1$ – одиничний (фіктивний) вхід нейрона;

$y^{(l,i)} = \sigma(\text{net}^{(l,i)}) = \sigma\left(\sum_{j=0}^{N_{l-1}} \omega_j^{(l,i)} y^{(l-1,j)}\right)$ – i -й вхід нейронної мережі прямого поширення; $\text{net}^{(l,i)}$ – значення рівня активації i -го нейрона l -го шару; σ – функція активації.

Зазвичай одинична функція виступає в якості функції активації нейронів вихідного шару [64]. Це дозволяє мережі видавати будь-які дійсні вихідні значення, а не тільки обмежені областю значень функції активації. Виходи нейронів l -го шару представляються вектор-стовпцем $y^{(l)}$ розмірності N_l , ваги нейронів цього шару - матрицею $W^{(l)}$ розмірності $N_l \times (1 + N_{l-1})$, в якій i -й рядок складається з ваг i -го нейрона l -го шару. Матриця $W^{(l)}$ представляє блочну матрицю:

$$W^{(l)} = [\omega_0^{(l)} | W_1^{(l)}], \quad (1.9)$$

де $\omega_0^{(l)}$ – ваги нейронів, що відповідають одиничним (фіктивним) входам; $W_1^{(l)}$ – матриця вагів між нейронами $(l-1)$ -го і l -го шарами.

Функціонування l -го шару нейронних мереж в векторно-матричній формі описується наступною формулою:

$$y^{(l)} = \sigma^{(l)}(\omega_0^{(l)} + W_1^{(l)} y^{(l-1)}). \quad (1.10)$$

Функціонування нейронних мереж описується формулою [14]:

$$y = (\omega_0^{(m)} + W_1^{(m)} \sigma(\dots(\omega_0^{(2)} + W_1^{(2)} \sigma(\omega_0^{(1)} + W_1^{(1)} x))\dots)), (1.11)$$

де x – вектор входів, y – вектор виходів нейронних мереж.

Згідно з теоремою [159], будь-яка безперервна функція змінних $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ може бути представлена у вигляді:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^{2n+1} g_j \left(\sum_{i=1}^n h_{ij}(x_i) \right),$$

де g_j і h_{ij} – безперервні функції, при цьому h не залежить від функції F . Таким чином, функції багатьох змінних реалізуються за допомогою операцій додавання і композиції функцій однієї змінної [104]. В одній з останніх редакцій наведена теорема, яка формулюється за теоремою Фунахаші [62].

Нехай $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ – безперервна функція, визначена на компактному зборі, і $\varepsilon > 0$ – точність апроксимації. Існує таке натуральне число q і набір дійсних чисел ω_{ij}, v_i , що функція:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_m) = \sum_{i=1}^q v_i \sigma \left(\sum_{j=1}^m \omega_{ij} x_j \right),$$

де σ – непостійна обмежена монотонно зростаюча неперервна функція (наприклад, сигмоїдальна логістична [129]), наближає вихідну функцію з похибкою, що не перевищує ε на всій області визначення.

Нейронна мережа реалізує функцію, яка збігається з наведеною формулою. Таким чином, наведена теорема означає, що двошарова нейронна мережа з достатньою кількістю нейронів в прихованому шарі може реалізувати будь-яку безперервну функцію декількох змінних із заданою точністю [148]. Таким чином, формується помилка навчання мережі, яка згодом поширюється в напрямку, протилежному напрямку синаптичних зв'язків [142]. Цим обумовлюється відповідна назва процедури [205]. В основі алгоритму методу ідентифікація параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів лежить модифікація методу градієнтного спуску [200]. При цьому градієнт функціоналу якості навчання нейронної мережі по вектору ваг визначається за формулою:

$$\nabla_{\omega} J(\omega) = \nabla_{\omega} \left(\sum_{i=1}^k Q_i(\omega) \right) = \sum_{i=1}^k \nabla_{\omega} Q_i(\omega) \quad (1.12)$$

У відповідності до правила диференціювання суперпозиції функцій формула набуває такого вигляду:

$$\frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial \omega_j^{(l,i)}} = \frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial y^{(l,i)}} \cdot \frac{\partial y^{(l,i)}}{\partial net^{(l,i)}} \cdot \frac{\partial net^{(l,i)}}{\partial \omega_j^{(l,i)}}$$

Другий множник отриманої формули є похідною функції активації:

$$\frac{\partial y^{(l,i)}}{\partial net^{(l,i)}} = \sigma'_{net}(net^{(l,i)})$$

третій множник

$$\frac{\partial net^{(l,i)}}{\partial \omega_j^{(l,i)}} = y^{(l-1,j)}$$

Перший множник обчислюється з використанням рекурентної процедури:

$$S^{(l,i)} = \frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial y^{(l,i)}} = \sum_{j=1}^{N_{i+1}} \frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial y^{(l+1,j)}} \cdot \frac{\partial y^{(l+1,j)}}{\partial y^{(l,i)}} = \sum_{j=1}^{N_{i+1}} S^{(l+1,j)} \cdot \sigma'_{net}(net^{(l+1,j)}) \cdot \omega_i^{(l+1,j)}$$

з початковою умовою

$$S^{(L,i)} = \frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial y^{(L,i)}} = \varepsilon(\omega) = y(\omega) - \tilde{y}$$

Оскільки для корегування вагових коефіцієнтів при навчанні нейронної мережі за допомогою алгоритму зворотного поширення використовується метод градієнтного спуску [143], то на кожній ітерації алгоритму до вектору ваг необхідно додати величину

$$\Delta \omega_j^{(l,i)} = -\eta \frac{\partial Q_k(\omega)}{\partial \omega_j^{(l,i)}}$$

де $0 < \eta < 1$ – коефіцієнт швидкості навчання; $\omega_j^{(l,i)}$ – вага зв'язку, яка з'єднує j -й нейрон шару $(l-1)$ з i -м нейроном шару l .

Оскільки більшість виробничі, економічні і соціально-економічні процеси представляють собою тимчасову послідовність значень якої-небудь однієї величини, тобто можуть бути описані тимчасовими рядами, то з точки зору управління представляється доцільним їх аналіз і прогнозування [7, 200].

Нехай є значення тимчасових рядів $Y(t) = Y(1), Y(2), \dots, Y(T)$. В дискретні моменти часу $t = 1, 2, 3, \dots, T$. Ставиться задача визначення значень процесу $Y(t)$ для наступних моментів часу $T + 1, \dots, T + P$ в момент часу T , званий моментом прогнозу. При цьому горизонтом прогнозування називається інтервал $[1; P]$. Модель прогнозування являє собою функціональну залежність між минулими і майбутніми значеннями ряду і використовується для обчислення майбутніх значень тимчасового ряду:

$$Y(t) = F(Y(t-1), Y(t-2), Y(t-3), \dots) + \varepsilon_t. \quad (1.13)$$

Ставиться задача побудувати таку модель прогнозування, для якої середнє абсолютне відхилення прогнозованого значення від фактичного прагне до мінімального для заданого P .

$$\bar{E} = \frac{1}{P} \sum_{t=T+1}^{T+P} |\varepsilon_t| \rightarrow \min. \quad (1.14)$$

Наведений вираз можна переписати в наступному вигляді:

$$\hat{Y}(t) = F(Y(t-1), Y(t-2), Y(t-3), \dots) \quad (1.15)$$

де $\hat{Y}(t)$ - прогнозовані значення тимчасового ряду $Y(t)$.

Прогнозування елементів тимчасового ряду виконується із застосуванням методу ковзних вікон [32]. Ідея методу полягає у використанні двох вікон (вхідного і вихідного), фіксованих розмірів m і n . Вхідне вікно дозволяє формувати дані для входів нейронної мережі, а вихідне - для виходів. Накладення тимчасового вікна на масив вихідних даних формує приклад для навчання. Зрушення вікна на один часовий інтервал вперед формує наступний навчальний приклад [144]. Нехай тимчасовий ряд $Y(t)$ заданий відліками процесу $Y(1), Y(2), \dots, Y(T)$ в дискретні моменти часу t . Починаючи з першого елемента, на дані ряду накладаються вікна. В процесі навчання нейронної мережі обчислюються ваги зв'язків нейронів, далі виконується перехід до режиму прогнозування [106]. Вхідне вікно захоплює значення останнього прикладу навчальної множини $Y(T-2), Y(T-1), Y(T)$ і передає їх на входи нейронної мережі, на виході обчислюється прогнозоване значення $Y^*(T+1)$, яке додається до значень навчальної множини. Далі на вхід нейронної мережі надходить вектор $Y(T-1), Y(T), Y^*(T+1)$, а на виході обчислюється $Y^*(T+2)$ і наступні прогнозовані

значення. Завдання навчання нейронної мережі полягає у виборі розміру вхідного вікна і налаштування вагів нейронів [66]. Розмір вхідного вікна впливає на якість прогнозу часового ряду [192]. Емпіричним шляхом може бути встановлено, що збільшення розміру вхідного вікна знижує помилку навчання нейронної мережі, однак при цьому знижується і точність отриманого прогнозу, оскільки зменшується кількість прикладів навчальної множини [25, 214]. З цієї причини виникає проблема визначення оптимального розміру вхідного вікна. Розмір вихідного вікна визначається умовами завдання. Часто розмір вихідного вікна приймають рівним одиниці, оскільки такий одиничний вихід допускає узагальнення на випадок інших розмірів вихідного вікна.

1.5. Узгодженість режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж

За кордоном більше 20 років тому стали з'являтися системи, які представляли собою цілісний автоматизований комплекс для підвищення ефективності в задачах управління режимами технічного стану зернозбиральних комбайнів на аграрних підприємствах [35, 218]. При розробці системи узгодженості режимів технічного стану зернозбиральних комбайнів за методом інтервальних нейронних мереж виходили з того, що вона повинна бути інструментом зв'язку [195], так як сервісні підприємства потребують значних обсягах інформації [123]. Пакет програм даної системи передбачає доступ до бази даних і має дозволяти оформляти робочі листи, накладні, рахунки [109]. Крім того, користувачі мають отримувати оновлений каталог про постачання фірми із зазначенням цін [63]. За бажанням в систему можна було вносити дані про інших фірм-виробниках, якщо підприємство має намір співпрацювати з ними [51, 149, 217]. В Болгарії софійським науково-дослідним технологічним інститутом [1, 83, 112] була розроблена автоматизована система контролю, яка призначалася для збору і обробки інформації з робочих постів про вимірювання контрольованих параметрів деталі, вузла або агрегату. Блок-схема робочого поста приведена на рис. 1.10. Існуючі системи ЕАМ-системи (від англ. Enterprise AssetManagement), які в основному застосовувалися для підтримки зернозбиральних комбайнів в технічно справному стані [68, 155]. Дані системи

дозволяють злагоджено управляти наступними процесами: технічне обслуговування і ремонт; управління складськими запасами; матеріально-технічне постачання; управління фінансами, якістю і трудовими ресурсами в рамках єдиної стратегії [157, 235]. При впровадженні даних систем на підприємстві орієнтуються на скорочення витрат на сервіс зернозбиральних комбайнів без зниження рівня надійності, або на підвищення певних виробничих параметрів без збільшення витрат [169, 256].

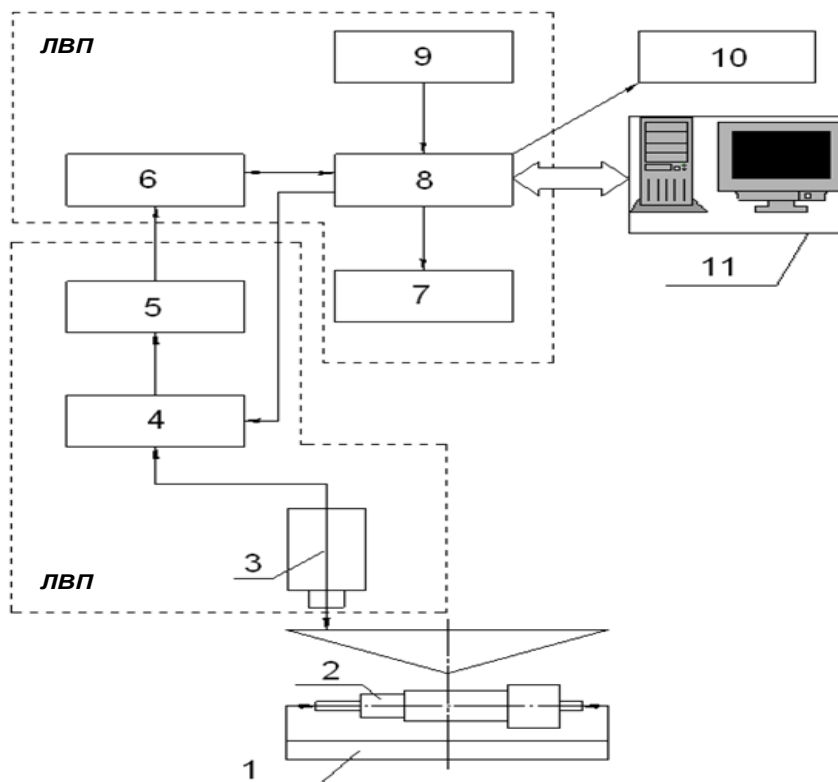


Рис. 1.10. Блок-схема робочого поста: ЛВП – локальний вимірювальний пристрій; 1 – пристосування для закріплення деталі; 2 – контрольована деталь; 3 – первинні перетворювачі; 4 – мультиплексор; 5 – підсилювач-перетворювач; 6 – аналого-цифровий перетворювач; 7 – блок індикації; 8 – мікропроцесор; 9 – блок управління; 10 – принтер; 11 – комп’ютер

Із ЕАМ-систем для аграрної сфери з’явилися системи комплексного управління технічного обслуговування і ремонтами [128, 185]. MRO-системи (від англ. Maintenance, Repair and Overhaul), основне призначення яких - це автоматизація планування діяльності персоналу [45, 108], що займаються виконанням технічного обслуговування і ремонтів зернозбиральних комбайнів [161], і забезпечення їх необхідними ресурсами [132]. Крім того, дані системи мають на увазі функціонал для інформаційного забезпечення та вирішення ряду

завдань [33, 81, 154, 219]:

- управління термінами служби і списання;
- оптимізація структури і чисельності комбайнів;
- зберігання інформації про кожну одиницю зернозбиральних комбайнів;
- відмови в процесі експлуатації, а також виконаних технічних обслуговувань і ремонтах;
- підтримка територіальних підрозділів підприємств, що займаються технічним обслуговуванням і ремонтами комбайнів, в рамках єдиної стратегії.

В Україні і за кордоном застосовується «система інформаційної підтримки життєвого циклу зернозбиральних комбайнів» [107, 189]. В основі якої лежить стандартизоване уявлення даних комбайн передбачається фірмове сервісне гарантійне та післягарантійне обслуговування [13, 76]. Подібні технології, як правило, включають в себе систему управління надійністю: здійснюється збір відомостей про відмови, планових і аварійних ремонтах, а також про технічний стан виявлених за допомогою спеціальних контрольних засобів [101]. Подібні системи активно впроваджуються в агрофірмах і агрохолдингах [171].

В даний час в теорії управління режимами технічного контролю зернозбиральних комбайнів популярно застосування методики, орієнтованої на надійність роботи машин – відома в світі як RCM (Reliability-centered Maintenance), яка була створена в 60-х роках минулого століття для цивільної авіаційної промисловості [89, 146]. Згідно з цією методикою, підтримка всіх одиниць комбайнів в бездоганному стані не є самоціллю, головне це працездатність виробничої системи в цілому, а не працездатність кожної одиниці [9, 46, 115].

Мета RCM – забезпечення надійності роботи особливо важливих об'єктів (відповідно до їх критичності), вихід з ладу яких спричинить за собою значні наслідки [49, 84]. При оцінці наслідків враховуються різні ризики – зрив виробничих планів, недотримання норм якості збирання зернового збіжжя, продукції сільськогосподарських культур, екологічні катастрофи тощо [2, 139].

Загальні етапи RCM аналізу [87, 152]:

- А – визначення меж системи і/або підсистеми;
- В – визначення всіх функцій системи і/або підсистеми;
- С – виявлення функціонально значущих елементів (FSI);

D – виявлення причин відмов функціональних елементів, прогнозування відмов і ймовірностей їх виникнення;

E – застосування дерева рішення проблем для класифікації результатів відмов функціонально значущих елементів;

F – вибір операцій для початкової програми технічного контролю;

G – в разі, якщо якісь операції при технічному контролі не можуть бути встановлені, то набір операцій переглядається;

H – створення динамічної програми технічного контролю в результаті планового і систематичного оновлення шляхом моніторингу (систематичного контролю), збору і аналізу оперативних даних.

Першим кроком при використанні методики RCM є визначення обмежень або меж підсистеми [11, 114, 240]. Це означає, що систему поділяють на підсистеми більш простого рівня складності. Другим кроком є визначення функціонально значущих елементів.

В наступний крок відбувається виявлення причин відмов функціонально значущих елементів і прогнозування ймовірності їх появи [10, 88]. Якісні методи (засновані на колективному професійному думці і практичному застосуванні) і кількісні методи (наприклад, метод аналізу характеру і наслідків відмов (FMEA-Failure Mode and Effect Analysis) або метод аналізу ризиків), можуть використовуватися для виявлення причин і результатів відмови елементів. Середнє напрацювання на відмову ґрунтується на компетентному аналізі за схемою «причина-відмова-наслідок» [111]. Логічне дерево прийняття рішення показано на рис. 1.11, яке використовується для класифікації результатів відмов.

Аналіз характеру і наслідків відмов (FMEA), а так само логічне дерево прийняття рішення (FTA-Fault Tree Analysis) при відмовах, можуть бути успішними підходами при вирішенні завдань, пов'язаних з розстановкою пріоритетів усунення несправностей в першу чергу [9, 70, 131, 247]. Якщо ймовірність відмови була передбачувана ще під час нормальної експлуатації системи, то ця відмова є явним, в іншому випадку, він класифікується як прихований.

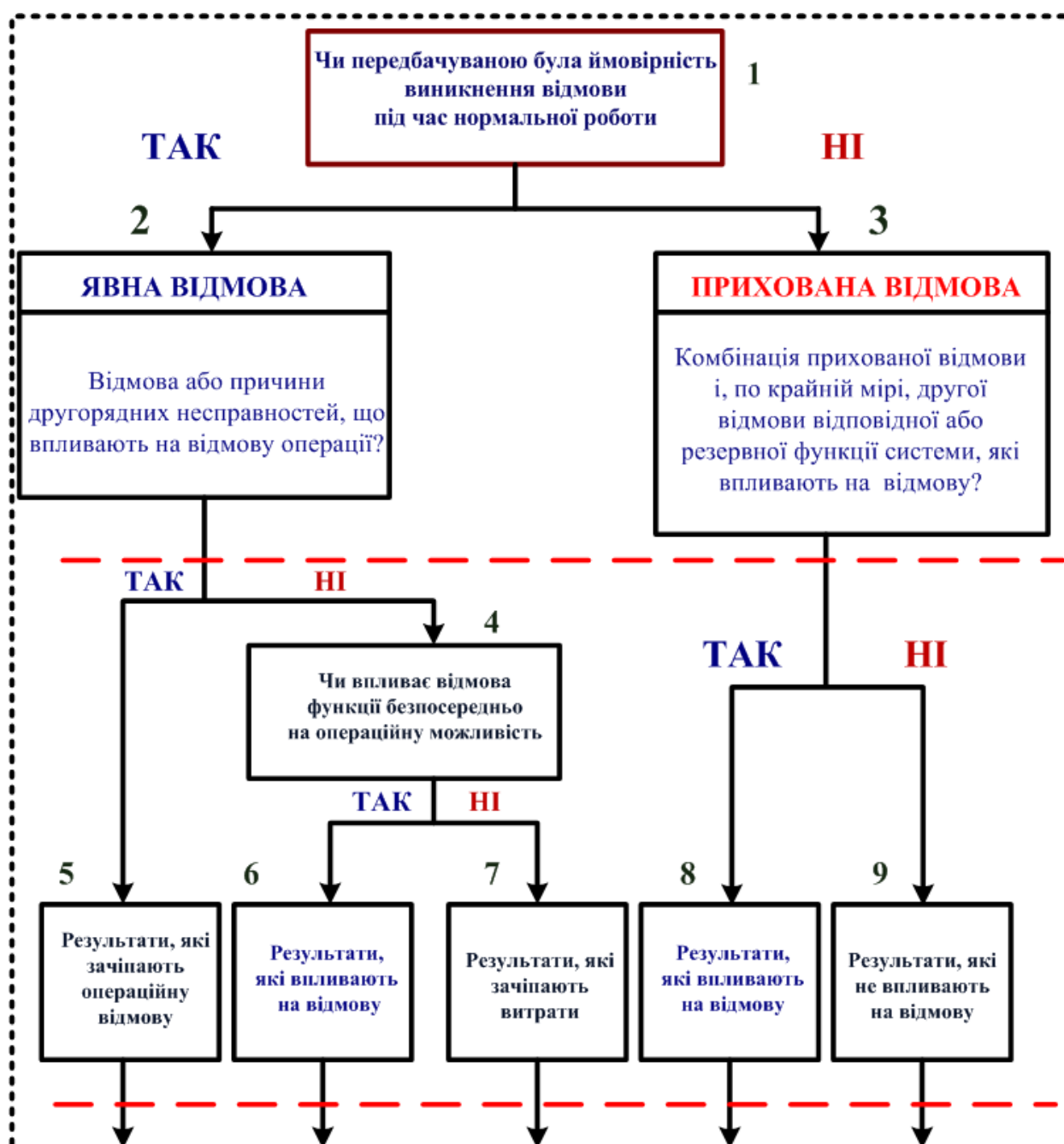


Рис. 1.11. Схема прийняття рішення в системі RCM

В основі забезпечення працездатності зернозбиральних комбайнів лежить режим, за допомогою якого проводять безперервний або періодичний технічний контроль параметрів, що характеризують поточний і фактичний показник параметра технічного стану зернозбирального комбайна [90, 134, 248].

Прогнозування виконують при безперервному технічному контролі для визначення часу [153, 261], протягом якого збережеться працездатний стан [91, 168], а при періодичному контролі – для визначення моменту часу наступного контролю.

Процес технічного контролю параметрів технічного стану зерозбиральних комбайнів складається з виявлення та локалізації дефектів в системах. В міру ускладнення технічних систем і зростання вимог до безпеки [69, 113], надійності і екологічності [67, 130], упередження несправностей стає все більш значущою процедурою [93, 198]. Одним із прикладів є технічний контроль двигуна комбайна, де потрібна висока надійність і працездатність [44, 156], низький рівень викидів. Наслідками несправностей двигунів можуть бути: підвищення викидів, що забруднюють екосистеми; зниження рівня безпеки; збільшення витрати палива; погіршення керованості комбайна [26, 201]. При своєчасному виявленні несправностей, ці наслідки можна запобігти або хоча б зменшити [4, 21].

У публікаціях [19, 75, 114], що стосуються сучасних апаратно-програмних засобів для різного роду обчислень, все частіше зустрічаються словосполучення штучні когнітивні системи (від англ. Artificial cognitive systems). В основі штучних когнітивних системах лежить процес "імітування" розумової діяльності людини, вони засновані, як правило, на моделях штучних нейронних мереж (від англ. Artificial neural networks), які представляють собою математичні моделі, збудовані на основі принципів організації біологічних нейронних мереж.

Серед безлічі різних способів і методів виявлення несправностей при технічному контролі технічних систем, в США, Польщі, Швейцарії та Китаї і ряді інших країн, в останнє десятиліття одним з прогресивних методів технічного контролю є з використанням штучних когнітивних систем на основі математичного апарату [2, 29, 47, 117, 204]. Після розробки алгоритмів навчання штучних нейронних мереж, одержувані моделі використовують в практичних цілях: в задачах прогнозування, для розпізнавання образів, в задачах управління [197, 262]

Штучні нейронні мережі, в даний час, проектуються в автономні роботи програмного забезпечення, яке здатне обробляти багатовимірні вхідні дані в режимі реального часу [5, 232]. Мережа навчається передбачити одну із змінних, використовуючи інші [27, 243]. Різниця між прогнозуванням і вимірюванням використовується, щоб відрізнити нормально працюючий двигун від несправного [22, 73]. Наприклад, використовуючи штучні нейронні мережі, ми можемо з високим ступенем точності виявити помилки датчика абсолютного

тиску впуску колектора (V_s) і клапана системи рециркуляції відпрацьованих газів (V_a). У впускному колекторі комбайнового двигуна, схематично зображеному на рис. 1.12, швидкість масової витрати повітря (V_i), рециркуляція відпрацьованих газів (V_a), обороти двигуна (V_o) і абсолютний тиск (V_s) пов'язані рівнянням динаміки першого порядку [117]:

$$dV_s/dt = F(V_i, V_o, V_a, V_i) \quad (1.16)$$

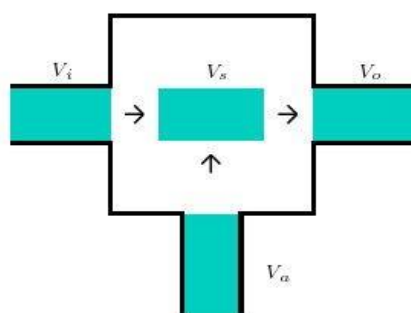


Рис. 1.12. Схема циркуляції потоків в двигуні

У багатьох комбайнах датчики вимірюють дані змінні. Завдяки взаємозв'язку цих змінних і фіксації їх змін в часі, ми можемо виявляти несправності датчиків [14, 259]. Таким чином, наприклад, контролюючи змінну V_s , ми здатні з високою точністю виявляти помилки в змінній V_a . Розглянемо модель нейронної мережі, яка здатна фіксувати динаміку шестициліндрового двигуна. Незважаючи на те, що представлена модель лише для певної проблеми, даний підхід є загальним і може легко бути адаптований під рішення більш широкого кола завдань технічного контролю [48, 110].

Використовуючи трьохшарову нейронну мережу зі зворотним зв'язком, архітектура якої показана на рис. 1.13, можна спрогнозувати зміну V_s , використовуючи інші три змінні. Спрогнозувати змінна V_s повертається на вхід (принцип дії мереж зі зворотним зв'язком) в якості четвертого вхідного нейрона.

Мережа зі зворотним зв'язком навчається на навчальному наборі даних, який був сформований шляхом імітування несправностей V_s і V_a . Дані для навчання подаються наступним чином [24, 92]. Находиться випадкова початкова точка в довгій часовій послідовності даних і встановлюється початкове значення входу зворотного зв'язку змінної V_s . Виконується вхід, щоб отримати V_s на виході і обчислити помилку. Квадрат різниці прогнозованого значення V_s і отриманого. Встановлюється пряма подача на вхід до наступної точки даних і

вхід зворотного зв'язку до спрогнозувати значенням V_s .

1. Повторяються кроки 2 і 3 в циклі ($n = 100$) для збору сигналів про помилки.

2. Повторяються кроки 1, 2, 3 і 4 в циклі ($n = 4$) для подальшого збору сигналів про помилки.

3. Оновлюються з'єднання згідно з правилом зворотного поширення помилки (від англ. Back Error Propagation).

4. Повторяються кроки з 1 по 6 до тих пір, поки помилка не перестане зменшуватися або поки не буде досягнута межа обчислень.

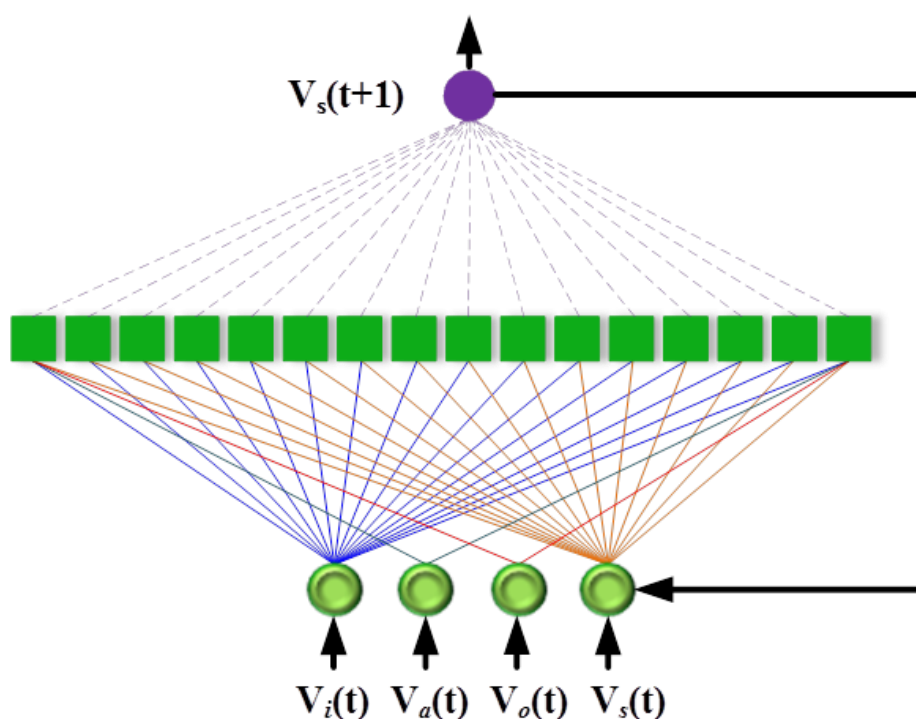


Рис. 1.13. Архітектура тришарової штучної нейронної мережі зі зворотним зв'язком

Робочі характеристики мережі зазвичай перевіряються на окремому тестовому наборі даних [23, 86]. Завдання інженера з технічного контролю зводиться до того, щоб, використовуючи отримані дані моніторингу, виявити дефекти двигуна без його розбирання [202, 238]. Традиційний спосіб вирішення даного завдання це використання методик, заснованих на фізичних закономірностях: виникнення певного дефекту викликає певні відхилення тих чи інших параметрів, що контролюються, тому, проводячи аналіз характеру цих змін, робиться припущення про можливу наявність дефектів, що викликають ці зміни [177, 260].

Таким чином, аналіз стану питання дозволяє представити робочу гіпотезу дослідження в наступному припущенні: існують способи визначення і класифікації простору ознак, які оцінюють параметри технічного стану зернозбиральних комбайнів і їх розподілу в просторі ознак, що характеризують процеси відновлення їх технічного стану, які використовують імовірнісні характеристики оцінки їх ефективності.

Висновки до першого розділу

Нагальні проблеми технічної науки з механізації сільськогосподарського виробництва, технічної готовності зернозбиральних комбайнів і виробничої аграрної діяльності в цілому наполегливо окреслюють наукову проблему розробки системного підходу до дослідження довільних явищ і процесів втрати працездатності комбайна. Цілковито природно, що до проблеми оцінки параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів також необхідно застосувати системний підхід.

Складність сучасних високопродуктивних зернозбиральних комбайнів, а також процесів, які в них відбуваються, складність взаємодії елементів один з другим і з навколишнім середовищем, нестабільність властивостей конструкційних матеріалів, значна кількість випадкових факторів, здійснюють вплив на рівень технічної готовності, та не дозволяє розробити єдину методику її визначення і прогнозування. Технічний контроль по фактичному технічному стану зернозбиральних комбайнів дозволяє істотно знизити втрати від недовикористання ресурсу деталей, вузлів і агрегатів комбайнів, що сприяє підвищенню ефективності використання їх в процесі збирання врожаю сільськогосподарських культур.

Серед факторів, що впливають на постановку коректного діагнозу оператором техконтролю при технічному контролі агрегатів зернозбиральних комбайнів, виділяються як об'єктивні (робоча зміна, час доби), так і суб'єктивні (робочий розряд, вік і ін.).

Наявність помилок розпізнавання не тільки при визначенні технічного стану направлених в ремонт агрегатів зернозбиральних комбайнів, але і в процесі розподілу дефектних агрегатів по конкретним технологічним маршрутам

призводить до появи виробничих втрат на виконання зайвих ремонтних робіт і витрат на усунення пропущених дефектів, що не дозволяє в повній мірі реалізувати переваги технічного контролю зернозбиральних комбайнів, а в деяких випадках призводить до повної відмови від нього на користь ремонту.

Існуючі на даний момент форми і методи організації відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів не дозволяють повноцінно використовувати переваги даного видів ремонту, тому що для достовірного розподілу агрегатів по ремонтах необхідна акумуляція великих обсягів статистичних даних. Суттєвого зниження впливу людського фактора на результат постановки діагнозу про наявність (або відсутність) дефектів і розподілу агрегатів за технологічними маршрутами технічного контролю сприяє використання штучних когнітивних систем в задачах відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів.

Однак, головні проблеми забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів можна об'єднати в чотири основні групи:

5. Відмови деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, які зменшують ефективність їх експлуатації.

6. Необхідність в значних запасах ресурсу деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів.

7. Недостатня ремонтпридатність деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на технічний контроль.

8. Значна трудомісткість і фінансова ресурсність для відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, що ускладнює отримання інвестицій.

Обґрунтування рішень за цими групами дозволить забезпечити ноу-хау створюваних режимів технічного контролю, що в значній мірі визначає конкурентоспроможність підтримання працездатності зернозбиральних комбайнів (рис. 1.14). Центральним місцем у рішенні вказаної проблеми займають питання розробки методів і методики, які дозволяють діджиталізувати складний і важко формульований процес побудови математичних моделей технічної готовності зернозбиральних комбайнів на всіх етапах життєвого циклу, і зокрема, експлуатації.

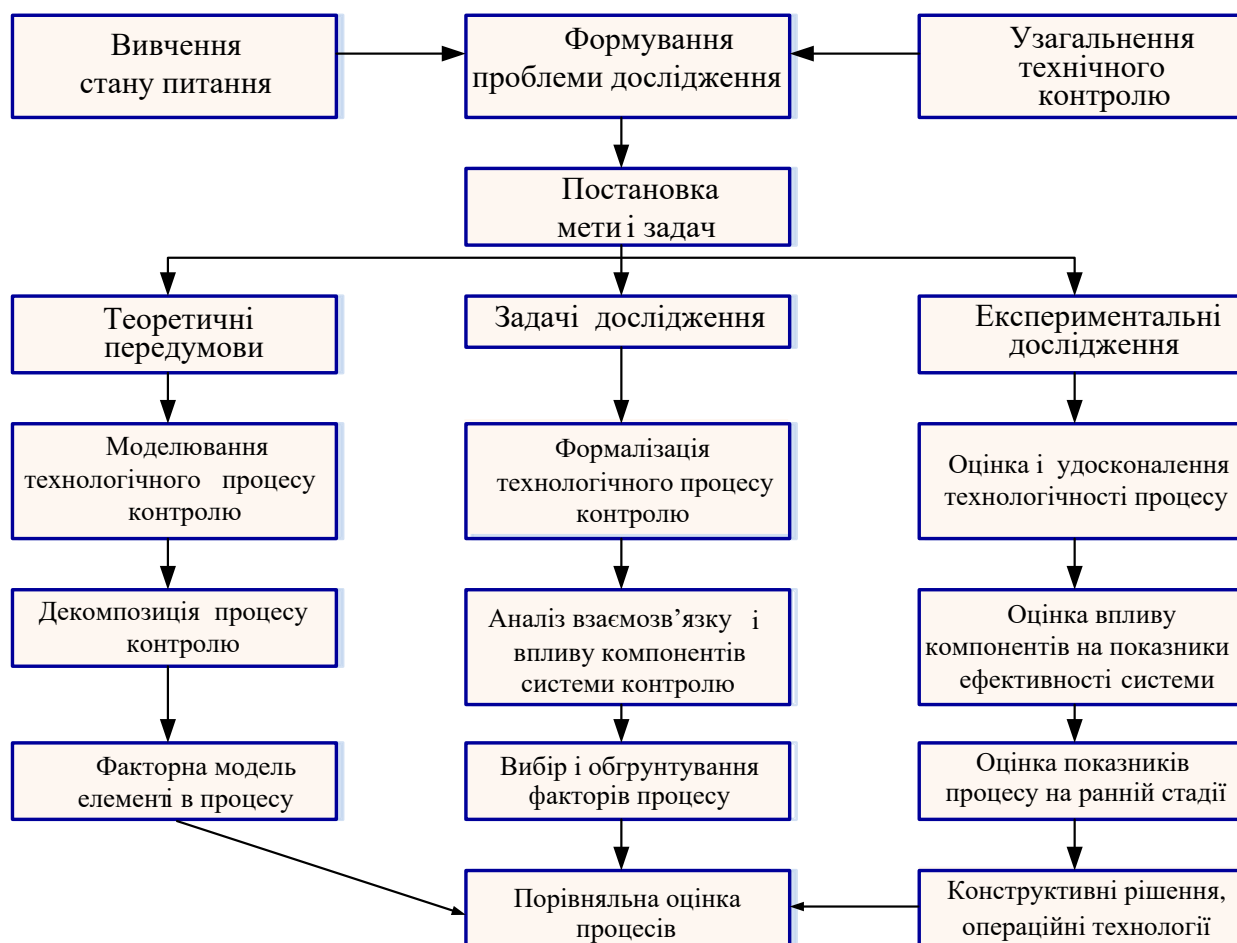


Рис. 1.14. Блок-схема дослідження

В існуючому технічному контролі комбайнів відсутній взаємозв'язок операцій, що викликає їх нераціональну послідовність, нерівномірну завантаженість виконавців і, як наслідок, значну тривалість процесу. Існуючі критерії оцінки технологічності не враховують динаміки протікання технологічного процесу технічного контролю, не дозволяє порівнювати між собою технології і визначати шляхи їх удосконалення.

Застосовані методи оцінки ефективності системи технічного контролю недостатньо повно оцінюють процес як об'єкт дослідження. Не враховуються взаємозв'язки компонентів і їх вплив на показники ефективності.

Різноманіття показників ремонтпридатності і контролепридатності комбайнів ускладнюють оцінку і порівняння їх конструкцій. Застосовані методи оцінки засновані на використанні статистичних матеріалів, що викликає тривалі терміни доведення і дослідження машин. Відсутня прийнята методика швидкісної оцінки показників ефективності технічного контролю на основі конструктивних факторів комбайна.

Робоча наукова гіпотеза – підвищити ефективність експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств можливо за раціонального застосування комплексу інженерних заходів з технічного контролю параметрів технічного стану вузлів і агрегатів комбайну.

Ціллю теперішнього дослідження є зменшення витрат на забезпечення технічного готовності експлуатації зернозбиральних комбайнів в умовах сільськогосподарських підприємств шляхом обґрунтування режимів технічного контролю і функціонально-структурних параметрів технічного стану комбайну.

Для досягнення мети намічається вирішити наступні задачі (рис. 1.14).

Основні результати першого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [1, 22, 24-28, 34].

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

2.1. Аналітичні підходи визначення режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Експлуатація або застосування за призначенням – самий відповідальний період в життєвому циклі будь-якої сільськогосподарської техніки, і зернозбирального комбайна зокрема, протягом якого він сприймає різного виду навантаження і знаходиться під впливом зовнішніх факторів. В процесі експлуатації перевіряються технології, методи і прийоми, які закладались на всіх попередніх етапах, чітко проявляються їх недоліки, приховані дефекти конструкційних матеріалів, похибки конструкторів, помилки виробників, складання і монтажу.

Експлуатація зернозбиральних комбайнів – безперервний процес, який вимагає нормативного і регламентованого технічного контролю і впливає на систему підтримання працездатності в цілому або на його складальні одиниці, елементи, механізми, вузли і агрегати, що повинні забезпечувати їх справний стан і високий рівень експлуатаційної безвідмовності, яка може бути забезпечена при вирішенні двох основних задач – забезпечення нормативних режимів експлуатації елементів і комбайна в цілому та прогнозування ресурсу або призначення оптимальних регламентів технічного контролю параметрів технічного стану зернозбирального комбайна.

Вирішення першої задачі передбачає розробку спеціальних заходів інженерного менеджменту, які забезпечують зниження граничних режимів завантаженості, зношення і старіння, зменшення динамічних навантажень. Вирішення другої задачі включає вибір оптимального режиму технічного контролю зернозбиральних комбайнів, техконтрольних заходів, моніторингу і обробки інформації про показники машиновикористання, прийняття оптимальних з точки зору техніко-економічних критеріїв різних етапів експлуатації, підвищення рівня відновлення працездатності.

При нормуванні режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів вихідні дані можуть бути задані у виді функцій ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ або відмови $Q(t)$, щільності розподілу наробітку на відмови $f(t)$ або інтенсивністю відмов $\lambda(t)$.

В залежності від виду і умов виробничого циклу збирання зернового збіжжя та видів відмов зернозбиральних комбайнів для визначення режимів технічного контролю використовуємо різні методи.

При дослідженні зернозбиральних комбайнів, у яких можливі тільки явні відмови, за результатами технічного контролю проводиться повне відновлення працездатності. Якщо в попередньому періоді відмов не було, то технічний контроль проводиться через інтервал часу і наробітку τ (рис. 2.1). Якщо до моменту технічного контролю була відмова, після якої працездатність була відновлена, то графік технічного контролю перебудовується (на рис. 2.1 тривалість відновлення не показано).

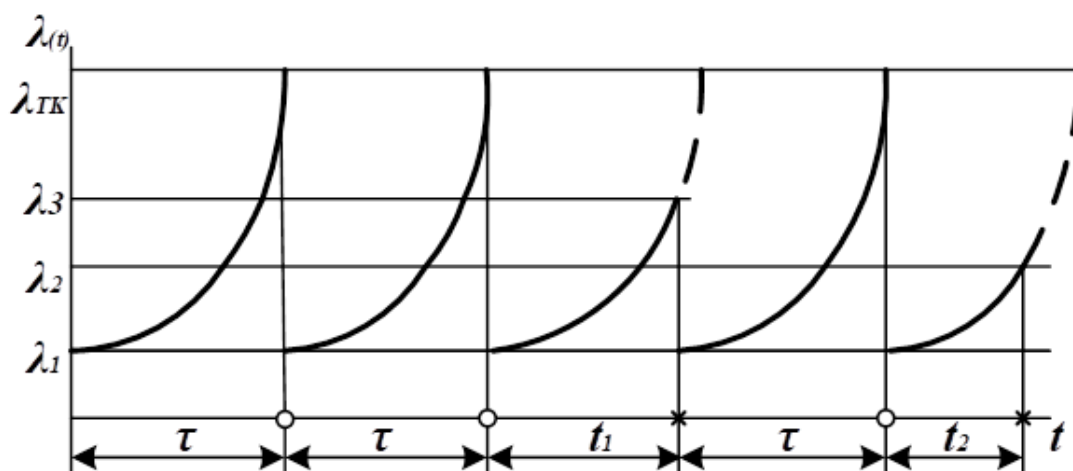


Рис. 2.1. Зміна інтенсивності відмов при технічному контролі зернозбиральних комбайнів: о – стан технічного контролю; х – стан відмови

Вважається, що проведення технічного контролю зернозбиральних комбайнів (рис. 2.1) знижує інтенсивність відмов $\lambda(t)$ до початкового значення λ_0 і тим самим підвищує безвідмовність комбайна. В такому випадку технічний контроль ефективний тільки при зростаючій в часі інтенсивності відмов $\lambda(t)$, які пов'язані із зношенням, старінням або накопиченням пошкоджень елементів. При $\lambda = \text{const}$ технічний контроль економічно не вигідний і технічно

недоцільний, а при спадаючій функції $\lambda(t)$ технічний контроль навіть може знижувати безвідмовність комбайна.

При оптимальному плануванні індивідуального ресурсу елементів зернозбирального комбайна основний принцип призначення терміну t_{k+1} наступного технічного контролю може бути представлено у виді:

$$Q(t_k + \tau_k) = Q^* \quad (2.1)$$

де: $\tau_k = t_{k+1} - t_k$ – нормативний залишковий ресурс, Q^* – гранично допустиме значення ймовірності відмови.

Зазвичай, при призначенні технічного контролю зернозбирального комбайна інтервал часу τ_k зменшується по мірі накопичення пошкоджень в елементах, однак при цьому загальний рівень ймовірності відмови зростає (рис. 2.2).

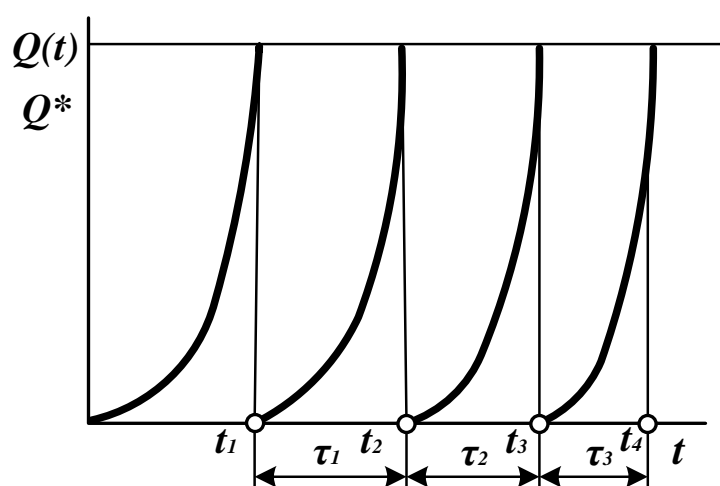


Рис. 2.2. Зміна ймовірності відмови зернозбирального комбайна при його технічному контролі

Наприклад, для оптимізації режимів технічного контролю зернозбирального комбайна необхідно використати цільову функцію ефективності $I(t)$, яка рівна математичному сподіванню вкладу технічної готовності в структурі виробничого циклу збирання зернового збіжжя або ж корисний економічний ефект при його експлуатації на відрізку часу (t_k, t) :

$$I(t) = \Delta S(t) - R(t) - \sum B(t), \quad (2.2)$$

де: $\Delta S(t)$ – різниця між вартістю зібраного зернового збіжжя і його собівартістю виробництва (тобто чистий прибуток), $R(t)$ – вартість заходів з технічного

контролю зернозбирального комбайна, $\sum B(t)$ – сума прямих і непрямих втрат з причини досягнення комбайном граничного стану під час експлуатації.

Для вибору оптимального моменту проведення наступного технічного контролю зернозбирального комбайна необхідне виконання умови:

$$I(t_k + \tau_k) \rightarrow \max_{\tau_k} \quad (2.3)$$

По мірі накопичення пошкоджень і зниження ефективності нормативний залишковий ресурс зменшується (рис. 2.3). При певному значенні $t > t_k$ експлуатації зернозбирального комбайна має бути призупинена через порушення обмеження на ймовірність відмови $Q(t) \leq Q^*$.

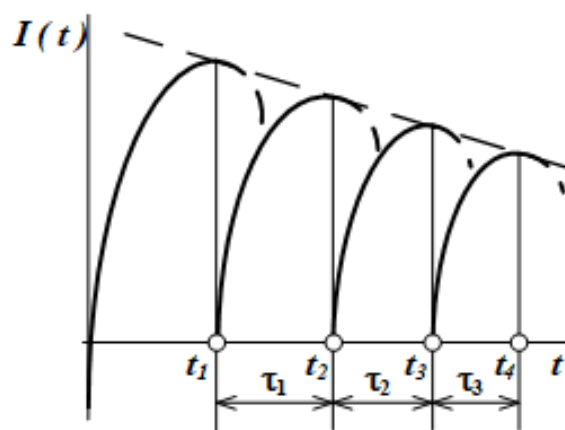


Рис. 2.3. Зміна цільової функції ефективності режимів технічного контролю зернозбирального комбайна

Оптимальну тривалість експлуатації зернозбирального комбайна між технічними контролюми можна оцінити за допомогою безрозмірного критерія ε :

$$\varepsilon = \frac{d}{dt} [\ln I(t_k + \tau_k)]. \quad (2.4)$$

Експлуатації зернозбирального комбайна зупиняється, коли значення параметра ε досягає визначеного граничного значення. Рішення задач оптимізації технічного контролю зернозбирального комбайна включає, як правило, побудову графа станів, складання моделі технічної готовності і визначення режимів технічного контролю. При цьому зазвичай розглядаються усталені режими і, відповідно, стаціонарні моделі технічної готовності і фінальні значення ймовірностей знаходження комбайна в кожному із станів. Визначення оптимальних режимів технічного контролю зазвичай заключається в виборі із

значень, при яких фінансові витрати на підтримання працездатності комбайна мінімальні.

В період рядової експлуатації зернозбиральних комбайнів інтенсивність відмов наближено постійна і умова стаціонарності дотримується за визначенням. В період же припрацювання для того, щоб відмінність індивідуальних законів розподілу наробітку елементів комбайна мало впливали на форму потоку відмов комбайна в цілому, необхідним є виконання відношення:

$$\frac{N}{m(t)} > 10 \frac{\lambda_0}{(\lambda - 1)}, \quad (2.5)$$

де: N – кількість елементів зернозбирального комбайна, які впливають на його технічну готовність, $m(t)$ – математичне очікування кількості відмов або несправностей на визначеному відрізку часу, λ_0 і λ – інтенсивність (параметри потоків) відмов або несправностей комбайна в початковий момент часу і сталі значення, відповідно.

Для перевірки гіпотези про стаціонарність потоку відмов або несправностей можливо також використати стандартні процедури перевірки статистичних гіпотез, однак при інтенсивності відмов або несправностей менше 10^{-3} – 10^{-4} годин⁻¹ наявність періоду припрацювання практично не викликає відхилень потоку від простішого.

2.2. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів

В більшості практично значимих випадках оптимальності режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів може бути оцінена визначенням рішень двох задач:

- забезпечення нормативного рівня технічної готовності зернозбирального комбайна (тобто значення якого-небудь показника ремонтпридатності і безвідмовності) за мінімальних витрат трудових і затрат фінансових ресурсів на технічний контроль;

- забезпечення максимального з можливих рівня технічної готовності за обмежених витрат трудових і затрат фінансових ресурсів на технічний контроль (обернена задача оптимізації).

Для найбільш складних і вартісних зернозбиральних комбайнів, відмова або зниження працездатності яких нижче допустимого рівня може призвести до аварійних наслідків, показники безвідмовності і ремонтпридатності, як більш впливові характеристики, зазвичай розглядаються в якості обмеження, а фінансові затрати – як цільова функція оптимізації. Тому в більшості випадків вирішується пряма задача оптимізації.

Вирішення задач оптимізації режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів включає, як правило, побудову як моделей функціонування і можна виділити ряд характерних груп потоків (переходів з одного стану в другий): виникнення відмов і несправностей, усунення відмов і несправностей, вивід комбайна на різні режими технічного контролю, вивід із стану проведення технічного контролю. При цьому марковська апроксимація можлива, якщо випадкові потоки є простішими, тобто задовольняють умовам ординарності, стаціонарності і відсутності наслідків. В більшості задач прикладного характеру використання марковської апроксимації приводить до отримання рішень з похибкою в межах точності вихідних даних і, в більшості випадків, не перевищує 3-5%. Тому використання властивостей марковських процесів для рішення практичних задач технічної готовності зернозбиральних комбайнів, як правило, є достатньо виправданим.

Так приймемо простіший випадок безперервно контролюваного параметру технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації (рис. 2.4) можливі тільки два стани (працездатність і стан відмови) і при визначеній інтенсивності відмов λ модель режимів технічного контролю включає тільки один керований параметр – середній час T_B або інтенсивність відновлення μ (при цьому $T_B = 1/\mu$).

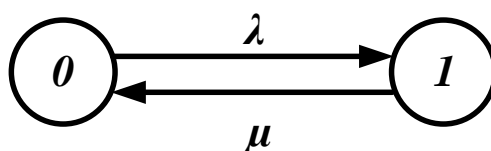


Рис. 2.4. Граф простішого випадку безперервно контролюваного параметру технічного стану зернозбиральних комбайнів в процесі експлуатації: 0 – працездатність, 1 – відмова

Для усталеного режиму експлуатації зернозбиральних комбайнів ($t \rightarrow \infty$) система диференціальних рівнянь відносно ймовірності стану комбайна $P_0(t)$ і $P_1(t)$ перетворюється в систему алгебраїчних рівнянь відносно граничних ймовірностей $P_0(t)$ і $P_1(t)$:

$$-\lambda P_0 + \mu P_1 = 0, \quad -\mu P_1 + \lambda P_0 = 0, \quad (2.6)$$

з якої (2.6), з врахуванням нормуючої умови $P_0 + P_1 = 1$, можливо отримати:

$$\mu = \lambda \frac{P_0}{1 - P_0} = \lambda \frac{1 - P_1}{P_1}. \quad (2.7)$$

При визначеній інтенсивності відмов комбайна λ і заданому рівні технічної готовності P_0 (ймовірність готовності комбайна до безвідмовної експлуатації) або ймовірності аварійної відмови $Q = P_1 = 1 - P_0$ (технічний ризик) можливо визначити граничне значення математичного очікування часу відновлення комбайна і, відповідно, інші значення режиму технічного контролю.

В більш складних випадках для рішення задач оптимізації режимів технічного контролю зернозбирального комбайна необхідно визначити деякі додаткові характеристики, які не можуть бути заданими виходячи з експериментальних досліджень або виробничої практики експлуатації комбайна. Для цього доцільно скористатись основними властивостями марковських процесів з безперервним часом.

Так в моделі нерезервованої відмови зернозбирального комбайна з періодичним технічним контролем (рис. 2.5) можливі переходи чотирьох видів.

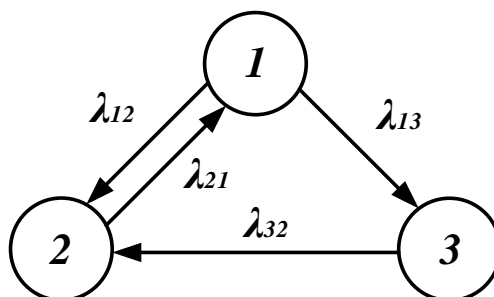


Рис. 2.5. Граф стану нерезервованої відмови зернозбирального комбайна з періодичним технічним контролем: 1 – працездатність; 2 – технічний контроль; 3 – нерезервована відмова (до проведення технічного контролю)

Перший вид (рис. 2.5). З працездатності (або стан технічної готовності комбайна до експлуатації) 1 в стані технічного контролю 2 з періодичністю t_{tc} і, відповідно, з інтенсивністю переходів $\lambda_{12} = 1/t_{tc}$.

Другий вид (рис. 2.5). Стан технічної готовності комбайна 1 в стані відмови 3 з інтенсивністю переходів, рівною інтенсивності відмов λ (або параметру потоку відмов): $\lambda_{13} = \lambda$.

Третій вид (рис. 2.5). Стан за режимом технічного контролю 2 в стані технічної готовності комбайна 1 з інтенсивністю, яка визначається тривалістю технічного контролю τ_{tc} : $\lambda_{21} = 1/\tau_{tc}$.

Четвертий вид (рис. 2.5). Стан за відмови комбайна 3 в стані за режимом технічного контролю 2 (перехід обумовлений віднайденням прихованої відмови при технічному контролі) з інтенсивністю λ_{32} .

Єдиним стан за повної працездатності комбайна є стан технічної готовності 1 і тому основним показником необхідно вважати ймовірність цього стану P_1 . При аналізі технічної готовності комбайна основним значенням є ймовірність відмови (технічний ризик) $Q = P_3$.

Значення t_{tc} , λ , τ_{tc} і, відповідно, інтенсивність переходів λ_{12} , λ_{13} , λ_{21} можуть бути отримані за результатами експериментальних досліджень і випробувань або задаються регламентом технічного контролю комбайна і при побудові моделі їх можна вважати дійсними. Для віднайдення невідомих інтенсивностей λ_{32} можна скористатись властивостями марковських процесів з безперервним часом. Так як перехід 3-2 одиничний, то $p_{32} = 1$, і, очевидно, $t_3 = t_{tc} - t_{13}$, а $t_{13} = t_1$, тоді:

$$\lambda_{32} = p_{32}/t_3 = 1/t_3 = 1/(t_{tc} - t_{13}) = 1/(t_{tc} - t_1). \quad (2.8)$$

Крім того $\lambda_1 = \lambda_{12} + \lambda_{13} = \lambda + 1/t_{tc}$ і для простішого потоку відмов:

$$\begin{aligned} t_1 &= \int_0^{\infty} [1 - F_1(t)] dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda_1 t) dt = \int_0^{\infty} \exp[-(\lambda + 1/t_{tc})t] dt = \\ &= \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Тоді,

$$t_3 = t_{tc} - t_1 = t_{tc} - \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}, \quad (2.10)$$

і у відповідності до формули (2.8):

$$\lambda_{32} = \frac{1}{t_{tc} - \frac{1}{\lambda + 1/t_{tc}}} = \frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}. \quad (2.11)$$

Система диференціальних рівнянь для орієнтованого графа станів комбайна (рис. 2.5) має вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) = -(\lambda + 1/t_{tc})P_1(t) + P_2(t)/\tau_{tc} \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{32}P_3(t) = P_1(t)/t_{tc} - P_2(t)/\tau_{tc} + \left(\frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}\right)P_3(t). \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{13}P_1(t) - \lambda_{32}P_3(t) = \lambda P_1(t) - \left(\frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}\right)P_3(t) \end{cases} \quad (2.12)$$

Так як система рівнянь (2.12) лінійно залежна, то для рішення одне з рівнянь необхідно замінити нормуючою умовою виду:

$$P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1. \quad (2.13)$$

Крім того, необхідно задати початкові умови, $P_1(0) = 1$, $P_2(0) = P_3(0) = 0$.

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda + 1/t_{tc})P_1(t) + P_2(t)/\tau_{tc} \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t)/t_{tc} - P_2(t)/\tau_{tc} + \left(\frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}\right)P_3(t). \\ P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) = 1 \end{cases} \quad (2.14)$$

Для вирішення системи диференціальних рівнянь (2.14) можна скористатись перетворенням Лапласа. Нехай $P_1(t)$ має зображення $P_1(x)$, тоді, у відповідності з властивостями диференціювання оригіналу, якщо $f(t)$, $f'(t)$, $f''(t)$, ..., $f^{(n)}(t)$ – оригінали і його похідні, і $f(t) \xrightarrow{L} F(t)$, тоді $f'(t) \xrightarrow{L} xF(t) - f(0)$, $f^{(n)}(t) \xrightarrow{L} x^{(n)}F(t) - x^{(n-1)}f(0) - K - x^{(n-2)}f(0) - x^{(n-1)}f(0)$.

$$\frac{dP_1(t)}{dt} \xrightarrow{L} xP_1(x) - P_1(0). \quad (2.15)$$

Застосувавши перетворення Лапласа і до інших ймовірностей, задаючись початковими умовами, $t = 0$, $P_1(0) = 1$, $P_2(0) = P_3(0) = 0$ і враховуючи, що $1 \xrightarrow{L} 1/x$, система (2.14) приймає вид:

$$\begin{cases} xP_1(x) - 1 + (\lambda + 1/t_{tc})P_1(x) - P_2(x)/\tau_{tc} = 0 \\ xP_2(x) - P_1(x)/t_{tc} + \tau_{tc}P_2(x) - \left(\frac{1 + \lambda t_{tc}}{\lambda t_{tc}^2}\right)P_3(x) = 0, \\ P_1(x) + P_2(x) + P_3(x) - 1/x = 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

або, виконавши перехід до інтенсивності переходів:

$$\begin{cases} xP_1(x) - 1 + (\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1(x) - \lambda_{21}P_2(x) = 0 \\ xP_2(x) - \lambda_{12}P_1(x) + \lambda_{21}P_2(x) - \lambda_{32}P_3(x) = 0 \\ P_1(x) + P_2(x) + P_3(x) - 1/x = 0 \end{cases} \quad (2.17)$$

Надалі представлено рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (2.17):

$$P_1(x) = \frac{\lambda_{32}x + x^2 + \lambda_{21}x + \lambda_{32}\lambda_{21}}{x(\lambda_{32}x + \lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{32}\lambda_{13} + x^2 + \lambda_{12}x + \lambda_{13}x + \lambda_{21}x + \lambda_{21}\lambda_{13} + \lambda_{32}\lambda_{21})}. \quad (2.18)$$

$$P_2(x) = \frac{\lambda_{12}x + \lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{32}\lambda_{13}}{x(\lambda_{32}x + \lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{32}\lambda_{13} + x^2 + \lambda_{12}x + \lambda_{13}x + \lambda_{21}x + \lambda_{21}\lambda_{13} + \lambda_{32}\lambda_{21})}. \quad (2.19)$$

$$P_3(x) = \frac{x + \lambda_{21}}{x(\lambda_{32}x + \lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{32}\lambda_{13} + x^2 + \lambda_{12}x + \lambda_{13}x + \lambda_{21}x + \lambda_{21}\lambda_{13} + \lambda_{32}\lambda_{21})}. \quad (2.20)$$

Для віднайдення шуканих ймовірностей $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$ необхідно виконати обернене перетворення Лапласа. Однак поліном в знаменнику формул (2.18), (2.19) і (2.20) при $x_1 = 0$ відбувається розрив функцій $P_1(x)$, $P_2(x)$, $P_3(x)$. Крім того, частина полінома знаменника (в скобках), що залишилась, має другу степінь і, відповідно, має ще дві точки розриву (полюси):

$$x_2 = -\frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} -}{-2\lambda_{21}\lambda_{13} + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.21)$$

$$x_3 = -\frac{1}{2} \left[\frac{\lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} +}{-2\lambda_{21}\lambda_{13} + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (2.22)$$

Для усунення даної проблеми використовуємо метод теорії вирахувань []. Так як $P_1(x)$, $P_2(x)$, $P_3(x)$ – правильні раціональні дроби, то ймовірності визначаємо як суму вирахувань в полюсах:

$$P_1(t) = \int_{k=1}^3 \operatorname{Re} s_{x_k} [P_1(x) \exp(xt)], \quad (2.23)$$

$$P_2(t) = \int_{k=1}^3 \operatorname{Re} s_{x_k} [P_2(x) \exp(xt)], \quad (2.24)$$

$$P_3(t) = \int_{k=1}^3 \operatorname{Re} s_{x_k} [P_3(x) \exp(xt)], \quad (2.25)$$

$$\text{де } \operatorname{Re} s_{x_k} [P_1(x) \exp(xt)] = \lim_{x \rightarrow x_k} [P_1(x) \exp(xt)(x - x_k)],$$

$$\operatorname{Re} s_{x_k} [P_2(x) \exp(xt)] = \lim_{x \rightarrow x_k} [P_2(x) \exp(xt)(x - x_k)],$$

$$\operatorname{Re} s_{x_k} [P_3(x) \exp(xt)] = \lim_{x \rightarrow x_k} [P_3(x) \exp(xt)(x - x_k)],$$

де k – кількість полюсів (точок розриву).

Після перетворень за залежностями (2.23), (2.24), (2.25) із застосуванням пакети прикладних програм Solve System of Equations MathCad 15 отримано аналітичну модель, які дозволяють визначити ймовірність стану зернозбирального комбайну при різних поєднаннях заданих значень періодичності і трудомісткості технічного контролю та інтенсивності відмов.

$$\begin{aligned}
P_1(t) = & \begin{bmatrix} \lambda_{13}^2 + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 - \lambda_{32}\lambda_{13} - \lambda_{32}\lambda_{12} - \lambda_{21}\lambda_{13} + \lambda_{21}\lambda_{12} - \\ -\lambda_{13} \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} - \\ -\lambda_{12} \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \end{bmatrix} \times \\
& \times \begin{bmatrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \end{bmatrix}^{-1} \times \\
& \times \exp \left\{ \frac{1}{2} t \begin{bmatrix} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \end{bmatrix} \right\} + \\
& + \begin{bmatrix} \lambda_{13}^2 + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + (\lambda_{13} + \lambda_{12}) \times \\ \times \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} - \\ - (\lambda_{32}(\lambda_{13} + \lambda_{12}) + \lambda_{21}(\lambda_{13} - \lambda_{12})) \end{bmatrix} \times \\
& \times \begin{bmatrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \end{bmatrix}^{-1} \times \\
& \times \exp \left\{ -\frac{1}{2} t \begin{bmatrix} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \\ \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \end{bmatrix} \right\} - \\
& - 4\lambda_{32}\lambda_{21} \times \\
& \times \begin{bmatrix} \left\{ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \right. \\ \left. \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \right\} \times \\ \left\{ + \left(\lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \right. \right. \\ \left. \left. + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \right)^{1/2} \right\} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2.26)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \times \lambda_{13} \exp \left\{ \frac{1}{2} t \left[+ \left(\begin{array}{c} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - \\ -2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right] \right\} - \\
& - \left[+ \left(\begin{array}{c} \lambda_{32} - \lambda_{13} + \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right] \times \\
& \times \left[+ \left(\begin{array}{c} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right]^{-1} \times \\
& \times \lambda_{13} \exp \left\{ -\frac{1}{2} t \left[+ \left(\begin{array}{c} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - \\ -2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right] \right\} - \\
& - 4\lambda_{32}\lambda_{21} \times \\
& \times \left[\left\{ + \left(\begin{array}{c} -\lambda_{32} - \lambda_{13} - \lambda_{21} - \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right\} \times \right]^{-1} \\
& \left[\left\{ + \left(\begin{array}{c} \lambda_{32} + \lambda_{13} + \lambda_{21} + \lambda_{12} + \\ \lambda_{32}^2 - 2\lambda_{32}\lambda_{13} - 2\lambda_{32}\lambda_{21} - 2\lambda_{32}\lambda_{12} + \lambda_{13}^2 - 2\lambda_{21}\lambda_{13} + \\ + 2\lambda_{13}\lambda_{12} + \lambda_{21}^2 + 2\lambda_{21}\lambda_{12} + \lambda_{12}^2 \end{array} \right)^{1/2} \right\} \right]^{-1} \quad (2.28)
\end{aligned}$$

Результати аналітичних визначень за формулами (2.26), (2.27) і (2.28) дозволяють констатувати, що ймовірність стану технічної готовності зернозбирального комбайна і, відповідно, технічні відмови визначаються, в першу чергу, інтенсивністю відмов комбайна (таблиця 2.1) і періодичністю технічного контролю (рис. 2.6,а), в незначній мірі залежить від тривалості технічного контролю (рис. 2.6,б).

Крім того, результати обчислень дозволяють констатувати про тривалість перехідних процесів, протягом яких ймовірність стану технічної готовності комбайна знижується до нормативної фінальної ймовірності, і, відповідно, про можливість застосування для визначення стаціонарної моделі. Так, наприклад, при $\lambda = 10^{-4}$, год⁻¹ ТК-1 і $t_{tc} = 2$ доби після 3 років експлуатації значення P_1 практично не змінюється (рис. 2.6).

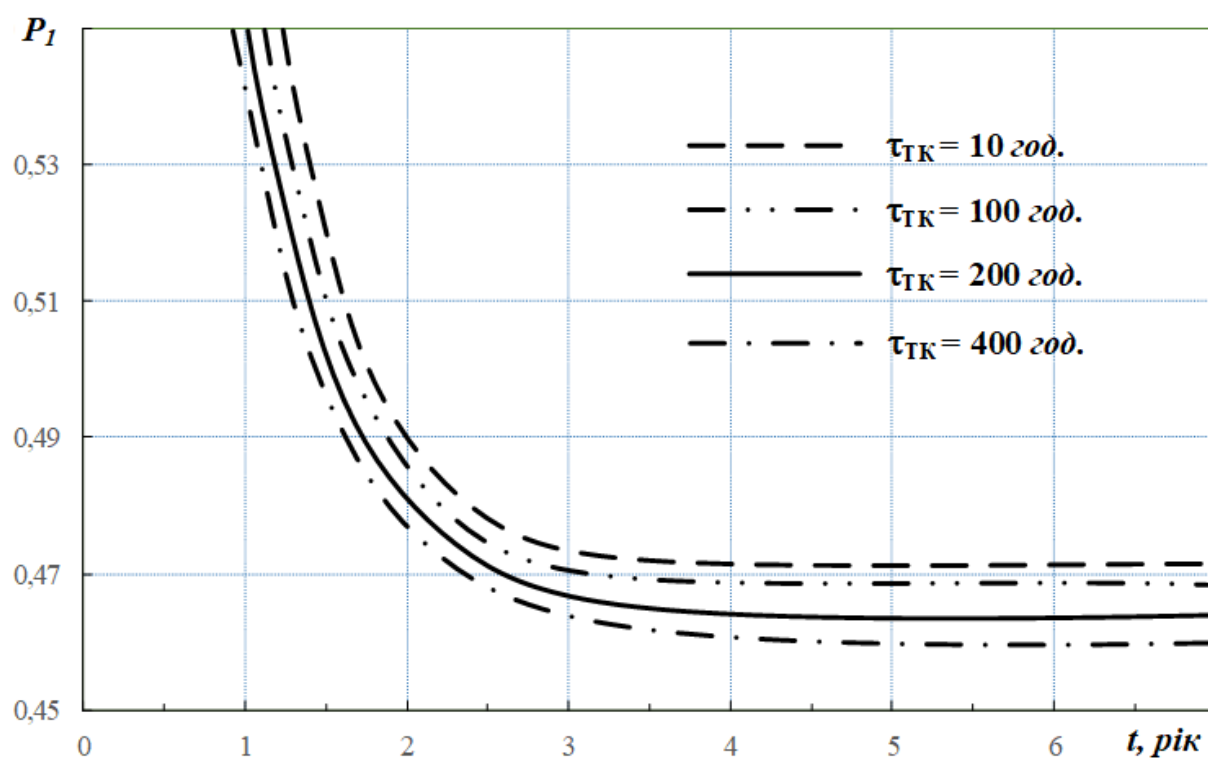
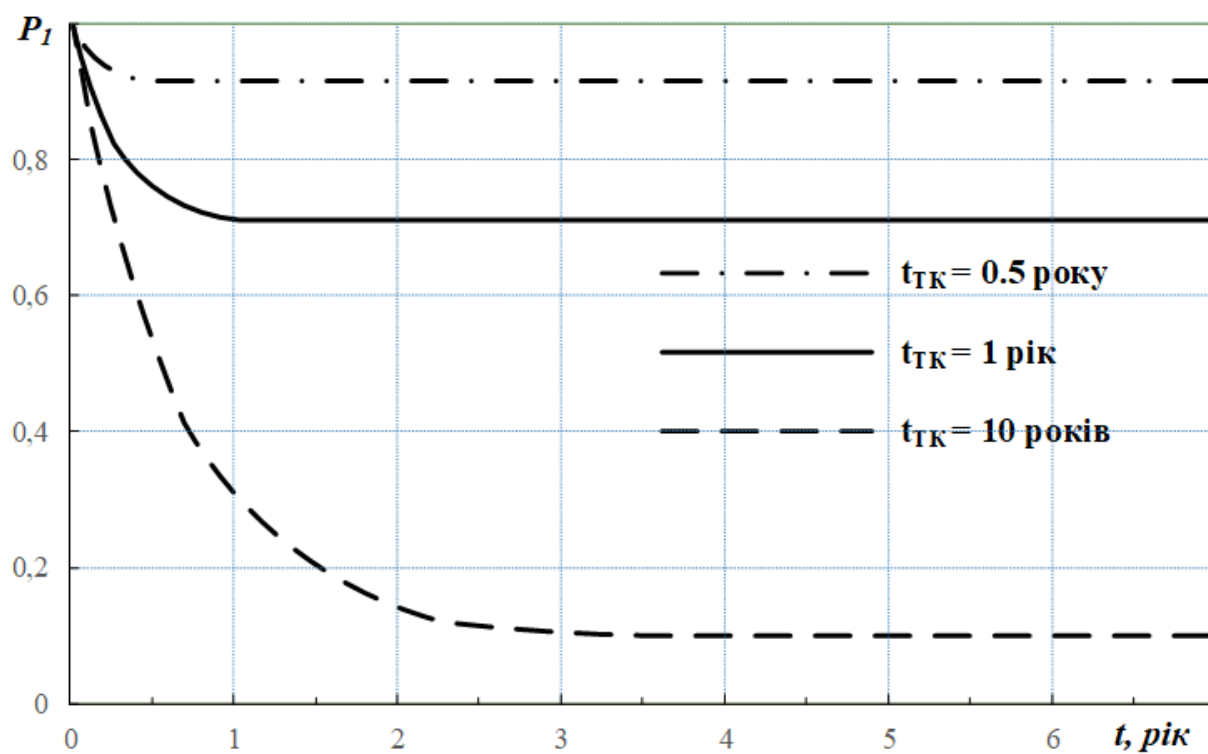


Рис. 2.6. Залежність ймовірності технічного стану зернозбирального комбайна від терміну експлуатації.

Таблиця 2.1

Ймовірність стану технічної готовності комбайна ($\tau_{tc} = 10$ год)

t_{tc} , діб	λ , год ⁻¹	Термін експлуатації t , років						Фінальна ймовірність
		0,1	0,5	1	2	5	10	
0,5	10^{-4}	0,9358	0,8826	0,8798	0,8797	0,8797	0,8797	0,8797
	10^{-5}	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958	0,9958
	10^{-6}	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977	0,9977
1	10^{-4}	0,9232	0,7728	0,7228	0,7093	0,7086	0,7086	0,7086
	10^{-5}	0,9938	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918	0,9918
	10^{-6}	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988	0,9988
2	10^{-4}	0,9187	0,7020	0,5724	0,4914	0,4734	0,4724	0,4724
	10^{-5}	0,9920	0,9785	0,9747	0,9739	0,9739	0,9739	0,9739
	10^{-6}	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991	0,9991

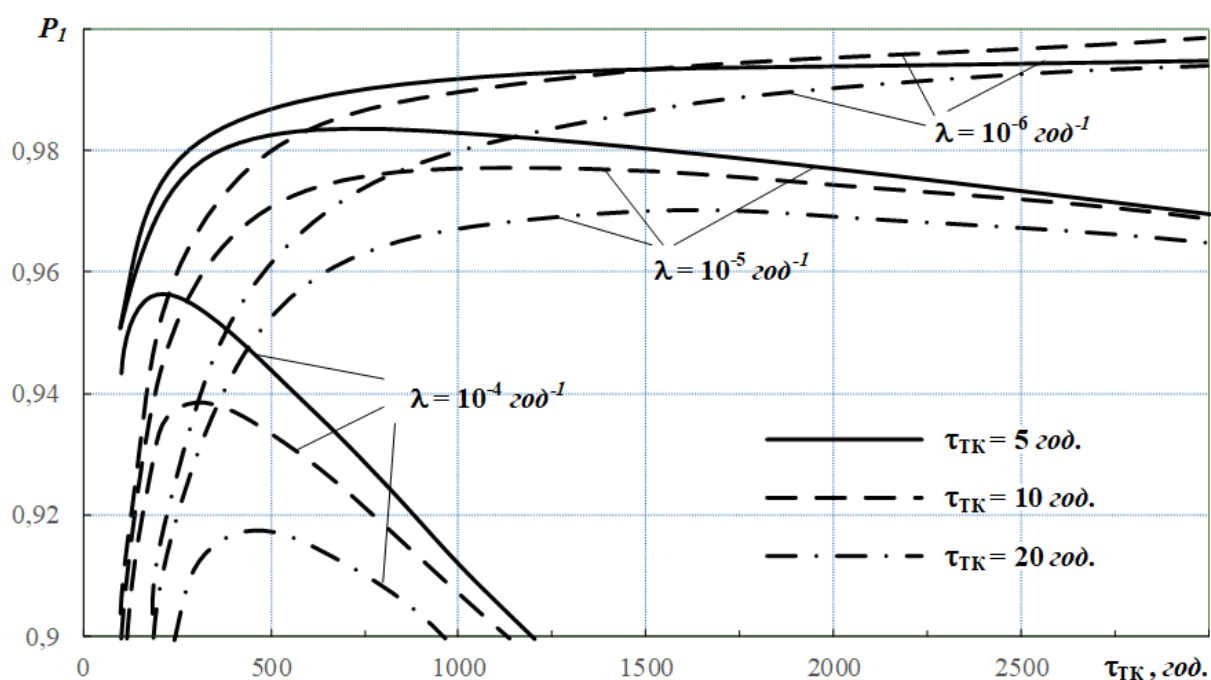


Рис. 2.7. Залежність ймовірності стану технічної готовності від періодичності технічного контролю комбайна

Для усталеного режиму експлуатації $dP_1/dt = 0$, $dP_2/dt = 0$, $dP_3/dt = 0$ і система диференціальних рівнянь (2.12) набуде свого перетворення в систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -(\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1 + \lambda_{21}P_2 = -(t_{tk}^{-1} + \lambda)P_1 + \tau_{tk}^{-1}P_2 = 0 \\ \lambda_{12}P_1 - \lambda_{21}P_2 + \lambda_{32}P_3 = t_{tk}^{-1}P_1 - \tau_{tk}^{-1}P_2 + [t_{tk} - (t_{tk}^{-1} + \lambda)^{-1}]^{-1}P_3 = 0, \\ \lambda_{13}P_1 - \lambda_{32}P_3 = \lambda P_1 - [t_{tk} - (t_{tk}^{-1} + \lambda)^{-1}]^{-1}P_3 = 0 \end{cases} \quad (2.29)$$

При доповненні системи (2.29) нормуючою умовою $P_1 + P_2 + P_3 = 1$ обчислення для фінальних ймовірностей стану можна отримати у виді:

$$P_1 = \frac{t_{tk}(1+t_{tk}\lambda)}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (2.30)$$

$$P_2 = \frac{t_{tk}(2\lambda t_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^2 + 1)}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (2.31)$$

$$P_3 = \frac{\lambda^2 t_{tk}^3}{\lambda^2 t_{tk}^2 \tau_{tk} + \tau_{tk} + 2\lambda t_{tk} \tau_{tk} + \lambda^2 t_{tk}^3 + t_{tk} + \lambda t_{tk}^2}, \quad (2.32)$$

Фінальні ймовірності P_1 за формулою (2.30) представлені в табл. 2.1, де-які за формулами (2.30), (2.31), (2.32) графічно представлені на рис. 2.7, як залежність ймовірності стану технічної готовності комбайна P_1 від періодичності технічного контролю t_{tk} , при різних поєднаннях значень інтенсивності відмов λ і тривалості технічного контролю τ_{tk} . А на рис. 2.8 графічна інтерпретація залежності ймовірності стану комбайна в непрацездатному стані від періодичності технічного контролю. Необхідно відзначити наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях λ і τ_{tk} існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності комбайна.

Отримані математичні моделі (2.26), (2.27), (2.28) для неусталеного і (2.30), (2.31), (2.32) усталеного режимів експлуатації комбайна дають можливість визначити оптимізацію процесу технічної готовності.

Значна кількість технічних систем, а саме механізмів, вузлів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, з метою підвищення безвідмовності мають дубльовану схему основних робочих органів, а робота систем керування параметрами технічного стану формуються за мажоритарною схемою. Наприклад, в моделі комбайна з резервованими системами з періодичним технічним контролем параметрів технічного стану кількість станів складає шість і, відповідно, можливі переходи восьми видів (рис. 2.9).

Необхідно відмітити, що граф станів (рис. 2.9), передбачає необхідність зниження технічної готовності комбайна навіть при усуненні відмови одного каналу (перехід 4-2).

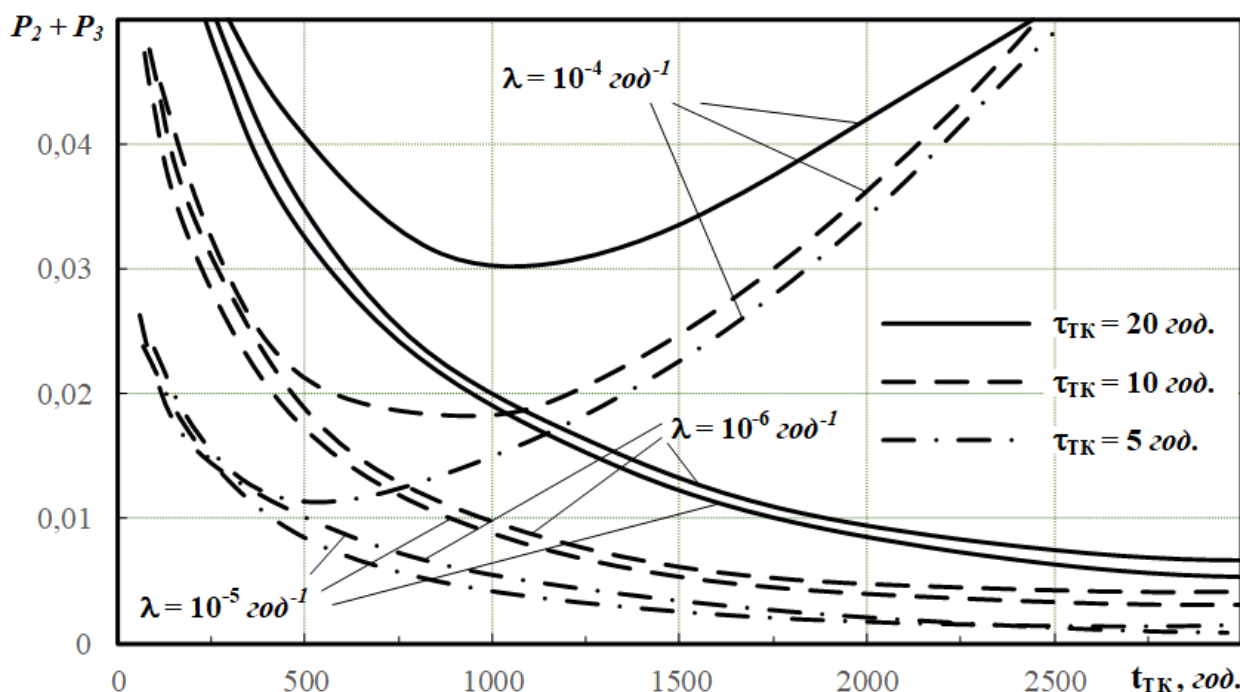


Рис. 2.8. Залежність ймовірності непрацездатного стану комбайна від періодичності його технічного контролю

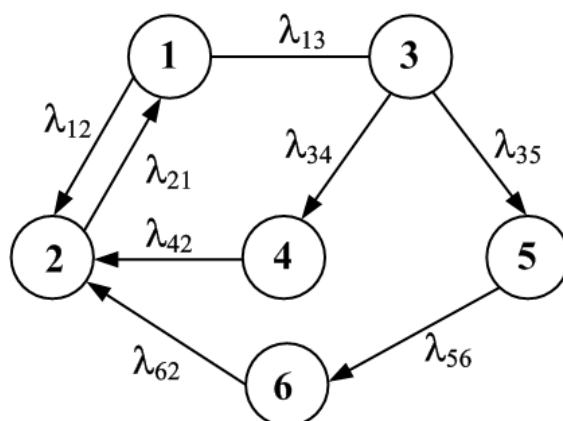


Рис. 2.9. Граф станів комбайна з резервованими системами з періодичним технічним контролем параметрів технічного стану: 1 – працездатний стан (готовність до експлуатації) основної і резервної систем; 2 – періодичність технічного контролю при двох працездатних системах; 3 – працездатний стан (готовність до експлуатації) однієї із систем; 4 – періодичний технічний контроль при одній працездатній системі комбайна; 5 – неявна відмова обох систем; 6 – періодичний технічний контроль при двох відмовивших системах і усуненні відмов

Якщо для періодичного технічного контролю комбайни виводяться із працездатного стану (стану технічної готовності), тобто вимикаються, тоді

працездатним є тільки стани 1 і 3 (технічної готовності до експлуатації двох і однієї системи, відповідно) і тому основним показником технічного готовності можна вважати сумарну ймовірності $P_{1-3} = P_1 + P_3$. Якщо ж технічний контроль здійснюється без вимикань, тоді працездатними є стани 1, 2, 3 і 4 (рис. 2.9) та основним показником безвідмовності є сумарна ймовірності $P_{1-4} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$.

Інтенсивність відмов комбайнів λ , періодичність технічного контролю t_{tk} , математичне очікування трудомісткості технічного контролю τ_{tk} і усунення відмов τ_f і, відповідно, інтенсивності переходів $\lambda_{12} = 1/t_{tk}$, $\lambda_{13} = 2\lambda$, $\lambda_{21} = 1/\tau_{tk}$, $\lambda_{35} = \lambda$, $\lambda_{42} = \lambda_{62} = 1/(\tau_{tk} + \tau_f)$ можуть бути отримані за результатами експериментальних досліджень або задаються регламентом. Для знаходження інтенсивностей переходів λ_{34} і λ_{56} можна використати властивості марковських процесів з безперервним часом:

$$\begin{aligned} \lambda_{34} &= \left[t_{tk} - \left(2\lambda + \frac{1}{t_{tk}} \right)^{-1} \right]^{-1} \left[\lambda \left\{ t_{tk} - \left(2\lambda + \frac{1}{t_{tk}} \right)^{-1} \right\} \right]^{-1} = \\ &= \frac{(1+2\lambda t_{tk})^2}{\lambda t_{tk}^2 \{1+(1+2\lambda t_{tk})^2\}} \end{aligned} \quad (2.33)$$

$$\lambda_{56} = \left[-\frac{t_{tk}}{2} + \left(2\lambda + \frac{1}{t_{tk}} \right)^{-1} \right]^{-1} = \frac{2(1+2\lambda t_{tk})}{t_{tk}(1-2\lambda t_{tk})} \quad (2.34)$$

Система диференціальних рівнянь має вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_1(t)}{dt} = -(\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1(t) + \lambda_{21}P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{12}P_1(t) - \lambda_{21}P_2(t) + \lambda_{42}P_4(t) + \lambda_{62}P_6(t) \\ \frac{dP_3(t)}{dt} = \lambda_{13}P_1(t) - (\lambda_{34} + \lambda_{35})P_3(t) \\ \frac{dP_4(t)}{dt} = \lambda_{34}P_3(t) - \lambda_{42}P_4(t) \\ \frac{dP_5(t)}{dt} = \lambda_{35}P_3(t) - \lambda_{56}P_5(t) \\ \frac{dP_6(t)}{dt} = \lambda_{56}P_5(t) - \lambda_{62}P_6(t) \end{array} \right. . \quad (2.35)$$

Систему рівнянь (2.35) необхідно доповнити нормуючою умовою виду: $P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) + P_6(t) = 1$ і початковими умовами, $P_1(0) = 1$, $P_2(0) = P_3(0) = P_4(0) = P_5(0) = P_6(0) = 0$.

Чисельний аналіз системи диференціальних рівнянь (2.35) в інтервалах значень основних параметрів $\lambda = 10^{-4} \div 10^{-6}$ год⁻¹, $t_{tk} = 12 \div 120$ год,

$\tau_{tk} = 0,3 \div 3$ год, і $\tau_f = 1 \div 10$ год показує, що при $\lambda \leq 10^{-5}$ гоТК-1 перехідні процеси в моделі практично відсутні (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Ймовірність стану технічної готовності комбайна $P_{1,3}$ при $t_{tk} = 6$ міс.,

$\tau_{tk} = 3$ год, $\tau_f = 10$ год

$\lambda, \text{год}^{-1}$	Термін експлуатації t , років			
	0,5	1	2	3
10^{-4}	0,949444	0,947142	0,945093	0,943068
10^{-5}	0,998882	0,998882	0,998841	0,998838
10^{-6}	0,999278	0,999272	0,999264	0,999256

В такому випадку при аналізі можна перейти до системи алгебраїчних рівнянь, складених для усталеного режиму:

$$\begin{cases} -(\lambda_{12} + \lambda_{13})P_1 + \lambda_{21}P_2 = 0; \\ \lambda_{12}P_1 - \lambda_{21}P_2 + \lambda_{42}P_4 + \lambda_{62}P_6 = 0; \\ \lambda_{13}P_1 - (\lambda_{34} + \lambda_{35})P_3 = 0; \\ \lambda_{34}P_3 - \lambda_{42}P_4 = 0; \\ \lambda_{35}P_3 - \lambda_{56}P_5 = 0; \\ \lambda_{56}P_5 - \lambda_{62}P_6 = 0. \end{cases} \quad (2.36)$$

Вирішенням системи рівнянь (2.36) з врахуванням нормуючої умови $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 = 1$ можливо отримати вираз для ймовірності працездатності станів для двох випадків – при контролі з відключенням $P_{1-3} = P_1 + P_3$ і контролі без відключення $P_{1-4} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$:

$$P_{1-3} = \frac{1 + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})}}{1 + \frac{(\lambda_{12} + \lambda_{13})}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \left(1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{42}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right)}, \quad (2.37)$$

$$P_{1-4} = 1 - \frac{\lambda_{35} \left(\frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right) \left(1 + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \right)}{1 + \frac{(\lambda_{12} + \lambda_{13})}{\lambda_{21}} + \frac{\lambda_{13}}{(\lambda_{34} + \lambda_{35})} \left(1 + \frac{\lambda_{34}}{\lambda_{42}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{56}} + \frac{\lambda_{35}}{\lambda_{62}} \right)}. \quad (2.38)$$

Результативні дані розрахунків за виразами (2.37) і (2.38) представлені в таблиці 2.3. і графічно на рис. 2.10.

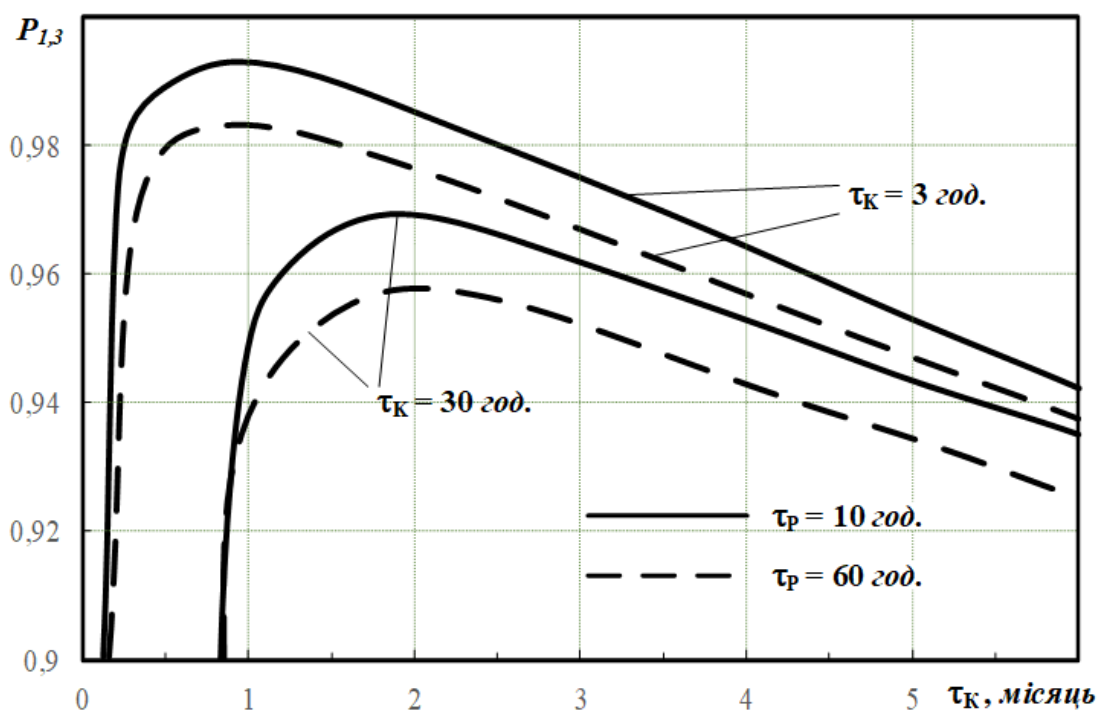


Рис. 2.10. Залежність ймовірності стану технічної готовності резервуванням систем від періодичності технічного контролю $\lambda = 10^{-4}$ год $^{-1}$

Із аналізу отриманих залежностей (2.37) і (2.38) можна зробити висновки:

- найбільший вплив на ймовірність P_{1-3} здійснює інтенсивність відмов λ і періодичності технічного контролю t_{tk} параметра технічного стану комбайна;
- максимум значення P_{1-3} із зменшенням λ зміщується в бік більших значень t_{tk} (при $\lambda = 10^{-4}$ год $^{-1}$ він відповідає значенню $t_{tk} = 0,5 - 0,7$ місяця, при $\lambda = 10^{-5}$ год $^{-1}$ він відповідає значенню $t_{tk} = 0,8 - 1,1$ місяця), графік $P_{1-3}(t_{tk})$ при цьому становиться більш пологим;
- оптимальна періодичність технічного контролю комбайна пропорційна збільшенню його трудомісткості τ_{tk} – при $\lambda = 10^{-4}$ год $^{-1}$ збільшення τ_{tk} з 1 до 10 годин призводить до збільшення оптимальної періодичності з 12 до 120 годин, хоча максимальне значення ймовірності P_{1-3} при цьому знижується на 2,5%;
- відхилення періодичності технічного контролю комбайна від оптимального значення, особливо в бік зменшення, істотно знижують ймовірність технічної готовності комбайна, особливо при більших значеннях інтенсивності відмов, так для $\lambda = 10^{-4}$ год $^{-1}$, $\tau_{tk} = 1$ годин і $\tau_f = 6$ годин зменшення t_{tk} з 16 годин до 1,6 години знижує значення P_{1-3} на 4% у порівнянні з максимальним, а збільшення на 2 години – на 1,5%.

Таблиця 2.3

Ймовірність стану технічної готовності комбайна P_{1-3} при $P_{1-4}=0,99999$

λ , гоТК-1	t_{tk} , ГОД	τ_{tk} , ГОД	τ_f , ГОД	$P_{1,3}$
10^{-4}	12	1	1	0,99268
			6	0,98293
		10	1	0,99268
			6	0,99268
	120	1	1	0,99640
			6	0,98664
		10	1	0,98217
			6	0,97261
10^{-5}	24	1	1	0,99760
			6	0,99661
		10	1	0,97825
			6	0,97729
	160	1	1	0,99926
			6	0,99826
		10	1	0,99446
			6	0,99347
10^{-6}	12	1	1	0,99582
			6	0,99572
		10	1	0,95987
			6	0,95978
	160	1	1	0,99955
			6	0,99945
		10	1	0,99571
			6	0,99561

В залежності від постановки задачі оптимізації можливі різні варіанти її вирішення, в тому числі такі, що передбачають зміни не тільки параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, але й структури самого режиму технічного контролю, в частині розробки і використання різних комбінаторних і комплексних моделей з різними видами технічного контролю; за фактичним технічним станом, що може бути пов'язано з необхідністю його безперервного або періодичного технічного контролю. Поряд з критерієм граничного допустимої ймовірності відмови для визначення тривалості експлуатації комбайна між почерговими технічними контролюями використовуються також економіко-математичні критерії. При цьому вимоги до технічної готовності комбайна виконують роль обмеження.

Тоді задача керування технічною готовністю зернозбирального комбайна при експлуатації може бути формалізована за загальновідомим принципом, який представляє собою алгебраїчну суму добутку всіх можливих ймовірностей втрати працездатності і збитків від простоїв комбайна з цих подій: $S = \sum_{i=1}^n (p_i Z_i)$, де p_i – ймовірність i -ї події, Z_i – збитки при настанні i -ї події. В простому випадку, в якості критерія для визначення періодичності технічного контролю може бути прийнято мінімум середніх питомих витрат, на одиницю часу, сумарних збитків від відмов і планового технічного контролю в проміжку часу між відновленням працездатності комбайна:

$$S(\tau) = Zp(t < \tau) + Ap(t \geq \tau), \quad (2.39)$$

де Z – збитки від відмови (середні затрати, які пов'язані з відмовою, ліквідацією її наслідків і наступним відновленням відмовивших вузлів); A – затрати і втрати, які пов'язані з проведенням планового технічного контролю; t – наробітку на відмову; τ – наробітку між технічними контролюми.

Якщо відома функція ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ або ймовірності відмови $Q(t) = 1 - P(t)$, тоді формула (2.39) можна записати у вигляді:

$$S(\tau) = ZQ(\tau) + A[1 - P(\tau)] = Z[1 - P(\tau)] + AP(\tau). \quad (2.39)$$

Очевидно, час експлуатації комбайна між відновленням $t_p = \min\{t, \tau\}$. Тобто, математичне очікування часу експлуатації комбайна:

$$M(t_p) = \int_0^\tau tf(t)dt + \tau P(\tau) = \int_0^\tau P(t)dt. \quad (2.40)$$

Тоді питомі середні витрати:

$$s(\tau) = \frac{S(\tau)}{M(t_p)} = \frac{Z[1-P(\tau)]+AP(\tau)}{\int_0^\tau P(t)dt}. \quad (2.41)$$

Для визначення значення часу і наробітку τ , при яких середні питомі затрати $s(\tau)$ будуть мінімальними, необхідно похідну функцію (2.41) прирівняти нулеві. Після цього отримаємо:

$$P(\tau) + \lambda(t) \int_0^\tau P(t)dt = \frac{Z}{Z-A}. \quad (2.42)$$

Для визначених функцій $P(t)$ і $\lambda(t)$ вираз (2.42) дозволяє віднайти оптимальну тривалість експлуатації зернозбирального комбайна між плановими технічними контролюми. Якщо у комбайна можливі тільки неявні відмови, тоді

при інших рівних умовах, в сумарних затратах, необхідно врахувати додаткові збитки від прихованої відмови u :

$$\begin{aligned} S(\tau) &= Zp(t < \tau) + Ap(t \geq \tau) + u \int_0^{\tau} tf(\tau - t)dt = \\ &= Z[1 - P(\tau)] + AP(\tau) + u \int_0^{\tau} [1 - P(\tau)]dt = \\ &= Z + (A - Z)P(t) + u[\tau - \int_0^{\tau} P(t)dt]. \end{aligned} \quad (2.43)$$

Середні питомі затрати за час τ :

$$s(\tau) = \frac{1}{\tau} \{Z + (A - Z)P(t) + u[\tau - \int_0^{\tau} P(t)dt]\}. \quad (2.44)$$

Прирівнявши нульову похідну виразу (2.44) по τ , отримаємо нерівність, вирішення якого можна визначити оптимальну періодичність технічного контролю.

$$P(\tau) + \tau f(t) - \frac{u}{Z-A} [\tau - \int_0^{\tau} P(t)dt] = \frac{Z}{Z-A}. \quad (2.45)$$

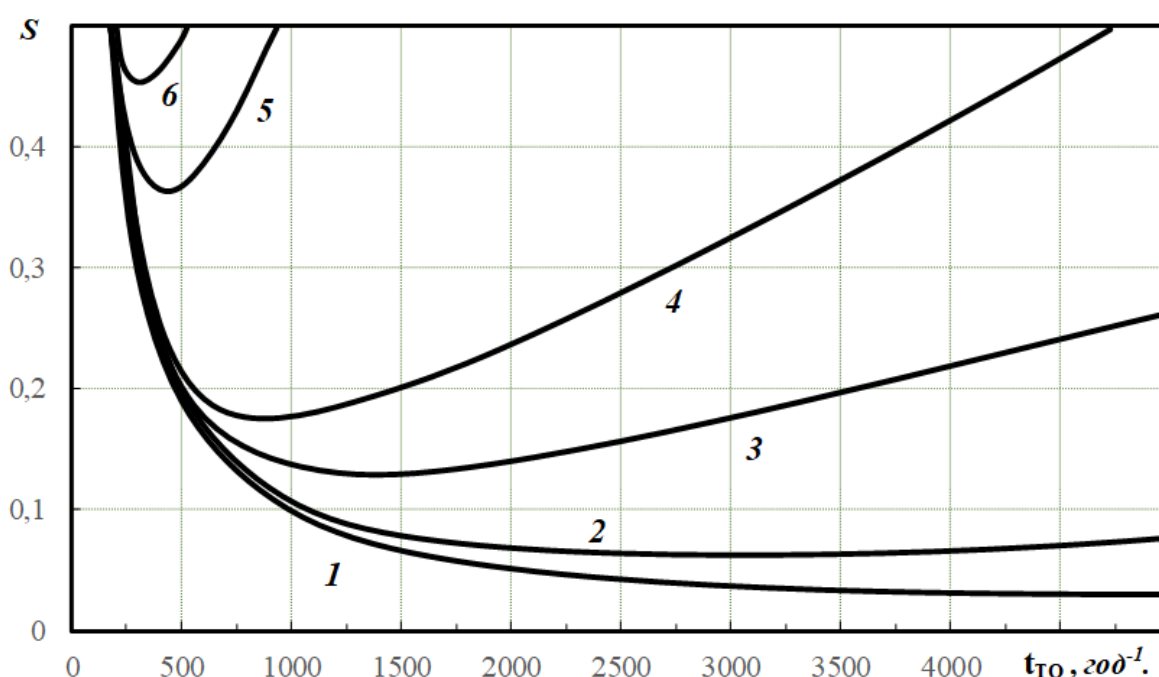


Рис. 2.11. Залежність від періодичності технічного контролю і відношення затрат Z/A ($\lambda = 10^{-4}$ годТК-1, $\tau_{tk} = 10$ годин): 1 – $Z/A = 1$; 2 – $Z/A = 10$; 3 – $Z/A = 50$; 4 – $Z/A = 100$; 5 – $Z/A = 120$; 6 – $Z/A = 140$

Для зернозбирального комбайна з періодичним технічним контролем функція набуває виду:

$$S = AP_2(t) + ZP_3(t). \quad (2.46)$$

Для усталеного режиму технічного контролю комбайна і фінальних ймовірностей технічного стану оптимальна періодичність самого технічного контролю, яка забезпечує мінімальне значення величини S , визначається, в першу чергу, відношенням збитків до відмови Z до затрат на технічний контроль A (рис. 2.11).

Таблиця 2.4

Оптимальна періодичність технічного контролю зернозбиральних комбайнів

τ_{tk} , год	Z/A	Періодичність технічного контролю t_{tk}^{opt} , год		
		$\lambda = 10^{-4} \text{ год}^{-1}$	$\lambda = 10^{-5} \text{ год}^{-1}$	$\lambda = 10^{-6} \text{ год}^{-1}$
1	1	99,92	31,54	9,92
	10	31,52	9,90	3,07
	100	9,90	3,06	0,91
	140	3,06	0,91	0,23
2	1	141,26	44,56	13,98
	10	44,53	13,95	4,28
	100	13,94	4,28	1,23
	140	4,28	1,23	0,29
5	1	223,21	70,31	21,96
	10	70,22	21,88	6,60
	100	21,87	6,59	1,79
	140	6,59	1,79	0,37
10	1	315,43	99,20	30,83
	10	99,02	30,66	9,07
	100	30,67	9,05	2,32
	140	9,05	2,32	0,41

В табл. 2.4 представлені результати визначення оптимальної періодичності технічного контролю t_{tk}^{opt} , яке забезпечує мінімальне значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min} при заданих параметрах інтенсивностей відмов λ , тривалість технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль Z/A . Так при заданих $\lambda = 10^{-5} \text{ год}^{-1}$, $\tau_{tk} = 10 \text{ год}$, $Z/A = 10$, з врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина

мінімальної сукупної оптимізаційної функції $S_{min} = 0,0613$ і оптимальна періодичність технічного контролю $t_{tk}^{opt} = 30,66$ год.

Запропонований метод і результат визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих параметрах інтенсивностей відмов, трудомісткістю технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль дозволяє мінімізувати значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min} забезпечення технічної готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом.

2.3. Аналітичні моделі параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

При експлуатації зернозбиральних комбайнів відбувається старіння їх елементів, деталей, складальних одиниць, вузлів, механізмів і агрегатів в результаті різних механічних, теплових, електричних та інших фізико-хімічних процесів, а також під впливом зовнішніх і внутрішніх навантажень різної природи. Ці процеси і фактори викликають накопичення пошкоджень, розвиток дефектів, незворотні зміни властивостей конструкційних матеріалів і параметрів елементів комбайнів і, як наслідок – поступове зниження їх функціональності, що в пририводить до їх відмов і, в кінці кінців, до граничного стану, після якого подальша експлуатація неможлива.

Сучасний рівень науково-технічного прогресу дозволяє створити зернозбиральний комбайн, який володіє високою технічною готовністю. Так на стадіях виготовлення і монтажу – ретельний технічний контроль матеріалів і комплектуючих виробів, високий рівень організації і технічного контролю технологічних процесів, проміжні контрольні випробування окремих елементів, вузлів і агрегатів. Усунення прихованих дефектів на стадії припрацювання і обкатування, система технічного контролю, яка може включати комплекс вимірювальних і планово-профілактичних заходів, які дозволяють знизити до мінімуму ймовірність виникнення відмов в процесі експлуатації зернозбирального комбайна. При цьому не вирішеною є актуальна проблема

прогнозування і забезпечення контрольованості параметрів технічного стану комбайна (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Схема визначення параметрів технічного стану зернозбирального комбайна

Інженерний моніторинг за параметрами технічного стану комбайна має проводитись у відповідності з програмою, яка розроблена на основі аналізу технічної документації і даних оперативного вимірювання, і включати наступні операції: візуальний (зовнішній і внутрішній) контроль; вимірювання геометричних параметрів і товщини стінок пустотілих деталей; вимірювання твердості і визначення механічних характеристик; металографічне дослідження основного металу і зварного з'єднання; визначення хімічного складу; дефектоскопічний контроль (вид і об'єм, який встановлюється з врахуванням

вимог повноти і достатності виявлення дефектів і пошкоджень); вимірювання на міцність, герметичність, жорсткість, пружність. Результати аналізу параметрів технічного стану комбайна також мають бути додані до бази даних і оформленні у виді технічного заключення, з рішенням про можливість подальшої експлуатації за призначеним ресурсом. Уточнення критеріїв граничного стану проводиться з метою отримання додаткової інформації про рівень номінального і локального розрахункового залишкового ресурсу. При цьому враховується режим і діючі навантаження за період експлуатації, включаючи температурні впливи і взаємодію із зовнішнім середовищем, зміну характеристик металу з причини старіння.

Таким чином (рис. 2.9), параметри технічного стану зернозбирального комбайна є важливою технічною характеристикою саме на стадії експлуатації, тобто, коли технічному контролю підлягають конкретні існуючі комбайни. При цьому індивідуальність оцінки залишкового ресурсу комбайна відкривають додаткові шляхи для отримання економічного ефекту.

При оцінці залишкового ресурсу комбайна за визначальним параметром $X(t)$ найбільш розповсюдженою є загальновідома лінійна апроксимація (рис. 2.10а): $X(t) = X_0 + \gamma t$, де X_0 – початкове значення визначального параметра; γ – швидкість зміни параметра. В такому випадку оцінка повного T і залишкового τ ресурсів після технічного контролю при відомому значенні набуває рішення при $X = X_{гр}$ (X_k – допустиме значення визначального параметра): $T = \frac{X_{гр} - X_0}{\gamma}$, $\tau = \frac{X_{гр} - X_{доп}}{\gamma} = \frac{X_{гр} - (X_0 + \gamma T_k)}{\gamma}$. Однак в більш загальній формі деградаційні процеси старіння або зношення описуються поліноміальною залежністю (рис. 2.10б).

Однак не зважаючи на рекомендоване застосування апроксимаційних залежностей (рис. 2.10) для зернозбиральних комбайнів в реальних умовах експлуатації монотонної залежності X від часу (наробітку) t не спостерігається. По-перше, з причини розкиду властивостей конструкційних матеріалів і нестабільності технології виробництва елементів комбайна початкове значення визначального параметра X_0 є випадковою величиною. Для X_0 досить часто необхідно застосовувати нормальний або усічений нормальний закон розподілу випадкової величини в межах поля допуску за трьома сігмами. По-друге, нестабільність і невизначеність умов експлуатації комбайна і навантажень часто

призводить до випадкової характеристики швидкості зміни визначального параметра γ . В таблиці 2.5 зведені основні моделі зміни визначальних параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів, а рис. 2.11 формалізує опис закону розподілу ресурсу елемента $f(T)$, при якому в результаті пошкодження, зносу, старіння, розрегулювання відбувається поступова зміна визначального параметра X .

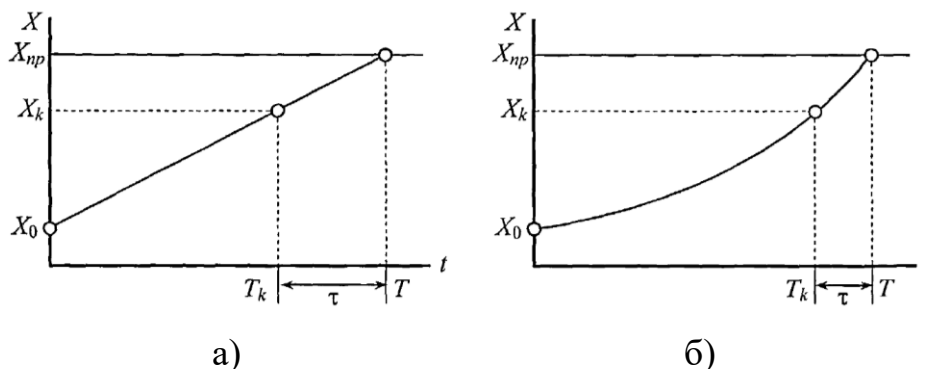


Рис. 2.10. Загальновідомі графічні інтерпретації визначення параметра технічного стану зернозбирального комбайна

Всі процеси (рис. 2.11) в момент технічного контролю T_k параметра технічного стану зернозбирального комбайна призводять до того, що визначальний параметр X_k сукупності елементів з розподілом $f(X_k)$ і, відповідно, розкид значень повного ресурсу з розподілом $f(T)$. Виконавши аналіз формалізації опису $f(T)$ (рис. 2.11а) стає очевидним, що до моменту T , яке отримано за детермінованим процесом і середнім ресурсу, граничний стан досягнуть половина з усієї сукупності елементів комбайна, а саме з ймовірністю 0,5. Тому така детермінована оцінка ресурсу може вважатись прийнятною тільки в тих поодиноких випадках, коли вихід до непрацездатного стану елемента комбайна не призводить до відмови самого комбайна.

При визначенні ресурсу за визначальним параметром технічного стану $X(t)$ зернозбирального комбайну (табл. 2.5) розглянемо залежність наступного виду: $X(t) = X_0 + \gamma t^n$, де t – в даному випадку є часовою характеристикою, а n – показник ступеня може набувати довільного значення з інтервалу $(1, 2)$, маємо: $X(t) = X_0 + \gamma t$ і $X(t) = X_0 + \gamma t^2$. В такому випадку оцінка повного T ресурсу при відомому значенні γ відбувається шляхом вирішення при $X = X_{\text{гр}}$, а оцінка

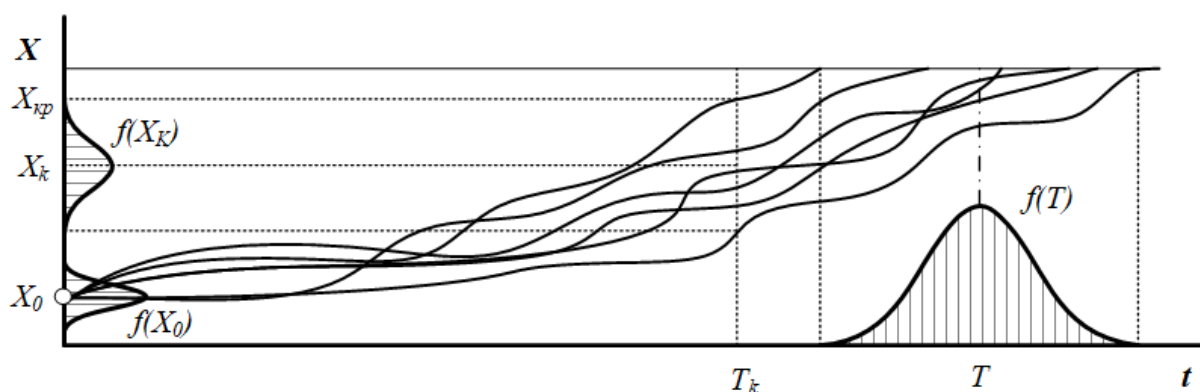
залишкового ресурсу при $X = X_{tk}$ (X_{tk} – значення визначального параметру технічного стану комбайна, отриманого в результаті технічного контролю).

Таблиця 2.5

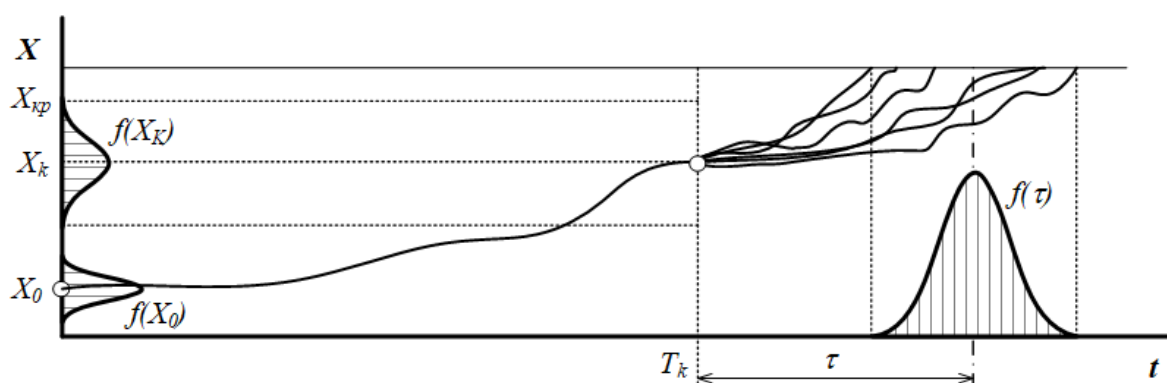
Моделі зміни визначальних параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

Елемент	X	Процес	Модель
Клапан силового циліндра підйому жниварки	Розмір ущільнення	Зміна стану і властивостей матеріалів під впливом повторних перемінних напружень	$\Delta X(t) = ct^n$
Торцеве ущільнення плунжерної пари паливного насоса	Величина зазору	Механічний абразивний знос	$\Delta X(t) = ct^n$
Вентиль перепускний гідростатики	Конусність	Контактна втома робочих поверхонь з утворенням мікротріщин	$\Delta X(t) = ct$
Вал приводу різального апарату жниварки	Зміна діаметра валу	Окислення поверхневих шарів і руйнування окисів	$\Delta X(t) = c_1t + c_2t^2$
Розподільчий пристрій гідросистеми відведення вивантажувального шнека	Величина потоку рідини	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct$
Гідро- і пневмоциліндри	Величина витoku рідини або газу	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Гідромотор гідроприводу	Перепад тиску	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Двигун внутрішнього згорання	Потужність	Зміна стану і властивостей поршневих кілець (відрив частинок гарячим газом)	$\Delta X(t) = c_1t + c_2t^2$
Похилий транспортер жниварки	Зусилля притиснення	Зміна стану і властивостей матеріалу деталей	$\Delta X(t) = ct^n$
Робоча поверхня соломотрясу	Величина зносу	Зношування і корозія матеріалу	$\Delta X(t) = ct$

Примітка: c , c_1 , c_2 – показники коефіцієнтів сталих при змінних функції; n – показник ступеня змінних функції.



а)



б)

Рис. 2.11. Формалізація опису закону розподілу ресурсу елемента $f(T)$, при якому в результаті пошкодження, зносу, старіння, розрегулювання відбувається поступова зміна визначального параметра X

Величина $X_{\text{гр}}$ визначається з умови міцності деталі комбайна, вимог нормативно-технічної документації або виході з фінансових і трудових ресурсів самого агропромислового підприємства. Для віднайдення функції визначального параметру $X(t)$ необхідно визначити сукупний закон розподілу $F(X)$ через його загальний випадок:

$$F(X) = P[(X_0, \gamma) \subset D] = \int \int_{D(X \leq x)} f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma. \quad (2.47)$$

Отже, вираз (2.47) потребує вирішення двократного інтегралу. Для випадку, коли $X(t) = X_0 + \gamma t$ інтервал береться з області D , де $X_0 + \gamma t < x$, тому отримуємо конкретні межі інтегрування.

$$F(X) = \int \int_D f(X_0, \gamma) dX_0 d\gamma = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} f(X_0, \gamma) d\gamma \right] dX_0. \quad (2.48)$$

Щільність розподілу $f(X)$ отримаємо після диференціювання по x , який входить як параметр в верхню межу інтеграла. Так як випадкові величини X_0 і γ незалежні і рівноправні, а саме:

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(X_0)f_2(X - X_0)dX_0, \quad (2.49)$$

або

$$f(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (X - \gamma)f_2(\gamma)d\gamma, \quad (2.49)$$

де f_1 і f_2 – відповідно, щільність розподілу аргументів і можливих значень аргументів від'ємні.

Приймаючи для них нормальний закон розподілу, отримаємо:

$$f(X_0) = \frac{1}{\sigma_{X_0}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X_0-\mu_{X_0})^2}{2\sigma_{X_0}^2}\right], \quad (2.50)$$

$$f(X_0) = \frac{1}{\sigma_{\gamma}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\gamma-\mu_{\gamma})^2}{2\sigma_{\gamma}^2}\right]. \quad (2.50)$$

Тоді закон розподілу випадкової величини X :

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_{X_0}\sigma_{\gamma}\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(X_0-\mu_{X_0})^2}{2\sigma_{X_0}^2}\right] \times \exp\left[-\frac{(X_0-X-\mu_{\gamma})^2}{2\sigma_{\gamma}^2}\right] dX_0, \quad (2.51)$$

Після проведення перетворення:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_X\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X-\mu_X)^2}{2\sigma_X^2}\right], \quad (2.52)$$

де

$$\mu_X = \mu_{X_0} - t\mu_{\gamma} \text{ або } \mu_X = \mu_{X_0} - t^2\mu_{\gamma}, \quad (2.53)$$

$$\sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_{\gamma}^2} \text{ або } \sigma_X = \sqrt{\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_{\gamma}^2}, \quad (2.54)$$

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_{\gamma}^2)}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X-\{\mu_{X_0}-t\mu_{\gamma}\})^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^2\sigma_{\gamma}^2)}\right], \quad (2.55)$$

або

$$f(X) = \frac{1}{\sqrt{(\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_{\gamma}^2)}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X-\{\mu_{X_0}-t^2\mu_{\gamma}\})^2}{2(\sigma_{X_0}^2 + t^4\sigma_{\gamma}^2)}\right]. \quad (2.56)$$

В подальшому необхідно визначити вид і функцію розподілу ресурсу. Так як висновок аналітичних залежностей передбачає певні ускладнення, має зміст вирішити дану задачу в чисельному виді. Значення t , μ_{X_0} , μ_X , σ_{X_0} , σ_X відомі, застосовуємо вирази (2.55) і (2.56) визначаємо μ_{γ} і σ_{γ} :

$$\mu_{\gamma} = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t} \text{ або } \mu_{\gamma} = \frac{\mu_{X_0} - \mu_X}{t^2}, \quad (2.57)$$

$$\sigma_{\gamma} = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + \sigma_X^2}}{t} \text{ або } \sigma_{\gamma} = \pm \frac{\sqrt{\sigma_{X_0}^2 + \sigma_X^2}}{t^2}. \quad (2.58)$$

Далі за допомогою генератора випадкових чисел програми MathCad15, за знайденими значеннями μ_{γ} і σ_{γ} отримано 1000 значень швидкості зміни визначального параметру технічного стану зернозбирального комбайна і за виразом $T = \frac{X_0 - X}{\gamma}$ або $T = \sqrt{\frac{X_0 - X}{\gamma}}$ віднайдено 1000 значень ресурсу. З використанням програми для перевірки гіпотези про закон розподілу за допомогою критерія Колмогорова. Функція розподілу добре апроксимується графіком функції нормального розподілу:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right]. \quad (2.59)$$

Далі за отриманими даними визначались параметри функції розподілу повного і залишкового ресурсу (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

Параметри функцій розподілу повного і залишкового ресурсів
зернозбирального комбайна

Залежність зміни визначального параметра технічного стану	μ_{tp}	σ_{tp}	μ_{tz}	σ_{tz}
Лінійна	39,76897	0,75629	29,1647	4,0263
Поліноміальна	33,95883	0,32247	29,013	2,006

Виходячи із функціональних зв'язків між показниками технічної готовності зернозбирального комбайна можна записати:

$$\lambda(t) = \frac{f(T)}{\int_{\tau}^{\infty} f(T) dt}. \quad (2.60)$$

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов, умовна щільність ймовірності виникнення відмови комбайна, яка визначається для розглянутого моменту часу при умові, що до цього моменту відмова не виникне; $f(T)$ – щільність розподілу ресурсу.

$$\lambda(t) = \frac{\left\{ \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right] \right\}}{\left\{ \int_{\tau}^{\infty} \left(\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(T - \mu_t)^2}{2\sigma_t^2} \right] \right) dt \right\}}. \quad (2.61)$$

Для вирішення інтеграла виконано заміну змінних:

$$\int_t^\infty f(T) dt = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_\tau^\infty \exp\left[-\frac{(T-\mu_t)^2}{2\sigma_t^2}\right] dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \exp(-x^2) dx, \quad (2.62)$$

де $x = \frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}}$, звідки $t = \sigma_t x \sqrt{2} + \mu_t$, $dt = \sqrt{2} \sigma_t dx$ і $\xi = \frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}}$.

Розкладаємо функцію (2.62) в ряди Тейлора, можна записати:

$$\exp(-x^2) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-x^2)^n}{n!} = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{n!}. \quad (2.63)$$

Отримаємо:

$$\begin{aligned} \int_t^\infty f(T) dt &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \exp(-x^2) dx = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_\xi^\infty \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{x^{2n}}{n!} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \xi^{(2n+1)}}{n! (2n+1)} \end{aligned} \quad (2.64)$$

або

$$\int_t^\infty f(T) dt = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \left(\frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}} \right)^{(2n+1)}}{n! (2n+1)}, \quad (2.65)$$

де n – кількість членів ряду, при $n=30$ похибка складає 10^{-6} .

Тоді вираз (2.61) прийме вид:

$$\lambda(t) = \left\{ \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp[-x^2] \right\} / \left\{ \frac{(-1)^n \left(\frac{T-\mu_t}{\sigma_t \sqrt{2}} \right)^{(2n+1)}}{n! (2n+1)} \right\}. \quad (2.66)$$

Для вирішення функції (2.66) написана програма, яка при заданих значеннях математичного очікування μ , середнього квадратичного відхилення σ і ресурсу T , визначає значення інтенсивності відмови (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Параметри функцій залишкового ресурсу та інтенсивності відмов зернозбирального комбайна

Залежність зміни визначального параметра технічного стану	Залишковий ресурс T_z , год	Інтенсивність відмов, відмов/год
Лінійна	42	$3,68405 \cdot 10^{-4}$
Поліноміальна	35	$1,78 \cdot 10^{-3}$

Таким чином, розроблена аналітична модель (2.66) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролі.

2.4. Аналітичні моделі параметрів технічної готовності зернозбиральних комбайнів

Для обґрунтування технічної готовності зернозбирального комбайна в цілому та індивідуально його вузлів, механізмів і агрегатів за даними про наближення відмов необхідно визначити аналітичні моделі відбуваючих в них процесів, які призводять до відмов. Фізичні моделі технічної готовності комбайна інколи суттєво допомагають сформулювати вдалі гіпотези про розподіл ймовірнісних характеристик і показників технічної готовності, які потім можуть бути перевірені статистичними методами.

Однією із різновидів моделі технічної готовності комбайна можна вважати залежність її показників від умов експлуатації. Так, наробіток на відмову комбайна або між відмовами T_v конкретного комбайна, очевидно, є випадковою функцією випадкового навантаження H : $T_v = F(H)$.

Для конкретного наробітку комбайна на відмову є не випадковою функцією випадкового навантаження $F(H)$ – функціональної реалізації випадкової функції випадкового навантаження. При не випадковій змінній навантаження перерізу $H = H_i$ випадкової величини функції $T_v(H)$ – випадкова аргументна реалізація випадкової функції випадкового аргументу функції $F(H)$. Невипадкова величина $T_{vij} = F_j(H_i)$ є повною подвійною реалізацією випадкової функції випадкового аргументу $F(H)$. Таким чином, при застосуванні залежності $T_v = F(H)$ одночасно враховується випадковий характер навантаження на комбайн і випадкові характеристики самого зернозбирального комбайна.

Порівнювати різні зернозбиральні комбайни за наробітком до відмови можна лише у випадку, якщо вони знаходять в однакових умовах експлуатації. Для комбайна нормативні умови експлуатації близькі до математичного очікування типових навантажень. Якщо нормативні значення навантаження

прийняти за початок відліку, тоді випадкове навантаження можна представити в виді: $H = H_0 + \Delta H$, де H_0 – нормативне не випадкове навантаження; ΔH – випадкове відхилення навантаження від нормативного значення.

Розклавши функцію $T_b = F(H)$ в ряд Тейлора в опису точки H_0 , обмежившись лише трьома першими членами, отримаємо:

$$T_b \approx T_{b_0} + \left(\frac{\partial T_b}{\partial H}\right)_{H=H_0} \Delta H + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 T_b}{\partial H^2}\right)_{H=H_0} (\Delta H)^2 = T_{b_0} + U_1 \Delta H + U_2 (\Delta H)^2,$$

де T_{b_0} – випадковий час безвідмовної роботи при нормативному навантаженні комбайна H_0 ; $\Delta H = H - H_0$; $U_1 = \partial T_b / \partial H$ і $U_2 = (\partial^2 T_b) / (\partial H^2)$ – значення похідних в опису точки $H = H_0$.

При цьому випадкові величини T_{b_0} , U_1 , U_2 характеризують зернозбиральний комбайн, а випадкова величина ΔH – відхилення випадкового навантаження від нормативної. Випадкові величини U_b інколи називають чутливістю b -го порядку до навантаження.

Застосувавши теореми про числові характеристики випадкових величин, отримаємо вираз для математичного очікування наробітку у виді:

$$M(T_b) = M(T_{b_0}) + M(U_1)M(\Delta H) + \frac{1}{2} M(U_2)[M^2(\Delta H) + \sigma_H^2], \quad (2.67)$$

де $M(T_{b_0})$ – математичне очікування наробітку комбайна при нормативному навантаженні; $M(U_1) = dM(T_b)/dH$ і $M(U_2) = \{d^2 M(T_b)\} / \{dH^2\}$ – значення похідних математичних очікувань наробітку за навантаженням при $H = H_0$ (середнє значення чутливості до навантаження); $M(\Delta H)$ і σ_H – відповідно, математичне очікування і середнє квадратичне відхилення навантаження до нормативного.

Таким чином, технічну готовність зернозбирального комбайна можна наближено характеризувати величинами, які не залежать від умов експлуатації – нормативного математичного очікування наробітку $M(T_{b_0}) = T_{срв_0}$ і середніми чутливостями до навантаження першого і другого порядків $M(U_1) = U_{ср1}$ і $M(U_2) = U_{ср2}$. Перерахунок середньої наробітку комбайна на інші (відмінні від нормативних) умови експлуатації можна виконувати за наближеною формулою:

$$T_b = T_{срв_0} + U_{ср1} \Delta H_{ср} + \frac{1}{2} U_{ср2} [(\Delta H_{ср})^2 + \sigma_H^2]. \quad (2.68)$$

Якщо для спрощення запису позбавитись від індексу «ср» і замінити позначення математичного очікування величин позначеннями самих цих величин, вираз (2.68) приймає вид:

$$T_{\text{в}} = T_{\text{в}0} + U_1 \Delta H + \frac{1}{2} U_2 [(\Delta H)^2 + \sigma_H^2]. \quad (2.69)$$

Якщо нормативне навантаження співпадає за значенням із математичним очікуванням, тоді $\Delta H = 0$ і вираз (2.69) прийме вид:

$$T_{\text{в}} = T_{\text{в}0} + \frac{1}{2} U_2 \sigma_H^2. \quad (2.70)$$

Для визначення характеристик за результатами даних експлуатації зернозбиральних комбайнів повинні бути відомі значення математичного очікування наробітку групи однакових комбайнів при трьох або більше режимах технічного контролю. Параметри $T_{\text{в}0}$, U_1 , U_2 визначається через рішення системи рівнянь:

$$\begin{cases} T_{\text{в}1} = T_{\text{в}0} + U_1 \Delta H_1 + \frac{1}{2} U_2 [(\Delta H_1)^2 + \sigma_{H1}^2], \\ T_{\text{в}2} = T_{\text{в}0} + U_1 \Delta H_2 + \frac{1}{2} U_2 [(\Delta H_2)^2 + \sigma_{H2}^2], \\ T_{\text{в}3} = T_{\text{в}0} + U_1 \Delta H_3 + \frac{1}{2} U_2 [(\Delta H_3)^2 + \sigma_{H3}^2], \end{cases} \quad (2.71)$$

Якщо в одному із режимів середнє навантаження співпадає з нормативною, тобто $\Delta H = 0$, то система рівнянь (2.71) перетворюється в систему з двох рівнянь і обчислення спрощується.

Якщо відомі значення середній наробіток при більш ніж трьох режимах навантажень, тоді для віднайдення параметрів $T_{\text{в}0}$, U_1 , U_2 в виразі (2.70) можна використати метод найменших квадратів:

$$\sum_{i=1}^n \left\{ T_{\text{в}0} + U_1 \Delta H_i + \frac{1}{2} U_2 [(\Delta H_i)^2 + \sigma_{Hi}^2] - T_{\text{в}0i} \right\}^2 \rightarrow \min, \quad (2.72)$$

де $i = 1 \div n$ – номер режиму експлуатації комбайна.

Прирівнявши нулю частинні похідні суми (2.72) за змінними $T_{\text{в}0}$, U_1 , U_2 отримаємо систему трьох рівнянь, вирішив яку можна визначити шукані характеристики. При двох або більше видах навантажень наробітку до відмови комбайна розглядається як випадкова функція випадкового вектору навантаження. При цьому аналогічно одномірному випадку кожному із складових H_i вектору навантажень можна вважати такою, що складається із нормативного не випадкового навантаження H_{i0} і випадкового відхилення ΔH_i , тобто $H_i = H_{i0} + \Delta H_i$. Для двох випадкових навантажень H_1 і H_2 можемо отримати

вираз для математичного очікування наробітку зернозбирального комбайна, аналогічно виразу (2.69):

$$T_B = T_{B_0} + U_{11}\Delta H_1 + U_{12}\Delta H_2 + H \cdot (\Delta H_1 \cdot \Delta H_2 + K_{12}) + \frac{1}{2}\{U_{21}[(\Delta H_1)^2 + \sigma_{H_1}^2] + U_{22}[(\Delta H_2)^2 + \sigma_{H_2}^2]\}. \quad (2.73)$$

де U_{ij} – математичне очікування чутливості до навантаження – значення частинних похідних математичного очікування наробітку за відповідними навантаженнями при $H_1 = H_{10}$ і $H_2 = H_{20}$:

$$U_{11} = \left(\frac{\partial T_B}{\partial H_1}\right)_{H_1=H_{10}, H_2=H_{20}}, U_{12} = \left(\frac{\partial T_B}{\partial H_2}\right)_{H_1=H_{10}, H_2=H_{20}}, U_{21} = \left(\frac{\partial^2 T_B}{\partial H_1^2}\right)_{H_1=H_{10}, H_2=H_{20}}, \quad (2.74)$$

$$U_{22} = \left(\frac{\partial^2 T_B}{\partial H_2^2}\right)_{H_1=H_{10}, H_2=H_{20}}, U_{21} = \left(\frac{\partial^2 T_B}{\partial H_1 \partial H_2}\right)_{H_1=H_{10}, H_2=H_{20}}, \quad (2.75)$$

Кореляційний момент K_{12} (коваріація) випадкових величин H_1 і H_2 для дискретних і неперервних випадкових величин, відповідно:

$$K_{12} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (H_{1i} - H_1)(H_{2j} - H_2)p_{ij}, \quad (2.77)$$

$$K_{12} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (H_1 - H_{cp1})(H_2 - H_{cp2})f(H_1, H_2)dH_1dH_2, \quad (2.78)$$

p_{ij} – ймовірність окремих значень H_{1i} і H_{2i} , $f(H_1, H_2)$ – сумісна щільність розподілу випадкових величин H_{1i} і H_{2i} .

Таким чином, при двох видах навантажень зернозбиральний комбайн характеризується шістьма величинами ($T_{B_0}, U, U_{11}, U_{12}, U_{21}, U_{22}$), а вектор навантаження описується п'ятьма числовими характеристиками – двома математичними очікувань H_1 і H_2 , двома середніми квадратичними відхиленнями σ_{s1} і σ_{s2} та кореляційним моментом K_{12} .

Очевидно для знаходження характеристик зернозбирального комбайна необхідно в загальному випадку мати значення математичних сподівань наробітку як мінімум в шістьох різних режимах (при цьому, відповідно, складається і вирішується система шістьох рівнянь виду (2.73).

Якщо в де-яких режимах одна або дві складові навантаження рівні нормативним (тобто $\Delta H_1 = 0$ і $\Delta H_2 = 0$), тобто рівняння (2.73) приймає вид:

$$T_B = T_{B_0} + UK_{12} + \frac{1}{2}(U_{21}\sigma_{H_1}^2 + U_{22}\sigma_{H_2}^2). \quad (2.80)$$

і система рівнянь і його рішення спрощується. Якщо, крім того, деякі з режимів відповідають прийнятим умовам $\sigma_{H_1} = 0$ або $\sigma_{H_2} = 0$, тобто рішення ще більше спрощується. Запропонованим методом експериментальні дані про наробіток на відмову зернозбирального комбайна можуть бути перераховані на нові умови

експлуатації при співставленні даних лабораторних випробувань з даними реальної експлуатації, що значно спрощує задачу забезпечення технічної готовності комбайнів, з врахуванням умов застосування.

Висновки до другого розділу

Виявлена аналітична залежність інтенсивності відмов зернозбиральних комбайнів від режимів проведення технічного контролю, сформульовані основні задачі їх оптимізації. Надалі дослідження будуть спрямовані на керування параметрами технічного стану комбайна шляхом встановлення їх оптимальності.

Виявлено аналітично наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях λ і τ_{tk} існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності комбайна.

Запропонований метод і результат визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих параметрах інтенсивностей відмов, трудомісткістю технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль дозволяє мінімізувати значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min} забезпечення технічної готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом. Так при заданих $\lambda = 10^{-5}$ год⁻¹, $\tau_{tk} = 10$ год, $Z/A = 10$, з врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина мінімальної сукупної оптимізаційної функції $S_{min} = 0,0613$ і оптимальна періодичність технічного контролю $t_{tk}^{opt} = 30,66$ год.

Розроблена аналітична модель (2.66) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмові або технічному контролі.

Основні результати другого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [1, 4, 5, 10-12, 14, 21, 32].

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА І МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

3.1. Програма досліджень з визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

Склад параметрів, складових моделей комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів володіє різною природою. І, якщо визначення значень параметрів економічної складової (витрат) не викликає особливих труднощів, то для оцінки параметрів, що характеризують достовірність і однозначність розпізнавання дефектів контрольованих агрегатів, необхідне проведення експериментальних досліджень. При цьому необхідно врахувати, що всі параметри моделі будуть в подальшому використані для навчання математичної моделі штучної нейронної мережі, що накладає певні вимоги до інформативності заміряються параметри технічного стану агрегатів.

В дисертаційній роботі для формування раціональної сукупності операцій технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів використані результати комплексних теоретико-експериментальних досліджень, виконаних з метою впровадження принципів організації і технології технічного контролю. Як приклад об'єкта дослідження було обрано силовий енергетичний агрегат зернозбирального комбайна, які є серійними для багатьох зернозбиральних комбайнів, а також застосовується в якості приводного для інших обладнань, агрегатів, механізмів і вузлів.

Експериментальні дослідження над об'єктом проводилися в умовах агропідприємств Київської області з використанням їх виробничо-технічних можливостей. Кількість експлуатованих зернозбиральних комбайнів становить 52 одиниці.

Конструктивна складність об'єкта дослідження обумовлює велику кількість контрольованих параметрів в процесі технічного контролю, а їх відмінності вказують на необхідність знаходження між ними взаємозв'язків.

Проведення експерименту в реальних виробничих умовах дозволяє оцінити можливість застосування існуючих методів і засобів технічного контролю об'єкта досліджень. Але для отримання статистично однорідних і достовірних даних потрібно провести розробку метрологічного та методичного забезпечення експериментальних досліджень.

Таким чином, для формування раціональної підсистеми технічного контролю зернозбиральних комбайнів, необхідне рішення ряду програмних завдань.

1. Виконати структурно-слідче моделювання взаємозв'язків для основних ресурсних груп силового енергетичного агрегату зернозбирального комбайна (циліндро-поршнева група, кривошипно-шатунний механізм, газорозподільчий механізм).

2. Вибрати технологічну послідовність операцій розбирання об'єкта контролю та погодити її з розробленими структурно-слідчими моделями.

3. Розробити методичне та метрологічне забезпечення експерименту.

4. Провести в реальних виробничих умовах експериментальні дослідження над об'єктом на етапі технічного контролю за визначенням техніко-економічних показників техконтрольних операцій і збору даних для побудови моделей штучної нейронної мережі.

5. Провести обробку отриманих експериментальним шляхом даних з використанням методів математичної статистики.

6. Виконати аналіз отриманих результатів, сформувані апріорну сукупність контрольованих параметрів на етапі технічного контролю і побудувати моделі штучної нейронної мережі для реалізації основної мети і завдань експериментального дослідження.

3.2. Методика розподілу агрегатів зернозбирального комбайна за технологічним маршрутом технічного контролю з розпізнаванням комбінацій параметрів технічного стану

Моделювання технології виконання робіт при технічному контролі агрегатів зернозбиральних комбайнів проектування технологічних процесів пов'язано з формуванням найбільш ефективної виробничо-технічної бази, що

забезпечує істотне зниження внутрішньовиробничих втрат агропідприємства. При цьому зовнішні по відношенню до конкретного агропідприємства чинники, відповідно до мети і завдань цього дослідження, можна вважати формальними та виключити їх з подальшого аналізу.

Взявши за основу класичну форму організації технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, де технологічний процес розбирання (і збірки) агрегатів комбайна $K = \{k : k = \overline{1, K}\}$ представляє сукупність встановлення раніш типових поєднань комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, цільову функцію дослідження можна представити в наступному адитивним виразом, що характеризує поточні виробничі втрати:

$$C_{\Sigma_{BH}} = \sum C_{\Sigma_{ПОМ}} = (C_{\Sigma_{ЗАЛ}} + C_{\Sigma_{ПРОП}} + C_{\Sigma_{РОЗ}})N_p, \quad (3.1)$$

де $C_{\Sigma_{BH}}$ – узагальнені внутрішньо-виробничі втрати агропідприємства, грн.; $C_{\Sigma_{ПОМ}}$ – втрати виробництва, які формуються помилками розподілу ремонтних агрегатів по технічному контролю, грн.; $C_{\Sigma_{ЗАЛ}}$ – затрати на виконання зайвих робіт при усуненні помилково виявлених дефектів, грн.; $C_{\Sigma_{ПРОП}}$ – затрати на виконання умовно повторних робіт при пропущенні помилково невиявлених дефектів, грн.; $C_{\Sigma_{РОЗ}}$ – втрати, що формуються помилками при розподілі агрегатів за технологічними маршрутами технічного контролю, грн.; N_p – виробнича програма сервісного підрозділу агропідприємства, од./рік.

При цьому кожен з комплексів технічного контролю являє собою деяку підмножину $\{i\}_k$ розбирально-складальних операцій, всю множину $R = \{r : r = \overline{1, R}\}$, яка є необхідною і достатньою, для усунення дефектів будь-якого агрегату з числа контрольованих на даному агропідприємстві.

Складова $C_{\Sigma_{ПОМ}}$ цільової функції (3.1) може бути виражена функціоналом $C_{\Sigma_{ПОМ}} = f(C_{ij}P_{ij})$, де C_{ij} – узагальнені витрати на виконання робіт щодо виявлення та усунення і-го дефекту j-го агрегату, що контролюється, грн.; P_{ij} – ймовірність події, яка полягає у виникненні помилки розпізнавання і-го дефекту j-го агрегату, що контролюється.

При цьому ймовірність P_{ij} , враховуючи положення теорії ймовірностей,

можна визначити наступним вираженням:

$$P_{ij} = \alpha_{ij} + \beta_{ij} \quad (3.2)$$

де α_{ij} – помилка розпізнавання 1-го роду (помилкова несправність) і-го дефекту j-го агрегату, що контролюється на етапі технічного контролю; β_{ij} – помилка розпізнавання 2-го роду (пропуск несправності) і-го дефекту j-го агрегату, що контролюється на етапі технічного контролю.

Вводячи цілочисельні змінні, що приймаємо значення:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$$

де 1 – якщо і-й відсутній дефект j-го агрегату, що контролюється визначається як присутній; 0 – в іншому випадку (помилкова несправність),

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases}$$

де 1 – якщо і-й відсутній дефект j-го агрегату, що контролюється визначається як присутній; 0 – в іншому випадку (пропуск несправності).

Вірогідність P_{ij} можна записати в розгорнутому вигляді:

$$P_{ij} = \{1 - [\delta_{ij}(1 - \alpha_{ij}) + \eta_{ij}(1 - \beta_{ij})]\} \quad (3.3)$$

У загальному випадку через помилкове визначення і-го дефекту j-го агрегату комбайна, коли в дійсності такого дефекту немає (помилкова несправність – α_{ij}) виникають втрати $C_{\sum ij \text{ЗЛ}}$. Затрати $C_{\sum ij \text{ПРОП}}$ на умовно повторне виконання робіт формуються помилками β_{ij} , що виникають у разі пропуску і-го дефекту при технічному контролі j-го агрегату зернозбирального комбайна, що надходить на технічний контроль (пропуск несправності).

Аналіз можливих виробничих ситуацій дозволяє представити функціонал (3.1) в наступному вигляді:

$$C_{\sum \text{ВН}} = \sum C_{\sum \text{ПОМ}} = (C_{\sum \text{ЗЛ}} + C_{\sum \text{ПРОП}} + C_{\sum \text{РОЗ}}) N_P \quad (3.4)$$

Таким чином, досягнення поставленої мети – зниження внутрішньовиробничих втрат при функціонуванні системи технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів – можливо лише при вирішенні задач зниження абсолютних значень помилок на всіх етапах виробничого процесу технічного контролю параметрів технічного стану.

3.3. Методика вибору застосовуваного математичного апарата визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

Сукупність методів для інтелектуального аналізу даних про визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів отримали назву Data TechControl. Знання, що отримуються цими методами, зазвичай представляють у вигляді моделей.

Одним з таких класів моделей є штучні нейронні мережі – це математичні моделі, що представляють собою упорядкований набір штучних нейронів, які пов'язані один з одним певним чином.

Вибір штучної нейронної мережі як математичний апарат для розв'язання задачі розпізнавання дефектів агрегатів при технічному контролі зернозбиральних комбайнів і розподілу їх по комплексам зумовлених низкою причин. Завдяки здатності до навчання і запам'ятовування, а також шляхом зміни адаптивних параметрів штучних нейронів, з яких складається мережа, можна домогтися високого ступеня точності при вирішенні даного завдання.

Застосування штучної нейронної мережі дозволяє уникнути процесу накопичення статистичної інформації для розрахунку ймовірностей появ дефектів (як це робить при методі організації та оптимізації технологічних процесів технічного контролю за типовими сполученням вимірювальних робіт) для оптимального розподілу агрегатів по комплексам робіт.

Перевірка адекватності побудованих на основі штучної нейронної мережі моделей проводиться з використанням тестових вибірок, які формуються під час проведення експерименту над зернозбиральним комбайном, як об'єктом досліджень, що гарантує високу ступінь надійності моделей та ін.

При застосуванні штучної нейронної мережі перш за все постає питання вибору архітектури мережі (числа «прихованих шарів» і кількості «штучних нейронів» в кожному з них) під конкретну задачу. Штучний нейрон являє собою вузол штучної нейронної мережі, змодельований за спрощеним принципом функціонування біологічного нейрона. З математичної точки зору, штучний нейрон являє собою функцію від єдиного аргументу – лінійної комбінації всіх сигналів на вході активаційної функції, за допомогою якої виробляється

вихідний сигнал нейрона. У загальному вигляді, математична модель штучного нейрона є зваженим суматором і має вигляд [67, 73]:

$$C_{\Sigma_{BH}} = \sum C_{\Sigma_{ПОМ}} = (C_{\Sigma_{ЗАЛ}} + C_{\Sigma_{ПРОП}} + C_{\Sigma_{РОЗ}}) N_P \quad (3.5)$$

де S – зважена сума вхідних сигналів нейрона; x_i – значення на i -м вході нейрона; w_i – вага i -го синапса; n – кількість входів; x_0 і w_0 – відповідно значення додаткового вхідного сигналу ($x_0 = 1$) і його ваги.

Вихідне значення нейрона є функцією його стану:

$$Y = f(S), \quad (3.6)$$

де $f(S)$ – функція активації.

Всі шари нейронної мережі можна умовно розділити на три групи:

- перший шар нейронів в багатошаровій нейронній мережі називається вхідним, у ньому зазвичай не виконуються ніякі обчислювальні операції, тому що він складається з нейронів, які служать для отримання даних (сигналів) і подальшої передачі на входи прихованого шару штучної нейронної мережі;
- приховані (проміжні) шари є основними, тому що найчастіше складають більшу частину структури штучної нейронної мережі, обчислення в них відбувається за формулами (3.6) і (3.7);
- вихідний шар – результат роботи мережі.

Вибір сигмоїда, як активаційної функції визначено тим, що вона диференційована на всій осі абсцис і має дуже просту похідну. При використанні алгоритму зворотного поширення помилки, це сприяє прискоренню процесу навчання мережі. Вихідне значення нейрона, при сигмоїдальній активаційній функції, набуває такого вигляду:

$$Y = f(S) = \frac{1}{1 + e^{-aS}} \quad (3.7)$$

На рис. 3.1 графічно схематично представлена модель штучного нейрона, де кількість вхідних сигналів позначається X . Тут множинні сигнали $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$ на відповідних входах (в сукупності позначаються вектором X) мають свої ваги (які відображають силусиноптичний зв'язок та їх множина позначається вектором W). Твір сигналів і відповідних ваг подається на інтегральний блок, який алгебраїчно складає входи.

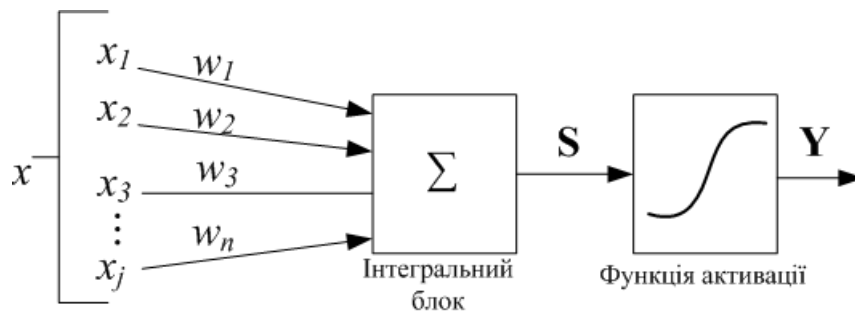


Рис. 3.1. Модель штучного нейрона

В результаті підсумовування, отримане значення є аргументом активаційної функції, яка і створює вихідне значення Y .

Виходячи з теоретичних напрацювань Хехт-Нільсеном питання про оптимальну кількість прихованих шарів, а також з аналізу практичної застосовності штучної нейронної мережі для різних завдань класифікації, можна зробити висновок, що використання більше двох прихованих шарів при проектуванні мережі найчастіше недоцільно.

За формулами (3.8) і (3.9), що є наслідком з теорем Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нільсена, можна розрахувати необхідну кількість нейронів для прихованого шару. Спочатку відбувається оцінка необхідного числа ваг синаптичного зв'язку [67, 113]:

$$\frac{N_y \cdot Q}{1 + \log_2 Q} \leq N_w \leq N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) \cdot (N_x + N_y + 1) + N_y,$$

де N_y – число нейронів вихідного шару; Q – кількість значень навчальної вибірки; N_w – необхідне число синаптичних ваг; N_x – число нейронів вхідного шару.

Після цього, число нейронів в прихованому шарі буде визначатися за формулою [67, 113]:

$$L = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (3.9)$$

Проте, як показує практика побудови штучної нейронної мережі, при такому підході не можна стверджувати, що число нейронів в прихованому шарі було оптимально підібрано під поставлену задачу, крім того, зазвичай в результаті виходить великий розмах інтервалу, в якому лежить значення L . Тому, наслідок з теорем Арнольда-Колмогорова-Хехт-Нільсена буде використано

лише для визначення верхньої межі значення нейронів (R) в прихованому шарі.

Відкинувши нижню межу інтервалу у формулі (3.8), прирівнявши N_w до залишилася верхній межі і підставивши формулу (3.9) в (3.8), отримуємо:

$$R = \frac{N_y \cdot \left(\frac{Q}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y}{N_x + N_y} \quad (3.10)$$

Надалі, R використовується як верхня межа, до якого число нейронів буде нарощуватися, поки не досягне оптимального значення. Як показує досвід побудови моделей на основі штучної нейронної мережі, нарощування нейронів в прихованому шарі понад отриманого межі R в більшості випадків є недоцільним.

3.4. Методика класифікації технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів

Технічний стан агрегатів зернозбиральних комбайнів кожного з множини $O = \{O_i : i = 1, 2, 3, \dots, M\}$ надходять на технічний контроль і характеризується набором параметрів, що контролюються, значення яких визначаються на етапі технічного контролю. Певні поєднання даних параметрів і їх значень означають наявність або відсутність дефектів агрегатів.

Введемо поняття «здатність до узагальнення» (від англ. Generalization ability) це придбана в процесі навчання властивість нейронної мережі видавати вірні результати для будь-яких нових входних сполучень, які не брали участі в процесі навчання. Якщо штучна нейронна мережа видає високий відсоток вірних результатів не тільки для навчальної вибірки, а й для нових, раніше невідомих прикладів, то вважається, що вона придбала здатність до узагальнення. У разі, коли високий відсоток вірних результатів забезпечується тільки для навчальної вибірки, а на тестових прикладах часто помиляється, то можна зробити висновок, що у нейронної мережі не з'явилася здатність до узагальнення. Нехай кількість комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів є заздалегідь відомим значенням Z , а X – поєднання параметрів, що контролюються агрегатів, що надходять на контроль. Відхилення в значеннях параметрів від номінальних свідчать про наявність дефектів агрегатів Y . У такому випадку, задачі нейромережевої класифікації зводиться до побудови

алгоритму Θ , де на початковому етапі відбувається класифікація $\Theta: X \rightarrow Y$ базуючись на придбаній, в процесі навчання, здатності нейронної мережі до узагальнення, а далі відбувається розподіл сукупності агрегатів по комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від виявлених сполучень дефектів: $\Theta: Y \rightarrow Z$, де $y \in Y$ і $z \in Z$. При побудові нейромережевого класифікатора, перш за все, необхідно визначити складність поділу об'єктів на класи.

Для спрощення завдання класифікації, слід домогтися лінійного поділу об'єктів дослідження. Так як поставлена задача має на увазі більше двох класів для розподілу агрегатів між ними, то найбільш раціональним способом формування вихідних сигналів буде сукупність компонентів вектора. Іншими словами, кожен можливий дефект буде мати свій вихідний сигнал, а про наявність дефекту або його відсутності буде говорити 0 або 1 на відповідному виході. При цьому дуже важливо домогтися якомога ближчих до 0 або 1 значень, для цього необхідно провести попередню обробку вхідних даних.

3.5. Методика нормування вихідних даних при навчанні математичного апарату визначення режимів технічного контролю і параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів

Для підвищення достовірності розпізнавання і зменшення часу навчання математичного апарату штучної нейронної мережі, дані, надходять на вхідний шар мережі, повинні бути типізовані і лежати в певному діапазоні, тому необхідно виконати масштабування навчального набору даних.

Зазвичай навчальний набір даних подається на вхідний шар у вигляді бінарних значень, цілих чисел, чисел з плаваючою комою і т.д. Їх розкид повинен бути в певному діапазоні, який залежить від виду застосовуваної функції активації. Однак, найчастіше, що надходять сигнали мають великий розкид значень на кожному нейроні вхідного шару, що значно знижує можливості штучної нейронної мережі до навчання та аналізу.

Область значень сигмоїдальної функції знаходиться в діапазоні $[0; 1]$, тому вона є стискає (рис. 3.2).

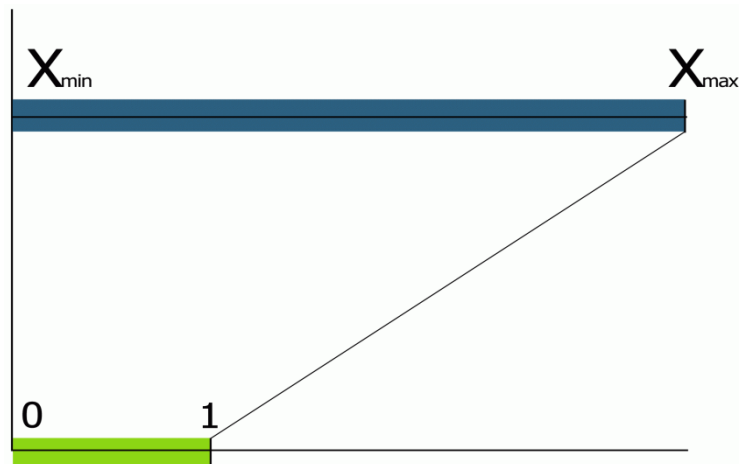


Рис. 3.2. Масштабування вихідних даних в область значень сигмоїдальної функції активації

На рис. 3.3 представлена блок-схема алгоритму нормування вихідних даних при навчанні штучної нейронної мережі з сигмоїд як активаційної функції. В процесі роботи представленого алгоритму масштабування вихідних даних, передача на функцію активації здійснюється в оптимальному вигляді. Даний алгоритм є універсальним, тому при його застосуванні для функції активації відмінною від сигмоїдальної, на кроці 3 змінюється інтервал масштабування і, можливо, тип нормування. Лінійна нормалізація використовується при щільному заповненні інтервалу змінної x_i значеннями, тому що орієнтована на граничні значення (x_{min}, x_{max}).

Попередня обробка даних є важливим етапом при побудові моделей штучних нейронних мереж, тому що, наприклад, невірно вибраний діапазон масштабування вихідних даних в область значень функції активації в значній мірі вплине на здатність штучної нейронної мережі до узагальнення після навчання (наприклад, здатність штучної нейронної мережі виявляти поєднання дефектів, яких не було в навчальній вибірці).

При побудові штучної нейронної мережі хоча б з одним прихованим шаром, застосування методу d-правила Розенблатта для навчання мережі, обмежена, тому що необхідно знати правильні значення на входах і виходах прихованих шарів, що є неможливим.



Рис. 3.3. Блок-схема алгоритму штучної нейронної мережі в робочому інтервалі сигмоїдальної активаційної функції при лінійному нормуванні

Одним з найбільш популярних методів навчання персептрона, при наявності прихованих шарів, є метод градієнтного спуску (від англ. Gradient descent), який полягає в тому, що при кожному новому наближенні (ітерації) відбувається коригування кожного вагового коефіцієнта Δw_{LL-1} в напрямку, протилежному градієнту (антиградієнта) функції помилки (від англ. Error

function) ε . При цьому методі на кожній ітерації відбувається корегування ваг. Наприклад, при передачі сигналів з останнього прихованого шару на вихідний шар, коригування проводиться за такою формулою:

$$\Delta w_{LL-1} = -\eta \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial w_{LL-1}} \quad (3.11)$$

де η – швидкість навчання алгоритму.

Для оцінки точності нейромережевої класифікації після навчання, використовується функція оцінювання помилки ε . Вона залежить від вагових коефіцієнтів і є функцією від них. Найбільш розповсюдженою функцією оцінювання помилки є квадратична функція помилок (від англ. Quadratic error function) [67, 98]:

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_y} (y_L^{жс.} - y_L^{\phi.})^2, \quad (3.12)$$

де N_y – число нейронів вихідного шару; $y_L^{жс.}$ – бажаний вихідний вектор нейронної мережі; $y_L^{\phi.}$ – отримується (фактичний) вихідний вектор нейронної мережі.

Для зменшення простору пошуку залежності (3.6), при обмеженому наборі вхідних даних, і оцінки якості навчання штучної нейронної мережі, ставиться завдання мінімізації функції помилки (похибки). Тоді цільова функція має вигляд:

$$\varepsilon \rightarrow \min. \quad (3.13)$$

Метод зворотного поширення помилки є ітеративним градієнтним алгоритмом, він являє собою модифікацію класичного методу градієнтного спуску, який використовується для мінімізації цільової функції (3.13). При цьому методі, в процесі навчання, ваги нейронів нейронної мережі коригуються з урахуванням сигналів, що надійшли з попереднього шару, а також з урахуванням похибок при обробці шарів у зворотному напрямку починаючи з останнього шару (принцип зворотного поширення). Крім того, значення помилки можна мінімізувати за рахунок збільшення числа епох (ітерацій) навчання мережі. Головна вимога для застосування даного алгоритму – обрана активаційна функція повинна бути диференційована.

На рис. 3.4 видно, що у вхідному шарі $l=0$ міститься X_i кількість нейронів. В даному шарі відбувається лише передача сигналів, без будь-яких математичних операцій, від входу на наступний шар, тому його позначення відрізняється від інших верств. Перший прихований шар $l=1$, кожний наступний позначається $l=2...L-1$. У прихованих шарах кількість нейронів одно $P_1,...,P_{L-1}$. Останній шар L є вихідним, кількість нейронів в ньому дорівнює P_L . Для переходу в циклі між шарами ($l=0,1,2,...,L-1,L$) і нейронами в шарах введемо додаткові позначення: q – порядковий номер нейрона $l-1$ шару; q' – порядковий номер нейрона l шару; q'' – порядковий номер нейрона $l+1$ шару; Q – останній нейрон $l-1$ шару; Q' – останній нейрон l шару; Q'' – останній нейрон $l+1$ шару. Алгоритм навчання штучної нейронної мережі методом зворотного поширення помилки представлений на рис. 3.5 і складається з наступних кроків.

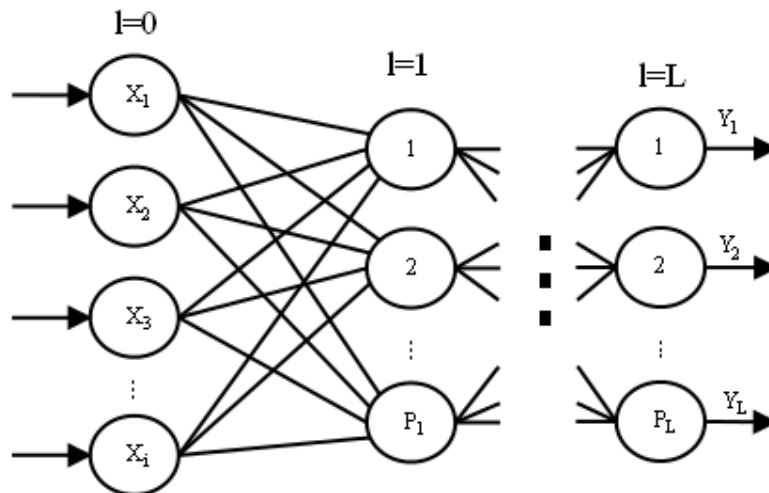


Рис. 3.4. Схема багатошарового персептрона

Крок 1. Вхідні сигнали надходять в нормованому вигляді (див. рис. 3.3), а відповідні їм ваги спочатку задаються генератором випадкових чисел з вузького діапазону, наприклад $[-1; 1]$.

Крок 2. Подання вхідного і вихідного образу з навчальної вибірки. Нехай h – номер прикладу в навчальній вибірці, $h=1,2,3,...,H=1,2,3,...,H$. Тоді, поточний вхідний образ – $Xh = \{x_1, x_2, x_3, ..., x_i\}^h$, а поточний вихідний –

$$Mh = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_i\}h$$

Крок 3. Прохід в прямому напрямку від шару $l=1$ до $l=L$. При цьому значення виходів нейронів кожного шару розраховується як:

$$y_{q'}^{(l)} = f_{\sigma} \left(\sum_{q=0}^Q w_{q'q}^{(l)} y_q^{(l-1)} \right) \quad (3.14)$$

де σ – сигмоїдальна активаційна функція.

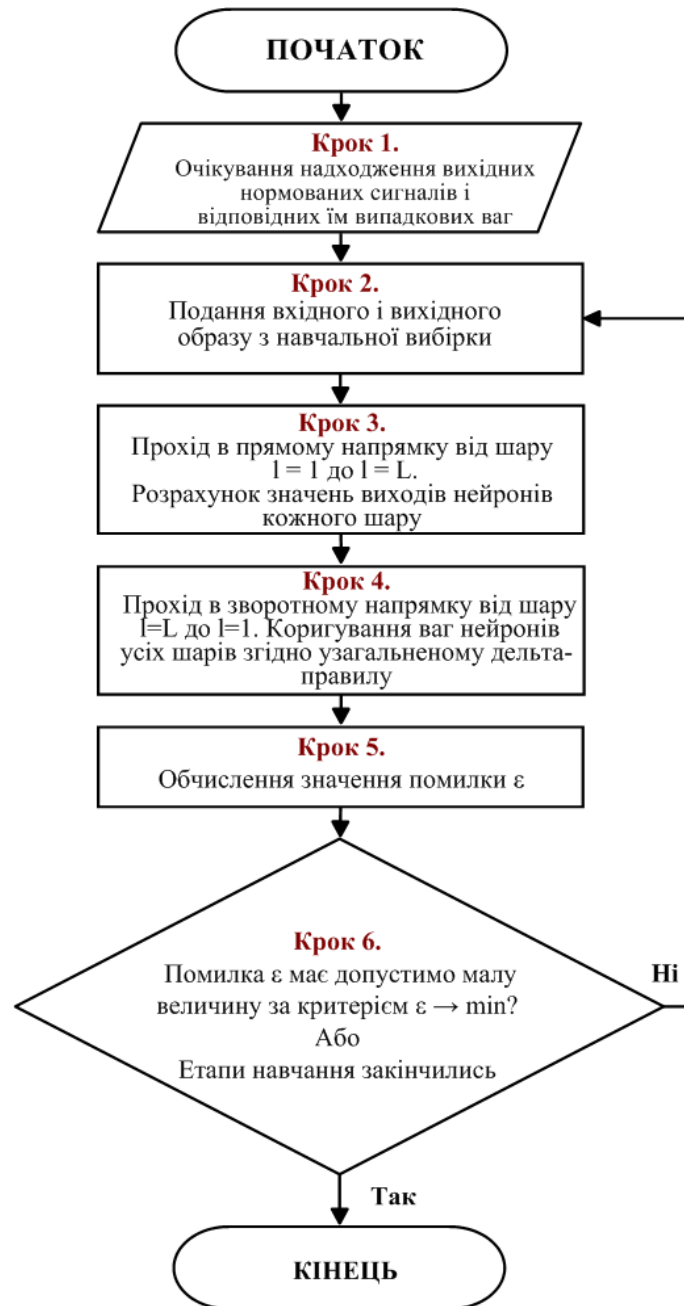


Рис. 3.5. Блок-схема алгоритму навчання штучної нейронної мережі методом зворотного поширення помилки

Крок 4. Прохід в зворотному напрямку від шару $l = L$ до $l = 1$. При цьому

відбувається коригування ваг за формулами узагальненого дельта-правила (від англ. Generalized delta rule). Крім того, введення додаткового моменту μ дозволило підвищити ефективність навчання алгоритму.

$$w_{q'q}^{(l)}(t+1) = w_{q'q}^{(l)}(t) + \Delta w_{q'q}^{(l)}, \quad \Delta w_{q'q}^{(l)} = \eta \delta_{q'}^{(l)} y_q^{(l-1)} + \mu \Delta w_{q'q}^{(l-1)},$$

де, для прихованих шарів:

$$\delta_{q'}^{(l)} = y_{q'}^{(l)} (1 - y_{q'}^{(l)}) \sum_{q''=1}^{Q''} \delta_{q''}^{(l+1)} w_{q''q'}^{(l+1)},$$

для вихідного шару:

$$\delta_{q'}^{(L)} = y_{q'} (1 - y_{q'}) (d_{q'} - y_{q'}).$$

Крок 5. Цикл h закривається. Обчислення помилки по формулі (3.14).

Крок 6. Якщо величина помилки ε зменшується при кожній новій ітерації нарощування числа нейронів або кількість епох навчання ще не підійшло до кінця, то виконуємо кроки 2-5 необхідну кількість разів для коригування ваг обернено пропорційно величині помилки.

Припинення роботи алгоритму відбувається в разі, якщо величина помилки буде відхилятися від бажаного на допустимо малу величину, або якщо кількість епох навчання підійде кінця.

3.6. Методика розподілу агрегатів зернозбирального комбайна в комплексах технічного контролю з урахуванням поєднань дефектів

Методика нейромережевої класифікації агрегатів при технічному контролі зернозбиральних комбайнів за технічним станом була розділена на два етапи. На першому етапі відбувається розпізнавання дефектів агрегатів в залежності від поєднань контрольованих параметрів, відхилення яких від допустимих значень вказують на наявність того чи іншого дефекту. На другому етапі агрегати, за результатом виявлених поєднань дефектів, розподіляються по комплексам технічного контролю.

Методика розподілу агрегатів комплексам технічного контролю в залежності від виявлених дефектів приведена у вигляді блок-схем (рис. 3.6 і рис. 3.7). Для розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбиральних комбайнів з використанням штучної нейронної мережі, був сформований

алгоритм, блок-схема якого представлена на рис. 3.6.

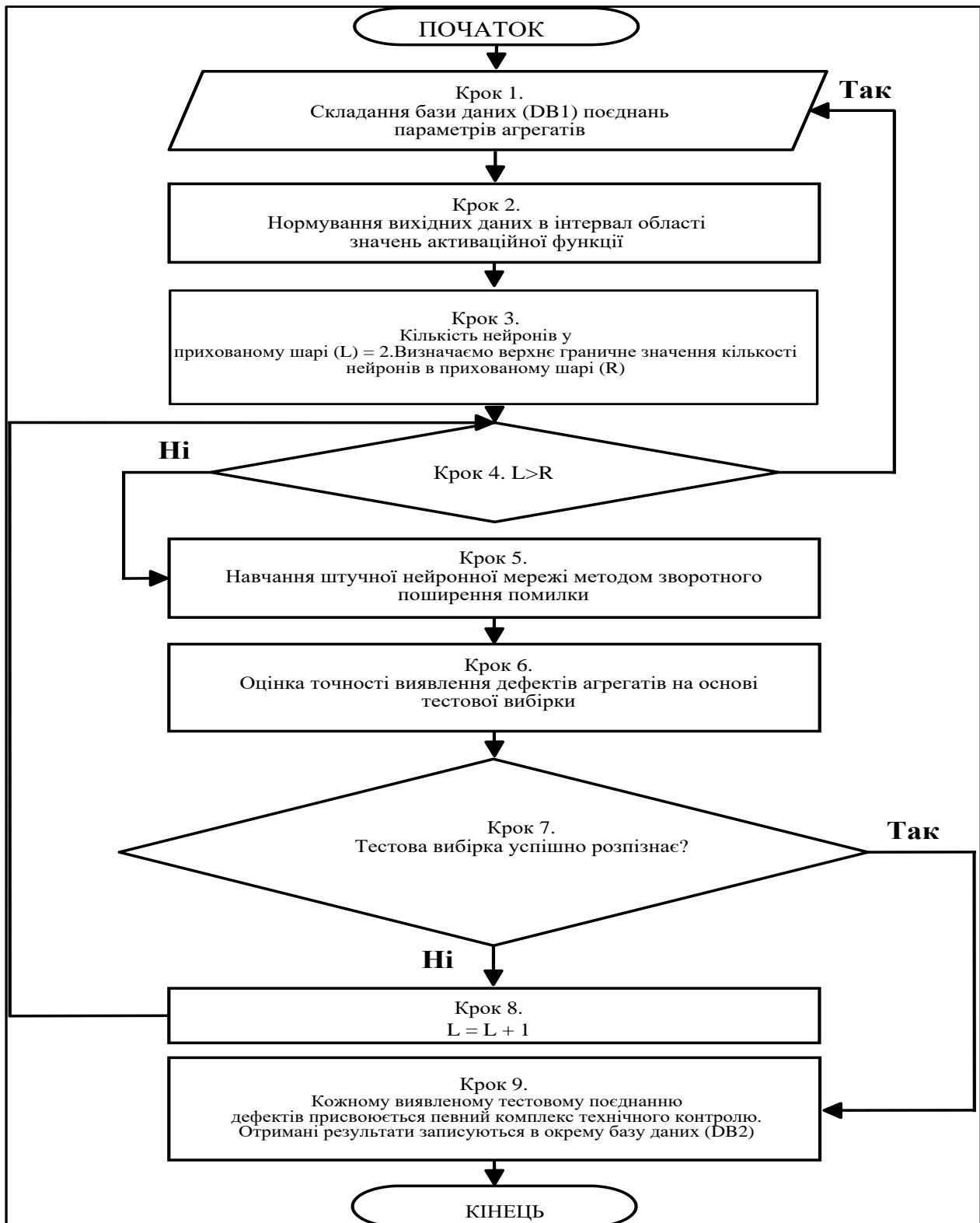


Рис. 3.6. Блок-схема алгоритму застосування штучної нейронної мережі для вирішення задачі розпізнавання дефектів агрегатів комбайна

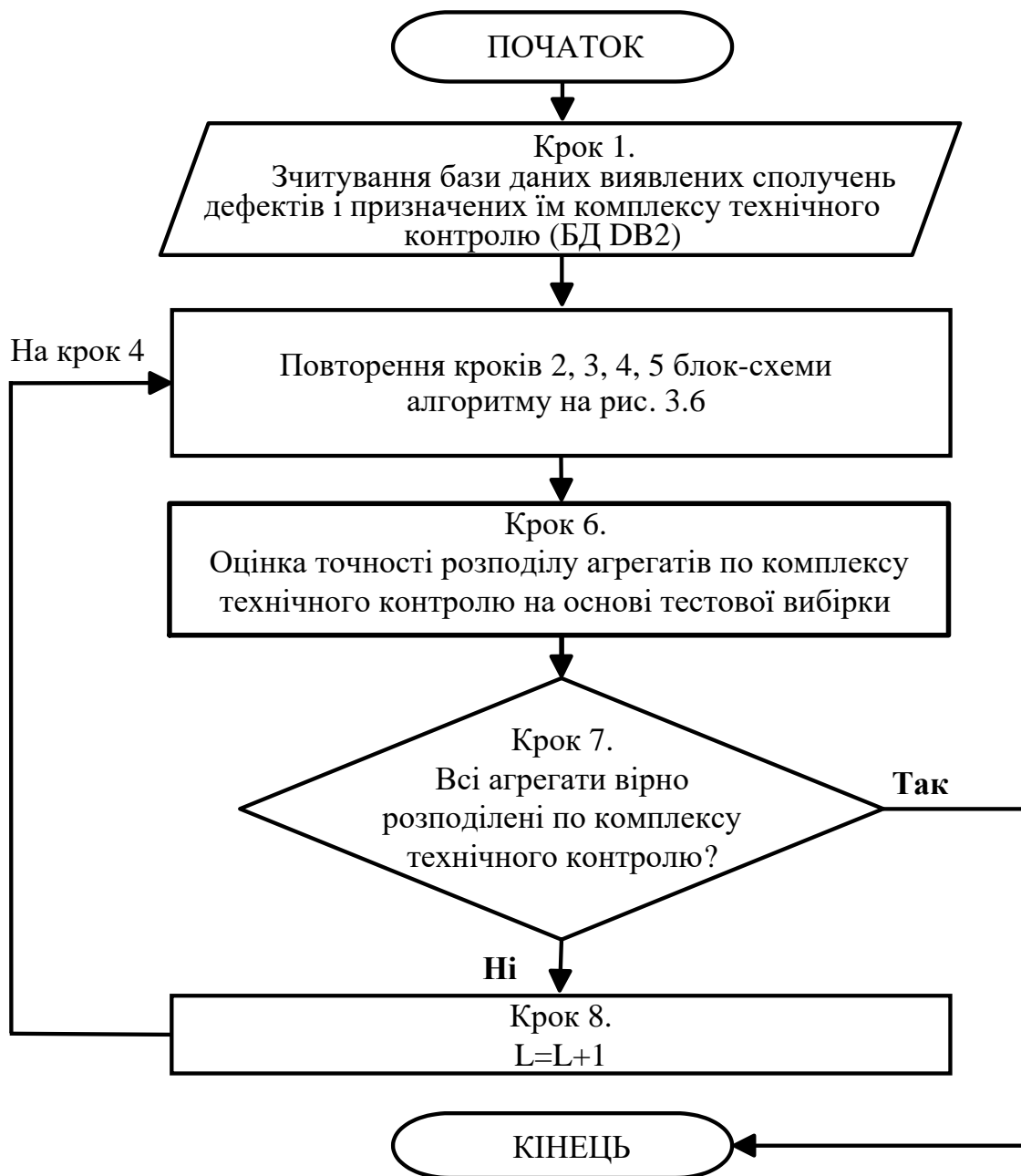


Рис. 3.7. Блок-схема алгоритму застосування штучної нейронної мережі для вирішення завдання розподілу агрегатів зернозбирального комбайна за технологічними маршрутами технічного контролю

Крок 1. База даних поєднань контрольованих параметрів (БД DB1) складається на основі отриманих експериментальних даних. При цьому базу даних слід розбити на дві частини, виходячи з обраного процентного співвідношення: на навчальну вибірку (на її основі відбувається навчання мережі, а тому цей набір має найбільшу кількість прикладів з бази даних) і тестову вибірку (на її основі відбувається оцінка точності розпізнавання дефектів агрегатів).

Крок 2. Нормування відбувається згідно з графіком на рис. 3.2., а також на основі алгоритму, представленого на рис. 3.3.

Крок 3. Спочатку кількість нейронів в прихованому шарі 2, для визначення оптимальної кількості будемо використовувати метод поступового нарощування їх числа, поки не буде досягнуто оптимальне значення, при якому тестовий набір даних буде успішно розпізнано. Для визначення верхнього граничного значення кількості нейронів у прихованому шарі використовуємо формулу (3.10).

Крок 4. Якщо число нейронів у прихованому шарі не досягло свого встановленого граничного значення R , то відбувається перехід на наступний крок. В іншому випадку, малоймовірно, що подальше збільшення числа нейронів підвищить якість навчання штучної нейронної мережі, тому необхідно повернутися на крок 1 і переформувати початкову базу даних поєднань параметрів (DB1).

Крок 5. Навчання штучної нейронної мережі відбувається методом зворотного розповсюдження помилки відповідно до блок-схеми алгоритму на рис. 3.5. Кількість нейронів вхідного шару береться рівною кількості параметрів, що вказують на наявність дефектів в певних вузлах агрегатів. Число нейронів вихідного шару дорівнює кількості можливих дефектів розглянутого вузла агрегату. Всі вихідні сигнали останнього шару мережі має сенс переводити в логічний тип даних, який приймає значення: 0 – відсутність дефекту, 1 – наявність дефекту. Поєднання вихідних сигналів $U_1 \dots U_L$ буде підставою для твердження про наявність того чи іншого дефекту.

Крок 6. Оцінюється придбана, в процесі навчання, властивість нейронної мережі виявляти раніше невідомі їй дефекти (з тестової вибірки, які не брали участі в процесі навчання), що формуються в результаті різних сполучень параметрів згідно структурно-слідчої моделі взаємозв'язку параметрів агрегату.

Крок 7. Якщо тестова вибірка розпізнає повністю, то можна зробити висновки, що штучна нейронна мережа придбала здатність до узагальнення. В такому випадку відбувається перехід на крок 9. В іншому випадку, штучна нейронна мережа або не придбала здатність до узагальнення, або величина помилки поки що ще висока, в такому випадку відбувається перехід на крок 8.

Крок 8. Відбувається збільшення числа нейронів $L=L+1$ і перехід до початку кроку 4.

Крок 9. По завершенню роботи алгоритму на виході ми отримуємо тестові поєднання дефектів агрегатів. Кожному такому поєднанню присвоюється певний комплекс ремонтних робіт. Отримані результати записуються в окрему базу даних (БД DB2).

Для розподілу агрегатів зернозбирального комбайна по комплексам технічного контролю використовується сформована в результаті робота попереднього алгоритму база даних (БД DB2), де перераховані всі виявлені поєднання дефектів вузлів агрегатів.

На рис. 3.7 у вигляді блок-схеми представлений алгоритм побудови нейромережевого класифікатора для вирішення завдання оптимального розподілу агрегатів зернозбирального комбайна за технологічними маршрутами технічного контролю в залежності від розпізнаних дефектів агрегатів. Варто відзначити, що кроки, де виконується нормування вхідних даних, визначення оптимальної кількості нейронів у прихованому шарі і процедура навчання методом зворотного поширення помилки аналогічні відповідних кроків алгоритму на рис. 3.6. Для розробки методичного забезпечення експериментальних досліджень проводився аналіз нормативно-технічної та наукової літератури, а також конструкторської документації, в результаті чого був узагальнений досвід застосування методів і техконтрольних засобів складних технічних систем, якими є силові енергетичні агрегати зернозбиральних комбайнів. Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між конструктивними елементами силових енергетичних агрегатів зернозбиральних комбайнів, які характеризують його фактичний технічний стан, використовувалися структурно-слідчі моделі взаємозв'язків контрольованих параметрів. Застосовуючи метод декомпозиції до структури об'єкта дослідження, виділили причинно-наслідкові зв'язки між основними ресурсними групами об'єкта, їх дефектами і контрольованими параметрами (технічного стану, структурні і розмірні), що характеризують фактичний технічний стан об'єкта дослідження. При розробці структурно-слідчих моделей для основних ресурсних груп (циліндро-поршнева група, кривошипно-шатунний механізм, газорозподільчий механізм) силових енергетичних агрегатів зернозбиральних комбайнів використовувалася інформація про його конструкції і функціонування його окремих механізмів і підсистем. Для визначення номенклатури структурних

і параметрів технічного стану використовувалися рекомендації національних і галузевих стандартів. Отримання структурно-слідчої моделі основних ресурсних груп (циліндро-поршнева група, кривошипно-шатунний механізм, газорозподільчий механізм) силових енергетичних агрегатів зернозбиральних комбайнів представляє собою багаторівневі спрямовані графи.

На першому рівні знаходяться основні дефекти відповідних вузлів, що викликають відхилення від номінальних значень конструктивних параметрів двигуна.

Другий, третій і четвертий рівні займають відповідно розмірні, структурні і параметри технічного стану об'єкта контролю, які і є визначальним його фактичний технічний стан.

Розроблені структурно-слідчі моделі для основних ресурсних груп силових енергетичних агрегатів зернозбиральних комбайнів дозволяють оцінити його технічний стан на етапах технічного контролю, а саме технічного контролю. Велика кількість включених в структурно-слідчі моделі параметрів дозволяє сформувати сукупність параметрів технічного стану, використовуваних при технічному контролі агрегатів зернозбиральних комбайнів. При цьому були враховані обмеження через об'єктивно існуючі зв'язки між окремо взятими операціями, а також потребами в певній операції для забезпечення розроблено схеми відповідності реальним виробничим умовам. Наприклад, операції i_1, \dots, i_6 належать множині всіх операцій по технічному контролю $R = \{i : i = 1, R\}$ мають загальну ознаку, яка виражається співвідношенням: $k_1 = \dots = k_i = \dots = k_6 = 1$, де k_i — коефіцієнт ремонту по i -й ремонтній операції. Таким чином, окремі операції можна об'єднати в підмножину $R = \{i : i = 1, 63\}$, які виконуються в початковій стадії технологічного процесу техконтролю двигуна. Розроблена структурно-технологічна схема сприяла упорядкуванню процесу проведення експерименту, а також забезпечення повноти і статистичної однорідності отриманих експериментальних даних.

3.7. Вибір засобів контролю та визначення технічного стану об'єкта дослідження

В даний час існує величезна множина обладнання для встановлення технічного стану карбюраторних і дизельних двигунів вітчизняного та

зарубіжного виробництва, основна маса яких призначена для планових або заявочних процесів технічного контролю (ТК-1, ТК-2, ТК_{тр} і ін.), які виконуються в умовах агропідприємства без зняття двигуна з комбайна.

Підсистема технічного контролю є найбільш важливою частиною підтримання працездатності зернозбиральних комбайнів, тому застосування сучасного техконтрольного обладнання (комплекти техконтрольних засобів, переносні прилади й ін.), а також використання контрольно-випробувальних і обкатних стендів для ремонтів агрегатів повинно бути пріоритетним напрямком при організації технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів при їх підтримання працездатності.

Наприклад, для оцінки і швидкої реєстрації компресії дизельного двигуна зернозбирального комбайна використовується компресограф Zeca 363 (рис. 3.8). Крім вимірювання компресії, він призначений для оцінки ступеня зносу циліндрів, а також стану поршневих кілець і клапанів. Ті, що йдуть в комплекті карти (розміром 50 мм.) Мають широкий діапазон шкали вимірювання – 8–40 Бар, характеризуються легким зчитуванням і точністю визначення.



Рис. 3.8. Зовнішній вигляд компресографа Zeca 363 в комплекті

При технічному контролю, за допомогою вакуум-аналізатора Lecota-28165 (рис. 3.9) можна виявити технічний стан деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) (наприклад, виявлення нещільності в з'єднаннях «кільце-циліндр», «клапан-сідло») без установки двигуна на стенд. Lecota-28165 наконечником вставляється в отвір форсунки і, прокручуючи колінчастий вал, визначають

максимальне розрідження в надпоршневому просторі циліндра.



Рис. 3.9. Вакуум-аналізатор Lecota-28165

Виходячи з результатів застосування матриці прийняття рішень в якості найкращого приладу був обраний двоканальний віброаналізатор КОНТЕСТ С9000 з п'єзоелектричними датчиками вібрації СТС АС102-1А (рис. 3.10) і програмним забезпеченням «Конспект».



Рис. 3.10. Віброаналізатор КОНТЕСТ С9000 з датчиками вібрації СТС АС102-1А

Для вимірювання сумарного зазору у верхній голівці шатуна і шатунному підшипнику використовувалося пристосування Lecota-11140.

Для цього в кривошипно-шатунного механізму (КШМ) при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ) і при застопореному колінчастому валу, встановлюють пристрій в отвір форсунки перевіряється циліндра і закріплюють.

Після цього, до Lecota-11140 приєднують компресорно-вакуумну установку (наприклад, Lecota-13907), створюють тиск в надпоршневому просторі, до зіткнення з днищем поршня вводять шток і встановлюють індикатор на нульову позначку [40]. Далі повільно створюють розрідження в надпоршневому просторі і вимірюють величини зазорів по індикатору Lecota-11140 при двох зупинках руху поршня.

За величину виміряних зазорів судять про стан кожної кривошипно-шатунної групи і всього двигуна. При перевищенні допустимих значень зазорів хоча б в одному циліндрі необхідний ремонт двигуна [40].

Застосування пристрою Lecota-9918 дозволяє визначити величину зазору між коромислом і клапаном газорозподільного механізму (ГРМ) без необхідності установки поршня перевіряється циліндра в ВМТ. Його принцип дії полягає у визначенні різниці траєкторій рухів бойка коромисла і стрижня клапана при прокручуванні колінчастого вала.

Використання приладу Lecota-272 дозволяє визначити технічний стан ЦПГ двигуна методом вимірювання витоку повітря (пневмотестування), що вводиться через отвір форсунки в розглянутий циліндр, при демонтованій голівці блоку циліндрів, що дозволяє виключити вплив на контрольовані параметри дефектів клапанів і головки блоку циліндрів.

Пристосування для безпосереднього вимірювання структурних параметрів двигуна становлять найбільший інтерес для використання в процесі технічного контролю, з позиції підвищення однозначності і достовірності при оцінці технічного стану окремо взятих сполучень двигуна, до числа яких можна віднести індикаторний пристрій для виміру осьового зміщення колінчастого вала. Використання в конструкції даних пристроїв індикаторів годинникового типу моделей ИЧ-5, ИЧ-10, МИГ-1, МИГ-2 та ін., дозволяє досягти високої точності при вимірах. Крім того, варто відзначити, що під час виконання робіт з розбирання двигуна, можна виконати безпосередньо виміри розмірних параметрів, які характеризують фактичний технічний стан окремо взятих деталей двигуна. Наприклад, знята головка блоку циліндрів дозволяє визначити стан гільз циліндрів двигуна у верхній мертвій точці за допомогою індикаторного нутроміра, що дозволяє вже на початку виконання розбиральних робіт визначити потребу в замінах гільз циліндрів двигуна.

Стандартні засоби вимірювання лінійних розмірів застосовуються при визначенні більшості розмірних параметрів на етапі технічного контролю, а також для мікрометрування деталей розібраного двигуна.

Вибір найбільш підходящих контрольно-вимірювальних засобів для забезпечення експериментального дослідження обумовлений їх різними метрологічними характеристиками і великим діапазоном контрольно-вимірювальних засобів. Вибір контрольно-вимірювальних засобів повинен здійснюватися з урахуванням конструкторської, технологічної та метрологічної документації по об'єкту дослідження.

Наприклад, необхідно підібрати контрольно-вимірювальний засіб для вимірювання зовнішнього діаметра поршневого пальця, який становить $d=50_{-0,008}$ мм, а допуск на розмір дорівнює $T_d=8$ мкм, виходячи з технічних умов. Допустима похибка вимірів визначається або випадковою складовою за формулою (3.2), або по найближчому, для відповідного розміру, найменшим значенням допуску. При цьому випадкова похибка вимірювань не повинна перевищувати 0,6 від допустимої похибки вимірювань $\Delta = 0,6\delta$, де δ – значення допустимої похибки вимірювань. З таблиць, відповідно до номінального розміру і допуском на розмір, визначається значення δ . У розглянутому прикладі квалітет слід вибирати по допуску на розмір рівному 8 мкм, в стовпчику відповідний розмірами від 30 до 80 мм. Для даного прикладу найбільше підійде 5-й квалітет з допуском на розмір рівним 7 мкм, яким відповідає $\delta=3,0$ мкм і $\Delta = 0,6 \cdot 3,0 = 1,8$ мкм.

1. У відповідній таблиці виходячи з номінального розміру і отриманого значення Δ , вибирається тип приладу і засоби для його настройки. При виборі приладу, необхідно враховувати такі фактори:

- вимірювальні стержні приладу повинні відповідати висоті і діаметру вимірюваного виробу;
- гранична похибка вимірювання приладу повинна бути менше або рівна розрахованій допустимій похибці вимірювань Δ .

З урахуванням даних факторів, в розглянутому прикладі, підходять два прилади:

- а) індикаторна стійка С-III з ціною поділки 0,001-0,01 мм, межами виміру по висоті 0...100 мм, діаметром отвору під вимірювальну головку 8h8 мм і

значенням граничної похибки вимірювання складала 1,5 мкм (використовуючи кінцеві міри 2-го класу);

б) важільний мікрометр типу МР, або МРІ, що має ціну поділки 0,001 і 0,002 мм, призначений для вимірювання лінійних зовнішніх розмірів, з межами виміру 200 мм і значенням граничної похибки рівною 3 мкм (використовуючи кінцеві міри 1-го класу).

Так як на підприємстві, що здійснює ремонт зернозбирального комбайна, може бути відсутньою індикаторна стійка підвищеної точності, то вибирається важільний мікрометр.

2. Відбувається підбір блоку кінцевих мір під встановлений розмір L_y і визначається Δ_{lim}^{bl} за формулою [94]:

$$\Delta_{lim}^{bl} = \sqrt{\Delta_{lim}^1 + \dots + \Delta_{lim}^n} \quad (3.3)$$

де n – число плиток в блоці.

У розглянутому прикладі $L_y = 27,5$ мм, тому, за відповідною таблицею визначаємо, що блок кінцевих мір можна скласти з двох плиток: кінцевою мірою 20 мм з похибкою для 2-го класу рівній $\pm 0,55$ мкм і кінцевою 7,5 мм з похибкою для 2-го класу рівній $\pm 0,35$ мкм.

Таким чином, виходить: $\Delta_{lim}^{bl} = \pm \sqrt{0,55^2 + 0,35^2} = \pm 0,65$ мкм.

3. Визначаються значення допустимого виходу за межі поля допуску C . Для 5-го квалітету: $C = 0,07 \cdot T_d = 0,07 \cdot 10 = 0,7$ мкм.

4. Проводиться перевірка співвідношення $C \geq \Delta_{lim}^{bl}$. В розглянутому прикладі отримаємо $0,7 \text{ мкм} > 0,65 \text{ мкм}$, тому необхідність в підвищенні класу точності кінцевих мір відсутня.

На етапі планування експериментальних досліджень виникає необхідність в апіорному визначенні мінімального об'єму вибірки для всіх вимірюваних параметрів, щоб отримати достовірні результати і уникнути великих витрат часу і праці [65]. При цьому апіорно приймалася гіпотеза про нормальний закон розподілу величин вимірюваних параметрів.

Кількість вимірювань визначалася за формулою (3.4).

$$\delta = \frac{t_{\alpha} \sigma}{\sqrt{nM}} \quad (3.4)$$

де t_α – критерій Стюдента, відповідний заданій довірчій ймовірності α ;
 σ – середньоквадратичне відхилення вимірюваної випадкової величини;
 n – об'єм вибірки;
 M – математичне очікування вимірюваної випадкової величини.

Величина граничної відносної похибки визначалася за формулою (3.5).

$$\varepsilon^{\text{відн.}} = \frac{\varepsilon^{\text{абс.}}}{|a|} \quad (3.5)$$

де $\varepsilon^{\text{абс.}}$ – гранична абсолютна похибка вимірювання;

a – точне значення випадкової величини по модулю.

Довірча ймовірність α приймалася рівною $\alpha=0,9$, згідно рекомендаціям для досліджень подібного роду. Результати визначення мінімальної кількості вимірів кожного параметра, який бере участь в експериментальних дослідженнях.

Формування вихідної сукупності параметрів, які характеризують фактичний технічний стан двигунів, що надійшли в ремонт на етапі технічного контролю, є основною метою експерименту. Тому в процесі експериментальних досліджень виконано наступне: були зібрані вихідні дані, щоб визначити стохастичні зв'язки між параметрами технічного стану, які характеризують технічний стан двигунів, які знаходяться в ремонті; були зібрані вихідні дані, щоб виконати розрахунки ймовірностей появи помилок 1-го («помилковий дефект») і 2-го («пропуск дефекту») роду в процесі визначення фактичного стану основних ресурсних груп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) двигуна при його розбиранні.

Отримання експериментальним шляхом значення параметрів технічного стану, які характеризують технічний стан вузлів дизельного двигуна зернозбирального комбайна, які піддавалися математико-статистичному аналізу, а далі використовувалися відповідно до мети і поставлених завдань дослідження.

Беруть участь в експерименті дизельні двигуни зернозбиральних комбайнів, після повного технічного контролю та мийки, які прямували в розбирально-складальний цех, де встановлювалися на стенди і піддавалися розбиранню щоб забезпечити подальше мікрометрування деталей з врахуванням завдань дослідження.

Згідно з розробленою структурно-технологічної схеми розбирання дизельного двигуна зернозбирального комбайна, при виконанні окремо взятих

операцій з розбирання проводилося оцінювання технічного стану елементів. Значення параметрів, що контролюються заносилися в карти технічного контролю, які і служили базою для визначення фактичного технічного стану ремонтного двигуна. При відсутності можливості вимірювання певних структурних параметрів, їх значення визначалися або розрахунковим шляхом (ґрунтуючись на розмірах деталей даного сполучення), або побічно (ґрунтуючись пов'язаних з ними значних інших структурних параметрів).

Для підвищення статистичної однорідності отриманих експериментальним шляхом даних і максимального виключення суб'єктивного фактора при оцінці результатів вимірювань, структурні і розмірні параметри (як і на етапі технічного контролю) оцінювалися кожен по три рази різними операторами технічного контролю. При цьому бере участь в експерименті техконтрольне обладнання, яке в обов'язковому порядку піддавалося перевірці та проходило метрологічну експертизу. Дані заходи практично повністю дозволили виключити систематичні похибки вимірювань параметрів.

3.8. Методика математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей

Розробка методики математичної обробки отриманих експериментальним шляхом даних обґрунтована необхідністю виключення порушень однорідності вибірки, відбору найбільш інформативних контрольованих параметрів об'єкта дослідження та ін., тому що отримані емпіричні дані в подальшому використовувалися для навчання моделей математичного апарату штучної нейронної мережі і оцінці їх точності при вирішенні задач розпізнавання дефектів агрегатів комбайнів на етапі технічного контролю та їх розподіл за технологічними маршрутами комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів. Схема даної методики представлена на рис. 3.11.

Попередня обробка отриманих результатів вимірювань. Всього в експерименті брало участь 42 дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів з яких, на етапі технічного контролю, знімалися показники, характеризуючі їх технічний стан. Так як отримані результати використовувалися в якості тестового набору даних для перевірки адекватності побудованої моделі штучної

нейронної мережі і точності навчання, то до них висувалися підвищені вимоги в плані достовірності отриманих результатів вимірювань.



Рис. 3.11. Схема методики математичної обробки емпіричних даних для побудови моделей штучної нейронної мережі

Щоб забезпечити необхідний рівень достовірності, необхідно виключити грубі помилки (засмічення даних), при яких відбувається порушення

однорідності вибірки, отриманих в результаті вимірювань об'єктів досліджень.

Для цієї мети обраний критерій Тітьєна-Мура (E_k – критерій), який є узагальненим наслідком з критерію Граббса, щоб виключити наявність двох і більше рідкісних прилеглих викидів даних.

Для максимальних значень вибірки критерій має наступний вигляд:

$$E_k^{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \overline{x_k^{\max}})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.6)$$

де $\overline{x_k^{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} x_i}{n-k}$ – середнє арифметичне із спостережень $n-k$, після відсіювання k мінімальних значень;

\bar{x} – середнє арифметичне значення всієї вибірки.

Попередньо обчислені значення T_k^{\max} і T_k^{\min} , при обраному рівні значущості (для забезпечення високої точності тестуючої вибірки, рівень значимості приймався рівним 0,01) порівнювались з таблицею критичних значень Граббса. За результатами порівнянь, приймалося рішення про виключення спостережень з вибірки.

Апроксимація розподілу емпіричних даних. Отримання емпіричних даних, як правило, піддається апроксимації для попереднього підбору теоретичного розподілу (нормальний, логнормальний, експоненціальний, Вейбулла і ін.). На даному етапі висувалася гіпотеза про теоретичне розподіл даних по нормальному закону.

Для апроксимації емпіричних даних з використанням програми Statistica 6 їх діапазон розбивався на оптимальне число інтервалів за правилом Стерджесс:

$$d \cong 1 + 3,322 \ln N, \quad (3.8)$$

де d – отримується число інтервалів;

N – загальний обсяг вибірки.

Наступним кроком була перевірка гіпотези про належність емпіричних даних нормальному закону розподілу, використовуючи критерій згоди Пірсона (критерій χ^2). Число ступенів свободи для нормального закону розподілу при цьому визначається як:

$$k = d - 3. \quad (3.9)$$

Виходячи з отриманих розрахунковим шляхом значень χ^2 і порівняння їх з табличними значеннями при 5%-му рівні значущості, зроблено висновок про нормальний закон розподілу для всіх оцінюваних параметрів.

Побудова регресійних моделей контрольованих параметрів. Отриманий простір, при побудові структурно-досліджуваних моделей основних ресурсних груп об'єкта дослідження, виявлених контрольованих параметрів має значною неоднорідністю з точки зору вимог, що пред'являються до достовірності і однозначності визначення з їх допомогою технічного стану об'єкта контролю. Таким чином, для формування раціональної сукупності параметрів технічного стану, була вирішена задача скорочення отриманого простору, елімінувати неістотні контрольовані параметри шляхом оцінювання ступеня кореляційних зв'язків між ним за отриманими емпіричним даним, використовуючи апарат регресійної-кореляційного аналізу [114].

Забудова регресійних залежностей і оцінювання тісноти зв'язків між контрольованими параметрами дизельного двигуна зернозбирального комбайна був найбільш важливим етапом математико-статистичної обробки.

Проведений аналіз причинно-наслідкових зв'язків між контрольованими параметрами, враховуючи фізичну природу їх взаємодії, дозволив припустити між ними залежно лінійного виду:

$$Z_{(k)} = a_0(k) + \sum_{i=1}^n a_{i(k)} \cdot Y_{i(k)} \quad (3.10)$$

де k – лінійна множинна регресія контрольованого на етапі технічного контролю параметра технічного стану Z від n -го числа структурних параметрів Y , де $k = \overline{1, K}$; a_i – регресійний коефіцієнт; a_0 – вільний член регресійного рівняння.

Перевірка адекватності отриманих множинних регресійних моделей (3.10) здійснювалася шляхом порівняння обчислених значень F – критерію Фішера з табличними при рівні значущості $\alpha = 1\%$.

Значимість регресійного коефіцієнта a_i перевірялася по t – критерієм Стюдента шляхом порівняння отриманих емпіричних значень з табличними при рівні значущості $\alpha = 1\%$.

Надалі з отриманих регресійних залежностей здійснювалося винятком

незначущих факторів, у яких t – критерій Стюдента регресійного коефіцієнта опинявся менше табличного при обраному рівні значущості. Потім проводився перерахунок даних регресійних залежностей з урахуванням виключених факторів. В результаті, після множинних прорахунків на ПК емпіричних залежностей контрольованих параметрів і подальшого елімінування незначущих факторів, було виявлено регресійні залежності параметрів технічного стану від структурних, значимість яких підтверджується відповідними високими значеннями коефіцієнтів детермінації $\overline{R^2}$ і результатами оцінок по F – критерієм Фішера з 1%-м рівному значимості.

В даний час розподіл за комплексом технологічних процесів відбувається за наступним принципом: кожен агрегат, після технічного контролю, супроводжується картою технічного контролю, де оператор технічного контролю відзначає виявлені дефекти. Далі карта технічного контролю порівнюється з технологічною картою кожного комплексу ремонтних робіт для вибору підходящого ремонтного маршруту. При цьому підході людський фактор є головною причиною появи помилок 1-го (помилковий дефект) і 2-го роду (пропуск дефекту). Головна умова вирішення поставленого завдання – кількість комплексів ремонтних робіт повинно охоплювати всі можливі дефекти основних вузлів двигуна. При підході з точки зору нейромережевої класифікації, де на точність розпізнавання дефектів агрегатів і розподіл їх по моделі комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів меншою мірою впливає людський фактор, а в основному впливають обрана структура і алгоритми побудови і навчання штучної нейронної мережі, можна домогтися зниження внутрішньовиробничих втрат через що виникають на етапі технічного контролю помилок і при подальшому розподілі агрегатів за технологічними маршрутами технічного контролю.

Проте не виключені ситуації, коли штучна нейронна мережа на виході буде видавати приналежність агрегату до кількох комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів. В такому випадку, має сенс провести додатковий аналіз результатів, який полягатиме в поданні вихідних даних у вигляді значень з плаваючою комою, замість бінарного типу, і порівняння з розробленим критерієм (3.11).

$$(Y' - Y'') \cdot 100\% \geq 40\% \quad (3.11)$$

де Y' – найбільше значення виходу штучної нейронної мережі, до відповідного комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, до якого був віднесений агрегат; Y'' – наступне за Y' в сторону зменшення значення виходу штучної нейронної мережі, до відповідного комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, до якого був віднесений агрегат.

Якщо ж кількість технологічних маршрутів, до якого було визначено агрегат, більше 2-х, то виконується покрокова перевірка кожної пари значень за критерієм (3.11) від більшого до меншого. У разі невідповідності критерію певної пари, необхідно перевірити якість представлених даних для навчання за даною парі, переформувати бази даних і перенавчити штучну нейронну мережу.

Важливим етапом експериментальних досліджень при використанні математичного апарату штучної нейронної мережі, є визначення обсягу навчальної вибірки для якісного навчання штучної нейронної мережі. Недостатня кількість або протиріччя даних в навчальному наборі відіб'ється в великій кількості помилок при класифікації дефектів і розподілу агрегатів по комплексах технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів на етапі тестування. На даний момент не існує узагальненого способу визначення необхідного числа прикладів для якісного навчання штучної нейронної мережі, тому дана задача досі не має однозначного вирішення. Виходячи з гіпотези, що для навчання адекватної моделі математичного апарату штучної нейронної мережі досить кількості навчальних прикладів P , що дорівнює добутку числа нейронів вхідного і вихідного шарів отримаємо:

$$P = N_x \cdot N_y \quad (3.12)$$

де N_x – число нейронів вхідного шару; N_y – число нейронів вихідного шару.

На етапі експериментальних досліджень, побудова моделей штучних нейронних мереж здійснювалося в програмному забезпеченні Deductor Studio Academic 5.2. Вибір даного програмного продукту обумовлений тим, що він є одним з лідерів на західноєвропейському ринку аналітичних платформ, який реалізує більшість сучасних підходів до аналізу та обробці даних. Для побудови нейронної мережі використовувалися теоретичні розробки, представлені в 2-му розділі даної роботи.

Висновки до третього розділу

1. Аналіз можливих виробничих ситуацій при організованому на агропідприємстві технічного контролю зернозбиральних комбайнів за технічним станом агрегатів дозволяє зробити висновок про те, що домогтися зниження внутрішньовиробничих втрат можна при зниженні виникаючих помилок розпізнавання дефектів агрегатів і їх розподілу по комплексах технічного контролю.

2. Вибір штучної нейронної мережі як математичного апарату для вирішення завдання зниження помилок розпізнавання дефектів агрегатів і їх розподілу за технологічними маршрутами технічного контролю обґрунтований здатністю даного математичного апарату до навчання, аналізу і запам'ятовування результатів, а також високою адаптацією під рішення поставленого завдання.

3. Умовою застосування алгоритму зворотного поширення помилки при навчанні штучної нейронної мережі є те, що обрана функція активації повинна бути диференційована, тому використовується сигмоїдальна активаційна функція, яка диференційована по всій осі абсцис.

4. Уточнений алгоритм масштабування вихідних даних в область значень функції активації при навчанні штучної нейронної мережі є універсальним і дозволяє досягти підвищення достовірності розпізнавання і зменшення часу навчання даного математичного апарату.

5. Розроблений алгоритм розпізнавання дефектів в агрегатах зернозбиральних комбайнів з використанням математичного апарату штучної нейронної мережі застосовуємо, як до широкого спектру механічних систем, що володіють достатньою конструктивною складністю при їх технічному контролі по фактичному технічному стану в аграрній галузі економіки України.

Основні результати першого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [3, 6, 21, 31].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ І ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ У ВИРОБНИЧИХ УМОВАХ

4.1. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків параметрів для основних ресурсних груп силового енергетичного агрегату зернозбирального комбайна

Рішення даного завдання буде виконуватися відповідно до розробленого алгоритму, блок-схема якого приведена на рис. 2.6, в рамках загальної методики дослідження.

Кожен контрольований параметр буде окремим нейроном у вхідному шарі штучної нейронної мережі, а кожен можливий дефект певного вузла двигуна буде окремим нейроном у вихідному шарі штучної нейронної мережі. Сукупність сигналів нейронів вихідного шару буде утворювати певне поєднання дефектів.

Для підвищення якості навчання і точності розпізнавання, дефекти, що розпізнаються були згруповані по загальним ознаками технічного контролю (параметрами технічного стану). Результати наведені в таблиці 4.1. Розподіл прикладів між наборами даних для навчання і тестування штучної нейронної мережі для основних ресурсних груп двигуна представлено на рис. 4.1.

Таблиця 4.1.

Результати угруповання виявлених дефектів

Позначення	Найменування
1. Дефект циліндро-поршневої групи (ЦПГ)	
S_1	Дефект канавки поршня під компресійне кільце
S_2	Дефект компресійного кільця
S_3	Дефект спідниці поршня
S_4	Дефект гільзи циліндра
2. Дефект кривошипно-шатунного механізму (КШМ)	
S_5	Дефект шатунних шийок колінчастого вала

Продовження табл. 4.1

Позначення	Найменування
S ₆	Дефект корінних шийок колінчастого вала
S ₇	Дефект задньої корінний шийки
S ₈	Дефект верхньої головки шатуна
3. Дефект газорозподільчого механізму (ГРМ)	
S ₉	Дефект стрижня клапана
S ₁₀	Дефект кулачків розподільного вала
S ₁₁	Дефект розподільних шестерень
S ₁₂	Дефект сидла клапана
S ₁₃	Дефект направляючих втулок стрижня клапана
S ₁₄	Дефект опор розподільного вала

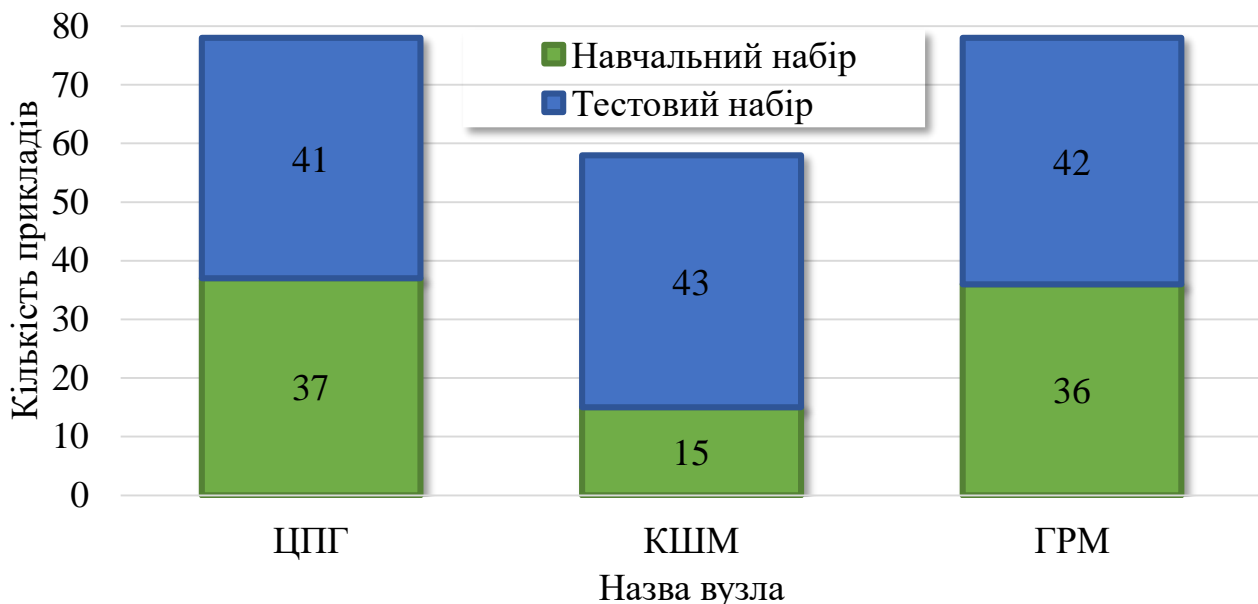


Рис. 4.1. Розподіл прикладів між навчальним і тестовим наборами

Навчальні набори даних (ЦПГ, КШМ, ГРМ) формувалися шляхом випадкових комбінацій базових наборів навчальних прикладів, які були складені на основі взаємозв'язку контрольованих параметрів технічного стану. Тестові набори були сформовані на основі отриманих експериментальним шляхом (в реальних виробничих умовах на етапі технічного контролю дизельного двигуна зернозбирального комбайна) значень даних параметрів. Для розглянутих вузлів двигуна процентне значення тестового набору більше 50% від загального числа прикладів, що є більш ніж достатнім (розмір тестової вибірки зазвичай приймається рівним 10...25% від загального числа прикладів) для перевірки адекватності побудованої моделі та якості навчання.

Отримані результати роботи алгоритму розпізнавання сполучень дефектів для кожного вузла дизельного двигуна зернозбирального комбайна методом ітераційного нарощування числа нейронів в прихованому шарі наведені в таблицях 4.2, 4.3 і 4.4, де L – число нейронів в прихованому шарі, а також представлені у вигляді графіків на рис. 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10.

Таблиця 4.2

Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів ЦПГ в залежності від кількості нейронів в прихованому шарі

L	Розпізнавання навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнавання тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	82	0,016	0	0,178
3	95	0,006	24	0,069
4	100	0,000	50	0,054
5	100	0,000	82	0,033
6	100	0,000	100	0,022
7	100	0,000	100	0,006
8	100	0,000	100	0,015
9	100	0,000	100	0,018
10	100	0,000	100	0,020

Таблиця 4.3

Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів КШМ в залежності від кількості нейронів у прихованому шарі

L	Розпізнавання навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнавання тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	86	0,012	32	0,048
3	100	0,000	75	0,029
4	100	0,000	100	0,016
5	100	0,000	100	0,004
6	100	0,000	100	0,006
7	100	0,000	100	0,010
8	100	0,000	100	0,014

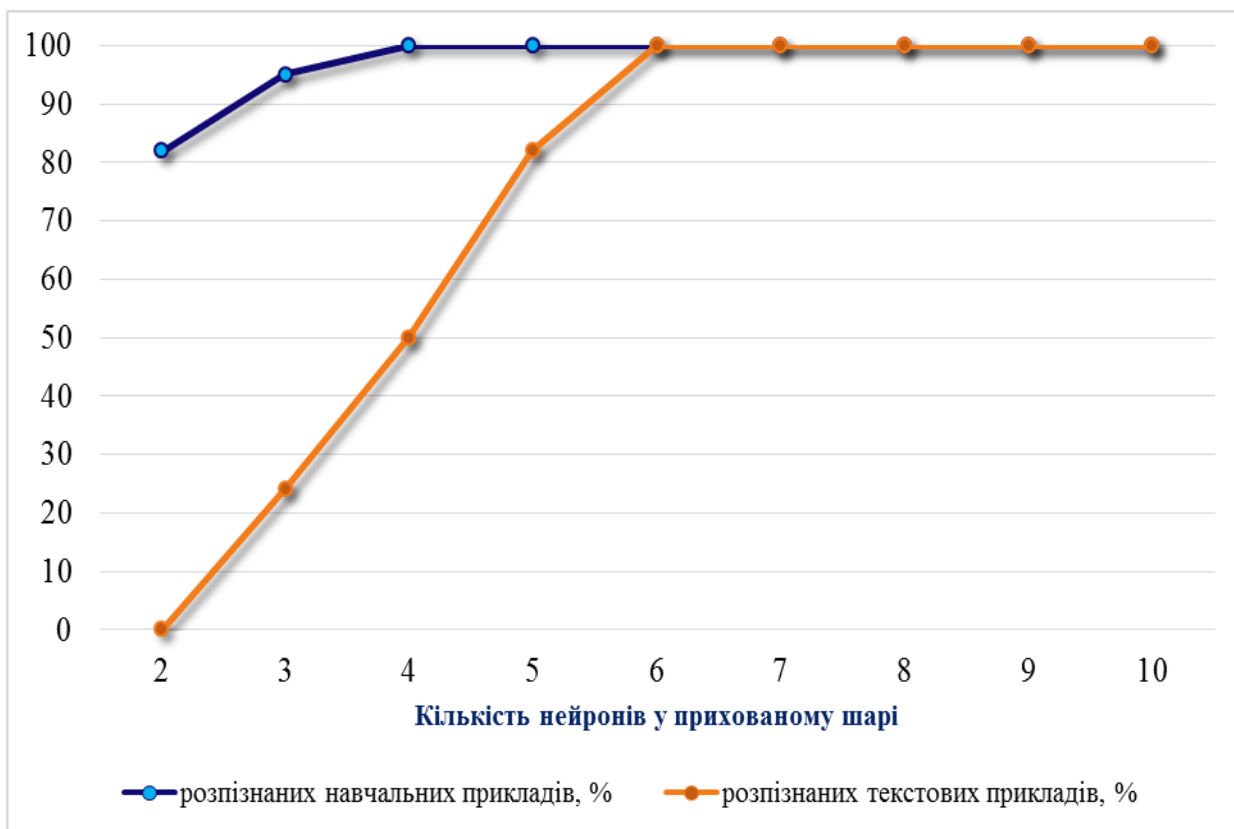


Рис. 4.5. Графік збіжності розпізнаних дефектів ЦПГ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

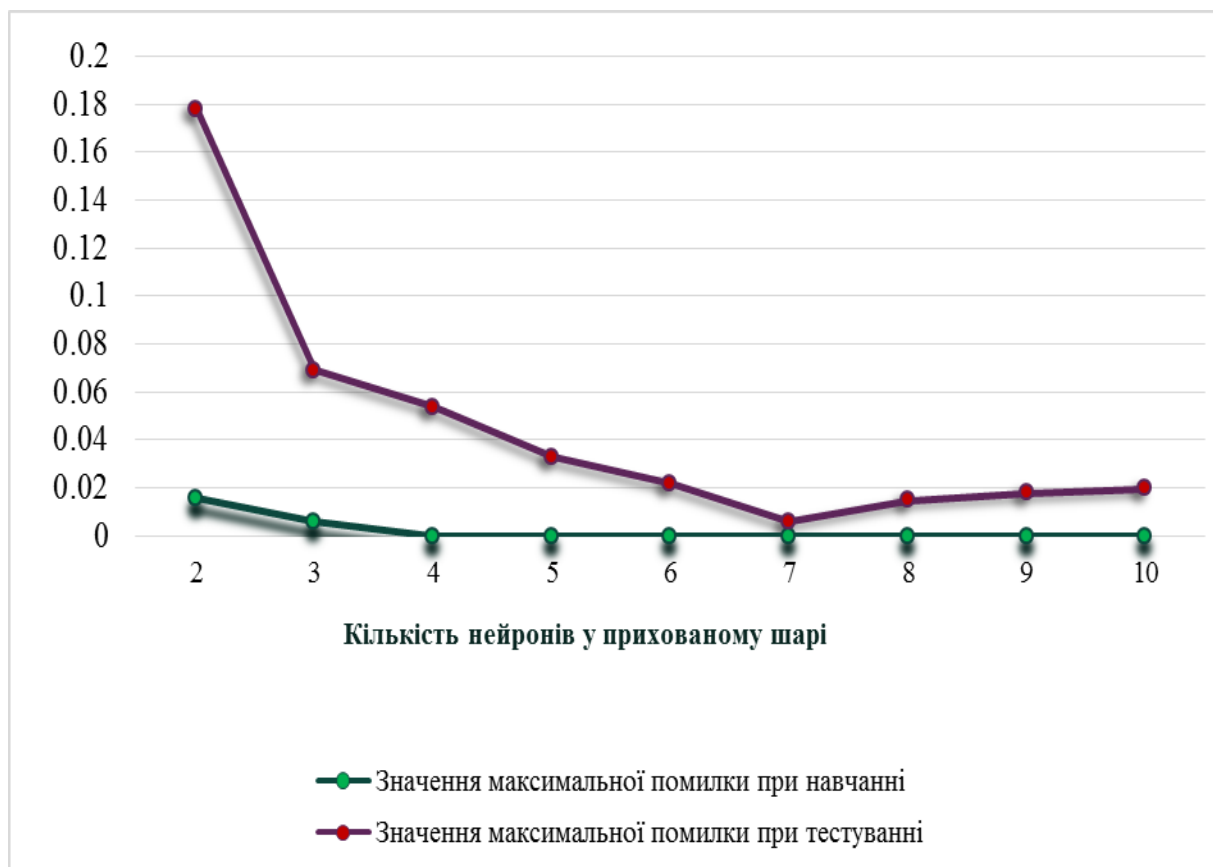


Рис. 4.6. Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів ЦПГ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

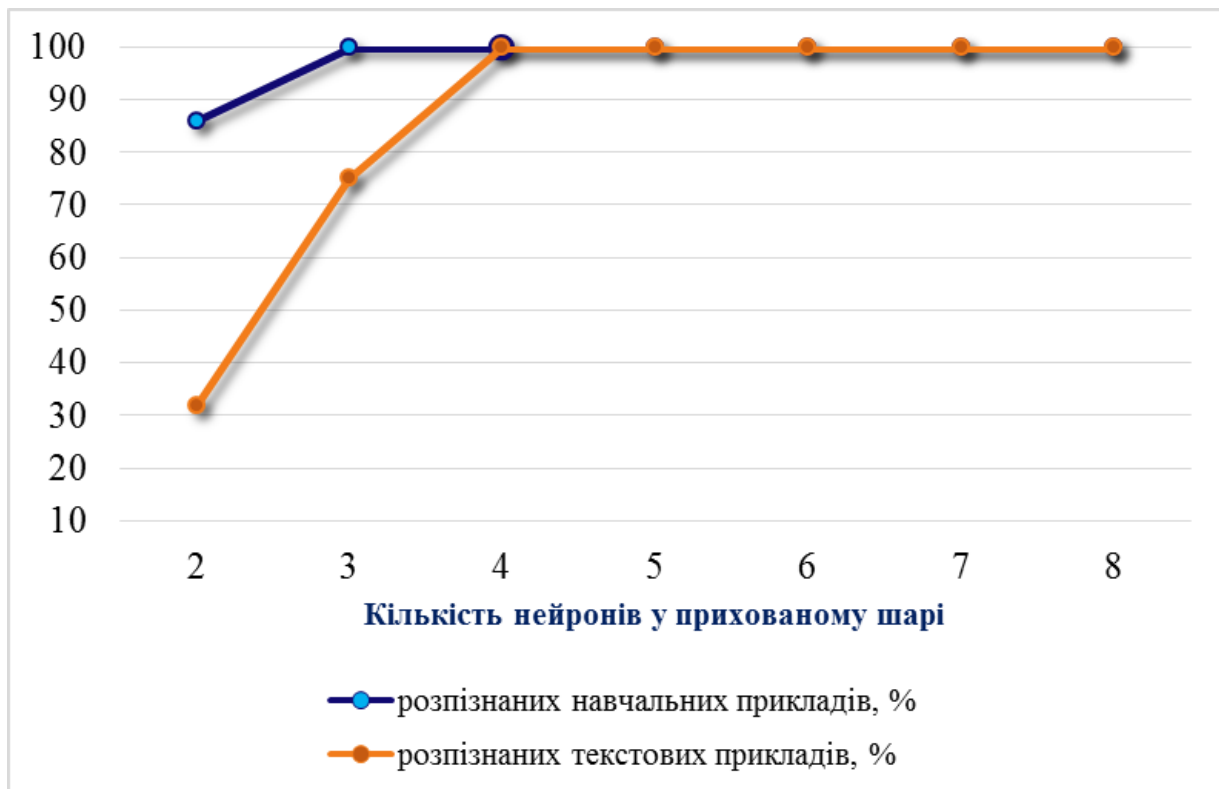


Рис. 4.7. Графік збіжності розпізнаних дефектів КШМ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

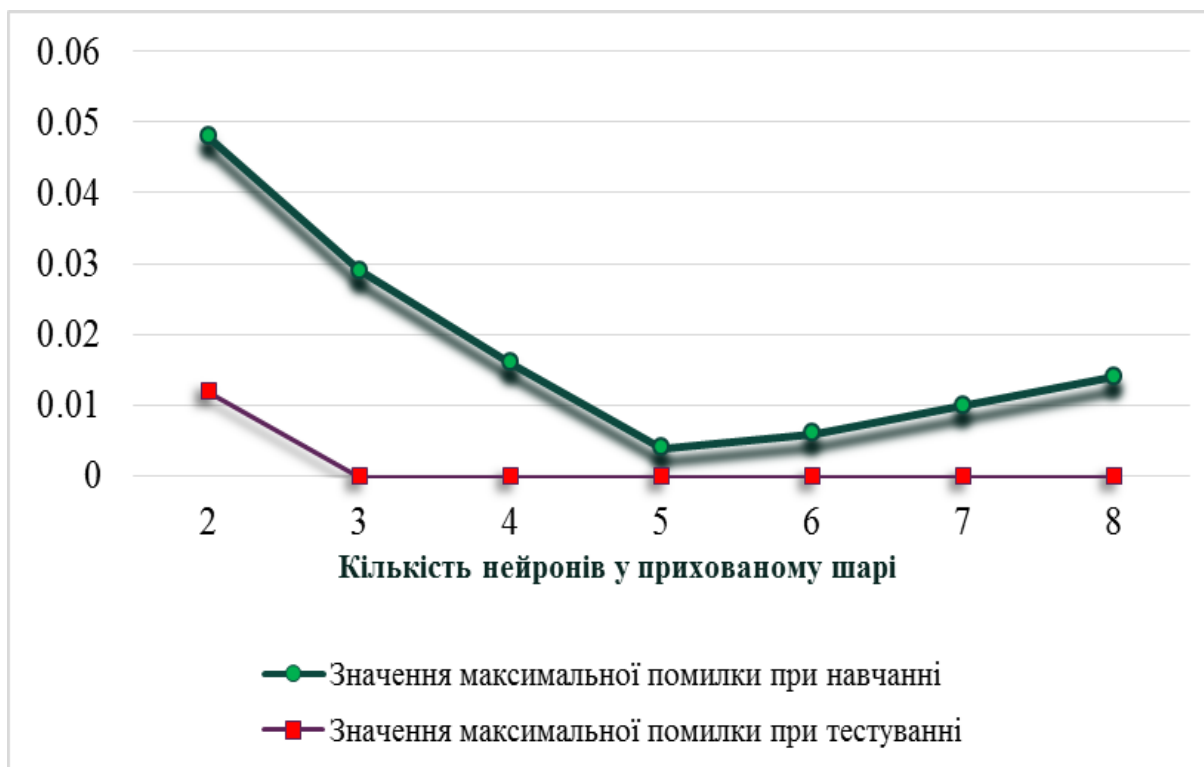


Рис. 4.8. Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів КШМ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

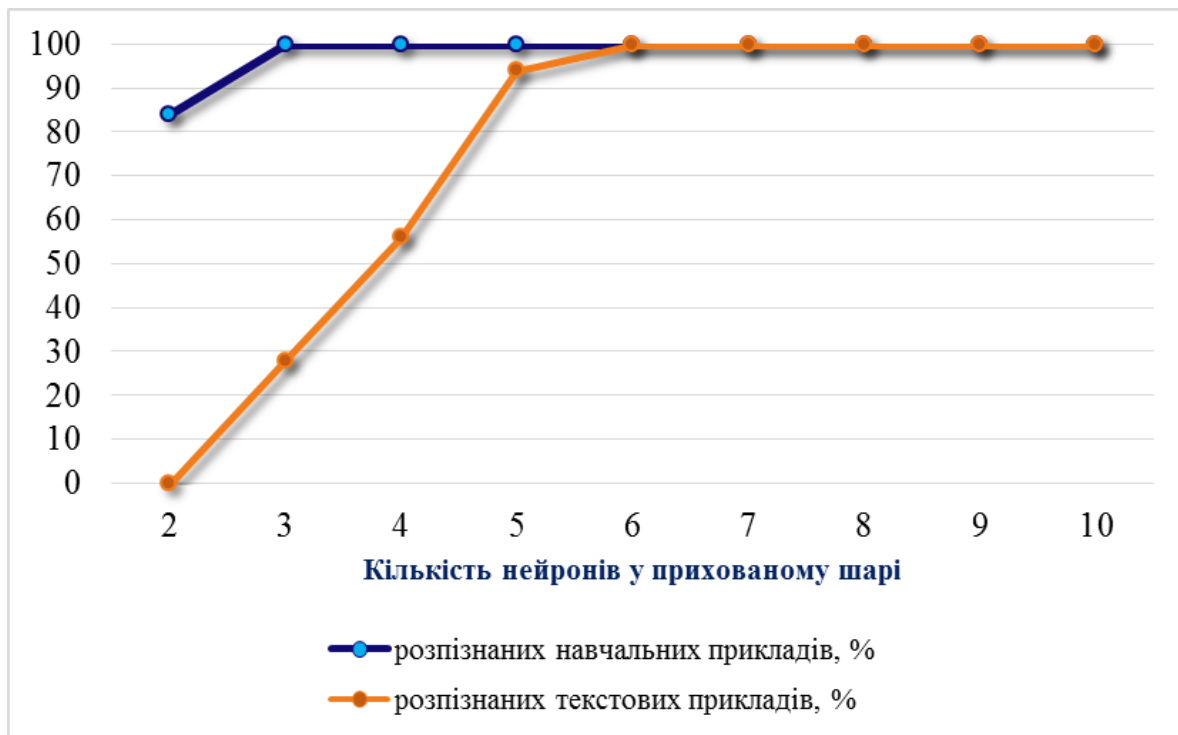


Рис. 4.9. Графік збіжності розпізнаних дефектів ГРМ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

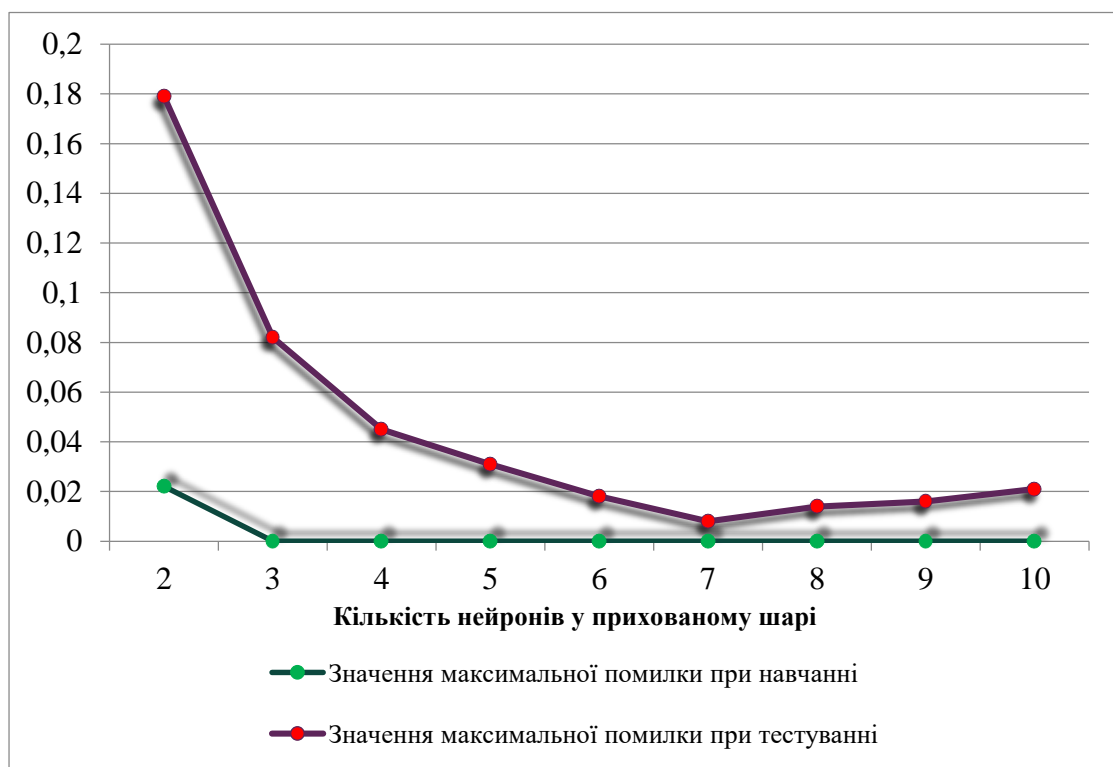


Рис. 4.10. Графік збіжності значень максимальної помилки розпізнавання дефектів ГРМ при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

Таблиця 4.4

Значення помилок при розпізнаванні поєднань дефектів ГРМ в залежності від кількості нейронів в прихованому шарі

L	Розпізнавання навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнавання тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	84	0,022	0	0,179
3	100	0	28	0,082
4	100	0	56	0,045
5	100	0	94	0,031
6	100	0	100	0,018
7	100	0	100	0,008
8	100	0	100	0,014
9	100	0	100	0,016
10	100	0	100	0,021

Таблиця 4.5

Результати визначення оптимального числа нейронів в прихованому шарі для завдання виявлення поєднань дефектів

Найменування вузла	N_x	N_y	Обсяг навчальної вибірки	Максимальна кількість нейронів в прихованому	Оптимальна кількість нейронів в прихованому
ЦПГ	9	4	36	22	7
КШМ	4	4	16	23	5
ГРМ	6	6	36	46	7

На рис. 4.6, 4.8, 4.10, де представлені графіки збіжності значень максимальної помилки при розпізнаванні дефектів, наочно показано, що умова цільової функції $\varepsilon \rightarrow \min$ виконується при L=7 для ЦПГ; для КШМ при L=5; для

ГРМ при $L=7$. Отримані результати представлені у зведеній таблиці 4.5, де число нейронів вхідного шару (N_x) дорівнює кількості контрольованих параметрів, а число нейронів вихідного шару (N_y) – кількості можливих дефектів.

Таблиця 4.6

Матриця поєднань дефектів для основних вузлів об'єкта досліджень

№ двигуна	Поєднання дефектів													
	ЦПГ				КШМ				ГРМ					
1	S1,1	S1,2	S1,3	S1,4	S1,5	S1,6	S1,7	S1,8	S1,9	S1,10	S1,1	S1,12	S1,13	S1,14
2	S2,1	S2,2	S2,3	S2,4	S2,5	S2,6	S2,7	S2,8	S2,9	S2,10	S2,1	S2,12	S2,13	S2,14
3	S3,1	S3,2	S3,3	S3,4	S3,5	S3,6	S3,7	S3,8	S3,9	S3,10	S3,1	S3,12	S3,13	S3,14
...
N	SN,1	SN,2	SN,3	SN,4	SN,5	SN,6	SN,7	SN,8	SN,9	SN,10	SN,1	SN,12	SN,13	SN,14

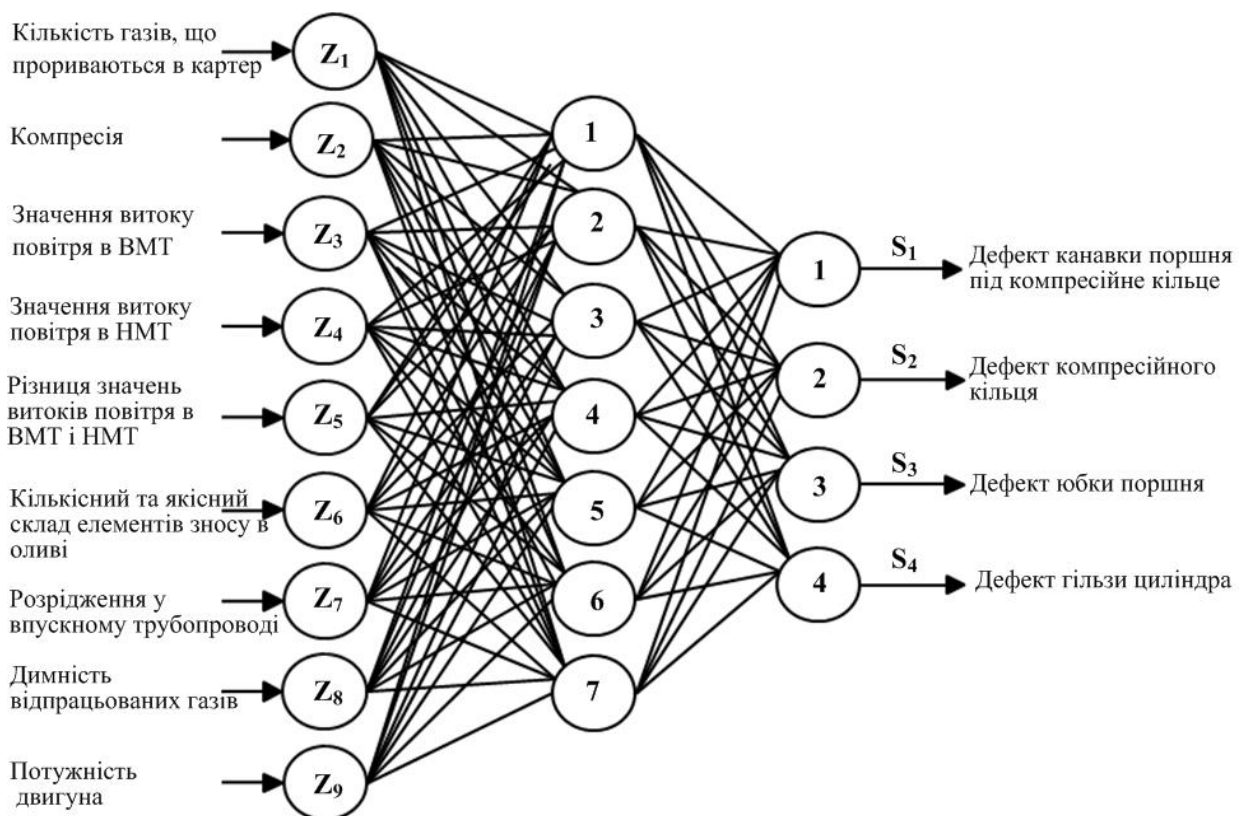


Рис. 4.11. Граф-модель штучної нейронної мережі для задачі розпізнавання дефектів ЦПГ

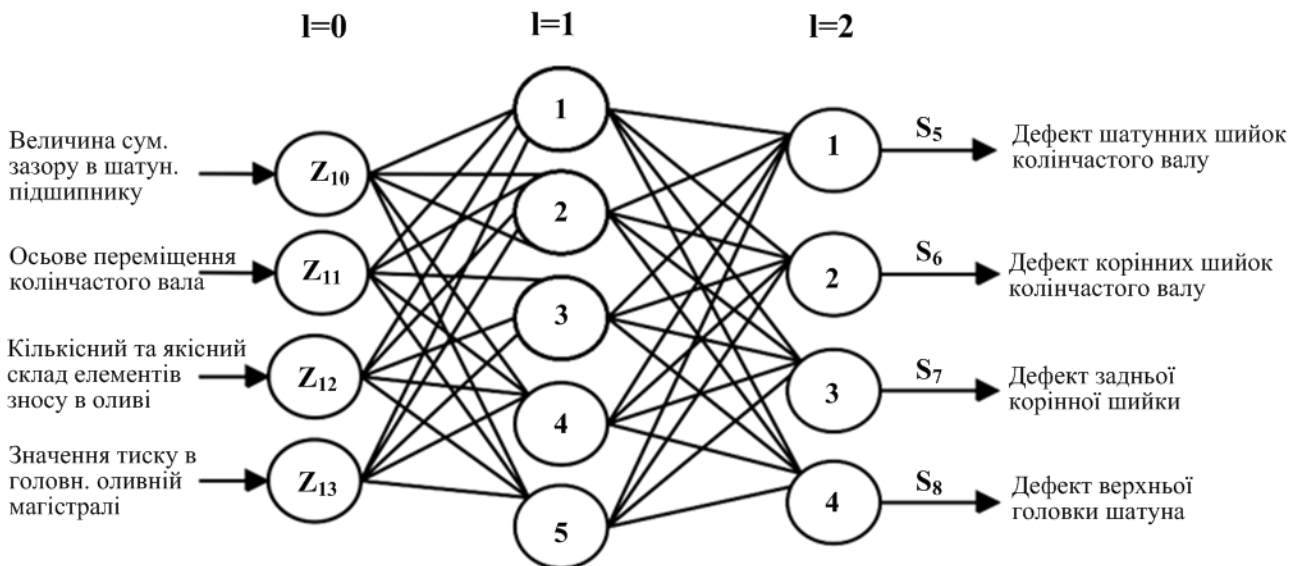


Рис. 4.12. Граф-модель штучної нейронної мережі для задачі розпізнавання дефектів КШМ

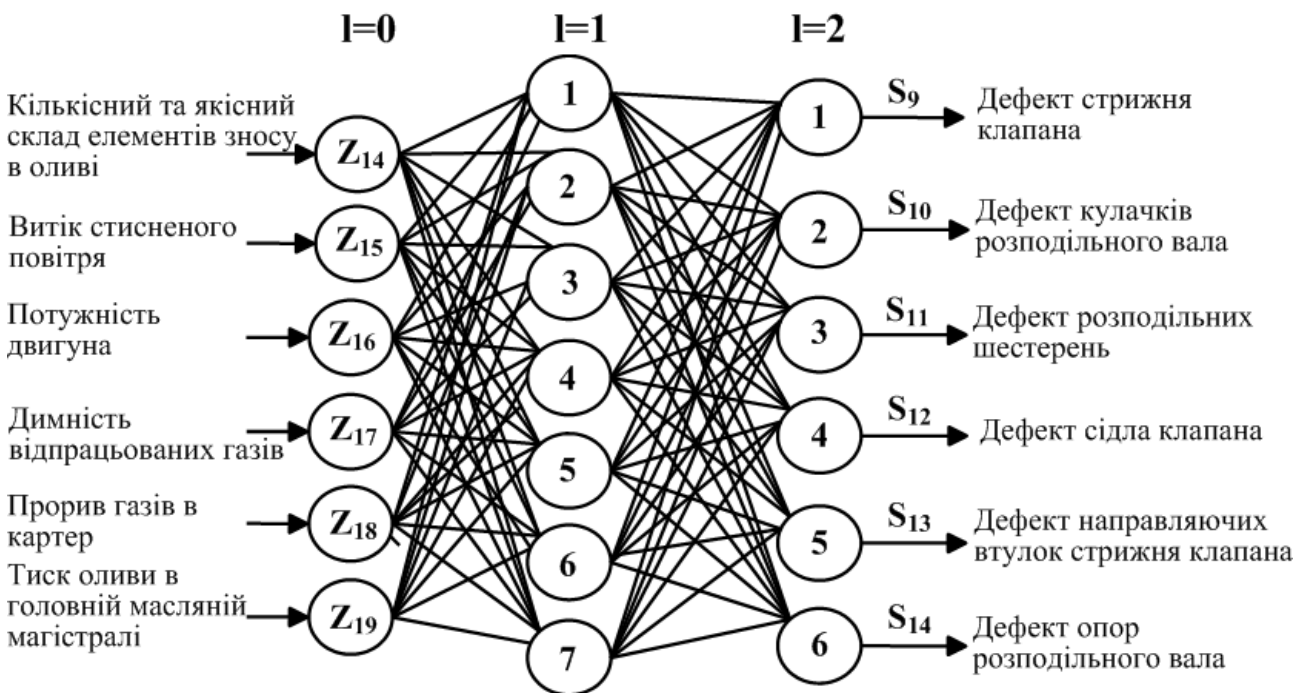


Рис. 4.13. Граф-модель отриманої штучної нейронної мережі для задачі розпізнавання дефектів ГРМ

Дані результати також представлені на рис. 4.11, 4.12 і 4.13 у вигляді побудованих граф-моделей штучних нейронних мереж. Таким чином, отримані поєднання дефектів для основних ресурсних груп дизельного двигуна зернозбирального комбайна формують матрицю, загальний вигляд якої наведено в таблиці 4.6. В результаті тестування побудованої моделі штучної нейронної

мережі на основі даних отриманих в реальних виробничих умовах, було сформовано 42 (за кількістю дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів беруть участь в експериментальних дослідженнях) поєднання дефектів основних ресурсних груп (ЦПГ, КШМ, ГРМ) дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів, які були занесені в базу даних DB2.

4.2. Розподіл агрегатів зернозбирального комбайна за технічним контролем у залежності від їх фактичного технічного стану

Отримання поєднання виявлених дефектів дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів використовувалися в якості тестового набору даних при вирішенні наступного завдання, розподіл агрегатів ремонтного фонду по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, згідно блок-схемі алгоритму на рис. 2.7, в рамках загальної методики досліджень.

Навчальний набір даних для поточного завдання було сформовано на основі вибірових поєднань з ЦПГ, КШМ, ГРМ, яким був призначений певний технологічний маршрут, ґрунтуючись на висновках про оптимальність числа і складу комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, і згідно з критерієм розподілу – обсяг навчальної вибірки був складений виходячи з гіпотези (3.12).

Кожен можливий дефект, з сукупності дефектів всіх основних вузлів об'єкта досліджень, буде окремим нейроном вхідного шару штучної нейронної мережі. Кожен нейрон вихідного шару буде відповідати певному комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, яким будуть привласнені сигнали 0 або 1 відповідно, в залежності від виявленої приналежності поєднань дефектів до того чи іншого комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів.

Отримані результати роботи алгоритму розподілу агрегатів ремонтного фонду по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів представлені в таблиці 4.7, а також у вигляді графіків на рис. 4.14, 4.15.

Таблиця 4.7

Значення помилок при розподілі дизельних двигуні зернозбиральних комбайнів по технологічних маршрутах в залежності від розпізнаних поєднань дефектів основних вузлів

L	Розпізнавання навчальних прикладів, %	Значення максимальної помилки при навчанні	Розпізнавання тестових прикладів, %	Значення максимальної помилки при тестуванні
2	46	0,093	0	0,3889
3	63	0,052	12	0,2152
4	87	0,026	44	0,0925
5	95	0,014	66	0,0681
6	100	0,000	85	0,0398
7	100	0,000	100	0,0238
8	100	0,000	100	0,0144
9	100	0,000	100	0,0056
10	100	0,000	100	0,0091
11	100	0,000	100	0,017
12	100	0,000	100	0,026

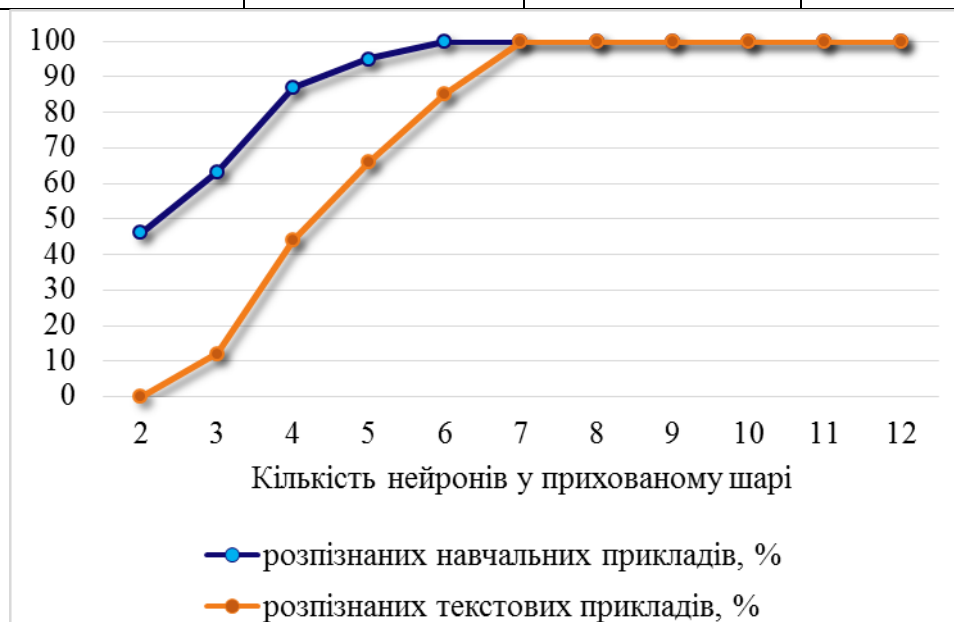


Рис. 4.14. Збіжності при розподілі дизельних двигуні зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

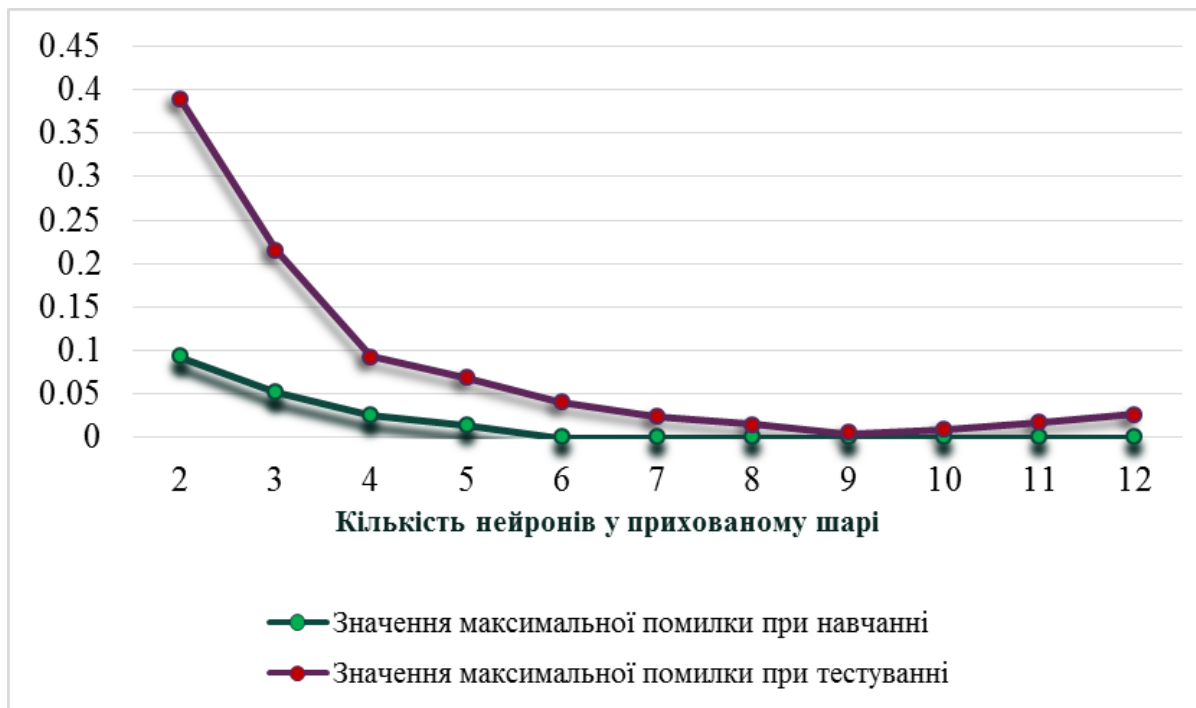


Рис. 4.15. Збіжності значень максимальної помилки при розподілі дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі

Таблиця 4.8

Результати визначення оптимального числа нейронів у прихованому шарі для завдання розподілу дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів по комплексу технічного контролю агрегатів

Найменування вузла	N_x	N_y	Обсяг навчальної вибірки	Максимальна кількість нейронів у прихованому	Оптимальна кількість нейронів у прихованому
Сукупність вузлів (ЦПГ, КШМ, ГРМ)	14	4	56	21	9

Таблиця 4.8 містить результати визначення оптимальної кількості нейронів у прихованому шарі для даного завдання, виявлені методом ітераційного нарощування числа нейронів згідно з алгоритмом на рис. 2.7.

Отримані результати також представлені на рис. 4.16 у вигляді побудованої граф-моделі штучної нейронної мережі.

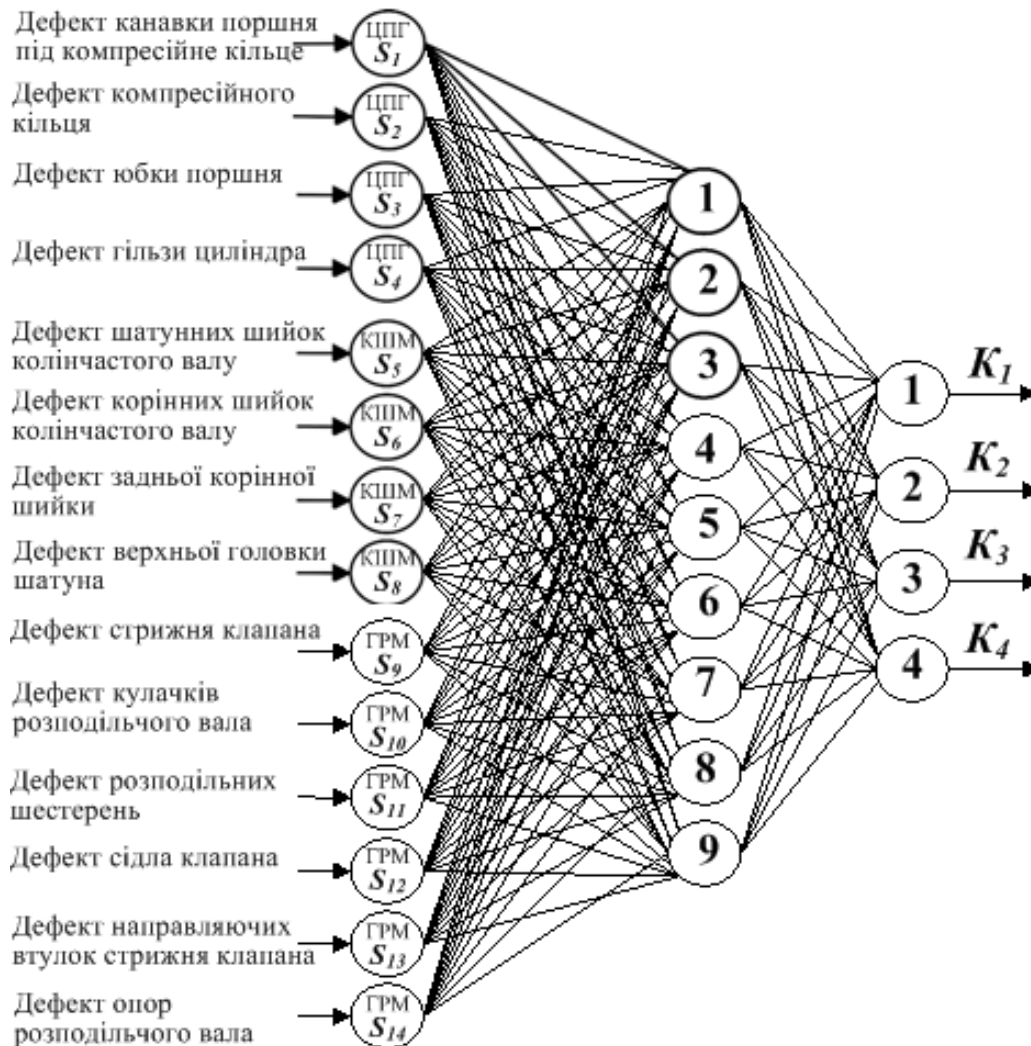


Рис. 4.16. Граф-модель штучної нейронної мережі для завдання розподілу агрегатів по комплексу техконтролю агрегатів зернозбиральних комбайнів

У таблиці 4.8 кількість нейронів вхідного шару (N_x) дорівнює числу дефектів (згідно з таблицею 4.1), що утворюють поєднання, всіх вузлів об'єкта досліджень, а число нейронів вихідного шару (N_y) – кількості комплексів ремонтних робіт, між якими будуть розподілятися агрегати ремонтного фонду в залежності від виявлених сполучень дефектів.

Таким чином, за результатами тестування побудованої моделі штучної нейронної мережі для вирішення поточної задачі, всі агрегати (на прикладі дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів) були успішно розподілені по

технологічних маршрутах ремонту, в залежності від розпізнаних поєднань дефектів.

4.3. Експериментальна перевірка моделі технологічності процесу технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Застосовуючи розроблений математичний апарат, проведена апроксимація експериментальних даних, які характеризують технологічність процесів технічного контролю досліджуваних комбайнів за цикл технічного контролю, за видами ТК-1, ТК-2, ТК-3, окремим параметрам технічного стану і роботам, які виконуються окремими виконавцями прийнятими моделюючими функціями.

Результати оцінки похибок апроксимації зведені в табл. 4.1, які показують, що для різних процесів можна використовувати різні функції з метою отримання мінімальної похибки. Разом з тим, найбільш проста функція виду при незначній похибці охоплює всі розглянуті процеси технічного контролю. Для цієї функції визначені показники достовірності коефіцієнтів апроксимації, які наведені в табл. 4.2. Із даних таблиці видно, що об'єм вибірок, тобто степінь розчленування процесу у відповідності з прийнятою методикою декомпозиції є достатнім. Критерій суттєвості коефіцієнтів апроксимації рівний ... значно перевищує табличні дані при 5% рівні значущості, отже функція апроксимації є значущою.

Функції технологічності будувались на основі графіків трудонапруженості робіт, перелік подій і робіт, відповідних мережевих графіків. На рис 4.1. дані графіки трудонапруженості робіт по ТК-1 комбайнів групи 1. Прямокутниками в суцільних лініях зображені роботи по підготовчих, основних і заключних етапів для кожного параметру технічного стану, а прямокутниками в пунктирних лініях – затрати праці по одному чи групі параметрів, що мають підготовчі і заключні роботи. Із графіка наочно видно трудонапруженість робіт по даному виду технічного контролю і по кожному параметру. Як видно, трудонапруженість параметру «тиск в шинах» аналогічна для всіх типів комбайнів, а відмінність трудонапруженості параметрів «натяг приведених ременів» і «рівень електроліту в акумуляторі» пояснюється конструктивними особливостями комбайнів (три ремені, два акумулятори). Із графіку видно, що

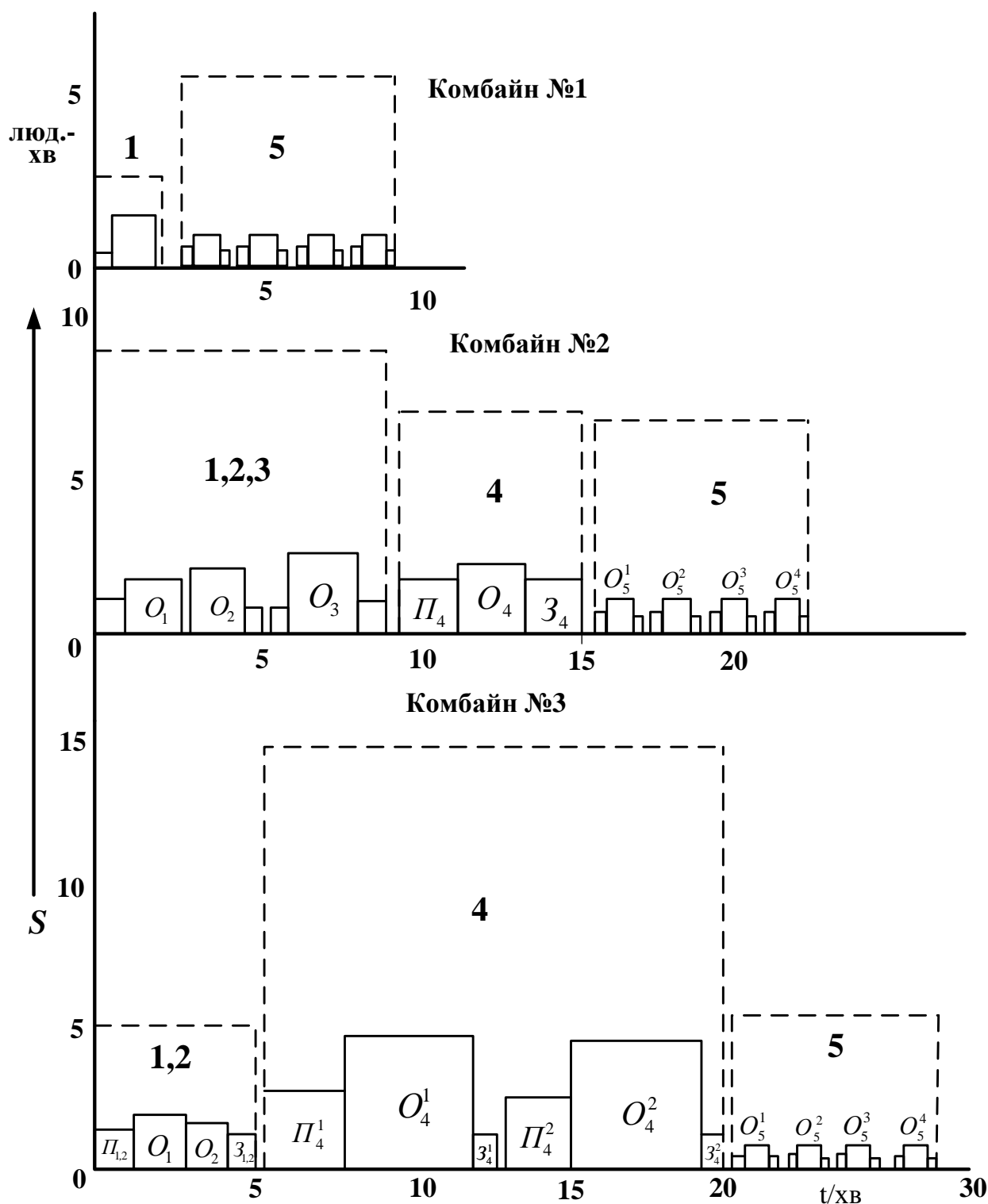
значну частку при оцінці натягу приведених ременів на комбайні №1 і рівні електроліту в акумуляторах комбайнів №1 і №2 займають підготовчо-заключні роботи. Для цих параметрів побудовані криві трудонапруженості робіт на основі прийнятої по елементної декомпозиції (рис. 4.2), які показують, що кожний об'єкт характеризується, в основному, трьома ділянками (піками), що відповідають етапам робіт.

Крайні ділянки яскраво виражені і свідчать про велику трудомісткість підготовчо-заключних робіт (допоміжних) робіт по комбайну, а середня ділянка – характеризує метод технічного контролю (основні роботи). Тобто, якщо крива, яка з'єднує точки-вершини підготовчих, основних і допоміжних робіт, буде увігнутою, то необхідно вдосконалювати конструкцію комбайна, якщо випуклою – метод технічного контролю. З цього випливає, що необхідно покращувати доступність до акумуляторів і удосконалювати сам метод контролю рівня електроліту в акумуляторах, а по параметру «натяг ремня вентилятора» – удосконалювати в першу чергу конструкцію комбайна.

Операційні технології складались відповідно методики для двох виконавців, в результаті якої показники технологічності для ТК-2 тракторів №4, №1, №2, №3 збільшились до 1,5...1,8. При цьому інтенсивність роботи окремого виконавця збільшилась від 0,75 до 0,90.

Удосконалення технологічності процесу ТК-2 приведено на прикладі комбайна №2. На рис 4.6 представлено трудонапруженість робіт виконавця цього процесу технічного контролю і відповідна функція технологічності. В існуючій (базовій) технології використання робочого часу виконавцями є нерівномірним.

Слюсар використовує менше ніж на половині тривалості процесу. Комбайнер простоює при оцінці майстром зазорів в клапанному механізмі і куту нахилу важеля муфти зчеплення пускового двигуна. Майстер очікує момент створення необхідного режиму для перевірки гальмівної системи після оцінки технічного стану муфти зчеплення.



Параметри: 1,2,3 – відповідно натяжні ремені вентилятора, генератора, компресора; 4 – рівень електроліту в акумуляторі; 5 – тиск повітря в шинах.

Етапи робіт: П – підготовчий; О – основний; З – заключний.

Рис. 4.17. Трудонапруженість робіт при ТК-1 комбайнів

Таблиця 4.1

Результати оцінки похибок апроксимації процесів технічного контролю

Процес	Функція					
ТК-1	с	0,09...0,29	0,01...0,09	0,01...0,03	0,01...0,04	0,07...0,25
	т	0,09...0,31	0,01...0,05	0,0...0,02	0,01...0,03	0,07...0,24
	п	0,11...0,30	0,01...0,07	0,0...0,07	0,01...0,02	0,07...0,24
ТК-2	с	0,06...0,14	0,0...0,09	0,0...0,94	0,0...0,01	0,40...2,18
	т	0,05...0,14	0,0...0,05	0,0...0,85	0,0...0,01	0,22...1,43
	п	0,07...0,14	0,0...0,04	0,0...0,52	0,0...0,01	0,18...0,82
ТК-3	с	0,05...0,18	0,01...0,04	0,71...1,72	0,0...0,86	0,65...1,32
	т	0,06...0,19	0,01...0,04	0,30...4,0	0,0...0,35	0,29...1,0
	п	0,04...0,19	0,01...0,04	0,38...0,86	0,0...0,44	0,44...0,91
Вико- навці	с	0,05...0,13	0,0...0,02	0,35...0,82	0,0...0,35	0,34...0,84
	т	0,06...0,21	0,0...0,02	0,13...0,53	0,0...0,25	0,12...0,56
	п	0,04...0,16	0,0...0,01	0,10...0,45	0,0...0,20	0,12...0,43
Пара- метри	с	0,08...0,16	0,0...0,02	0,34...1,13	0,0...0,59	0,47...1,69
	т	0,06...0,10	0,0...0,03	0,26...0,85	0,0...0,48	0,27...0,81
	п	0,09...0,21	0,0...0,02	0,19...0,97	0,0...0,26	0,14...1,01

Для отримання оптимальної тривалості робіт на рис 4.7 і 4.8. приведені лінійні графіки для періодів непрацюючого і працюючого двигуна застосовано до техконтрольних і регулювальних робіт при ТК-2 комбайна №2, де П, О, Р і З означають відповідно підготовчі, основні, регулювальні і заключні операції. Операції, що виконуються комбайнером позначені літерами без штрихів, а оператором технічного контролю – з штрихами.

В операційній технології включені параметри, передбачені нормативними документами. По можливості, застосовувались методи технічного контролю, які потребують мінімальних підготовчо-заключних робіт. Тому при ТК-3 здійснювалось з прив'язкою до режиму оцінки потужно-економічних показників гальмівним або парціальним методом.

Таблиця 4.2

Середні значення коефіцієнтів апроксимації і показники їх достовірності

Процес			N	Система			Комбайн			Прилад		
				ε	S _ε	t ₀₅	ε	S _ε	t ₀₅	ε	S _ε	t ₀₅
ТК-1	Базова		10	1,07	0,02	2,31	0,66	0,02	2,31	0,41	0,02	2,31
	Операційна		11	1,6	0,04	2,26	1,02	0,03	2,26	0,59	0,02	2,26
ТК-2	Базова		25	1,33	0,03	2,07	0,90	0,02	2,07	0,54	0,02	2,07
	Операційна		29	1,7	0,02	2,05	1,03	0,01	2,05	0,65	0,01	2,05
ТК-3	Базова		32	1,54	0,02	2,04	0,73	0,015	2,04	0,81	0,015	2,04
	Операційна		35	2,33	0,02	2,04	1,13	0,02	2,04	1,2	0,01	2,04
Виконавці	Комбайнер	Баз.	26	0,5	0,01	2,06	0,39	0,01	2,06	0,11	0,01	2,06
		Опер.	26	0,74	0,01	2,06	0,54	0,01	2,06	0,20	0,01	2,07
	Слюсар	Баз.	24	0,35	0,01	2,07	0,20	0,01	2,07	0,25	0,01	2,07
		Опер.	19	0,78	0,01	2,11	0,51	0,01	2,11	0,37	0,01	2,11
	Майстер	Баз.	8	0,33	0,01	2,11	0,20	0,01	2,45	0,13	0,01	2,45
		Опер.	24	0,77	0,01	2,07	0,37	0,01	2,07	0,40	0,01	2,07
Окремі параметри			20	1,04	0,01	2,10	0,66	0,02	2,10	0,37	0,015	2,10

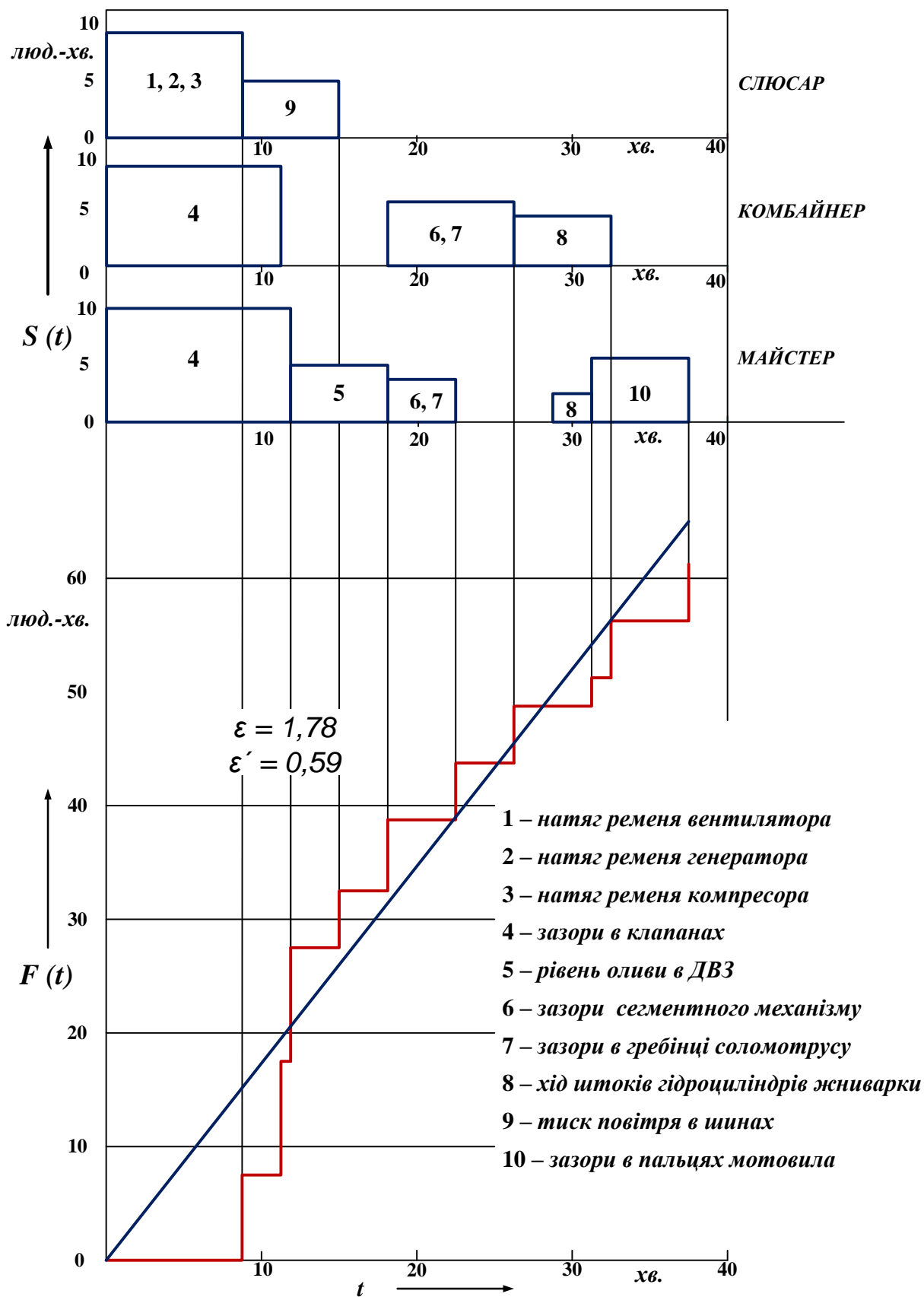


Рис. 4.18. Побудова функції технологічності для процесу ТК-2 комбайнів №3 (базова технологія)

Це дає можливість проводити виміри на найбільш інформативному режимі таких параметрів, як рівень оливи ДВЗ, зазори сегментного механізму, хід штоків гідроциліндрів жниварки, натяг ременя генератора та вентилятора і ін., а також забезпечити перевірку параметрів паливного насосу без зняття його з комбайна.

Ефективність пропонованих заходів по вдосконаленню процесу технічного контролю оцінювалась по зміні функції технологічності і її показника. На рис 4.10 показано графічне зображення функції технологічності за базовою і операційною технологіями для комбайнів № 4 – для інших комбайнів.

Функція технологічності базових технологій має значні скачки абсцис і ординат, які викликані великим об'ємом робіт окремих операцій і нераціональною їх послідовністю. Довжина вектора функції, який характеризує операційну технологію зменшилась, що свідчить про скорочення об'єму робіт, а його кут нахилу до осі ординат, тангенс якого дорівнює показнику технологічності – збільшився.

В табл. 4.3. приведені значення показників технологічності процесу за видами і за цикл технічного контролю для всього об'єму робіт і приведені на одного виконавця, а на рис. 4.11 – їх графічна інтерпретація, де заштрихована частина відповідає базовим технологіям.

Таблиця 4.3

Значення показників інтенсивності технічного контролю за базовими та операційними технологіями

Комбайн і технологія	ТК-1		ТК-2		ТК-3		Цикл ТК	
	ε	ε'	ε	ε'	ε	ε'	ε	ε'
Комбайн №1								
базова	0,97	0,97	1,29	0,65	1,42	0,47	1,29	0,63
операційна	1,6	0,8	1,5	0,75	2,49	0,83	1,95	0,80
Комбайн №2								
базова	0,96	0,96	1,25	0,63	1,51	0,38	1,39	0,50
операційна	1,43	0,72	1,7	0,85	2,39	0,8	2,05	0,80
Комбайн №3								
базова	0,97	0,97	1,3	0,65	1,46	0,49	1,30	0,65

операційна	1,67	0,83	1,8	0,90	1,98	0,66	1,83	0,73
Комбайн №4								
базова	0,98	0,98	1,29	0,65	1,32	0,26	1,21	0,59
операційна	1,77	0,88	1,7	0,85	2,1	0,7	1,88	0,80
Середнє значення								
базова	0,97	0,97	1,44	0,64	1,43	0,49	1,30	0,59
операційна	1,62	0,83	1,68	0,84	2,24	0,75	1,93	0,78

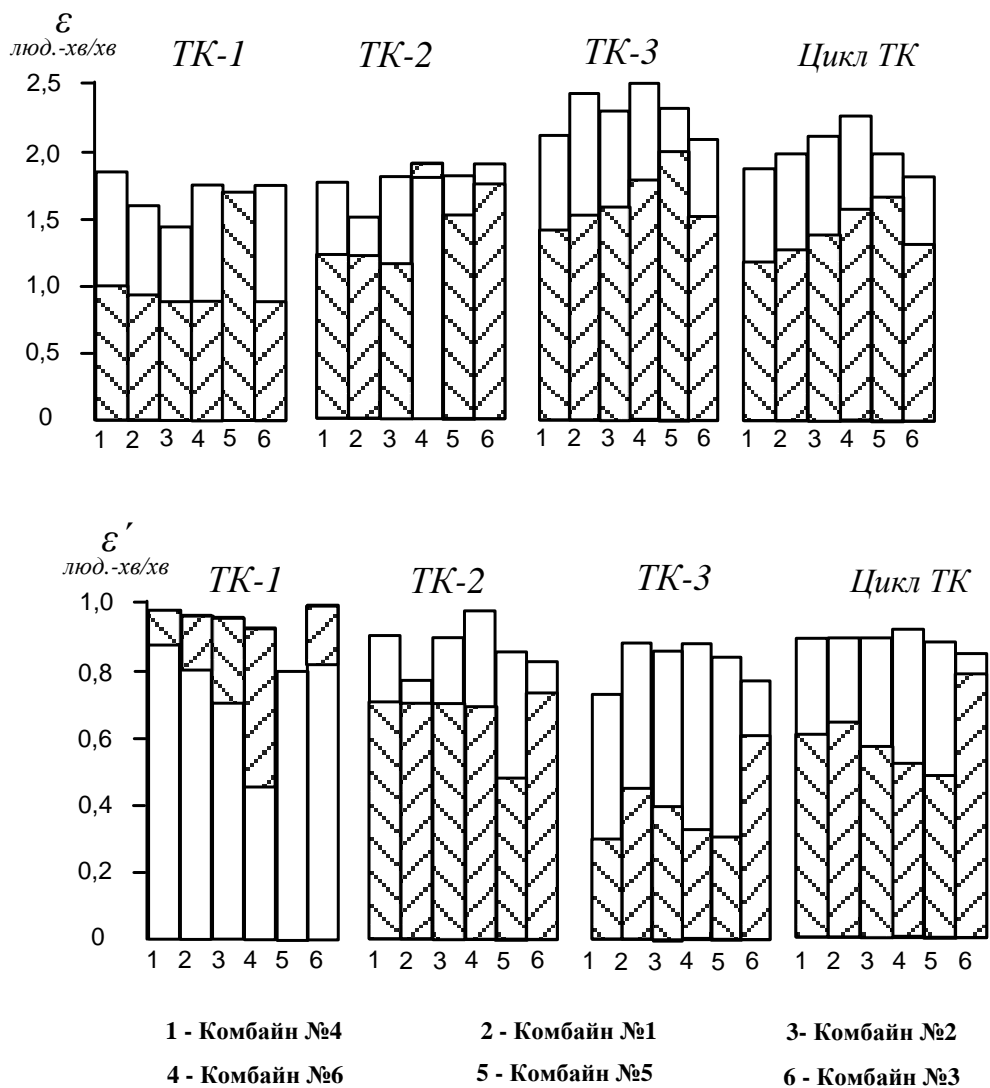


Рис. 4.19. Діаграма показників технологічності процесів технічного контролю для всього об'єму робіт (ε) і приведені на одного виконавця (ε')

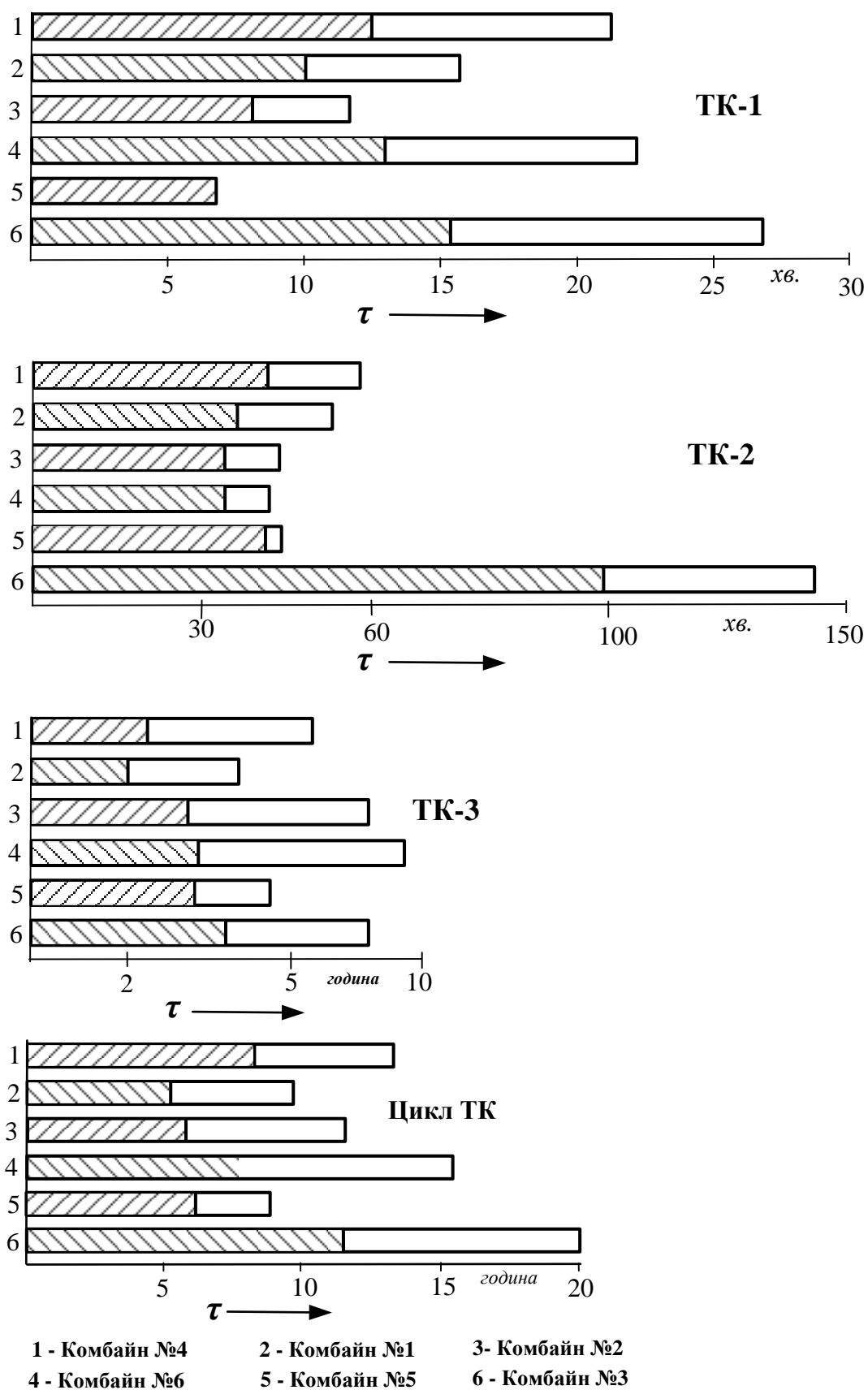


Рис. 4.20. Діаграма зміни тривалості процесів за базовими і операційними технологіями

Діаграма наочно показує підвищення рівня технологічності тобто інтенсивності технічного контролю, яке склало за ТК-1 – в 1,5 рази, за ТК-2 – в 1,8 рази, за ТК-3 – в 1,53 і за цикл ТО – в 1,4 рази. Зміна показників технологічності, приведених до одного виконавця відповідно складає 0,86; 1,35; 2,12; 1,49. Зменшення приведенного показника за ТК-1 пояснюється виконанням робіт двома виконавцями замість одного. Однак, при цьому скоротилась тривалість процесу, що є одним із важливих показників ефективності технічного контролю.

В результаті виконаної роботи з удосконалення технологічності процесів технічного контролю тривалість операційних технологій в порівнянні з базовими (табл. 4.4) зменшилась, в середньому, за ТК-1 на 40%, за ТК-2 на 26,4%, за ТК-3 на 56,6%, за цикл ТО – на 44,5%. Діаграма зміни тривалості процесів технічного контролю представлена на рис. 4.12.

4.4. Складальні частини процесу технічного контролю зернозбирального комбайнів і їх трудонапруженість

На основі хронометражних спостережень процесів технічного контролю при технічному обслуговуванні досліджуваних комбайнів отримані експериментальні дані основного нормованого показника ефективності – сумарної оперативної трудомісткості технічного контролю за цикл технічного контролю, які представлені у вигляді діаграми на рис 4.13. Заштрихована частина діаграми показує, що трудомісткість процесу технічного контролю розглянутих комбайнів складає 24...48% від нормованої трудомісткості їх технічного обслуговування. Це цілком закономірно і пояснює ускладнення конструкцій в зв'язку із зростом їх енергонасиченості.

Найбільший об'єм робіт технічного контролю по відношенню до всього об'єму за цикл технічного контролю передбачається інструкціями комбайнів №2 (48%) і №4 (39%), а найменший в №1 (33,4%). Така відмінність пояснюється не тільки різною складністю конструкції, але і різною повнотою технічного контролю.

Таблиця 4.4

Тривалість технічного контролю за базовими і операційними технологіями

Комбайн, Технологія	ТК-1, хв.	ТК-2, хв.	ТК-3, год.	Цикл ТК год.
Комбайн №1				
базова	16,0	50,9	3,86	9,6
операційна	9,3	32,8	1,88	5,38
Комбайн №2				
базова	11,6	40,2	7,63	11,96
операційна	7,2	31,4	2,85	6,04
Комбайн №3				
базова	26,5	144,3	7,47	20,0
операційна	15,3	98,5	3,77	11,75
Комбайн №4				
базова	21,2	56,8	5,58	12,64
операційна	12,0	41,2	2,27	6,73
Середнє значення				
базова	18,83	73,05	6,14	13,55
операційна	8,88	50,98	2,69	7,48

Аналіз трудомісткості технічного контролю по системах комбайна (рис. 4.21) показує, що найбільша питома вага припадає на двигун, частка якого складає, в середньому 54,3%, тобто більше половини. Це пояснюється не тільки складністю цього агрегату, але і підвищеної уваги до нього зі сторони інженерів-дослідників і розробкою техконтрольного обладнання. З іншої сторони, це викликано технологічністю складальних частин і використання малоефективних методів і засобів. Частки складальних систем комбайна складають, в середньому: електрообладнання – 21,6%, ходова система – 8,1%, трансмісії – 7,0%, гальма і пневмосистеми – 3,9%, механізмів керування – 3,1%. Гідросистеми навісного пристрою – 2,1%. Даний аналіз дозволяє намітити першочергові шляхи

удосконалення процесу технічного контролю, тобто за двигуном і електрообладнанням.

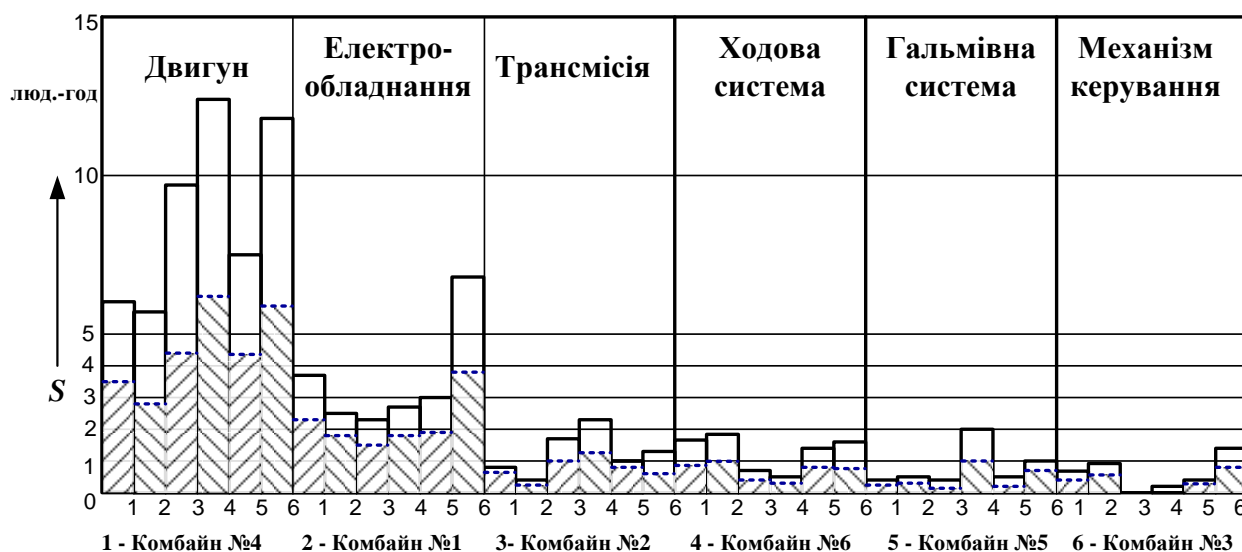


Рис. 4.21. Діаграма розподілу сумарної циклової трудомісткості технічного контролю по системам зернозбирального комбайна

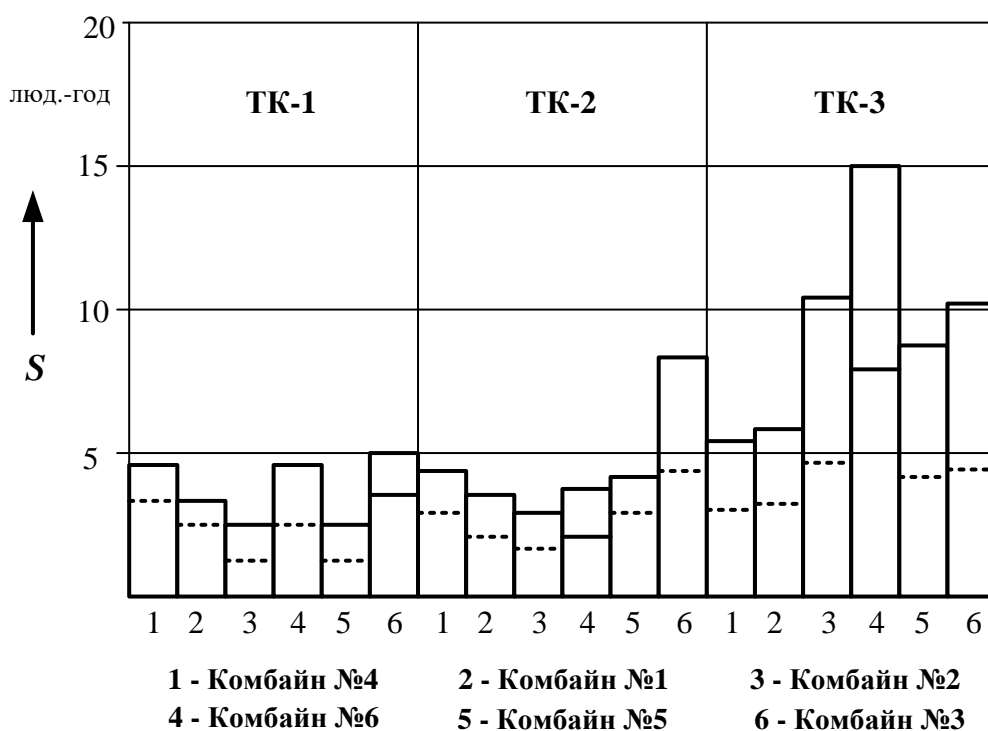


Рис. 4.22. Діаграма розподілу сумарної циклової трудомісткості за видами технічного контролю

Розподіл трудомісткості за видами технічного контролю (рис. 4.22) показує, що основний об'єм припадає на ТК-3 і складає 5,6...15,2 люд-год. Такий

великий розмах значень також пояснюється різною повнотою технічного контролю. подальше виявлення причин високої трудомісткості відбувається на основі аналізу окремих параметрів технічного стану, які входять в склад визначеного виду робіт.

Аналіз трудомісткості окремих параметрів технічного стану показує (рис. 4.23), що більше 80% від всього числа, контролюючих в кожному виді технічного контролю мають трудомісткість: за ТК-1 до 9,0 люд.-хв., за ТК-2 до 12 люд.-хв., за ТК-3 до 45 люд.-хв. Таким чином, в першу чергу повинні вдосконалюватись процеси технічного контролю решти 20% параметрів, які мають трудомісткість більше приведених значень. До таких параметрів відносяться: за ТК-1 – рівень електроліту в акумуляторах комбайна №3, за ТК-2 – зазори між клапанами і коромислами для всіх комбайнів, момент затягування гайок головки циліндрів для комбайнів №4, кут випередження впорскування палива і тиску впорскування форсунками для комбайнів №3, за ТК-3 – параметри паливного насосу і потужно-економічні показники для всіх комбайнів, тиск впорскування форсунками для комбайнів № 3, № 4, № 2, зазори в колісних гальмах і сумарний зазор в шатунних вольницях колінчатого валу для комбайнів №2, оцінка правильності контрольно-вимірювальних приладів за № 3.

Подальший пошук «вузьких» ділянок процесу технічного контролю відбувається на основі аналізу приватних показників, які визначаються за результатами прийнятої декомпозиції як для окремих параметрів, так для виду і циклу технічного контролю. Як показали показники хронометражного спостереження, майже половина від сумарної трудомісткості технічного контролю займають допоміжні роботи (табл. 4.6), причому, підготовчі і заключні роботи, маючи приблизно однаковий об'єм, знаходяться між собою в певній залежності (рис 4.23). Це може використовуватись для скорочення числа хронометражів при оцінці тривалості операцій. Ця залежність є усередненою і повинна уточнюватись для конкретної конструкції комбайна. На рис. 4.24 графічно представлені приватні коефіцієнти, які характеризують частку підготовчих, основних і заключних робіт у цикловій трудомісткості технічного

контролю розглядаючих комбайнів, а на рис. 4.25 – їх двигунів. Найбільшу частку допоміжних робіт має комбайн №4 (0,53) і його двигун (0,59), а найменшу – комбайн № 2 (0,42) і його двигун (0,37). Огляд приватних показників за видами технічного контролю (табл. 4.24) також показує переважаючий вплив двигуна на сумарну трудомісткість.

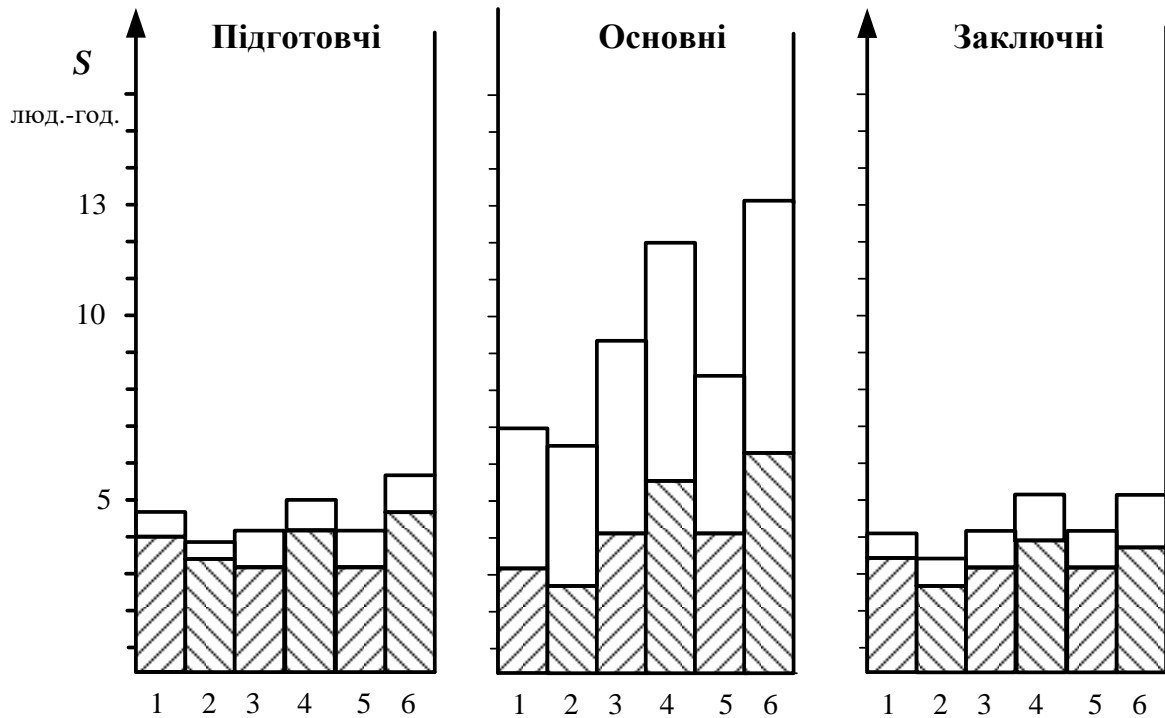


Рис. 4.24. Розподіл сумарної циклової трудомісткості комбайнів за основними та допоміжними роботами

За ТК-1 найбільшу трудомісткість допоміжних робіт також має комбайн № 4 (0,67) і його двигун ТК-37Е (0,77), що пов'язано з більшим об'ємом робіт по забезпеченню доступу до акумуляторам і до приводного ремня вентилятора. Для інших комбайнів значення приватних коефіцієнтів допоміжних робіт складає 0,42...0,50 і подальше вдосконалення цього виду технічного контролю складається в скороченні всього об'єму робіт і застосування нових методів технічного контролю. На нашу думку, доцільно взагалі виключити допоміжні роботи із цього виду технічного контролю.

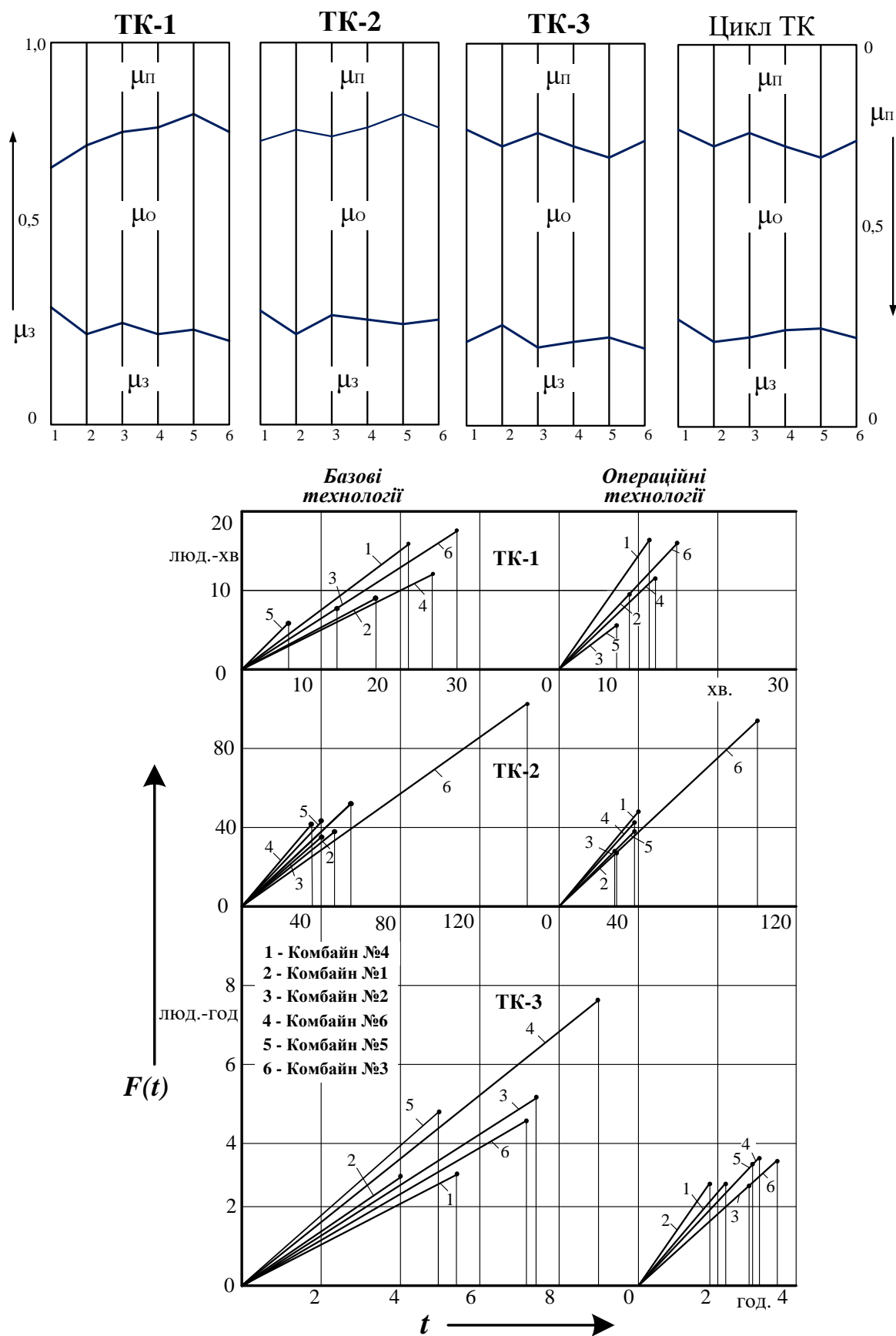


Рис. 4.25. Приватні показники, які характеризують підготовчі, основні і заключні роботи за видами і за цикл технічного контролю

Таблиця 4.6

**Трудовісткість технічного контролю за цикл технічного контролю і її
розподіл за основними і допоміжними роботами**

Показник		Комбайни				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Середній рівень
По комбайну в цілому						
Трудовісткість, люд.-год.	S	11,7	15,5	22,9	13,6	16
Частка основних робіт	μ_0	0,52	0,57	0,56	0,47	0,53
Частка підготовчих робіт	$\mu_{\text{П}}$	0,27	0,21	0,24	0,28	0,25
Частка заключних робіт	μ_3	0,21	0,22	0,20	0,25	0,22
По двигуну						
Трудовісткість, люд.-год.	S	5,9	10,0	12,4	5,95	8,6
Частка основних робіт	μ_0	0,51	0,64	0,50	0,41	0,52
Частка підготовчих робіт	$\mu_{\text{П}}$	0,25	0,16	0,75	0,28	0,36
Частка заключних робіт	μ_3	0,24	0,20	0,25	0,31	0,25
По гідростатичній трансмісії комбайна						
Трудовісткість, люд.-год.	S	5,8	5,5	10,5	7,66	7,37
Частка основних робіт	μ_0	0,53	0,44	0,63	0,51	0,53
Частка підготовчих робіт	$\mu_{\text{П}}$	0,29	0,29	0,23	0,29	0,28
Частка заключних робіт	μ_3	0,18	0,27	0,14	0,20	0,2

Таблиця 4.7

**Трудовісткість за видами технічного контролю, показники основних і
підготовчо-заключних робіт**

Показник		Комбайни				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Середній рівень
ТК-1	S люд.-хв.	15,5	11,2	25,3	21,0	16
	μ_0	0,51	0,52	0,56	0,33	0,53
	$\mu_{\text{П}}$	0,31	0,26	0,28	0,39	0,25
	μ_3	0,18	0,22	0,16	0,28	0,22
ТК -2	S люд.-хв.	47,4	50,0	189,6	70,8	8,6
	μ_0	0,58	0,50	0,54	0,45	0,52
	$\mu_{\text{П}}$	0,25	0,27	0,24	0,29	0,36
	μ_3	0,17	0,23	0,22	0,26	0,25
ТК -3	S люд.-хв.	6,0	11,24	10,74	6,7	7,37
	μ_0	0,48	0,58	0,56	0,56	0,53
	$\mu_{\text{П}}$	0,25	0,20	0,22	0,20	0,28
	μ_3	0,27	0,22	0,22	0,24	0,2

Таблиця 4.11

**Взаємоприспосованість сільськогосподарських комбайнів і серійних
техконтролюючих засобів із врахуванням і без врахування повноти
технічного контролю**

Вид технічного контролю, показники		Комбайни				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Середній рівень
ТК-1	K^m	0,44	0,38	0,44	0,25	0,38
		0,64	0,61	0,58	0,35	0,55
	K_O^m	1,10	0,92	1,07	1,25	0,25
		1,60	1,48	1,43	1,75	1,09
	K_B^m	0,14	0,11	0,07	0,06	0,01
		0,21	0,17	0,10	0,08	0,14
ТК-2	K^m	0,52	0,47	0,62	0,36	0,49
		0,70	0,59	0,75	0,43	0,62
	K_O^m	1,20	1,08	1,05	1,20	1,13
		1,62	1,36	1,26	1,41	1,41
	K_B^m	0,16	0,14	0,33	0,07	0,18
		0,22	0,18	0,40	0,09	0,22
ТК-3	K^m	0,60	1,20	1,07	0,94	0,95
		1,06	1,27	1,36	1,22	1,23
	K_O^m	1,96	1,73	1,66	1,75	1,78
		3,35	1,86	2,12	2,23	2,39
	K_B^m	0,23	0,69	0,63	0,45	0,5
		0,40	0,74	0,81	0,59	0,64
Цикл	K^m	0,54	0,80	0,75	0,49	0,65
		0,89	1,0	0,96	0,64	0,87
	K_O^m	1,35	1,36	1,22	1,33	1,32
		2,22	1,7	1,56	1,78	1,82
	K_B^m	0,18	0,38	0,40	0,16	0,28
		0,30	0,47	0,51	0,22	0,38

Побудову структурно-слідчих моделей взаємозв'язків контрольованих параметрів технічного стану для основних ресурсних груп дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів здійснювалася на основі його конструкторської документації та інформації про функціонування його окремих механізмів і підсистем. Розроблені структурно-слідчі моделі дозволили оцінити його технічний стан на етапах технічного контролю і операційного технічного контролю при проведенні експериментальних досліджень.

Таблиця 4.12

Показники пристосованості комбайнів за операційними технологіями

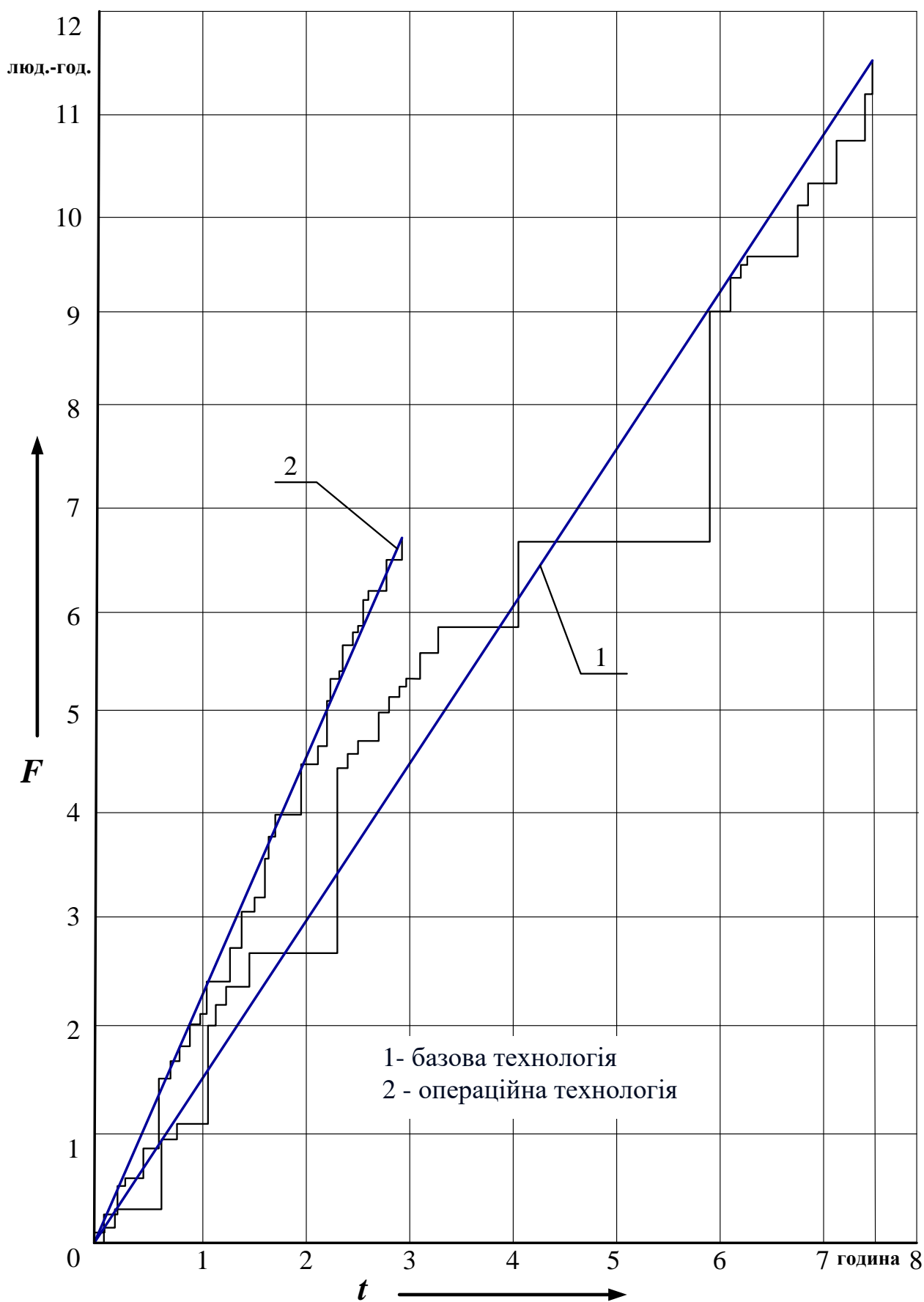
Показник	Комбайни				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	Середній рівень
ТК-3					
μ^m	0,58	0,47	0,44	0,5	0,5
μ^n	0,42	0,53	0,56	0,5	0,5
K^m	0,71	1,13	1,27	1,0	1,03
K^n	1,4	0,89	0,79	1,0	1,02
Цикл					
μ^m	0,61	0,525	0,525	0,64	0,58
μ^n	0,39	0,475	0,475	0,36	0,43
K^m	0,64	0,9	0,9	0,56	0,75
K^n	1,56	1,1	1,1	1,78	1,39

Таблиця 4.12

Технологічність робіт виконавців при ТК-3 комбайнів

Комбайн і технологія	Показники технологічності, ε		
	комбайнер	слюсар	майстер
Комбайн № 1			
базова	0,65	0,48	0,47
операційна	0,81	0,90	0,82
Комбайн № 2			
базова	0,53	0,40	0,26
операційна	0,79	0,84	0,76
Комбайн № 3			
базова	0,49	0,34	0,17
операційна	0,69	0,59	0,71
Комбайн № 4			
базова	0,51	0,42	0,10
операційна	0,67	0,76	0,66
Середнє значення			
базова	0,55	0,41	0,25
операційна	0,74	0,77	0,74

Із залученням апарату регресійної-кореляційного аналізу і методів перевірки статистичних гіпотез сформована раціональна сукупність параметрів технічного стану для ефективної оцінки технічного стану об'єкта дослідження.



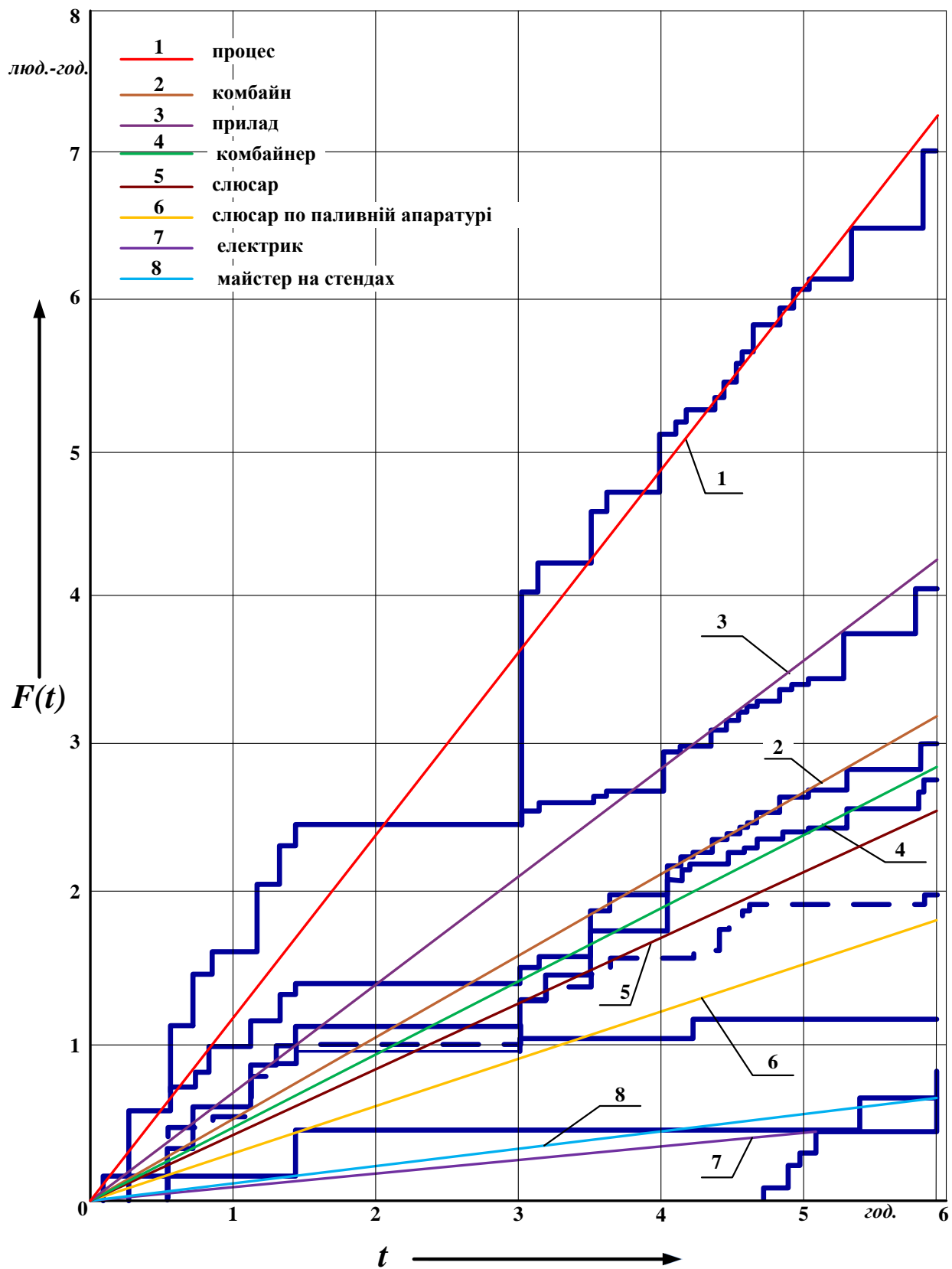


Рис. 4.26. Технологічність процесу технічного контролю і робіт, які залежать від компонентів – зернозбирального комбайна, приладів, виконавців

Із графіків збіжності розпізнаних дефектів (рис. 4.11, 4.12, 4.14) і графіка збіжності розподілу ремонтного фонду по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів (рис. 4.20) видно, що всі приклади з навчальних і тестових вибірок були повністю розпізнані, що говорить про адекватність побудованих моделей штучної нейронної мережі, а також про вірність висунутої гіпотези щодо необхідного обсягу навчальної вибірки.

На графіках збіжності максимальної помилки при навчанні та тестуванні (рис. 4.12, 4.14, 4.16, 4.21) чітко виділяється оптимум цільової функції $\varepsilon \rightarrow \min$. Подальше підвищення функції помилки ε каже про перевантаженість структури штучної нейронної мережі зайвою кількістю нейронів в прихованому шарі.

Обраний програмний продукт Deductor Studio Academic 5.2 дозволив побудувати моделі штучної нейронної мережі в рамках обробки експериментальних даних, однак дане програмне забезпечення не здатне повністю охопити розроблену методику, яка представлена на рис. 4.6 і рис. 4.7, що говорить про необхідність розробки оригінального програмного забезпечення, яке буде базою для організації автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбиральних комбайнів.

4.5. Показники сезонного наробітку, наробітку на відмови, тривалості усунення відмов і коефіцієнта готовності зернозбиральних комбайнів за технологією технічного контролю

Проведені експериментальні дослідження (додаток Г) дозволили стверджувати, що наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнєденко (рис. 4.27) і характеризується математичним очікуванням 164,8 га/відмову, що на 17,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

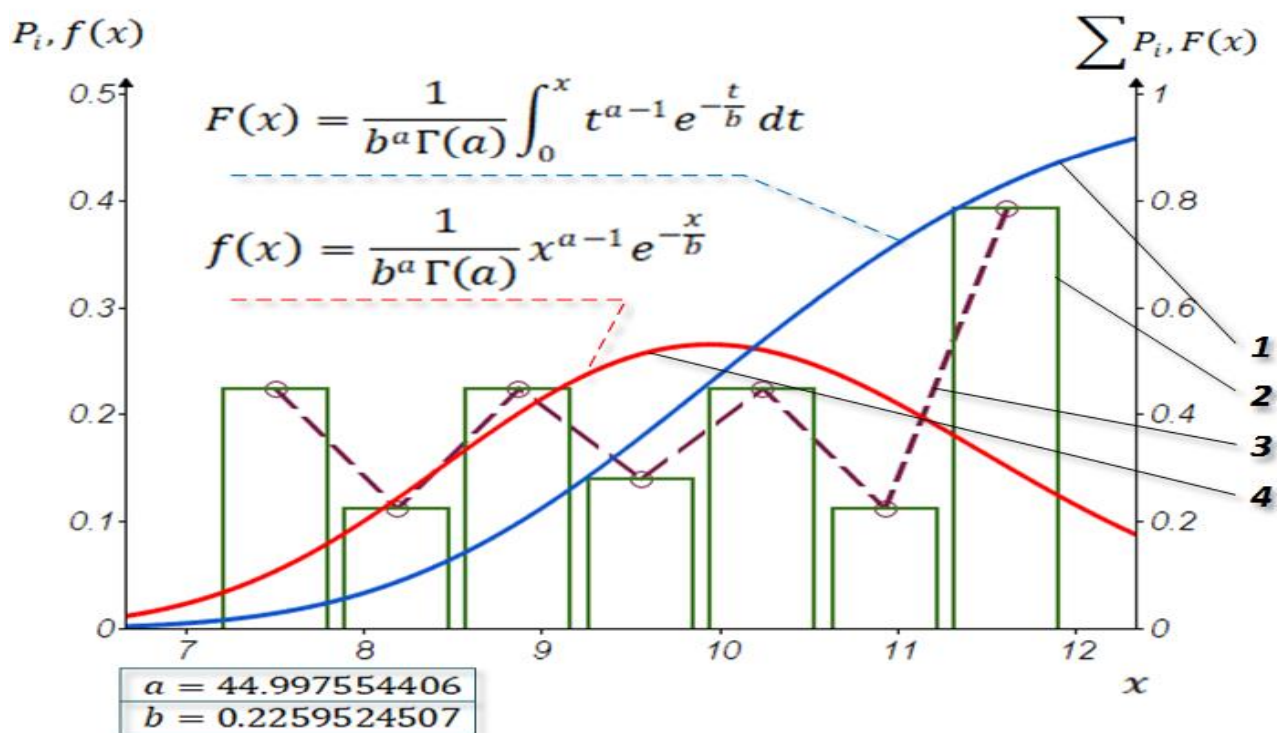


Рис. 10. Гістограма, полігон і диференціальна функція теоретичного закону розподілу трудомісткості усунення відмов зернозбирального комбайна

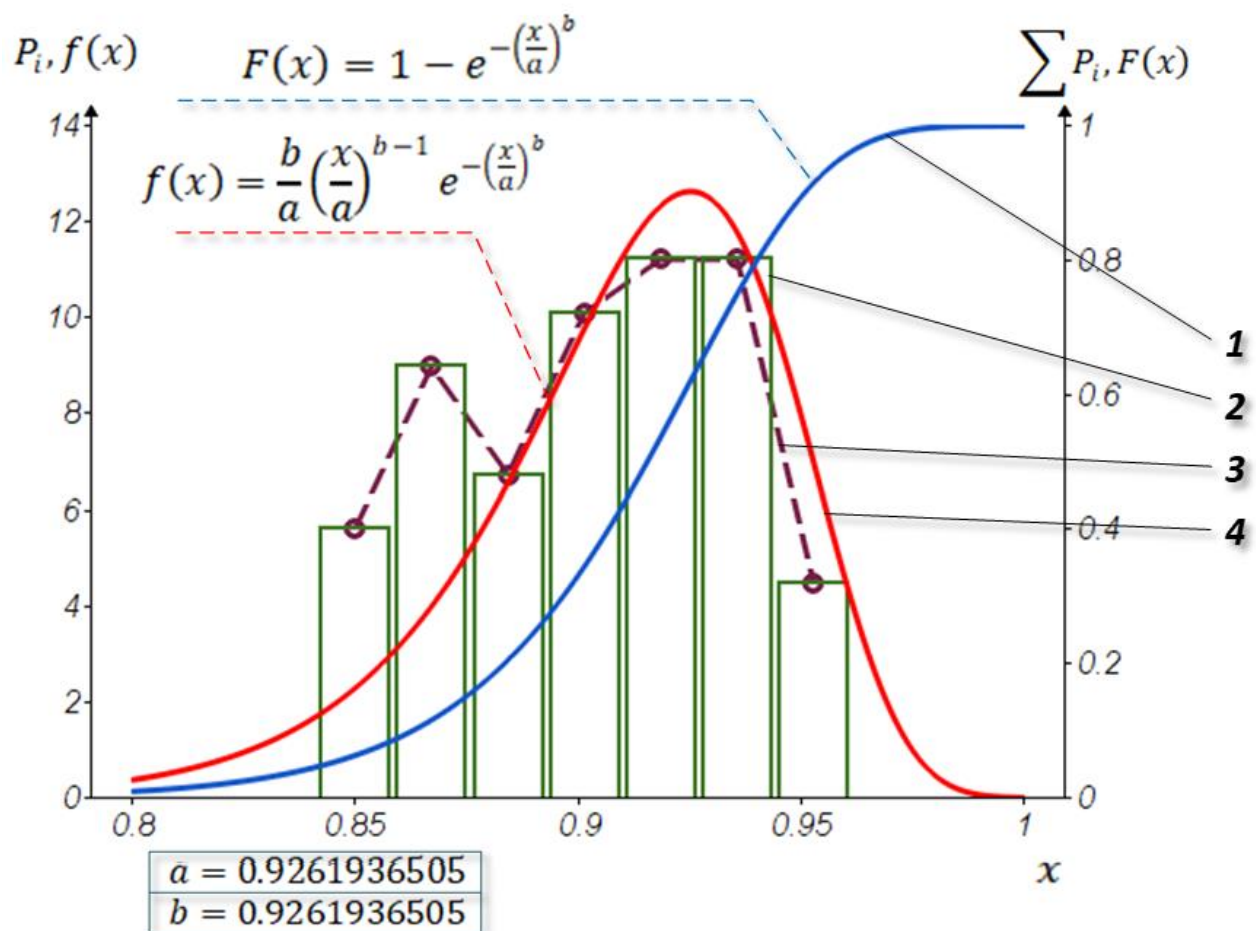


Рис. 10. Гістограма, полігон і диференціальна функція теоретичного закону розподілу коефіцієнта готовності зернозбирального комбайна

Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 4.28) і характеризується математичним очікуванням 328,98 га, що на 23,2% більше в порівнянні з базовою технологією. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамма (рис. 4.29) і характеризується математичним очікуванням 10,1 годин, що на 18,3% менше в порівнянні з базовою технологією. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко (рис. 10г) і характеризується математичним очікуванням 0,92, що на 10,8 % більше в порівнянні з базовою технологією.

Висновки до четвертого розділу

1. Технологічні процеси технічного контролю зернозбиральних комбайнів описують ступінчатою функцією технологічності, яка з достатньою точністю апроксимується прямою лінією, що проходить через початок координат. Параметр цієї функції характеризує технологічність процесу технічного контролю. Запропоновані операційні технології технічного контролю, які розроблені із врахуванням упорядкування робіт між виконавцями і взаємоузгодження їх з режимом технічного контролю, місця контролю підвищили технологічність процесу технічного контролю при ТК-1 – в 1,51; ТК-2 – в 1,18, ТК-3 – в 1,53 рази. При цьому тривалість технічного контролю скорочується відповідно в 1,42; 1,36; 2,3 рази.

2. Трудомісткість технічного контролю зернозбиральних комбайнів складає 24...48% від нормованої оперативної трудомісткості технічного контролю цих комбайнів. Біля 20% параметрів технічного стану по кожному

виду технічного контролю мають трудомісткість: за ТК-3 – більше 45 люд.-хв., за ТК-2 – більше 12 люд.-хв., за ТК-1 – більше 9 люд.-хв. Найбільший об'єм робіт, припадає на двигун, що складає в середньому 54,3%. Частки інших систем складають в середньому: електрообладнання – 8,1%, трансмісії – 7%, гальма і пневмосистеми – 3,9%, механізмів керування – 3,1%, гідросистеми навісного пристрою – 2,1%. В сумарній цикловій трудомісткості технічного контролю 43...53% займають допоміжні роботи. Трудонапруженість процесів технічного контролю є нерівномірною як для видів технічного контролю так і для окремих параметрів технічного стану. Приватні показники трудонапруженості дозволяють виявити «вузькі місця» процесів технічного контролю.

3. Показники взаємоприспосованості і технологічності компонентів системи «людина-прилад-машина» свідчить про правильність комплексного підходу і необхідності удосконалення усіх компонентів системи технічного контролю. При ТК-1 і ТК-2 методи і засоби технічного контролю вже достатньо відпрацьовані і вдосконаленню підлягають конструкції комбайнів (0,58...0,74, 0,53...0,66), а при ТК-3 – необхідно вдосконалювати методи і засоби технічного контролю (0,48...0,58).

Низька технологічність процесів технічного контролю викликана нераціональною послідовністю виконання робіт виконавцями. При ТК-3 найбільша інтенсивність робіт припадає на комбайнера, яка, однак, складає біля 0,5, що свідчить про використання його можливостей тільки на половину. В операційних технологіях ТК-3 інтенсивність робіт піднялась в середньому: комбайнера – в 1,5, слюсаря – 2,2, майстра – в 2,3 рази і в межах 0,74...0,78. Технологічність робіт, що залежать від компонентів системи технічного контролю при застосуванні операційних технологій підвищилась в середньому по ТК-1: комбайна – на 53%, засобів технічного контролю на 44%, виконавців на 16% (зменшилась), по ТК-2: комбайна – на 14%, засобів технічного контролю – на 22%, виконавців – 35%, по ТК-3: комбайна – на 56%, засобів технічного контролю – на 42%, виконавців – в 2,1 рази.

4. Із застосуванням регресійного аналізу вибрані фактори, які характеризують фрагменти процесу технічного контролю і отримані емпіричні рівняння, які дозволяють оцінювати трудомісткість технічного контролю по креслярській документації на ранній стадії розробки системи технічного контролю. За результатами обробки статистичних даних про оснащення комбайнів вбудованими приладами складена емпірична залежність кількості вбудованих приладів від потужності комбайна, яка може використовуватись для прогнозування.

5. Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 164,8 га/відмову, що на 17,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

6. Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 328,98 га, що на 23,2% більше в порівнянні з базовою технологією.

7. Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Гамма і характеризується математичним очікуванням 10,1 годин, що на 18,3% менше в порівнянні з базовою технологією.

8. Проведенні експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Нормальний і характеризується математичним очікуванням 0,87, що на 10,8 % більше в порівнянні з базовою технологією.

Основні результати четвертого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [3, 6-9, 14, 15, 23].

РОЗДІЛ 5

ВИРОБНИЧЕ ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ

5.1. Структурна схема автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбирального комбайна

Процес переходу від планово-попереджувальної системи до моделі комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів відбувається на тлі загальної тенденції до укрупнення раніше роздроблених агровиробничих і агроремонтних підприємств [176]. Даний процес, спираючись на принципи концентрації, спеціалізації і кооперації виробництва, що є ефективним стимулятором росту промисловості будь-якої розвиненої суспільно-політичної системи [182].

Технологія технічного контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів складається з виявлення та локалізації дефектів і їх поєднань [174]. В міру ускладнення технічних систем і зростання вимог до безпеки і надійності, технічний контроль несправностей стає все більш відповідальною процедурою [179].

Всі можливі комбінації помилок на етапі технічного контролю і при розподілі агрегатів за технологічними маршрутами ремонту (комплексам ремонтних робіт) наведені в таблиці 5.1.

Явище помилок I-го роду характеризується виконанням зайвих ремонтних робіт, що веде до збільшення собівартості ремонту двигуна, а помилок II-го роду - недовиконанням потрібних ремонтних робіт, що може позначитися на надійності агрегату після ремонтних впливів [175].

Помилки I-го і II-го роду, як в сукупності, так і окремо найчастіше призводять до невірного призначення технологічного маршруту ремонту, що характеризується зайвими розбирально-складальними роботами, а також втрати при перенаправленні на інший комплекс ремонтних робіт.

Таблиця 5.1

**Можливі комбінації виникнення помилок I-го і II-го роду, а також
помилки маршрутизації**

№	Помилковий дефект (1-го роду)	Пропуск дефекту (2-го роду)	Помилки призначення комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	+	-	+
6	-	+	+
7	-	-	+
8	+	+	+

Розроблена структурна схема автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбирального комбайна Data TechControl в укрупненому вигляді складається з трьох частин:

- інструментально-метрологічне і технічне забезпечення;
- програмне забезпечення;
- інформаційно-методичне забезпечення.

Базою даного автоматизованого робочого місця [172] є розроблене оригінальне програмне забезпечення, яке ґрунтується на результатах дисертаційного дослідження, що дозволяє оператору на етапі технічного контролю агрегатів з високим ступенем достовірності віднести конкретний агрегат до конкретного комплексу робіт з підтримання чи відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів з числа заздалегідь сформованих на даному агропідприємстві [179].

Розробка оригінального програмного забезпечення здійснювалася відповідно до алгоритмам на рис. 2.3, 2.5, 2.6, 2.7 під завданням даного

дослідження на мові програмування Delphi в однойменній середовищі розробки версії 7.0.

Дане програмне забезпечення (рис. 5.1) є програмної складової автоматизованого робочого місця, при роботі з яким оператор технічного контролю стає кваліфікованим користувачем [178]. Для коректної роботи даного програмного забезпечення в таблиці 5.2 наведені мінімальні системні вимоги.



Рис. 5.1. Головне вікно розробленого програмного продукту, що є ядром автоматизованого робочого місця оператора технічного контролю

Таблиця 5.2

Мінімальні системні вимоги для роботи програми

Найменування вимоги	Мінімальне значення
Операційна система	Microsoft Windows XP з пакетом оновлення 2 (SP2) або більш пізня версія
Комп'ютер, процесор, ОЗУ	ПК з процесором 1 ГГц або більш, 512 Мб ОЗУ ілі більш
Жорсткий диск	10 Мб або більше вільного місця
Роздільна здатність екрану	Мінімум 800x600 пікселів; рекомендовано 1024x768 або більше

В збільшеному вигляді програма виконана у вигляді трьох взаємопов'язаних модулів:

«Модуль роботи з базами даних» - модуль перегляду баз даних, які формуються для вирішення поставлених завдань.

База даних DB1, згідно рис. 2.6, містить параметри агрегатів, які використовуються в якості вхідних векторів при використанні математичного апарату ШНМ для розпізнавання дефектів різних вузлів агрегатів.

База даних DB2, формується за результатами роботи алгоритму, блок-схема якого представлена на рис. 2.6, у вигляді прямокутної матриці з розмірністю $m \times n$, де m - число рядків, яка дорівнює кількості контрольованих агрегатів; n - число стовпців, рівне сумарній кількості розпізнавальних дефектів по всіх вузлах розглянутого агрегату.

База даних DB3 є результатом роботи алгоритму на рис. 2.7 і містить в собі вихідну інформацію про отримані параметри і помилки при навчанні ШНМ.

«Модуль нового проекту» - модуль, який відповідає за покрокову побудову ШНМ під поточні завдання дослідження, ділиться на два підмодулі:

- вирішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів;
- вирішення завдання розподілу агрегатів за технологічними маршрутами ремонту.

На рис. 5.2. і 5.3 представлені вікна модуля нового проекту створення моделі штучної нейронної мережі для навчання вирішення завдання розпізнавання дефектів ЦПГ і подальшого розподілу по комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів відповідно.

У програмі використовуються наступні типи полів:

- ✓ поля з вхідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вхідного шару штучної нейронної мережі;
- ✓ поля з вихідним значенням - дані поля будуть використовуватися в якості вихідного шару штучної нейронної мережі; невикористані поля - дані поля не будуть використані при навчанні і тестуванні штучної нейронної мережі.

Рис. 5.2. Вікно створення нового проекту

Для нормалізації полів доступні наступні види масштабування:

$(X-MIN)/(MAX-MIN)$ - лінійна нормалізація, згідно блок-схемі алгоритму на рис. 2.3. $1/(1+\exp(-ax))$ - експоненціальна нормалізація.

Автоматично застосовується при необхідності нормалізувати ґрунтуючись на характеристиках вибірки.

Без нормалізації - масштабування поточного поля в область значень сигмоїдальної функції активації не виконуватиметься.

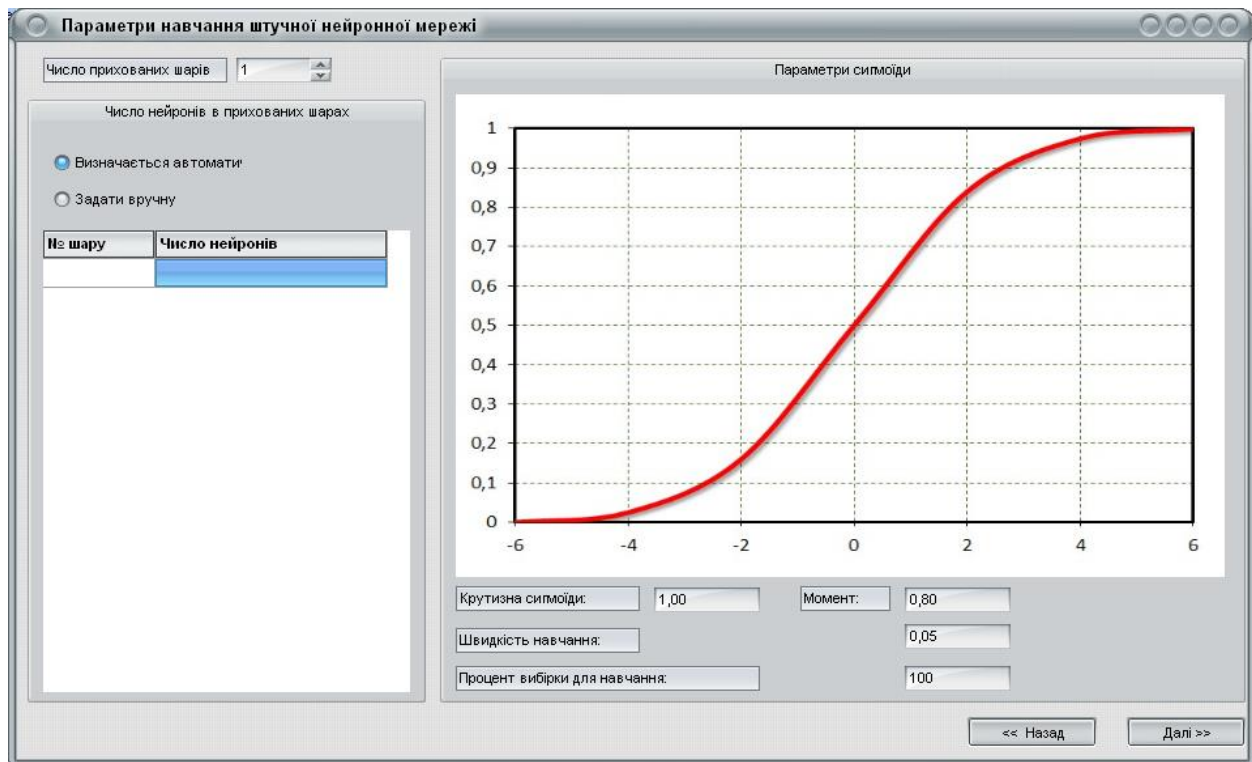


Рис. 5.3. Вікно параметрів навчання штучної нейронної мережі

Число нейронів в прихованих шарах знаходиться або автоматично, відповідно до блок-схем алгоритмів на рис. 2.9 і 2.10, і результатами обробки експериментальних даних в розділі 3 цієї дисертації, або задається вручну.

«Модуль відновлення проекту» - відновлення сеансу раніше створеного проекту для продовження роботи з ним.

На рис. 5.4 схематично представлена внутрішня структура організації та взаємодії між модулями розробленого програмного забезпечення та їх взаємодія з іншими елементами автоматизованого робочого місця.

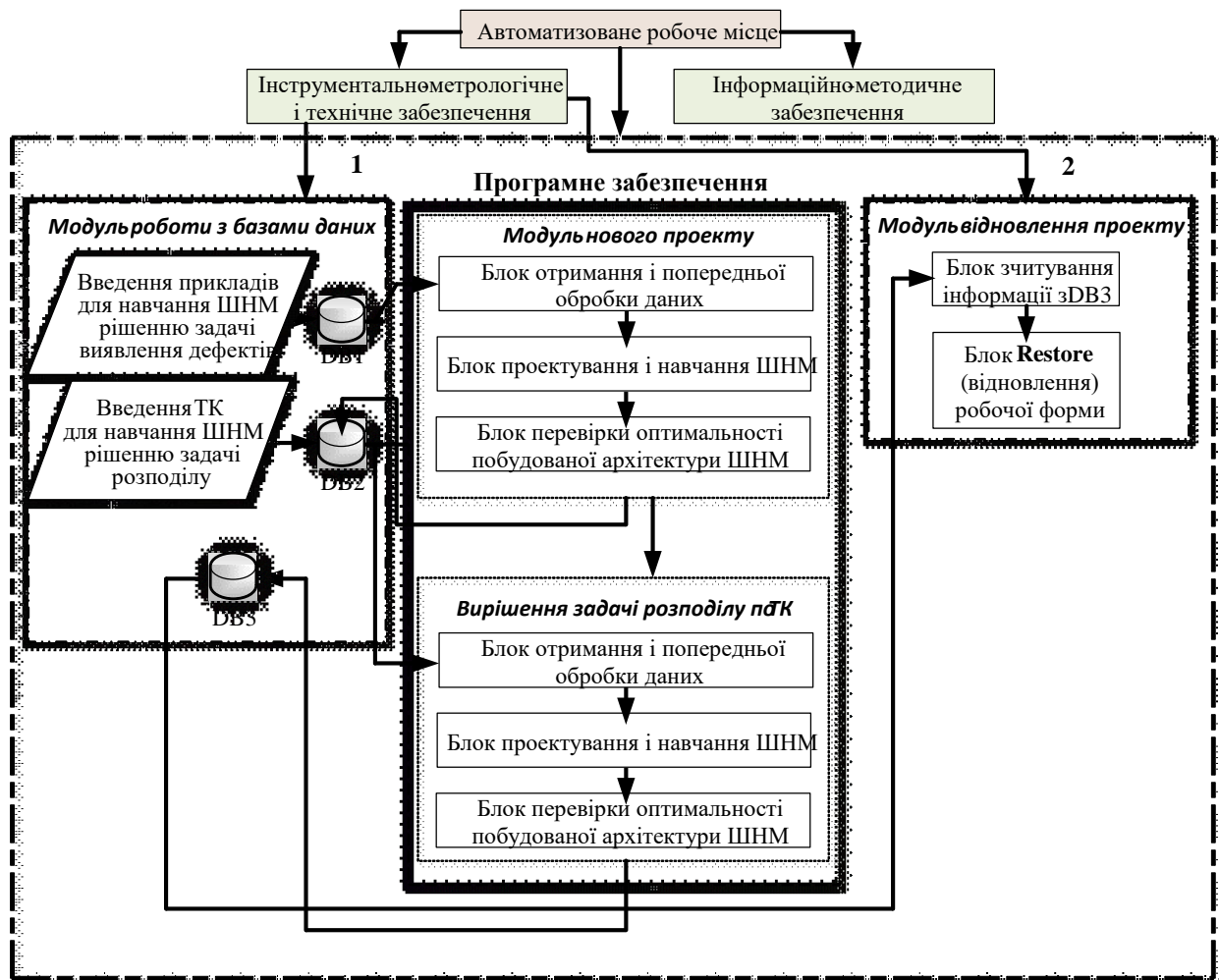


Рис. 5.4. Розроблена структура організації та взаємодії між елементами автоматизованого робочого місця оператора технічного контролю, де: 1 - елемент автоматизованого робочого місця взаємодіє з модулем роботи з базами даних програмного забезпечення при надходженні в ремонтний фонд нової моделі агрегату; 2 - елемент автоматизованого робочого місця взаємодіє з модулем відновлення проекту при роботі з моделями агрегатів, відомості про яких вже є в базах даних програмного забезпечення

5.2. Техніко-економічний ефект і рекомендації щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів

Оцінити економічний ефект пропонованих методичних розробок можна шляхом порівняння результатів проведених в рамках даного дослідження експериментів з результатами, опублікованими в роботах аналогічної тематики.

Порівняння отриманих результатів з базовими технологіями технічного обслуговування недоцільно, так як при цьому технічний контроль надходить до

ремонтного фонду позбавлене сенсу за визначенням. Поточний ремонт є, як правило заявочним і не має індустріальної основи організації виробництва (відсутність предметної спеціалізації, невеликі обсяги робіт, відсутність типових технологій відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів і т.д.).

Тому розрахувати очікуваний економічний ефект від впровадження розроблених методик вдосконалення процесу визначення технічного стану ремонтів агрегатів зернозбиральних комбайнів можна шляхом порівняння виробничих втрат від помилок розпізнавання дефектів. Ремфонд при типовій організації робіт і при організації автоматизованого робочого місця, в основі організації якого лежать результати дисертаційного дослідження щодо застосування математичного апарату штучної нейронної мережі в підсистемі відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів.

В цілому для розрахунку очікуваного економічного ефекту після впровадження автоматизованого робочого місця технічного контролю зернозбирального комбайна на агропідприємстві слід прийняти типовий вираз (5.1) адитивної функції річних приведених витрат на існуючий і пропонується спосіб організації ремонтного фонду:

$$E = \left(C_{\Sigma_{\text{вн}}(1)} + U_H \cdot K_{(1)} / N_{(1)} \right) - \left(C_{\Sigma_{\text{вн}}(2)} + U_H \cdot K_{(2)} / N_{(2)} \right) \cdot N_{(2)} \quad (5.1)$$

де $C_{\Sigma_{\text{вн}}(1)}$ і $C_{\Sigma_{\text{вн}}(2)}$ - узагальнені внутрішньовиробничі втрати від помилок на етапі технічного контролю дизельних двигунів зернозбиральних комбайнів, відповідно, за першим та другим варіантами, грн.;

$K_{(1)}$, $K_{(2)}$ - капіталовкладення в створення виробничої бази, відповідно, за першим та другим варіантами, грн.;

U_H - нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який по галузі в цілому дорівнює $U_H = 0,15$;

$N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ - програми двигунів, відповідно, за першим та другим варіантами.

З огляду на, що одноразові витрати $K_{(1)}$ і $K_{(2)}$ за порівняльними варіантами організації розрізняються лише витратами на придбання у другому варіанті оригінального програмного забезпечення та формування автоматизованого робочого місця, розмір яких в порівнянні з

капіталовкладеннями порівняно малий, з розрахунків їх можна виключити. Виробничі програми $N_{(1)}$ і $N_{(2)}$ так само можна прийняти однаковими і виключити з розрахунків.

Із поточних витрат слід виключити витрати на сировину, матеріали, напівфабрикати, паливо і енергію, які використовуються при технічному контролі ремонтів агрегатів.

Таким чином, з огляду на розроблену раніше модель формування технологічних процесів моделі комплексів технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів (2.4), розрахунковий вираз для визначення очікуваного економічного ефекту після впровадження пропонованого варіанту організації технічного контролю буде виглядати наступним чином:

$$E = \left\{ \left(C_{\Sigma_{\text{вн}}(1)} - C_{\Sigma_{\text{вн}}(2)} \right) \right\} = \left\{ \left(C_{\Sigma_{\text{івл}}(1)} + C_{\Sigma_{\text{прон}}(1)} + C_{\Sigma_{\text{розн}}(1)} \right) - \left(C_{\Sigma_{\text{івл}}(2)} + C_{\Sigma_{\text{прон}}(2)} + C_{\Sigma_{\text{розн}}(2)} \right) \right\}$$

Підставляючи відповідні значення у вираз (5.2), отримуємо ефект, виражений в економії витрат на один двигун, на етапі технічного контролю якого були допущені помилки 1-го і 2-го роду:

$$E = \{ (4194,42 + 4407,00 + 6921,81)_{(1)} - (1224,03 + 1312,18 + 2046,42)_{(2)} \} = \{ (15523,25)_{(1)} - (4582,63)_{(2)} \} = 10940,62 \text{ грн. / двиг}$$

Економічна ефективність є одним з основних показників оцінки будь-якого технологічного процесу в сільському господарстві. В результаті застосування нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів з виносом операцій за напружений період, збільшуються сезонний наробіток, наробіток на відмову і міжремонтних наробітків комбайнів.

Розрахунок порівняльної економічної ефективності нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів виконаний на прикладі господарств №1 та №3.

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідження визначимо на один гектар за формулою:

$$E_p = \frac{B_1 - B_2}{F}, \quad (5.2)$$

де B_1 - сумарні витрати, які включають в себе витрати на технічний контроль, до впровадження нової технології, грн.:

$$B_1 = B_{TK-1} + B_{TK-3} + B_{відм} \quad (5.3)$$

де B_{TK-1} - сумарні витрати на ТК-1 для зернозбиральних комбайнів, грн.;

B_{TK-2} - сумарні витрати на ТК-2 для зернозбиральних комбайнів, грн.;

$B_{відм}$ - сумарні витрати на усунення відмов для зернозбиральних комбайнів, грн.;

$$B_1 = 122976,00 + 292732,00 + 804720,00 = 1220428,00$$

B_2 - сумарні затрати на ТК-1, ТК-2 після впровадження нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів, грн.:

$$B_2 = B'_{TK} + B''_{TK} \quad (5.4)$$

де B'_{TK} - сумарні витрати на технічний контроль (ТК-2 нової проводимо в об'ємі ТК-2 за базової) для зернозбиральних комбайнів:

$$B'_{TK} = n_{TK} \cdot \bar{t}_{TK} \cdot C_{zv} \quad (5.5)$$

де n_{TK} - кількість ТК-2, шт.;

\bar{t}_{TK} - середня тривалість ТК-2, год.;

C_{zv} - вартість години простою комбайна, грн.;

B''_{TK} - сумарні витрати на технічний контроль (ТК-3 нової проводимо в об'ємі ТК-3 за базової) для зернозбиральних комбайнів (Розрахунок показника аналогічний розрахунку по формулі (5.5)), грн.;

Розрахуємо B'_{TK} :

$$B'_{TK} = 38 \cdot 8,25 \cdot 250 = 78375,00 \text{ грн.}$$

Розрахуємо B''_{TK} :

$$B''_{TK} = 4 \cdot 9,15 \cdot 250 = 9150,00 \text{ грн.}$$

Коли сумарні витрати на ТК-2, ТК-3 після впровадження нової технології технічного контролю агрегатів зернозбиральних комбайнів складуть:

$$B_2 = 78375,00 + 9150,00 = 87525,00 \text{ грн.};$$

F - площа ріллі під зернові сільськогосподарські культури, га.

Річний економічний ефект від впровадження результатів дослідження у №1:

$$E_p = \frac{1220428,00 - 87525,00}{1662} = 681,65 \text{ грн./га}$$

За формулами (5.1) - (5.4) проводимо розрахунок для №3. Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складе 721,83 грн./га.

Рекомендації аграрному виробництві щодо організації технічного контролю зернозбиральних комбайнів наведено в додатку Д.

Нами рекомендується [224, 225, 226] застосування мобільні агрегати технічного контролю зернозбиральних комбайнів (рис. 5.5).



Рис. 5.5. Мобільний агрегат технічного контролю зернозбиральних комбайнів на базі Volkswagen Transporter T5

Висновки до п'ятого розділу

Розроблене оригінальне програмне забезпечення є базою для створення автоматизованого робочого місця, яке дозволить оператору технічного контролю застосовувати отримані результати даних досліджень для однозначного і достовірного віднесення конкретного агрегату до конкретного технологічного маршруту комплексу технічного контролю агрегатів зернозбиральних

комбайнів.

Із розрахунків економічного ефекту результатів досліджень були виключені одноразові витрати на організацію підсистеми технічного контролю зернозбиральних комбайнів, як константні і для першого і для другого варіантів.

При розрахунку очікуваного економічного ефекту (економії витрат на один двигун на етапі технічного контролю) мінімізувалася адитивна функція внутрішньовиробничих втрат від помилок I-го роду, помилок II-го роду і помилок маршрутизації.

Значення річного економічного ефекту від впровадження результатів дослідження складає 721,83 грн./га.

Основні результати п'ятого розділу дисертаційної роботи були опубліковані в таких наукових працях здобувача зі списку [16-19, 20, 29, 30, 33].

ВИСНОВКИ

1. Нагальні проблеми сучасної технічної науки з механізації сільськогосподарського виробництва, технічної готовності зернозбиральних комбайнів і виробничої аграрної діяльності в цілому наполегливо окреслюють наукову проблему розробки системного підходу до дослідження довільних явищ і процесів втрати працездатності комбайна. Головні проблеми забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів можна об'єднати в чотири основні групи:

- перша група – відмови деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, які зменшують ефективність їх експлуатації;
- друга група – необхідність в значних запасах ресурсу деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів;
- третя група – недостатня ремонтпридатність деталей, вузлів, механізмів і агрегатів зернозбиральних комбайнів, що призводить до збільшення експлуатаційних витрат на технічний контроль;
- четверта група – значна трудомісткість і фінансова ресурсність для відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів, що ускладнює отримання інвестицій.

2. Виявлені аналітичні моделі марковського процесу за перетворенням Лапласа зі встановлення прикладної залежності нерезервованого параметра технічного стану ймовірності стану технічної готовності зернозбирального комбайна при різних поєднаннях заданих значень періодичності і трудомісткості технічного контролю параметрів технічного стану та інтенсивності відмов комбайну для неусталеного (2.26), (2.27), (2.28) і усталеного (2.30), (2.31), (2.32) режимів експлуатації. Виявлено аналітично наявний екстремум (максимум), тобто при заданих значеннях λ і τ_{tk} існує оптимальна періодичність технічного контролю і, відповідно, граничне максимальне значення ймовірності стану технічної готовності комбайна.

3. Удосконалено аналітичні моделі (2.37) і (2.38) визначення періодичності технічного контролю параметрів технічного стану зернозбирального комбайна в залежності від терміну експлуатації, параметрів інтенсивностей відмов, трудомісткості технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові

до затрат на технічний контроль. Визначення оптимальної періодичності технічного контролю зернозбиральних комбайнів при заданих параметрах інтенсивностей відмов, трудомісткістю технічного контролю і відношення збитків (затрат) при відмові до затрат на технічний контроль дозволяє мінімізувати значення величини сукупної оптимізаційної функції S_{min} забезпечення технічної готовності комбайна і забезпечить оптимальне керування цим процесом. Так при заданих $\lambda = 10^{-5}$ год⁻¹, $\tau_{tk} = 10$ год, $Z/A = 10$, із врахуванням фінальних ймовірностей станів, величина мінімальної сукупної оптимізаційної функції $S_{min} = 0,0613$ і оптимальна періодичність технічного контролю $t_{tk}^{opt} = 30,66$ год. Розроблена аналітична модель (2.66) дозволяє знаходити інтенсивність відмови комбайна для довільного значення поточного моменту експлуатації і визначати ймовірність знаходження параметра технічного стану зернозбирального комбайна в одному з трьох станів: працездатному, відмови або технічного контролю.

4. Технологічні процеси технічного контролю зернозбиральних комбайнів описуються ступінчатою функцією технологічності, яка з достатньою точністю апроксимується прямою лінією, що проходить через початок координат. Параметр цієї функції характеризує технологічність процесу технічного контролю. Запропоновані операційні технології технічного контролю, які розроблені із врахуванням упорядкування робіт між виконавцями і взаємоузгодження їх з режимом технічного контролю, місця контролю підвищили технологічність процесу технічного контролю при ТК-1 – в 1,51; ТК-2 – в 1,18, ТК-3 – в 1,53 рази. При цьому тривалість технічного контролю скорочується відповідно в 1,42; 1,36; 2,3 рази.

5. Трудомісткість технічного контролю зернозбиральних комбайнів складає 24...48% від нормованої оперативної трудомісткості технічного контролю цих комбайнів. Біля 20% параметрів технічного стану по кожному виду технічного контролю мають трудомісткість: за ТК-3 – більше 45 люд.-хв., за ТК-2 – більше 12 люд.-хв., за ТК-1 – більше 9 люд.-хв. Найбільший об'єм робіт, припадає на дизельний силовий агрегат, що складає в середньому 54,3%. Частки інших систем складають в середньому: електрообладнання – 8,1%, трансмісії – 7%, гальма і пневмосистеми – 3,9%, механізмів керування – 3,1%. В сумарній цикловій трудомісткості технічного контролю 43...53% займають

допоміжні роботи. Трудонапруженість процесів технічного контролю є нерівномірною як для видів технічного контролю так і для окремих параметрів технічного стану.

6. Показники взаємопристосованості і технологічності компонентів системи «людина-прилад-машина» свідчить про правильність комплексного підходу і необхідності удосконалення усіх компонентів системи технічного контролю. При ТК-1 і ТК-2 методи і засоби технічного контролю вже достатньо відпрацьовані і вдосконаленню підлягають конструкції комбайнів (0,58...0,74, 0,53...0,66), а при ТК-3 – необхідно вдосконалювати методи і засоби технічного контролю (0,48...0,58). Низька технологічність процесів технічного контролю викликана нераціональною послідовністю виконання робіт виконавцями. При ТК-3 найбільша інтенсивність робіт припадає на комбайнера, яка, однак, складає біля 0,5, що свідчить про використання його можливостей тільки на половину. В операційних технологіях ТК-3 інтенсивність робіт піднялась в середньому: комбайнера – в 1,5, слюсаря – 2,2, майстра – в 2,3 рази і в межах 0,74...0,78. Технологічність робіт, що залежать від компонентів системи технічного контролю при застосуванні операційних технологій підвищилась в середньому по ТК-1: комбайна – на 53%, засобів технічного контролю на 44%, виконавців на 16% (зменшилась), по ТК-2: комбайна – на 14%, засобів технічного контролю – на 22%, виконавців – 35%, по ТК-3: комбайна – на 56%, засобів технічного контролю – на 42%, виконавців – в 2,1 рази.

7. Проведені експериментальні дослідження дозволили стверджувати, що наробіток на відмову зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 164,8 га/відмову, що на 17,2% більше в порівнянні з базовою технологією. Сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 328,98 га, що на 23,2% більше в порівнянні з базовою технологією. Трудомісткість усунення відмов зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону

розподілу Гамма і характеризується математичним очікуванням 10,1 годин, що на 18,3% менше в порівнянні з базовою технологією. Коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів за запропонованою технологією технічного контролю не суперечить диференціальній функції теоретичного закону розподілу Вейбулла-Гнеденко і характеризується математичним очікуванням 0,92, що на 10,8 % більше в порівнянні з базовою технологією.

8. Виробнича перевірка організації розробленої технології технічного контролю зернозбиральних комбайнів в агротехнологіях виробництва зернових сільськогосподарських культур дозволяє очікувати значення річного економічного ефекту від впровадження результатів в 721,83 грн./га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abbas Rohani, Mohammad Hossein Abbaspour–Fard, Shamsolla Abdolapour. Prediction of tractor repair and maintenance costs using. Artificial Neural Network. Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38. P. 8999–9007.
2. Abdelkarim D. Elfadil, Mamoun I. Dawelbeit, Abdalla S. Abdalla, Yousof E. Youfof. Breakdowns and Associated Downtime for Trucks Employed in Sugarcane Transportation. Gezira Journal of Engineering and Applied Sciences. 2013. Vol. 3, № 1. P. 1–5.
3. Affene M. A., Kartoshkin A. P. Post-graduate qualification improvement agro-engineers on the problems of technical devices. International Conference on Engineering Education and Research «ICEER-2013», Marrakesh, 2013. P. 410–417.
4. Badretdinov I., Mudarisov S., Lukmanov R., Permyakov V., Ibragimov R., Nasyrov R. Mathematical modeling and research of the work of the grain combine harvester cleaning system. Computers and Electronics in Agriculture. 2017. Vol. 165. No.104966.
5. Baerdemaeker J. D., Saeys W. Advanced Control of Combine Harvesters. IFAC Proceedings. 2013. Vol. 46, issue 5. <https://doi.org/10.3182/20130828-2-SF-3019.00069>.
6. Balinova A. Ion-pairing mechanism in the solid-phase extraction and reversed-phase high-performance liquid chromatographic determination of acidic herbicides in water. Journal Chromatogr. 2016. Vol. 728. P. 319–324.
7. Becker R., Bubner B., Remus R., Wirth S., Ulrich A. Impact of multi-resistant transgenic Bt maize on straw decomposition and the involved microbial communities. Appl Soil Ecol. 2014. Vol. 73 (1). P. 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.08.002>.
8. Berenghem C., Schladover S., Coelingh E. Overview of platooning systems. In Proceedings of the 19th ITS World Congress, Oct 22-26, Vienna, Austria. 2012. https://www.researchgate.net/publication/256670304_Overview_of_platooning_systems.
9. Bhondave Babu. Design and development of electro hydraulics hitch control for agricultural combine. SAE international journal of commercial vehicles. 2017. Vol. 10, Issue 1. P. 405–410.

10. Bilde M. L., Revsbeck T. Optimized material flow and cleaning capacity with ew return pan system in a combine harvester. *Landtechnik AgEng Proceedings*. 2017. P. 105–110.
11. Bilde M.L., Revsbeck T. Optimized material flow and cleaning capacity with ew return pan system in a combine harvester. In *Landtechnik AgEng Proceedings*, 2017. P. 105–110.
12. Bormann B., Middelberg R. Performance enhancement in combine harvesters through auto crop flow control. *Landtechnik AgEng Proceedings*. 2015. P. 87–93.
13. Bortolini M., Cascini A., Gamberi M., Mora C., Regattieri A. Sustainable design and life cycle assessment of an innovative multi-functional haymaking agricultural machinery. *J. Clean Prod.* 2014. Vol. 82 (2). P. 23–36. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.054>.
14. Bosch Dianostics Soft. ESItronic. Combines. Diagnosis and Technics: A, C, D, E, F, K, M, P, W. Robert Bosch GmbH. Bosch Aftermarket. D-76225, Karlsruhe, 2019. 1027 p.
15. Boyko A., Novitskiy A. Mathematical model of reliability of human-machine system under reduced efficiency of its generalized work. *Machinery & Energetics*. Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 3. 271. P. 165–174.
16. Bukta A. J., Sakai K., Sasao A. Free play as a source of nonlinearity in implement systems during transport. *Transactions of the ASAE*. 2017. Vol. 45. Issue 3. P. 503–508.
17. Casandroiu T., Popescu M., Voicu G. Developing a mathematical model for simulating the seeds separation process on the plane sieves. *Scientific Bulletin-University Politehnica of Bucharest, Series D*. 2019. Vol. 71. No. 3. P. 17–28.
18. Chen J., Zheng S., Shijie L., Zheng Y. Research of predictive system for feed quantity of combine based on fuzzy neural network. *Proceedings 2011 8th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, FSKD*. 2011. P. 863–867.
19. Chen S., Zhang Z., Wang Z., Guo X., Liu M., Hamoud Y. A., Qiu R. Effects of uneven vertical distribution of soil salinity under a buried straw layer on the growth, yield and fruit quality of plants. *Sci Hortic.* 2016. Vol. 203 (1). P. 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.03.024>
20. Cherkasov Yu. B., Shepelev S. D., Shepelev V. D. Differentiation of the seasonal loading of combine harvester depending on its technical readiness. *Procedia Engineering*. 2015. № 129. P. 161–165.

21. Cherkasov Yu., Shepelev S., Shepelev V. Differentiation of the seasonal loading of combine harvester depending on its technical readiness. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 129. P. 161–165.
22. Cooke I. R., Mattison E. H. A., Audsley E., Bailey A. P., Freckleton R. P., Graves A. R., Morris J., Queensborough S. A., Sanders D. L., Siriwardena G. M., Trawick P., Watkinson A. R., Sutherland W. J. Empirical test of an agricultural landscape model: the importance of farmer preference for risk aversion and crop complexity. *Sage Open*. 2013. Issue 3(2). doi: 10.1177/2158244013486491.
23. Djema M., Hamouda K., Babichev A., Saidi D., Halimi D. The impact of mechanical vibration on the hardening of metallic surface. *Advanced Materials Research*. 2013. Vol. 626. P. 90–94.
24. Dorokhov A., Khamyev V., Lepeshkin K. Modernization of grinding machines of grain cleaning machines. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. No. 05009.
25. Enakiev Yu., Domuschi D., Mihov M. Ensuring operational reliability of combine harvesters when harvesting grain crops. *Scientific proceedings IV International scientific and technical conference "Agricultural machinery"*. 2016, Year XXIV, Volume 2, pp. 87-91.
26. FAO Report. Crop Prospects and Food Situation. Published by the Trade and Markets Division of FAO under the Global Information and Early Warning System. No. 4, December 2014. Viale delle Terme di Caracalla, Rome. 26 p.
27. Florian Klingler, Johannes Blobel, Falko Dressler. Agriculture meets IEEE 802.11p: A Feasibility Study. *ISWCS*. 2018. P. 1–6.
28. Gilles T. Automotive engines: diagnosis, repair, rebuilding. Clifton Park, NY: Thomson/Delmar Learning, 2018. 734 p.
29. Giyevskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 327. No. 042035.
30. Golpira H., Tavakoli T., Baerdemaeker J. D. Design and development of a chickpea stripper harvester. *Span J. Agric Res*. 2013. Vol. 11 (4). P. 929–934. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013114-3393>.
31. Grisso R. D., McCullough D., Cundiff J. S., Judd J. D. Harvest schedule to fill storage for year-round delivery of grasses to biorefinery. *Biomass Bioenerg*. 2013. Vol. 55 (3). P. 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.027>.

32. Guo L., Yue L., Xirui Z., Xueshang W., Jiao S. Design on the flail of straw chopper machine to field. *J. Agric Mechan Res.* 2014. Vol. 32 (8). P. 122–125.
33. Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., Otterdijl R. V., Meybeck A. Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2011. P. 107–119.
34. Hall A. D. A methodology for systems engineering. Princeton, N. J., Van Nostrand. 2017. Vol. 2. P. 40–46.
35. Hamaiunova V., Hlushko T., Honenko L. Preservation of soil fertility as basis for improving the efficiency of management in the Southern Steppe of Ukraine: scientific development and achievements. London. 2018. Vol. 4. P. 13–27. Includes bibliographical references and index. ISBN 978-1-9993071-0-3.
36. Harrington J., Munshi S., Nedelcu C. Direct section of natural gas in a heavy-duty diesel engine. *SAE Technical Paper Series.* 2012. № 2002-01-1630. P. 1–10.
37. Hermann D. Optimisation of Combine Harvesters using Model-based Control. Ph.D. dissertation. DTU Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby. 2018. 230 p.
38. Hermann, D. Optimisation of Combine Harvesters using Model-based Control. DTU Elektro. Kgs. Lyngby. 2018. 230 p.
39. Hoskison R. E., Strategic logistic and Globalization. Oxford, Oxford University Press. 2009. 624 p.
40. Ildar Badretdinov, Salavat Mudarisov, Ramil Lukmanov, Radik Ibragimov, Valeri Permyakov, Marat Tuktarov. Mathematical modeling and study of the grain cleaning machine sieve frame operation. 2018. Vol. 60. Issue 1. P. 19–28.
41. Izmailov A. Yu., Moskovsky M. N., Podlesnyi D. S. Development of a set of working units from polymeric materials for the design of combine harvesters. International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018) electronic edition. "MATEC Web of Conferences" 2018. No. 05010.
42. Jin C. Q., Tang Z. Y., Jin M., Wu C. Y. Design and experiment of straight baler device behind combine harvester. *J Agric Mechan Res.* 2011. Vol. 7. P. 147–150. http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTotat-NJYJ201107035.htm.
43. Josse De Baerdemaeker, Wouter Saeys. Advanced Control of Combine Harvesters. 4th IFAC Conference on Modelling and Control in Agriculture, Horticulture and Post Harvest Industry August 27-30, 2013. Espoo, Finland. doi:10.3182/20130828-2-SF-3019.00069.

44. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

45. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

46. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93–102.

47. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Algorithm of construction of system of technical maintenance of combine harvesters by method of back propagation of error. Strategy of Quality in Industry and Education: XIV International conference, Varna, Bulgaria, July 4-7, 2018: proceedings. Varna. 2018. Vol. II. P. 289–294.

48. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Determining optimal period of technical maintenance of combine harvesters. Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and Auto Transport: International scientific symposium, Chisinau, Moldova, October 4-6, 2018: proceedings. Chisinau. 2018. P. 254–258.

49. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Обуховські читання: XIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6 березня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 72–74.

50. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 25–29 березня 2019 року. Київ. 2019. С. 147–149.

51. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Formalization of provisions of maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року: тези доповіді. Київ. 2018. С. 10–13.

52. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Innovation of major systems and maintenance strategies combine harvesters. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. С. 69–71.

53. Konstantin Beckmann, M. Schwarz, S. Böttinger, R. Bölling, L. Frerichs, and M. Eberhorn. Experimental determination of the segregation process using computer tomography. *Landtechnik*, 2016. Vol. 71(4). P. 131–138.

54. Konstantin Beckmann, M. Schwarz, S. Böttinger, R. Bölling, L. Frerichs, and M. Eberhorn. Experimental determination of the segregation process using computer tomography. *LandTechnik*. 2016. Vol. 71(4). P. 131–138.

55. Kovalyshyn S., Shvets O. Study of efficiency of additional cleaning of rape seeds on the electrofrictional separator. VI International Scientific Congress A machinery. Year II, Volume 1/3, June 2018. Proceedings. Volume 1. Agricultural machines. Research and testing. New machine designs. 25.06–28.06.2018. Burgas, Bulgaria. P. 13–15.

56. Kozachenko O., Pakhuchyi A., Shkregal O., Dyakonov S., Bleznyuk O., Kadenko V. Results of numerical modeling of the process of harvesting the seeds of flax by a harvester of the stripping type. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 3(1-99). С. 66–74.

57. Kundu D., Gupta A.K. On bivariate Weibull-geometric distribution. *Journal of Multivariate Statistic*. 2014. Vol. 123. P. 19–29.

58. Kviz Z., Kumhala F., Masek J. Plant remains distribution quality of different combine harvesters in connection with conservation tillage technologies. *Agron Res*. 2015. Vol. 13 (1). P. 115–123.

59. Langer T. H., Ebbesen M. K., Kordestani A. Experimental analysis of occupational whole-body vibration exposure of agricultural combine. *Int. J. Indust Ergon*. 2015. Vol. 47 (2). P. 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.02.009>.

60. Lenaerts B., B. Missotten J. De Baerdemaeker, Saeys W. Lidar sensing to monitor straw output quality of a combine harvester. *Comp. Electron. Agric*. 2012. Vol. 85(1). P. 40–44.

61. Li H. T., Huang P. Shu C. X. Research status quo and development trends of harvesting mechanization technology on rice, wheat and rape in China. *Agric Eng*, 2013. Vol. 3 (5). P. 1–6.

62. Li Y. M., Xu J., Xu L. Z., Yin J. J. Test and analysis of straw compression and baling, advanced materials research. Trans Tech Publ. 2012. Vol. 347. P. 2626–2629.
63. Lotfie A. Yousif, Mohamed H. Dahab, Haitham R. El Ramlawi. Crop-machinery management system for field operations and farm machinery selection. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development. 2013. Vol. 5(5). P. 84–90. doi 10.5897/JABSD2013.0205.
64. Lotjonen T., Paappanen T. Bale density of reed canary grass spring harvest. Biomass Bioenerg. 2013. Vol. 51 (1). P. 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.12.041>.
65. Ma L., Song X., Wang H., Xu X., Han T., Guo H. Screening Kinematics Analysis of Cleaning Organs and Extractives. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 452. No. 042123.
66. Maldague X. Theory and practice of infrared fore nondestructive testing. John Wiley & Sons. Inc. USA. 2011. 684 p.
67. Martelli R., Bentini M. Harvest storage and handling of round and square bales of giant reed and switchgrass, an economic and technical evaluation. Biomass Bioenerg. 2015. Vol. 73 (1). P. 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.12.008>.
68. Marxen A., Klotzbücher T., Jahn R., Kaiser K., Nguyen V. S., Schmidt A., Vetterlein D. Interaction between silicon cycling and straw decomposition in a silicon deficient rice production system. Plant Soil. 2016. Vol. 398 (2). P. 153–163. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2645-8>.
69. Mathanker S. K., Hansen A. C. Impact of miscanthus yield on harvesting cost and fuel consumption. Biomass Bioenerg. 2015. Vol. 81 (1). P. 162–166. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.024>.
70. Mathanker S. K., Maughan J. D., Hansen A. C., Grift T. E., Ting K. C. Sensing miscanthus swath volume for maximizing baler throughput rate. TASABE. 2014. Vol. 57 (2). P. 355–362.
71. Methodes modernes d'organisation de la maintenance del'entre tien et de la reparation des machines dans les grandes entreprises agricoles: Rapport № 118 / AGRI / MECH - Neu York: Nations Unies, 2017. 27 p.
72. Methodes modernes d'organisation de la maintenance del'entre-tien et de la reparation des machines dans les entreprises agricoles de familles: Rapport 110/AGRI/MECH. New York: Nations Unies, 2016. 32 p.

73. Mingze Y., Bo L., Tieliang W., Xue F. Effects of straw size in buried straw layers on water movement in adjacent soil layers. *Int J Agr Biol Eng.* 2016. Vol. 9 (2). P. 74–84.

74. Mozner Z., Tabi A., Csutora M. Modifying the yield factor based on more efficient use of fertilizer e the environmental impacts of intensive and extensive agricultural practices. *Ecol Indic.* 2012. Vol. 16 (1). P. 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.06.034>.

75. Mudarisov S., Khasanov E., Rakhimov Z., Gabitov I., Badretdinov I., Farchutdinov I., Galliamov F., Davletshin M., Aipov R., Jarullin R. Specifying Two-Phase Flow in Modeling Pneumatic Systems Performance of Farm Machines. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments.* 2017. Vol. 40. No. 4. P. 706–715.

76. Novitskiy A., Karabinhosh S. Some aspects of information support for operability of complex agricultural machinery. *Machinery & Energetics.* Kyiv. Ukraine. 2018. Vol. 9. No. 2. 241. P. 106-121.

77. Novitskiy Andrey. Professional Reliability of Personnel in System of Development of Innovative Processes. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering.* Lublin-Rzeszow. 2018. Vol. 18. No 2, P. 93-102.

78. Okunola A.A., Isaac-Bamgboye A., Olayanju A., Osueke Ch.O., Alhassan E.A. Development of a cleaner cum grader for cottage industry processors. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology.* 2018. Vol. 9. No. 11. P. 2339–2351.

79. Oltean Gh., Cramariuc R., Oltean M. I., Ianosi M., Turcu C., Pamfi Gh., Aldea C. Using soil electrical conductivity maps in improving the crop technology in precision farming. Abstracts of papers and posters, 16th Triennial Conference of the EAPR. 2005. July 17-22, Bilbao, BI-1.688-05, Spain, P. 544–556.

80. Osueke E. Simulation and optimization modeling of performance of a cereal thresher. *Int J Eng Technol IJETIJENS.* 2011. Vol. 11 (3). P. 143–152.

81. Petre I. Miu. Combine harvesters: theory, modeling, and design : monograph. Paris. 2015. CRC Press Taylor and Francis. 230 p.

82. Pishgar-Komleh, Sh, A. Keyhani, M. R. Mostofi-Sarkari, and A. Jafari. 2012. Application of response surface methodology for optimization of picker-husker harvesting losses in corn seed. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 3(2). P. 134-142.

83. Popov I.P., Chumakov V.G., Terentev A.D. Reduction of drive power of sieve frame grain cleaning machines. Scientific and technical Bulletin of St. Petersburg State Polytechnic University. 2015. Vol. 2. No. 219. P. 175–181.

84. Rademacher T. Mähdrescher. Die Qual der richtigen Wahl. Getreide Magazin. 2013. H 3. S. 186–191.

85. Redreev G. V. Ensuring Machine and Tractor Aggregates Operability. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 142. Issue 1. URL:<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/142/1/012085>.

86. Redreev G. V., Luchinovich A. A., Ustiyantsev E. I., Laskin A. S. Information system of machines and tractors fleet technical service. IOP Conference Series: Journal of Physics. Vol. 1059, conference 1. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1059/1/012003>.

87. Redreev G. V., Myalo O. V., Prokopov S. P., Solomkin A. P., Okunev G. A. Machine-tractor aggregates operation assurance by mobile maintenance teams. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. Vol. 221, conference 1. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/221/1/012016>.

88. Redreev G. V., Shimokhin A. V., Kiyko P. V. Perfection of technical service of manufacturing plants equipment. IOP Conference Series: Journal of Physics, Vol. 1059, conference 1. URL:<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1059/1/012008>.

89. Rozwadowski J., Toirov F., Voitovska Y. The agriculture sector in eastern Ukraine: analysis and recommendations. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. Available at: https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/the_agriculture_sector_in_eastern_ukraine_analysis_and_recommendations-compressed.pdf.

90. Saitov V.E., Kurbanov R.F., Suvorov A.N. Assessing the Adequacy of Mathematical Models of Light Impurity Fractionation in Sedimentary Chambers of Grain Cleaning Machines. Procedia Engineering. 2016. Vol. 150. P. 107–110.

91. Sangwijit, P., and W. Chinsuwan. Prediction equations for losses from Thai axial flow rice combine harvesters. Thai Journal of Agricultural Science, 2011. 44(1). P. 23–31.

92. Savinyh P., Sychugov Y., Kazakov V., Ivanovs S. Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening

forage grain. 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development. 2018. P. 124–130.

93. Sheychenko V., Anelak M., Kuzmych A., Gritsaka O., Dudnikov I., Tolstushko N. Investigation of the grain separation process in the three-drum threshingseparating device of a combine harvesterscientific. VI International scientific congress agricultural machinery. 25.06 – 28.06.2018 Burgas, Bulgaria, P. 27-32.

94. Shinnars K. J., Schlessner W. M. Reducing baler losses in arid climates by steam re-hydration. *Appl Eng Agr.* 2014. Vol. 30 (1). P. 11–16.

95. Špokas L., Adamchuk V., Bulgakov V., Nozdrovický L. The experimental research of combine harvesters. *Research in Agricultural Engineering.* 2016. Vol. 62. P. 106–112.

96. Singh K. P., Pardeshi I. L., Kumar M., Srinivas K., Srivastava A. K. Optimisation of machine parameters of a pedal-operated paddy thresher using RSM. *Biosyst Eng.* 2008. Vol. 100 (4). P. 591–600. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.05.004>.

97. Singh K.P., Agrawal K.N., Hota S., Potdar R.R., Tiwari P.S. Effect of moisture content on physical properties of finger millet (*eleusine coracana*). *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America.* 2017. Vol. 48. No. 4. P. 24–32.

98. Sokhansanj S., Webb E., Turhollow A. Cost impacts of producing high density bales during biomass harvest. *Am Soc Agr Biol Eng.* 2014. Vol. 16 (1). P. 13–16.

99. Song D., Wang G., Xue Z., Zhang J., Huang Z., Yang Z. Design and Analysis on compression mechanism of small square bales of sugarcane leaf Baler. *Agr Sci Technol.* 2014. Vol. 15 (10). P. 1812–1815.

100. Song Y., Acker G., Schaetzle W. Knock limitations of methane-air mixtures in a turbocharged dual-fuel engine. *SAE Technical Paper Series.* 2017. № 870794. P. 10–19.

101. Špokas L. Influence of technological parameters of combine harvester “New Holland” to grain macro damage. *IAG Eng LUA&LU of Ag.* 2006. Vol. 38. P. 27–41.

102. Špokas L., Adamčuk V., Bulgakov V., Nozdrovický L. The experimental research of combine harvesters. *Res. Agr. Eng.* 2016. Vol. 62. P. 106–112. doi: 10.17221/16/2015-RAE.

103. Špokas L., Steponavičius D., Wacker P. Besonderheiten der Dinkelernte und des Ausdruschprozesses bei Dinkel. Tagungsband VDI – MEG – Kolloquium Landtechnik. Mähdrescher. 2005. H 38. S. 95–102.
104. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Engineering Principles of agricultural machines. 2006. 2nd Ed., St Joseph, ASABE. 226 p.
105. Steponavičius D., Špokas L., Petkevičius S. The influence of position of the first straw walkers section on grain separation. Agronomy Research. 2018. Vol. 6. P. 377–385.
106. Stotsko Z., Kusyj J., Topilnytskyj V. Research of vibratory-centrifugal strain hardening on surface quality of cylindric long-sized machine parts. Journal of Manufacturing and Industrial Engineering. 2012. Vol. 11. P. 15–17.
107. Susumu U., Shigeki I. Operators' capability and facilities availability for repair and maintenance of small tractors in riau province, indonesia: a case study. Journal of Agricultural Science. 2012. Vol. 4. No 3. P. 71–78.
108. Tang Z., Li Y. M., Wang C. H. Experiments on variable mass threshing of rice in the tangential-longitudinal-flow combine harvester. J Agr Sci Technol. 2013. Vol. 15 (6). P. 1319–1334.
109. Valentin V., Lucreția P., Sorin B., Sorin B., Aurel D. Contributions to modeling the threshing and separating process within a threshing apparatus with axial flow. UPB Sci Bull. 2009. Vol. 71 (1). P. 150–158.
110. Vasylieva N., Pugach A. Economic assessment of technical maintenance in grain production of Ukrainian Agriculture. Bulgarian Journal of Agricultural Science 2017. Vol. 23(2). P. 198–203.
111. Voicu G., Casandroiu T., Tarcolea C. Testing stochastic models for simulating the seeds separation process on the sieves of a cleaning system and a comparison with experimental data. Agriculturae Conspectus Scientificus. 2008. Vol. 73. No 2. P. 95–101.
112. Wacker P. Einfluß von Stoffeigenschaften auf die Mähdruscheignung von Körnerfrüchten. Engineering. University of Agriculture. 2003. Band 6. H 1. S. 21–26.
113. Wang F. D., Chen Z., Wang J. Y., Wang X. W., Chen F. Design and experiment of 4YF-1300 large rectangular baler. J Chin Soc Agr Machin. 2009. Vol. 40 (11). P. 36–40.

114. Xie Y., Alleyne A. G., Greer A., Deneault D. Fundamental Limits in Combine Harvester Header Height Control. *J. Dyn. Sys., Meas., Control.* 2013. Vol. 135(3), 034503.
115. Xiong Y., Li H., Zhang S., Chen L., Li X., Han L. Motion laws and design basis of the knoter wiper mechanism. *J Agr Mechan Res.* 2015. Vol. 27 (7). P. 113–118.
116. Zareei S., Abdollahpour S., Moghaddam M., Sahrayan H. Optimum setting of combine header for wheat harvesting using Taguchi method. *Research on Crops*, 2012. 13(3). P. 1142–1146.
117. Zhalnin E. V., Cench Yu. S., Pyanov V. S. Technique for analyzing the technical level of combine harvesters by functional and design parameters. *Agricultural Machines and Technologies.* 2018. Vol. 12. No. 2. P. 4–8.
118. Zhang X., Geimer M., Grandl L., Kammerbauer B. Method for an electronic controlled platooning system of agricultural vehicles. *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety (ICVES 2009).* Pune: IEEE, Nov. 2009. P. 156–161.
119. Zhenwei Liang, Yaoming Li, Lizhang Xu, Zhan Zhao, and Zhong Tang. Optimum design of an array structure for the grain loss sensor to upgrade its resolution for harvesting rice in a combine harvester. *Biosystems Engineering.* 2017. Vol. 157. P. 24–34.
120. Абдразаков Эльдар Фяридович Совершенствование организации технического сервиса машинно-тракторного парка (на примере Саратовской области): Дисс. канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУВО СГАУ. Саратов. 2012. 147 с.
121. Адамчук В. В., Насонов В. А., Кюрчев В. М., Надикто В. Т. Розроблення і впровадження в агропромислове виробництво комплексів технічних засобів для вирощування зернових та інших культур за енерго-, ресурсощадними технологіями: монографія. Київ. Аграрна наука. 2016. 368 с.
122. Адигамов Н. Р. Теория и методы расчета повышения технологической надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03. Адигамов Наиль Рашатович. Казань, 2002. 32 с.
123. Альт В. В. Информационные технологии как фактор повышения эффективности агропромышленного комплекса. *Информационные технологии, си-*

стемы и приборы в АПК: материалы 4-ой междунар. науч.-практ. конф. «АГРО-ИНФО-2009». Новосибирск, 2009. С. 47–57.

124. Анілович В. Я., Грінченко О. С., Литвиненко В. Л. Надійність машин в завданнях та прикладах: монографія. Харків: Око. 2001. 320 с.

125. Аносова Анна Иннокентьевна Совершенствование технического сервиса сельскохозяйственной техники на основе комплексной оценки и анализа технологического уровня ремонтных мастерских: Дисс. канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУВО ИГСХА. Иркутск. 2014. 150 с.

126. Антонов А. В., Никулин М. С. Статистические модели в теории надежности. Москва: Абрис, 2012. 390 с.

127. Антощенко Р. В. Динаміка та енергетика руху багатоеlementних машинно-тракторних агрегатів: монографія. Харків. ХНТУСГ. 2017. 244 с.

128. Антощенко Р. В. Динаміка та енергоефективність багатоеlementних сільськогосподарських агрегатів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Харків, 2018. 40 с.

129. Артёмов М. П. Динамічна стабільність мобільних сільськогосподарських агрегатів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Харків, 2014. 41 с.

130. Асланян А. Е., Бельська О. А. Локалізація несправностей в лінійних динамічних системах ОВТ. Збірник наукових праць ЦНДІ ОВТ. Київ. ЦНДІ ОВТ. 2017. Вип. 18. С. 3–8.

131. Аулін В. В., Лисенко С. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Мартиненко О. Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського нац. техн. університету сільського господарства. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. Харків. 2015. Вип. 158. С. 252–262.

132. Аулін В. В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегій технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2015. Вип. 28. С. 126–131.

133. Аффене Мохамед Али. Совершенствование организации технического обслуживания тракторов и автомобилей в условиях Республики

Тунис: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. СПбГАСУ. Санкт-Петербург. 2015. 233 с.

134. Бальченко І. В. Інформаційна технологія планування робіт в автоматизованій системі управління сільськогосподарським підприємством : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06. Чернігівський національний технологічний університет. Чернігів, 2015. 150 с.

135. Бердникова Р. Г. Техническое обслуживание тракторов с использованием системы информационного обеспечения: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ГНУ СибИМЭ. Новосибирск. 2013. 151 с.

136. Бойко А. І., Савченко В. М., Крот В. В. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків, 2016. Вип. 6. С. 75–80.

137. Боков К. С. Повышение экологической безопасности при механизации технологических процессов в агропромышленном комплексе: Дисс. канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУВО АГТУ. Барнаул. 2014. 214 с.

138. Большаков В. Н., Новицький А. В., Тарасенко С. Є. Правове забезпечення проведення моніторингу надійності сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2014. Вип. 196, ч. 2. С. 179–187.

139. Бурлака О. А., Яхін С. В., Дудник В. В., Іванкова О. В., Дрожжана О. У. Багатокритеріальний вибір сучасних зернозбиральних комбайнів. аналітичні аспекти. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2019. Вип. 199. С. 5–20.

140. Варнаков В. В., Стрельцов В. В., Попов В. Н., Карпенков В. Ф. Технический сервис машин сельскохозяйственного назначения : монография. Москва. Колос, 2000. 256 с.

141. Варнаков Д. В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей транспортных средств: монография. Ульяновск: УлГУ, 2013. 124 с.

142. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки : дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Таврійський державний агротехнічний університет. Мелітополь, 2012. 382 с.

143. Воробьев С. А. Методика оценки влияния условий эксплуатации на техническую готовность автотранспортных средств. Дисс. ... канд. техн. наук. 05.22.10 Эксплуатация автомобильного транспорта. Воробьев Сергей Александрович. СПбГАСУ. Санкт-Петербург. 2013. 186 с.

144. Гаврилова Т. А. Логико-лингвистическое управление как введение в управління. Новости искусственного интеллекта. 2012. № 6. С. 34–40.

145. Галиев И. Г., Хусаинов Р. К. Определение перечня факторов, характеризующих условия эксплуатации зерноуборочных комбайнов. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. №3 (37). С. 77–80.

146. Герасимов В. С., Игнатов В. И., Буряков С. А., Миклуш В. П. Технологические уклады и оборачиваемость материальных ресурсов на этапах жизненного цикла сельскохозяйственной техники. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2017. № 10. 37–43.

147. Грачёв Р. Ю. Повышение эффективности эксплуатации машин технологического комплекса методом частичного резервирования (на примере культур технических работ) : автореф. дис. на соискание науч. степени к-та техн. наук : 05.20.01. Москва, 2007. 18 с.

148. Гринченко А. С. Механическая надежность мобильных машин: оценка, моделирование, контроль: монография. Харьков: Апостроф, 2012. 259 с.

149. Дерев'янюк Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння: монографія. Житомир, 2018. 772 с.

150. Дерев'янюк Д. А. Механіко-технологічне обґрунтування процесів зниження травмування насіння зернових культур технічними засобами : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2018. 47 с.

151. Дерев'янюк Д. А. Синтез конструкцій високопродуктивних самохідних зернозбиральних комбайнів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020. Vol. 11. No 2. 131-136.

152. Домущи Д. А., Игнатов В. Д., Енакиев Ю. И. Эксплуатационное обеспечение работоспособности зерноуборочных комбайнов Дон-1500 на уборке зерновых культур. Аграрний вісник Причорномор'я: технічні науки. Одесса. 2004. № 24. С. 138–145.

153. Домуши Д. П., Тарасенко А. Ю., Дімов Д. Д. Забезпечення надійності зернозбиральних комбайнів обґрунтуванням потреби в запасних частинах. Аграрний вісник Причорномор'я: технічні науки. Одеса. 2009. № 48. С. 187–190.
154. Домуші Д. П. Методи обґрунтування оптимальної тривалості збирання урожаю зернових культур. Аграрний вісник Причорномор'я: технічні науки. Одеса. 2014. № 74. С. 64–68.
155. Дринча В. М., Мошкин Н. И. Диагностирование систем и агрегатов АТС с помощью ЭВМ. Тракторы и сельскохозяйственных машины. 2017. №7. С. 45–47.
156. Думенко К., Шевченко Е. Моделирование процесса обеспечения надежности зерноуборочного комбайна. MOTROL. Lublin–Rzeszów. 2012. Vol. 14. № 2. Р. 51–56.
157. Есин Олег Александрович Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники путем централизации технического сервиса (на примере дилерских предприятий Саратовской области): Дисс. канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУВО СГАУ. Саратов. 2016. 153 с.
158. Заблоцкий Ю. В. Повышение надежности работы топливной аппаратуры высокого давления судовых дизелей за счет оптимизации режимов смазывания прецизионной пары плунжер-втулка. Universum: Технические науки : электронный научный журнал. 2016. № 7(28). С. 13–18.
159. Заславський В. А. Принцип різнотипності та особливості дослідження складних систем з високою ціною відмови. Вісник Київського університету. Серія: фізико-математичні науки. 2016. №1. С. 136–147.
160. Зигель А., Вольф Д. Модели группового поведения в системе человек-машина: монография. Москва. 2013. 261 с.
161. Зубко В. М. Прилади, обладнання та системи оцінки якості проведення збирання зернових культур. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2019. Вип. 199. С. 109–121.
162. Зябиров И. М. Контроль параметров технического состояния вариаторов частоты вращения рабочих агрегатов зерноуборочных комбайнов. Нива Поволжья. 2018. № 1 (48). С. 21–24.

163. Зябиров И. М., Мачнев В. А. Дистанционный контроль параметров технического состояния рабочих агрегатов зерноуборочных комбайнов. Нива Поволжья. 2016. № 4 (41). С. 75–79.

164. Іванкова О. В. Дослідження впливу відновлення деталей вібраційним деформуванням на післяремонтний ресурс машин. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2018. Вип. 192. С. 108–117.

165. Калачин С. В. Оптимизация режимов работы машинно-тракторного агрегата на основе непрерывного контроля интенсивности изменения его эксплуатационных параметров : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. Калачин Сергей Викторович. Саранск, 2011. 32 с.

166. Калініченко Д. Ю. Сучасний стан зернозбирального парку України в контексті машиновикористання. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. VII Міжнародна наукова конференція в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019»: збірник тез. м. Київ, Україна, 04-07 червня 2019 року. Київ. 2019. С. 92.

167. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

168. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні моделі параметрів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 6 (83). 13 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13472/11693>. doi:10.31548/dopovidi2019.06.

169. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 5 (82). 18 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13314/11632>. doi:10.31548/dopovidi2019.05.015.

170. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні підходи забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів з врахуванням умов експлуатації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової

техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 25 (39). С. 106–112. doi:10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-11.

171. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

172. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Вихідні дані при формуванні математичного апарату контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. V Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 05–06 червня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 46–47.

173. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Загальні положення структурної схеми АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 296. С. 155–160. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.155-160.

174. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного контролю зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 335–344.

175. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделі технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць зернозбиральних комбайнів. Сучасні технології аграрного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 7–9 листопада 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 65–68.

176. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному обслуговуванні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 361–370.

177. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделювання циклів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Праці Таврійського державного

агротехнологічного університету. Мелітополь. 2018. Вип. 18. Том 2. С. 225–237. doi: 10.31388/2078-0877-18-2-224-236.

178. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Огляд основних стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів і їх складових факторів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. IV Всеукраїнська науково-практична конференція. м. Житомир, Україна, 28–29 березня 2018 року: тези конференції. ЖАТК. 2018. С. 221–222.

179. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Постановка завдання класифікації ремонтного фонду зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–22 травня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 139–140.

180. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Працездатність нагнітальних клапанів паливної системи зернозбиральних комбайнів. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна, 1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. ЦНТУ. 2017. С. 134–136.

181. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Пристосованість зернозбиральних комбайнів до контролю параметрів технічного стану. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 298. С. 137–147. doi: 10.31548/me.2018.04.137-147.

182. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливоподачі низького тиску сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIII всеукраїнська конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 11–15 березня 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 121–122.

183. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Рішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбирального комбайна на основі ШНМ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 297. С. 159-168. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.159-168.

184. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 251–252.

185. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Структурна схема АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. Т. 5. С. 216–217.

186. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Технічний засіб для перевірки прецизійних пар низького тиску паливних насосів сільськогосподарських машин. *Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities*”. Секція 5. Інженерія біосистем. Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 4–8 листопада 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 49–51.

187. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

188. Качурин Виталий Владимирович Обоснование количества мобильных звеньев для восстановления работоспособности посевных комбинированных агрегатов: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУВО ЧГАУ. Челябинск. 2014. 208 с.

189. Козаченко О. В. Проблеми та перспективи розвитку технічного сервісу машин АПК. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2014. Вип. 145. С. 3–7.

190. Козаченко О. В. Теорія технічної експлуатації: монографія. Харків. Міськдрук, 2015. 180 с.

191. Козаченко О. В., Блезнюк О. В., Сорокін С. П., Шкрегаль О. М., Каденко В. С. Визначення показників рівня технічної експлуатації та їх вплив на надійність техніки. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2020. №22. С. 242–254.

192. Козаченко О. В., Пахучий А. М., Шкрегаль О. М. Вплив конструктивно-режимних параметрів на формування повітряного потоку

обчисувальні жнивarki. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2020, Vol. 11. No 1. P. 21–27.

193. Козаченко О. В. Проблеми ресурсозбереження у сільськогосподарських агрегатах: монографія. Харків. Торнадо, 2008. 272 с.

194. Колпаков В. Е., Коротков А. А. Перспективы использования бесконтактных методов теплового контроля автотракторных дизелей. Вестник Петровской Академии. 2013. №2 (31). С. 230–238.

195. Костомахин Михаил Николаевич Влияние эксплуатационной надежности тракторов и зерноуборочных комбайнов на эффективность их использования: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ГОСНИТИ. Москва. 2008. 194 с.

196. Котенко С. С., Перепелиця Н. М. До методики розрахунку вартості агрегата-дня сільськогосподарської техніки. Сільськогосподарські машини. Луцьк, РВВ Луцького НТУ, 2014. Вип. 28. С. 32–37.

197. Кравченко И. Н. Обоснование технической оснащенности посевных и зерноуборочных процессов в условиях ограниченного ресурсного потенциала растениеводства (на примере лесостепной зоны Зауралья) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Челябинск, 2012. 18 с.

198. Кравчук В., Гусар В., Павлишин М. Агроінженерія: науково-випробувальні дослідження на сучасному етапі. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва України: Дослідницьке, 2018. Вип. 22 (36). С. 21–27.

199. Кравчук В., Новохацький М., Гусар В. Синтез техніко-технологічних рішень для розкриття і використання ресурсів агробіосфери. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 24 (38). С. 193–201.

200. Кравчук В., Баранов Г., Комісаренко О., Цулая А. Методологічні основи достовіризації прогнозування та випробування техніки і технологій. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 25 (39). С. 14–22.

201. Кулаков С. М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: монография. Новокузнецк: СибГИУ. 2019. 223 с.

202. Курочкин В. Н. Эффективность и надежность функционирования технологических систем эксплуатации машинно-тракторного парка : дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. Курочкин Валентин Николаевич. зерноград, 2001. 546 с.

203. Кухтов В. Г., Лисенко С. В., Самарін А. Є. Оцінка і прогнозування довговічності конструктивних елементів варіаторів зернозбиральних комбайнів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2013. Вип. 139. С. 231–239.

204. Кухтов В. Г., Лысенко С. В. Классификация отказов и оценка надежности деталей вариаторов зерноуборочных комбайнов. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2016. № 6. С. 18–23.

205. Логойда В. С. Изменение параметров технического состояния элементов лесотранспортных машин при эксплуатации. Системы. Методы. Технологии, 2017. №3(35). С. 149–153.

206. Логойда В. С. Метод индивидуального прогнозирования технического состояния лесотранспортных машин. Системы. Методы. Технологии, 2017. №3(35). С. 154–159.

207. Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем. Москва. Издательский дом «Вильямс», 2016. 864 с.

208. Мартынов Б. Г. Обоснование эффективной эксплуатации индивидуальных машин по результатам их технического состояния : автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03. Мартынов Борис Григорьевич. Санкт-Петербург. 2005. 362 с.

209. Мироненко В. Г. Передумови та особливості створення елементів штучного інтелекту в системах оперативного керування АПК. Вісник аграрної науки. 2016. № 5. С. 47–51.

210. Мироненко В. Г., Тютюнник Н. В. Система інформаційного забезпечення визначення раціонального терміну початку збирання врожаю зернових колосових культур. Механізація та електрифікація сільського господарства. 2019. Випуск 10 (109). С. 166-169.

211. Михайлов М. Р. К вопросу выбора математической модели оптимизации сезонной нагрузки зерноуборочных комбайнов в зависимости от их технического состояния. Вестник Орел ГАУ. 2013. №1 (40). С. 21–28.

212. Михайлов М. Р. К вопросу планирования сезонной нагрузки зерноуборочных комбайнов. Вестник Орел ГАУ. 2011. №2 (29). С. 63–65.

213. Михайлов М. Р. Оптимизация использования зерноуборочных комбайнов по параметрам надежности: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». Москва. 2013. 204 с.

214. Мошкин Н. И. Автоматизированные методы диагностирования АТС. Тракторы и сельскохозяйственных машины. 2017. №11. С. 45–46.

215. Надточій О., Тітова Л., Роговський І. Аналіз динаміки комбайнового ринку України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2016. Вип. 20. С. 254–262.

216. Назаров С. П., Ковальков С. В., Лаврухин А. А. Совершенствование орг-анизационно-технологической структуры системы технического сервиса. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2018. №8. С. 26–28.

217. Науково-випробувальні дослідження сільськогосподарської техніки і технологій: розвиток і диверсифікація. За ред. В. І. Кравчука; Міністерство аграрної політики та продовольства України. Дослідницьке, 2018. 259 с.

218. Некрасов А. А. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в сельскохозяйственном производстве: Дисс... канд. техн. наук 05.20.02 Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве. ФГБНУ ВИЭСХ, Некрасов Антон Алексеевич. Москва. 2015. 132 с.

219. Немцев А. Е. Система технического сервиса в АПК: монография. РАСХН: Сиб. от-деление. СибИМЭ. Новосибирск, 2012. 264 с.

220. Новицький А. В. Інноваційність надійного функціонування операторів складних технічних систем «людина-машина» в рослинництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 236–244.

221. Новицький А. В. Моніторинг матеріально-технічного забезпечення та надійності техніки АПК в системі розвитку інноваційних процесів. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019, Vol. 10, No 3, P. 87–94.

222. Новицький А. В., Новицький Ю. А. Технічна оцінка споживчих якостей сільськогосподарської техніки. Науковий вісник Національного

університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 264. С. 293–303.

223. Оборудование по техническому сервису машин: сайт. Режим доступа: <http://www.ecoserv.ru> (дата доступа 02.04.2020).

224. Пастухов В. И. Обоснование оптимальных комплексов машин для механизации полевых работ : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11. Харьков. нац. технич. ун-т. сель. хоз. имени Петра Василенко. Харьков, 2006. 419 с.

225. Патент на корисну модель України №127430, МПК (2006) B60P 3/00. Мобільний засіб технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803380, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

226. Патент на корисну модель України №127433, МПК (2006.01) G01M 15/04. Спосіб оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згорання зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803388, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

227. Патент на корисну модель України №127434, МПК (2006) B60S 5/00. Спосіб визначення екологічної безпеки технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803389, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

228. Петровец В. Р., Дудко Н. И., Самсонов В. Л. Технологический процесс, настройка, регулировка и контроль качества работы зерноуборочных комбайнов. Горки. БГСХА, 2012. 56 с.

229. Підгурський М. І. Барановський В. М., Ріпецький Є. Й. Порівняльний аналіз експлуатаційної надійності вітчизняної та зарубіжної складної сільськогосподарської техніки. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2011. Вип. 114. С. 27–33.

230. Привалов П. В. Организация технического сервиса машин в сельском хозяйстве и технологическое проектирование ремонтно-обслуживающих предприятий: монография. Новосибирск, 2013. 432 с.

231. Пронин В. М., Прокопенко В. А. Технико-экономическая оценка эффективности сельскохозяйственных машин и технологий по критерию часовых эксплуатационных затрат. Москва. Столичная типография, 2018. 162 с.

232. Редреев Г. В. Обоснование концепции обеспечения работоспособности машинно-тракторных агрегатов. Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. URL: www.science-education.ru/122-22971.

233. Редреев Г. В. Обоснование концепции обеспечения работоспособности машинно-тракторных агрегатов. Современные проблемы науки и образования. 2016. № 2–1. URL: <http://www.scienceeducation.ru/ru/article/view?id=22971>.

234. Редреев Г. В., Болтовский С. Н. Использование диагностической информации для повышения эффективности эксплуатации зерноуборочных комбайнов. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (32). С. 85–92.

235. Редреев Г. В., Сирык А. С. Совершенствование технологии технического обслуживания и технических средств контроля системы смазки двигателей. Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2040>.

236. Самсонов В. А., Зангиев А. А., Дидманидзе О. Н. Автоматизированное диагностирование ресурсосберегающих машинно-тракторных агрегатов: монография. Москва. Колос, 2017. 212 с.

237. Селезнёва Н. И. Разработка методики оценки качества оборудования для ремонтных предприятий: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУ ВПО РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева. Москва. 2016. 177 с.

238. Сидорчук О. В., Гадзало Я. М. Системні засади дослідження машин. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2013. Вип. 98. Т. 2. С. 444–452.

239. Симон Денис Владимирович Модульный принцип повышения эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ФГБОУ ВПО ДГТУ. Ротлов-на-Дону. 2016. 218 с.

240. Сорокін С. П., Козаченко О. В., Шкрегаль О. М., Каденко В. С., Блезнюк О. В., Зозуля Д. С. Обґрунтування параметрів пневмотестора для

контролю стану циліндро-поршневої групи двигуна. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. 2019. № 15. С. 49–59.

241. Степанов С. Г. Совершенствование гарантийного обслуживания машин как способ повышения их надежности. Техника и оборудование для села. 2012. № 4. С. 24–26.

242. Субочев С. В., Немцев А. Е. Метод обоснования эффективности зерноуборочных комбайнов. Труды ГОСНИТИ. 2013. Т. 113, ч. 2. С. 96–99.

243. Субочев С. В., Немцев А. Е., Коптева И. В. Влияние основных показателей надежности на эффективность зерноуборочных комбайнов. Вестник НГАУ. 2014. Вып. № 2 (31). С. 157–164.

244. Субочев С. В. Оценка эффективности зерноуборочных комбайнов по основным показателям надежности в условиях Сибири: Дисс. ... канд. техн. наук. 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. ГНУ СибИМЭ. Новосибирск. 2015. 182 с.

245. Технический осмотр зерноуборочных комбайнов в ООО «Союз-Агро». 2020. <http://gtm.tatarstan.ru/rus/index.htm/news/1246254.htm>.

246. Ткаліч О. П. Формалізована модель системи технічного обслуговування БРЕО. Математичні машини і системи. 2005. №2. С. 76–88.

247. Федоров А. Г. Организация технического обслуживания грузовых автомобилей с использованием интегрированной электронной нормативно-технической полнокомплектной документации и индивидуализированного прогнозирования технического состояния узлов и агрегатов: Дисс... канд. техн. наук 05.20.03 Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве. СибИМЭ СФНЦА РАН, Федоров Александр Георгиевич. Новосибирск. 2017. 212 с.

248. Федюшин А. И. Об одном способе повышения достоверности числового измерительного контроля. Український метрологічний журнал. 2019. № 1. С. 14–17.

249. Хабардин А. В. Математическое описание вероятностей раннего и позднего обслуживания при применении приборов с различной погрешностью. Вестник ИрГСХА. 2020. Вып. 57. С. 116–122.

250. Царев Ю.А. Алгоритм управления запасами, как метод управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов. Научный журнал КубГАУ. Краснодар: КубГАУ, 2016. №01(115). IDA [article ID]: 1151601015. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/01/pdf/15.pdf>, 1,313 у.п.л.

251. Царев Ю.А. Синтез модели управления эксплуатационной надежностью зерноуборочных комбайнов. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2015. № 11. С. 38–40.

252. Черноиванов В. И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства. Москва. ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 284 с.

253. Чубарева М. В., Хабардин А. В., Хабардин В. Н. Задача, критерий и алгоритм выбора технических средств диагностирования машин. Вестник ИрГСХА. 2011. Вып. 47. С. 108–115.

254. Шевченко С. А. Визначення середнього недовикористаного ресурсу агрегатів при обслуговуванні за станом при наявності інкубаційного етапу розвитку дефекту. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Харків. 2017. №7. С. 120–126.

255. Шевченко С. А. Дослідження залежності накопиченої тривалості відновлень машин рослинництва від напрацювання. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2017. Вип. 189. Т. 2. С. 43–53.

256. Шевченко С. А. Моделювання втрат врожаю внаслідок відмови машини при пропорційності втрат відхиленню від оптимального агростроку. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 255–265.

257. Шейченко В. О. Недовесов В. І., Анеляк М. М., Кузьмич А. Я., Грицака О. М., Дудніков І. А. Особливості обмолоту та сепарації зерна в багатобарабанному молотильно-сепарувальному пристрої. Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха, 2018. Вип. №7 (106). С. 63–73.

258. Шепелев С. Д., Плаксин А. М., Черкасов Ю. Б. Влияние срока службы и сезонной наработки на показатели эксплуатационной надежности зерноуборочных комбайнов. Агропромышленный комплекс России. 2016. Т. 75. № 1. С. 122–126.

259. Шепелев С. Д., Черкасов Ю. Б. Обоснование рационального уровня надежности технологических машин в зерноуборочном процессе. Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 5. С. 58–63.

260. Шило И. Н. Интеллектуальные технологии в агропромышленном комплексе. Минск: БГАТУ. 2016. 336 с.

261. Юдин М. И., Шепелев А. Б. Развитие технического сервиса машин в агропромышленном комплексе. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. №5. С. 7–9.

262. Якимов И. В., Кривцов С. Н. Анализ формирования утечек топлива в электрогидравлических форсунках двигателя. Вестник ИрГТУ. 2016. № 6 (113). С. 163–168.

Список опублікованих праць за темою дисертації

Стаття у науковому фаховому виданні України

1. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні положення визначення коефіцієнта динамічності параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2017. Вип. 21 (35). С. 55–61.

Статті у наукових фахових виданнях України,
включених до міжнародних наукометричних баз даних

2. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів та їх складових частин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 380–390.

3. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Штучні когнітивні системи в процесах технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 262. С. 353–361.

4. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Математичний апарат опису маршруту технічного контролю зернозбиральних комбайнів з урахуванням виявлення комбінацій відмов. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 275. С. 335–344.

5. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделювання операцій контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів при технічному обслуговуванні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 282. С. 361–370.

6. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Загальні положення структурної схеми АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Науковий вісник

Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 296. С. 155–160. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.155-160.

7. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Рішення завдання розпізнавання сполучень дефектів агрегатів зернозбирального комбайна на основі ШНМ. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 297. С. 159–168. doi: 10.31548/machenergy.2018.03.159-168.

8. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделювання циклів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь. 2018. Вип. 18. Том 2. С. 225–237. doi: 10.31388/2078-0877-18-2-224-236.

9. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Пристосованість зернозбиральних комбайнів до контролю параметрів технічного стану. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2018. Вип. 298. С. 137–147. doi: 10.31548/me.2018.04.137-147.

10. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні моделі режимів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 5 (82). 18 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13314/11632>. doi:10.31548/dopovidi2019.05.015.

11. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні підходи забезпечення технічної готовності зернозбиральних комбайнів з врахуванням умов експлуатації. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки, технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2019. Вип. 25 (39). С. 106–112. doi:10.31473/2305-5987-2019-2-25(39)-11.

12. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналітичні моделі параметрів технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України [електронне видання]. Київ. 2019. Вип. 6 (83). 13 с. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/13472/11693>. doi:10.31548/dopovidi2019.06.

Статті у наукових виданнях іншої держави

13. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin. 2017. Vol. 19. No 3. P. 179–184.

14. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2017. Lublin–Rzeszów. Vol. 17. No 3. P. 93–102.

15. Kalinichenko Dmytro, Rogovskii Ivan. Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering. 2018. Lublin–Rzeszów. Vol. 18. No 1. P. 105–115.

Патенти на корисну модель

16. Патент на корисну модель України №127430, МПК (2006) B60P 3/00. Мобільний засіб технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803380, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

17. Патент на корисну модель України №127433, МПК (2006.01) G01M 15/04. Спосіб оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згорання зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803388, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

18. Патент на корисну модель України №127434, МПК (2006) B60S 5/00. Спосіб визначення екологічної безпеки технічного контролю зернозбиральних комбайнів. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л.; заявник та власник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № u201803389, заявлено від 30.03.2018; опубліковано 25.07.2018, Бюлетень №14/2018.

Тези наукових доповідей

19. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Технічний засіб для перевірки прецизійних пар низького тиску паливних насосів сільськогосподарських машин. *Earth Bioresources and Environmental Biosafety: Challenges and Opportunities*”. Секція 5. Інженерія біосистем. Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 4–8 листопада 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 49–51.

20. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Пристрої для перевірки прецизійних пар паливних насосів і системи паливоподачі низького тиску сільськогосподарських машин. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIII всеукраїнська конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів, м. Київ, Україна, 11–15 березня 2013 року: тези доповіді. Київ. 2013. С. 121–122.

21. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Вихідні дані при формуванні математичного апарату контролю параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. V Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 05–06 червня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 46–47.

22. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Системи інформаційного управління параметрами технічного стану зернозбиральних комбайнів. Автоматика – 2017: XXIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, м. Київ, Україна, 13–15 вересня 2017 року: тези доповіді. Київ. 2017. С. 251–252.

23. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Працездатність нагнітальних клапанів паливної системи зернозбиральних комбайнів. Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: XI Міжнародна науково-практична конференція. м. Кропивницький, Україна, 1–3 листопада 2017 року: матеріали конференції. Кропивницький. ЦНТУ. 2017. С. 134–136.

24. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Моделі технічної готовності на основі залишкового ресурсу одиниць зернозбиральних комбайнів. Сучасні технології аграрного виробництва: III Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 7–9 листопада 2017 року: тези конференції. Київ. 2017. С. 65–68.

25. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Обуховські читання: XIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 6 березня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 72–74.

26. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Formalization of provisions of maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XVIII Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів. м. Київ, Україна, 26–30 березня 2018 року: тези доповіді. Київ. 2018. С. 10–13.

27. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Огляд основних стратегій технічного контролю зернозбиральних комбайнів і їх складових факторів. Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь. IV Всеукраїнська науково-практична конференція. м. Житомир, Україна, 28–29 березня 2018 року: тези конференції. ЖАТК. 2018. С. 221–222.

28. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Постановка завдання класифікації ремонтного фонду зернозбиральних комбайнів в залежності від розпізнаних поєднань дефектів. Рациональне використання енергії в техніці. TechEnergy 2018: XIV Міжнародна наукова конференція, м. Київ, Україна, 19–22 травня 2018 року: тези конференції. Київ. 2018. С. 139–140.

29. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Структурна схема АРМ оператора-діагноста зернозбирального комбайна. Цілі сталого розвитку третього тисячоліття: виклики для університетів наук про життя: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, Україна, 23–25 травня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. Т. 5. С. 216–217.

30. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Innovation of major systems and maintenance strategies combine harvesters. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК: VI Міжнародна наукова конференція. м. Київ, Україна, 6–9 червня 2018 року: матеріали конференції. Київ. 2018. С. 69–71.

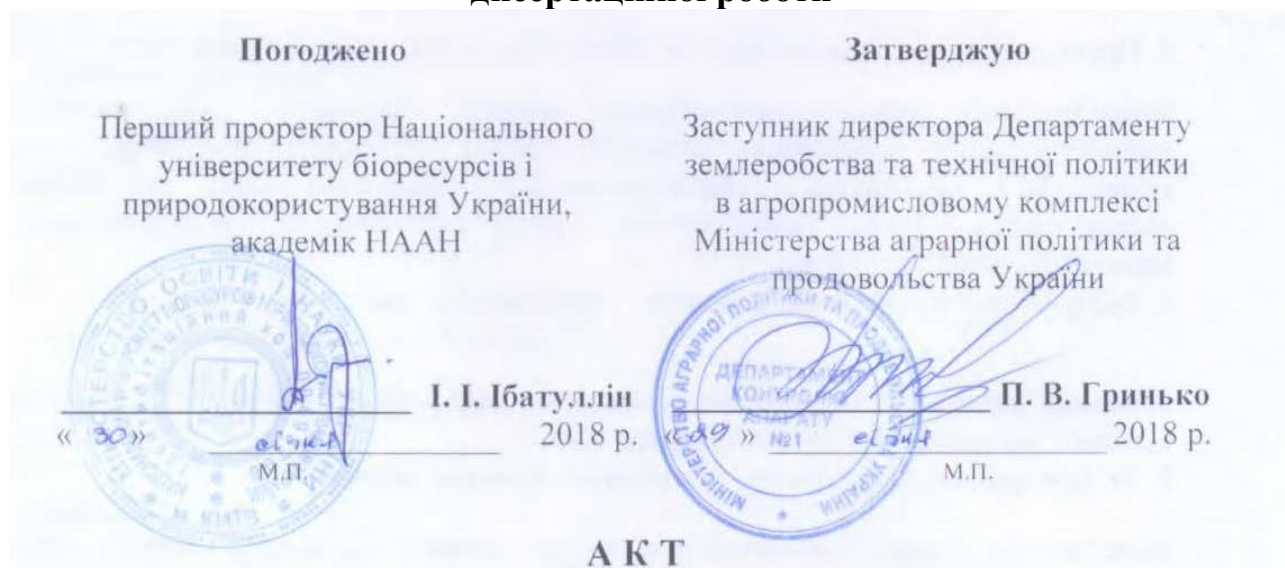
31. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Algorithm of construction of system of technical maintenance of combine harvesters by method of back propagation of error. Strategy of Quality in Industry and Education: XIV International conference, Varna, Bulgaria, July 4-7, 2018: proceedings. Varna. 2018. Vol. II. P. 289–294.

32. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Determining optimal period of technical maintenance of combine harvesters. Achievements and Perspective in Agricultural Engineering and Auto Transport: International scientific symposium, Chisinau, Moldova, October 4-6, 2018: proceedings. Chisinau. 2018. P. 254–258.

33. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii I. L. Fixed station technical maintenance of combine harvesters. Проблеми та перспективи розвитку технічних та біоенергетичних систем природокористування. XIX Міжнародна конференція науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та аспірантів: збірник тез. м. Київ, Україна, 25–29 березня 2019 року. Київ. 2019. С. 147–149.

34. Калініченко Д. Ю. Сучасний стан зернозбирального парку України в контексті машиновикористання. Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК. VII Міжнародна наукова конференція в рамках роботи XXXI Міжнародної агропромислової виставки «АГРО 2019»: збірник тез. м. Київ, Україна, 04-07 червня 2019 року. Київ. 2019. С. 92.

Акт про впровадження/використання результатів кандидатської дисертаційної роботи



про впровадження/використання результатів кандидатської дисертаційної роботи

Даним актом стверджується, що результати дисертаційної роботи на тему
«Обґрунтування режимів технічного контролю і параметрів технічного стану

назва теми

зернозбиральних комбайнів»

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук з спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва»

виконаної Калініченком Дмитром Юрійовичем

(ПІБ здобувача)

впроваджені на підприємствах агропромислового комплексу

назва підприємства, де здійснювалось впровадження

1. Вид впроваджуваних результатів науково-технічні рекомендації і технологія
(методика, рекомендації, пропозиції, модель, експериментальні дані тощо)
технічного контролю зернозбиральних комбайнів

2. Новизна результатів – 1. Обґрунтовано якісне нове групування чинників впливу на індивідуальні техніко-технологічні заходи підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів. 2. Обґрунтовано якісну нову систему норм трудомісткості індивідуальних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів. 3. Обґрунтовано доцільність застосування математичного апарату нейронних мереж в процесах відновлення працездатності зернозбиральних комбайнів. 4. Обґрунтовано якісні нові моделі опису продуктивності індивідуальних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів.

Інформація розміщена для публічного обговорення:

<https://nubip.edu.ua/node/40863>

3. Практичне впровадження/використання результатів

виробничий цикл

(місце впровадження/застосування)

індивідуальних техніко-технологічних заходів підвищення працездатності зернозбиральних комбайнів, технічні засоби технологічного оснащення, технологія технічного контролю зернозбиральних комбайнів, паспортизація умов виробничого циклу технічного обслуговування зернозбиральних комбайнів.

4. Значущість отриманих результатів поліпшення соціального стану на

(економічний, соціальний, науково-технічний ефект)

сільських територіях шляхом запровадження раціональної зайнятості населення сільської місцевості і поліпшення умов праці.


5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

(назва, № держреєстрації)

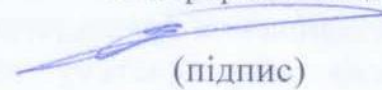
дисертаційна робота виконувалась згідно завдань науково-дослідних робіт «Обґрунтувати параметри і режими функціонування системи технічного обслуговування сільськогосподарської техніки» (№ державної реєстрації 0115U003464); «Обґрунтувати параметри технічного стану сільськогосподарської техніки і режими функціонування систем ремонтно-технологічного забезпечення і технічного обслуговування» (№ державної реєстрації 0113U007633).

Від Національного
університету біоресурсів і
природокористування України

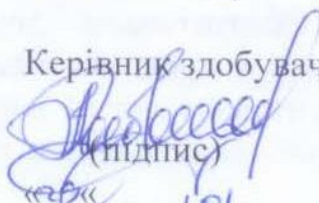
Начальник науково-дослідної
частини


(підпис) В. В. Отченашко
«29» 01 (ПБ) 2018 р.


Директор НДІ техніки, енергетики
та інформатизації АПК


(підпис) В. Д. Войтюк
«29» 01 (ПБ) 2018 р.

Керівник здобувача


(підпис) І. Л. Роговський
«29» 01 (ПБ) 2018 р.

Здобувач


(підпис) Д. Ю. Калініченко
«29» 01 (ПБ) 2018 р.

Відзнака



Прийняті терміни та визначення

Технічний контроль зернозбиральних комбайнів це перевірка відповідності зернозбиральних комбайнів процесу технічної готовності, від якої залежить надійність комбайна, встановленим вимогам.

Технічний контроль зернозбиральних комбайнів включає три основних етапи:

- отримання первинної інформації про фактичний стан об'єкта технічного контролю, його контрольованих ознаках і показниках;
- отримання вторинної інформації – відхилень від заданих параметрів технічного стану зернозбиральних комбайнів шляхом зіставлення первинної інформації з запланованими критеріями, нормами і вимогами;
- підготовка інформації для вироблення відповідних керуючих впливів на зернозбиральний комбайн, який піддавався технічному контролю.

Контрольований параметр зернозбиральних комбайнів це кількісна або якісна характеристика властивостей зернозбиральних комбайнів, що піддається технічному контролю, як комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення машиновикористання зернозбиральних комбайнів із заданим рівнем якості, що складає предмет організації технічного контролю.

Метод технічного контролю зернозбиральних комбайнів це сукупність правил застосування визначених принципів для здійснення технічного контролю. В метод технічного контролю зернозбиральних комбайнів входять основні фізичні, хімічні, біологічні та інші явища, а також залежності (закони, принципи), що застосовуються при збиранні первинної інформації щодо об'єкта технічного контролю.

Під системою технічного контролю зернозбиральних комбайнів розуміють сукупність технічних засобів технічного контролю і виконавців, що взаємодіють з зернозбиральним комбайном за правилами, встановленими відповідною нормативною документацією на машиновикористання.

Технічні засоби технічного контролю зернозбиральних комбайнів це вироби (прилади, пристосування, інструмент, випробувальні стенди) та матеріали, які використовуються при технічному контролі.

Види технічного контролю зернозбиральних комбайнів поділяються за наступними основними ознаками:

- залежно від об'єкта технічного контролю передбачає контроль кількісних і якісних характеристик властивостей зернозбиральних комбайнів і технологічного процесу їх машиновикористання;
- за стадіями створення та існування зернозбиральних комбайнів – проектування, виробництво і машиновикористання;
- за етапами процесу – вхідний і операційний;
- за повнотою охоплення – суцільний, агрегатний і вузловий;
- у зв'язку з об'єктом технічного контролю у часі – вибіркового, безперервний і періодичний;
- за можливості подальшого машиновикористання зернозбиральних комбайнів – розбірний, руйнівний і неруйнівний;
- за ступенем використання засобів технічного контролю – вимірювальний, реєстраційний, органолептичний, за контрольним зразком;
- за перевіркою ефективності технічного контролю – інспекційний і аудиторський;
- в залежності від виконавця – внутрішній, громадський, відомчий, державний;
- в залежності від рівня технічної оснащеності – ручний, механізований, автоматизований, автоматичний, ІТ.

Додаток Д

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЯ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Технічний контроль зернозбирального комбайна рекомендується починати з жнивarki. По-перше проводиться технічний контроль всього різального апарату. А саме, органолептично контролюють різальні сегменти і пальці (рис. Д. 1), та напрямні, у яких рухаються пальці. Зокрема ретельно надається контролю сегменти: відсутність рухомості в кріпленні на ножовій смузі, відсутність зкришування і затупленості робочої кромки сегмента.



Рис. Д.1. Приклад блиску робочих поверхонь сегментів і пальців в процесі збирання зернового збіжжя – місця в подальшому виникнення дефектів і відмов.

Здебільшого «ера» кріплення сегментів за допомогою заклепок відійшла в історію. Нині застосовується болтове кріплення, яке є зручнішим і за потреби

оператор може замінити сегмент у польових умовах. Також це забезпечує надійність і правильність розміщення сегментів на ножовій смузі, що сприяє високій технологічній надійності. Заклепки часто були причиною невиконання заміни спрацьованих сегментів, комбайнери сподівалися на їх великий ресурс. Однак дива не трапляється, і комбайн в гарячу пору зупиняється. Крім того, за поганого кріплення сегмента його може взагалі «розвернути» від горизонтальної траєкторії руху в пальцях. А це призводить до механічного пошкодження різальної крайки самого пальця, а то й двох чи навіть трьох суміжних. Такий дефект пальців може спостерігатися також за результатами непередбачуваного потрапляння в зону різального апарата механічних предметів – дроту, залізних предметів й елементів інших машин.

Важливим елементом конструкції жатки є привід різального апарата. Тут останнім часом використовують сучасний елемент – механізм приводу ножа різального апарата. Це зазвичай механізм коливальної шайби типу «шумахер». Його технічні характеристики гарантують роботу ножа з циклічністю на проектному рівні 1150–1180 цикл/хв. Проте є зовнішні чинники, які можуть зумовити його роботу зі значно нижчим режимом. До них насамперед належить стан приводного паса. Використання неоригінального паса, значне напруження в процесі експлуатації чи некваліфікований підхід в оцінюванні його технічного стану можуть стати причиною проковзування та неналежної віддачі енергії для його приводу. Внаслідок цього на валу приводу ножа буде значно менша циклічність. А зменшення циклічності ходу ножа в різальному апараті зменшує продуктивність жатки й комбайна загалом.

Під час проведення випробувань соняшникової жатки в польових умовах, в конструкції якої був сегментно-пальцевий різальний апарат, було спостережено, що збирання можна виконувати з робочою швидкістю тільки 8 км/год. Подальше нарощування робочої швидкості супроводжувалося частковим механічним відриванням різальним апаратом кошиків із насінням і «завалюванням» незрізаних стебел на поверхню поля в бік руху комбайна, хоча вони мали зрізатися. А це вже не робота. Поряд працював комбайн з аналогічною

жатою, який без проблем рухався зі швидкістю 10 км/год. За ширини захвату 9 м і різниці в робочій швидкості 2 км/год тільки за 1 год роботи втрата продуктивності становила 1,8 га/год. За тривалості робочої зміни 10 год комбайн щоденно не збирав 18 га. І це ж тільки по площі. Додамо збільшені витрати палива (до 20%) й отримаємо відчутні збитки внаслідок лише недостатньої якості приводного паса або його натягу.

Мотовило оглядають на надійність кріплення променів до дисків і граблин, перевіряють, чи немає тріщин «утомленості», стан опорних підшипників центральної труби. Особливу увагу слід звернути на механізм приводу мотовила та бічного приводного диска, де наявні бігова доріжка й ролики, які дуже схильні до спрацювання. Механізм зміни положення пальців граблин забезпечує нахил пальців і разом із ним якість підбору хлібостою залежно від його висоти й полеглості.

Система підтримки заданої висоти зрізу має забезпечувати реакцію вже за незначних зусиль. Наприклад, коли жатка в опущеному положенні, оператор може рукою спробувати її підняти за боковий дільник. Якщо жатка не піднімається або для цього потрібно докласти значних зусиль, це означатиме, що система погано налаштована й під час роботи на полях зі стрімким мікрорельєфом можливе потрапляння ґрунту в жатку.

Уразливе місце всіх жаток – пальчиковий механізм шнека. Саме він забезпечує передачу з центральної зони шнека та платформи жатки всю зрізану масу у вікно похилої камери. Вся його конструкція «схована» всередині труби шнека. В зоні виходу з труби є вічко (обойма пальця), через яке кожен палець виходить назовні. Всі ці елементи дуже уразливі, чутливі до негараздів і часто деформуються, втрачаються, а вічка – розбиваються. І тоді під час роботи пальці не мають опорної поверхні й гамселять по стінці труби. Навіть після години такої роботи отвір для вічка та палець приходять у такий стан, що можна сміливо замовляти новий шнек. Механізм має також регулювання: вихід – довжина частини пальця, що в роботі виходить зі шнека, встановлюється за налаштування на нові умови роботи. Здебільшого це впливає на врожайність соломи. Механізм

керування ним розташовано на торцевій частині боковини жатки, яка суміжна з торцевою частиною шнека.

Окрім пальців регулюється положення шнека щодо корпусу жатки, а саме – зазор між спіралями й основою платформи. Зазвичай він має становити 12–15 мм, під час збирання ріпаку – 20–25 мм. А які наслідки можуть бути за недотримання цих міліметрів? Відповідь: небажані. В разі зменшення зазору шнек і поверхня днища з боку шнека працюють як молотильно-сепарувальна система й вимолочують зерно з відірваних колосків уже на платформі. В разі збільшення зазору необмолочена маса (зазначимо — не колоски, а багато маси) потрапляє між шнеком і днищем і може навіть зумовити забивання шнека. В результаті господарство отримує сильно механічно подрібнене (дроблене) зерно в бункері, або комбайнер «загоряє» на жатці, колупаючись під спіралями шнека. А комбайн у цей час не працює.

Аналогічну функцію виконують і металеві пластини, що розміщені на центральній частині стінки платформи, звернутій у бік спіралей шнека. Тому потрібно контролювати їх технічний стан і зазори й установлювати шнек якомога ближче до них.

Одночасно з різальним апаратом потребує сезонної ревізії й гідравлічна система та гідрооб'ємний привід жатки. Адже саме вони забезпечують миттєву реакцію жатки й комбайна на зміну умов роботи: гідропривід забезпечує прийняту частоту обертання мотовила залежно від урожайності та стану хлібної маси, а гідросистема – піднімання й опускання мотовила жатки. І не складно уявити ситуацію, коли в роботі мотовило не «тримає» встановленої висоти, а тихенько опускається, а тут ще дуже полегла маса, й тоді неминуче потрапляння пальців граблин у різальний апарат... А в сучасного мотовила пальці – сталеві... І от комбайн уже стоїть у загінці (а не продуктивно працює), а комбайнер міняє (ремонтує) сегменти, а можливо – й пальці... Невиправдано втрачено хороший робочий настрій, робочий час, запасні частини.

Похила камера протягом майже всього періоду наявності комбайнів не зазнала значних змін. Конструкція – консервативно проста й серйозних

технологічних налаштувань у процесі підготовки і експлуатації не потребує. Іноді така ситуація та всеобізнаність сервісників зумовлюють відсутність належної уваги до неї, об'єктивного аналізу, відповідних висновків і коригування її налаштувань і технічного стану. Ревізувати її потрібно за від'єднаної жатки й передусім звернути увагу на її зовнішній стан. Особливо – на нижню частину корпусу. Вона не повинна мати локальних деформацій і навіть пошкоджень. Траплялося, коли через платформу жатки «проходили» робочі органи – лапи звичайного просапного культиватора. І не просто проходили, а проходили «агресивно», з наслідками, залишаючи у днищі похилої камери глибокий поріз – щілину. Саме через неї в процесі роботи жатки постійно сипатиметься зерно. І цих втрат буде таки багато. Іноді ці «лапи культиватора» (тощо) гальмувалися на вході у вікно похилої камери і, звісно, деформували її.

А вже після цього така похила камера в зоні контакту з перехідною рамкою жатки вже не мала первинної цілісності (рис. Д.2). І через отриману деформацію «транспортувала» зрізану необмолочену масу назовні, на поле.

Транспортер не повинен чіплятися за боковини й днище камери. За правильного регулювання натягу зазор між гребінками поперечних планок транспортера й днищем має бути 5–10 мм. Слід звернути увагу на внутрішній бік похилої камери, по якому рухається притиснутий ланцюговим транспортером шар необмолоченої маси. Якщо вона, що називається, блищить, бо на ній стерта соломою фарба, то транспортер похилої камери налаштовано правильно. І що важливо: транспортер, тобто його подовжні ланцюги, не мають бути надмірно натягнутими, а повинні навіть трохи провисати до днища камери. Планки похилого транспортера повинні бути рівними й паралельними щодо осі ведучого вала (рис. Д.3). Не можна допускати перекосу/деформації (рис. Д.4) планок, а також погнутості їх, оскільки це може призвести до відривання планок й аварії.



Рис. Д.2. Приклад деформації верхньої частини приймального вікна похилої камери зернозбирального комбайна.



Рис. Д.3. Технічний контроль передбачає визначення відсутності рухомості кріплення планок транспортера до ведучого ланцюга та деформації самих планок.

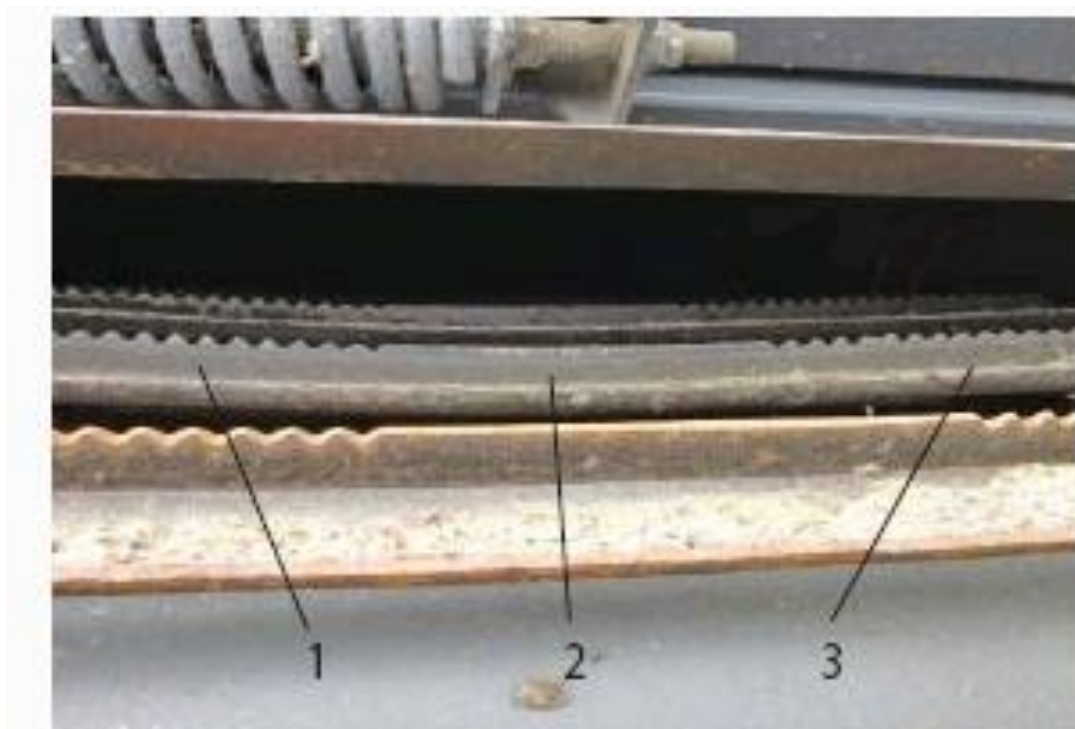


Рис. Д.4. Технічний контроль виявив прогин до низу (деформований стан) планки 1, планки 2 і планки 3 за всією шириною транспортера похилою камери

Важливо не оминати увагою механізми натягу транспортера. Якщо в історії жатки були якісь виробничі катаклізми – першими зреагували саме ці пристрої. Слід також звернути увагу на напрямні накладки, по яких «ковзають» ланцюги транспортера, а також на довжину самих ланцюгів. Однобічне спрацювання ланцюгів транспортера недопустиме. Воно свідчить про неправильні режим роботи транспортера та його налаштування.

Наступний бар'єр, який покликаний запобігти потраплянню в молотарку небажаних «лап культиватора» в процесі збирання хлібів, – лоток-каменезбірник. Його наповнення потрібно перевіряти щозміни, а тим більше під час сезонного технічного обслуговування. Нехтування цим призведе до перенаповнення камери та потрапляння небажаних об'єктів до серця комбайна – молотильної системи. Результатом буде тривалий і дорогий ремонт.

Молотильна система барабанного типу як жодна інша система потребує ретельної експертизи всіх її елементів. До її складу можуть входити один або кілька барабанів/роторів, що мають і різну конструкцію, і різне функціональне

призначення. Відповідно до функціонального виконання кожного з них вони «працюють у парі» з відповідного призначення декою – молотильною або сепарувальною. Згідно з призначенням їм належить у молотарці відповідне положення. Наприклад, у трибарабанній молотильно-сепарувальній системі використано три барабани: молотильний (основний), проміжний бітер (між молотильним і ротаційним барабаном-сепаратором) і відбійний бітер. Молотильний барабан у молотильно-сепарувальній системі займає провідне становище і в технологічній парі з молотильно-сепарувальною декою виконує обмолот. Стан обох цих елементів (рис. Д.5) визначає якість роботи всієї молотарки й комбайна загалом. Тому під час сезонного обслуговування першочергово слід звернути увагу на їх технічний стан (найкраще це зробити за відокремленої похилої камери) і водночас перевірити якість кріплення бичів і механізм керування підбарабанням. Молотильний барабан/ротор не повинен мати деформацій ні бичів, ні підбильників (рис. Д.6).



Рис. Д.5. Технічний контроль сепарувальної деки ротора молотарки встановив її повну технічну справність (відсутні деформації і зломи).



Рис. Д.6. Технічний контроль бича деки молотильно-сепарувальної системи встановив її повну технічну справність (відсутні деформації і викривлення).

Якщо під час холостого провертання барабана на одному з його бичів виявлено деформацію, то є 100-відсоткова гарантія, що по коловій траєкторії руху цього бича вздовж деки також буде встановлено майже аналогічну деформацію. Як правило, вони є наслідком потрапляння твердих сторонніх предметів. У результаті в цій зоні зазор між барабаном і декою значно збільшується. І якщо вихідний технологічний зазор між останнім порогом деки й бичем має бути 2–4 мм залежно від культури та її стану, то за деформації цей зазор непередбачувано збільшується й може досягати 10–20 мм. У цій зоні обмолот практично не відбувається, маса майже вільно проходить крізь молотарку до соломотряса, а потім на землю. Втрати будуть значними й можуть сягати 10%.

Нерівномірне спрацювання бичів стає причиною дисбалансу під час обертання барабана. Це негативно впливає на опорні підшипники та корпус молотарки. Виявити проблему можна за допомогою візуального огляду молотильного барабана в статичній, а також під час його обертання. Спрацьованість бичів і відчутна вібрація вкажуть на наявність проблеми.

Іншим важливим моментом у сезонному технічному контролі молотильної системи є оцінювання стану та здатності молотильно-сепарувальній системі реагувати на зміну зазорів у молотильно-сепарувальній системі. Традиційно зміна величини вхідних і вихідних зазорів у молотильно-сепарувальній системі здійснюється шляхом зміни положення деки щодо бил барабана. Для цього з допомогою системи механічних тяг дека або опускається, або піднімається відносно барабана. Проте часи змінюються, і тепер положення підбарабання регулюється за допомогою мотор-редукторів з електроприводом. Ураховуючи, що привід працює у важких умовах, він може давати збій. Тому під час ревізії необхідно в парі з іншим оператором візуально проконтролювати робочий стан і якість реагування самого мотор-редуктора й деки. Траплялося, коли внаслідок значних навантажень молотильно-сепарувальній системі електродвигуни горіли, тяги зазнавали немислимих деформацій і обривалися. Враховуючи важкість умов роботи, спеціалісти радять перевіряти відповідність установленого зазору фактичному. Може статися так, що оператор установлює один зазор, а реально він значно більший, і комбайн бігає по полю й губить зерно.

Система очищення зерна містить струсну дошку (грохот), решітний стан, вентилятор і варіатор його приводу. Це все агрегати, які в процесі роботи перебувають у стані специфічного руху й зазнають знакоперемінних навантажень.

Струсна дошка (грохот) сприймає на себе весь потік зернової маси. І, як правило, у цьому потоці може спостерігатися наявність непередбачуваних металічних предметів, що впіймав комбайн на полі. Частота обертання молотильного барабана досягає 800–1050 об./хв. Природно, швидкість подачі такого іншорідного металевго тіла дуже висока. Тому ймовірність механічного пошкодження струсної дошки в сезон збирання хлібів доволі велика, і стан дошки необхідно обов'язково перевіряти.

Технічний стан решіт добре оцінюється візуальним оглядом (рис. Д.7). Першочергово в поле зору потрапляє верхнє решето. Природно, воно має бути цілим, тобто якихось видимих деформацій гребінок-жалюзей не має бути. Слід

перевірити функціонування ручної й автоматичної системи регулювання зазорів, а також переконатись у їх відповідності завданим параметрам. Сайлентблоки в приводах решіт є слабким місцем, тож увага до цих елементів конструкції також не буде зайвою.



Рис. Д.7. Технічний контроль решітного стану підтверджує справний стан за обставини коли при закритих гребінках всі жалюзі формують рівну площину.

Вентилятор системи очищення зерна, незважаючи на, здавалося б, стабільність свого функціонального положення в комбайні, може стати причиною зупинки комбайна просто в полі: немає повітряного потоку – немає очищення зерна. Трапляється, коли вентилятор пошкоджується залізяками або іншими предметами, підшипники та привід спрацьовуються й частота обертів може не відповідати встановленим. Якщо комбайн не обладнано відповідним датчиком, потрібно самостійно перевіряти цей параметр за допомогою тахометра. Якщо фактичні оберти не відповідають установленим, потрібно знайти й усунути причину.



Рис. Д.8. Технічний контроль виявив деформацію (видавлення на зовні) сайлентблоків нижньої і верхньої обойм шатуна решітчастого стану.



Рис. Д.9. Технічний контроль передбачає замір зазору між датчиком і контрольною зірочкою вала вентилятора; частоти обертання вентилятора та її узгодженості з показника на моніторі в кабіні.

Соломотряс є традиційною та конструкційно відпрацьованою технологічною системою комбайна з барабанною молотаркою. По робочій поверхні клавіш рухається грубий ворох – обмолочена соломка. Вона іноді може

містити нашу «лапу культиватора», яка пошкоджує решітку клавіші та відкриває соломі вільний шлях на струсну дошку. В результаті система сепарації частково забивається, що призводить до збільшення втрат зерна.

Одним із важливих моментів під час ревізії соломотряса є перевірка стану опорних підшипників валів, на яких встановлено клавіші. Частота обертання приводного вала соломотряса становить 170 об/хв і є стабільною ось уже протягом кількох десятиліть. Та це не означає, що такий режим роботи гарантує непохитність його технічного стану. Комбайни барабанного типу дуже часто застосовують на збиранні кукурудзи на зерно. Звісно, з-під барабана з великою кінетичною енергією вилітають стрижні кукурудзи. Відбійний бітер, який розміщено відразу за молотильним барабаном, ефективно «осаджує» залишки цих стрижнів на соломотряс, точніше – на перший каскад. І якщо в комплекті комбайна чи кукурудзяної жатки є спеціальні пластини, що перед збиранням кукурудзи монтують на перший каскад клавіш, негативний вплив за роботи на такому фоні зменшується. А якщо пластин немає, або під час сервісу їх проігнорували чи забули встановити? До нового сезону потрібно буде купити нові, бо старі являють собою старе решето – побите, діряве й іржаве.

На виході з клавіш розміщено датчики, які призначені постійно інформувати комбайнера про рівень втрат зерна за соломотрясом. І навіть всередині сезону збирання хлібів, а тим більше – після зими, перед початком нового сезону, треба провести ревізію їх стану й перевірити цілісність проводки, стан самих п'єзодатчиків і надійність контактів проводів із ними (рис. Д.10), чистоту робочої поверхні самих датчиків.

Подрібнювач-розкидач соломи та полови (рис. Д.11, Д.12) насамперед потребує перевірки подрібнювального барабана: його ножів і протирізальних пластин.



Рис. Д.10. Технічний контроль виявив окисність і засміченість контактів і з'єднувальних колодок та електропроводки.



Рис. Д.11. Технічний контроль виявив справний стан розкридача полови.



Рис. Д.12. Технічний контроль виявив відсутності чотирьох подрібнювальних ножів подрібнювального барабану



Рис. Д.13. Технічний контроль виявив неприпустиме зкупчення соломистої рослинності в ланцюгових передачах.

Вони можуть бути непридатними для ефективного та якісного використання з двох причин: втрати робочою крайкою своїх різальних характеристик, поломки або отримання в процесі експлуатації зазубрень унаслідок «зустрічі» зі сторонніми предметами, які все ж пройшли через всю молотарку. Відсутність деяких ножів призводить до появи дисбалансу й швидкого спрацювання опорних підшипників. Люфт можна відчутти, якщо зняти або ослабити натяг привідного паса. Після ремонту й заміни ножів барабан необхідно відбалансувати.

Транспортувальні системи та їх механічні органи невіддільні від усіх процесів, що відбуваються в молотарці. Зовнішнім оглядом необхідно визначити, чи немає вм'ятин на поверхні кожухів елеваторів і шнеків. Особливо це стосується нижньої частини кожухів зернового й колосового елеваторів. Дуже часто комбайнери забувають, що їх комбайни мають малий дорожній просвіт у цій зоні комбайна та можуть зачіпати за елементи дороги/рельєфу. Якщо не усунути цей дефект, на початку роботи жорсткі металеві спіралі шнека біжать уздовж елеватора й зсередини «рихтують» вм'ятину. Протягом 10 хв в елеваторі утворюється дірка. Розмір втрат зерна може коливатися від незначного до глобального.



Рис. Д.14. Технічний контроль виявив деформацію напрямних і молотків подрібнювального барабану.

Силовa установка потребує не меншої уваги. Починаючи від самого двигуна й закінчуючи паливною системою, системою охолодження та

аккумулятором — усе потрібно оглянути, перевірити й виконати певні технологічні операції. Наприклад, двигун лише за підозрілих звуків піддають детальній інспекції. А от система охолодження завжди потребує ретельного очищення. Акумулятор на зиму можна знімати й зберігати у теплому провітрюваному приміщенні. Або ж підзаряджати кожних шість тижнів. Паливна система зазвичай особливої уваги крім регламентних робіт не потребує. Фахівці радять на зиму заправляти повний бак, але вітчизняні реалії не дають змоги так вчиняти з причин безпеки.

Фактографія технічного контролю з виявленням несправного стану.



Несправності зернозбиральних комбайнів, які найчастіше виникають
при технічному контролі

Жниварка (платформа підбирач)

Признак і причини несправностей	Способи усунення несправності
Неякісний зріз стебел різальним апаратом і заклинювання ножа	Замінити викришені обоз ломані різальні елементи Регулювати зазори між притискачами і сегментами ножа. Здійснити натяг пасу приводу ножа
Стук різального апарату	Затягнути щічки ножа. Навернути гайку до упору в дистанційну втулку. Закріпити важіль приводу ножа на валу механізму приводу і роз'ємної головки важеля. Закріпити корпус механізму приводу ножа на жниварці.
Нерівномірність обертання мотовила	Натягнути пас варіатора. Усунути перекіс нижнього шківів варіатора за допомогою регулювального гвинта.
Заклинювання стебел між шнеком і днищем	Встановити нормативний зазор між шнеком і днищем жниварки. Регулювати крутний момент запобіжної муфти шнека. Рихтувати погнуті спіралі шнека.
Намотування стебел на шнек	Здвинути козирки відбивачів до шнека таким чином, щоб зазор між ними і спіралями були мінімальними з врахуванням биття шнека.
Заклинювання стебел між пальцями шнека і днищем при підборі валків	Збільшити зазор між пальцями і днищем.

Зіскакування або обрив ланцюгів транспортера похилої камери	Встановити нормативний натяг ланцюгів транспортера, так щоб довжина пружини була 90 мм. Регулювати положення полозів. Розмістити нижній вал відносно днища.
Перекид мотовила при підйомі і переміщення за підтримками	Прокачати гідросистему переміщенням штоків з одного крайнього положення в інше. Видалити повітря з гідросистеми – зливання оливи з штуцерів гідроциліндрів.
Потрапляння хлібної маси з транспортера на шнек	Зменшити зазор між заднім валом і стержнями нормалізатора. Зменшити лінійну швидкість транспортерної стрічки.
Злам пальця пальчикового механізму шнека	Замінити палець, виймаючи його з кожуху шнека через вічко.
Знос вічка шнека	Замінити зношене вічко за рахунок зняття кришки люка на кожуху шнека.

Молотарка

Признак і причини несправностей	Способи усунення несправності
Неповне видалення зерна з колосу – значні зазори між підбарабанням і бичами барабана	Встановити нормативні зазори між підбарабанням і бичами барабана.
Неповне видалення зерна з колосу – малі зазори між підбарабанням і барабаном	Встановити нормативу частоту обертання барабана.
Неповне видалення зерна з колосу – пошкодження робочих поверхонь планок підбарабання або бичів барабана	Замінити робочі поверхні планок підбарабання або бичів барабана.

Механічне пошкодження зерна – мала частота обертання барабана	Збільшити зазори між підбарабанням і барабаном.
Механічне пошкодження зерна – більша частота обертання барабана	Встановити нормативу частоту обертання барабана.
Механічне пошкодження зерна – пошкодження робочих поверхонь планок підбарабання або бичів барабана	Замінити робочі поверхні планок підбарабання або бичі барабана.
Соломиста маса сильно подрібнена – малі зазори між підбарабанням і барабаном	Встановити нормативні зазори між підбарабанням і бичами барабана.
Соломиста маса сильно подрібнена – більша частота обертання барабана	Встановити нормативу частоту обертання барабана.
Залипання отворів підбарабання і жалюзі клавіш землею і рослинною масою	Очистити підбарабання і клавіші від налипшої маси
Зігнуті жалюзі соломотрясу	Рихтувати жалюзі
Соломиста маса сильно подрібнена – пошкодження робочих поверхонь планок підбарабання або бичів барабана	Замінити робочі поверхні планок підбарабання або бичі барабана.
Недомолот і дрібнення зерна – підбарабання встановлено з перекосом	Встановити нормативне регулювання підбарабання зміною довжини тяг.
Недомолот і дрібнення зерна – пошкодження робочих поверхонь планок підбарабання або бичів барабана	Замінити робочі поверхні планок підбарабання або бичі барабана.
Втрати зерна з половою – невеликий кут нахилу подовжувача грохота	Встановити нормативний кут нахилу подовжувача грохота.
Перевантаження колосового шнека дрібним ворохом – сильне відкриття	Встановити нормативне відкриття жалюзі решіт.

жалюзі верхнього решета і подовжувача грохота	
Забивання соломотрясу і грохоту очистки	Встановити нормативний натяг пасів приводу соломотрясу, коливного вала і вентилятора очистки.
Забивання шнеків і елеватора молотилки	Встановити нормативний натяг пасів приводу соломотрясу.
Пробуксовування запобіжних муфт	Встановити нормативне налаштування механізму запобіжних муфт.
Уповільнене вивантаження зерна з бункера	Встановити нормативні зазори між щитками вивантажувального шнека і днищем бункера.
Затирання лопатей домолочуючого пристрою об деку	Відпустити три гвинти кріплення деки до обойми і змістити деку в продовгуватих пазах, усунути перекіс.
Зіскочування ланцюгів в контурах	Встановити зірочки в одній площині одного контура. Відрехтувати вал або замінити ланцюг.

Копнувач

Признак і причини несправностей	Способи усунення несправності
Копнувач не відкривається при включенні викиду копни	Встановити нормативну довжину тяги. Усунути несправності в електрогідросистемі.
Задній клапан запирається однією заціпкою	Встановити нормативну довжину тяги (забезпечити одночасне запирання заціпок клапанів). Відрехтувати каркас клапана.
Копнувач не закривається	Встановити нормативну довжину тяги між розподільником і двоплечевим важелем на осі заднього клапана

	(усунути заїдання в системі важелів і тяг гідроавтоматичної системи).
Копна не вивантажується повністю (при вологій масі)	Встановити нормативний натяг пружини днища.
Заповнений копнувач не відкривається автоматично	Встановити нормативний зазор між магнітом і датчиком. Усунути заїдання важелів.

Силова енергетична установка

Признак і причини несправностей	Способи усунення несправності
Зіскочування або обрив паса привода гідронасоса ходової частини	Встановити нормативний натяг паса привода гідронасоса ходової частини.
Зіскочування або обрив паса контрпривода компресора комбайна і кондиціонера	Встановити нормативний натяг привідного паса контрпривода і відхилення площинності симетрії рівчаків шківів від загальної площини.
Зіскочування або обрив паса механізму включення і виключення приводу похилої камери	Встановити нормативний натяг паса механізму включення і виключення приводу похилої камери.
Засмічення радіатора системи охолодження двигуном соломою і пожнивними рештками	Встановити нормативне прилягання повітрозабірника до блока радіатора
Зіскочування або обрив паса механізму включення і виключення приводу молотарки	Встановити нормативний натяг паса механізму включення і виключення приводу молотарки.
Двигун перегрівається	Недостатній залишковий рівень охолоджувальної рідини в системі охолодження двигуна. Долити до нормативного рівня.

Ходова частина

Признак і причини несправностей	Способи усунення несправності
Не включається діапазон коробки діапазонів	<p>За допомогою рукоятки швидкості руху повернути вал гідромотора, потім натисніть до відмови педаль управління блокуванням (при її наявності) і зробити повторну спробу включити діапазон.</p> <p>Усунути причину упору рукоятки перемикання діапазонів в елементи кабіни. Налаштуйте довжину тяг приводу повороту валика перемикання.</p> <p>Знеповітрити гідросистеми і розблокувати.</p> <p>Замінити зношені манжети головного і робочого гідроциліндрів управління блокуванням.</p> <p>Зняти робочий гідроциліндр блокування і усунути заїдання його поршня і валика блокування.</p>
Вимкнення діапазонів супроводжується надмірним шумом в коробці діапазонів	Усунути несправності в системі керування насосом гідрооб'ємної передачі (в нейтральному положенні рукоятки управління гідромотор не повинен обертатися)
Провалюється педаль приводу блокування	<p>Долити рідину в систему гідроприводу і видалити з неї повітря.</p> <p>Замінити зношені кільця ущільнювачів головного гідроциліндра або гідроциліндра блокування.</p>

	Перевірити цілісність троса дистанційного керування блокуванням і обмежувального болта (стопори) механізму блокування, при необхідності замінити.
Мимовільне вимикання діапазонів при роботі комбайна	<p>Усунути причини упору рукоятки перемикачів діапазонів в елементи кабіни. Налаштувати довжину тяги приводу осьового переміщення валика діапазонів.</p> <p>Усунути причини заклинювання приводу і торкання тяг про елементи конструкції машини.</p> <p>Зняти гідроциліндр, розблокувати і усунути причини заїдання його поршня і валика блокування.</p> <p>Перевірити працездатність поворотної пружини, при необхідності замінити.</p> <p>Демонтувати валик блокування, перевірити довжину фіксатора при включенні діапазону, на якому відбувається самовиключення (кінець фіксатора не повинен входити в межі отвору валика блокування). При необхідності укоротити фіксатор.</p>
Неефективна дія робочих гальм	<p>Знеповітрити гідросистеми приводу гальм.</p> <p>Замінити зношені накладки дисків.</p> <p>Замінити зношені манжети головного і робочих гідроциліндрів гальм.</p>
Сліди підтікання оливи через ущільнювачі і стики коробки діапазонів і бортових редукторів	Вивернути сапун і очистити його від бруду.

	<p>Встановити рівень оливи по контрольний отвір.</p> <p>Замінити зношені і дефектні ущільнювачі і прокладки.</p> <p>Замінити вали зі зношеними робочими поверхнями, що контактують з ущільнювачами.</p>
Педалі приводу гальма провалюється	<p>Долити рідину в систему гідроприводу і видалити з неї повітря.</p> <p>Замінити зношені кільця ущільнювачів головного і робочого гідроциліндрів.</p> <p>Замінити завзяте кільце автоматичного регулювання робочого гідроциліндра.</p>
Робочі гальма не повністю розгальмовуються (надмірний нагрів)	<p>Прочистити м'яким дротом діаметром 0,6 мм компенсаційний отвір головних гальмівних циліндрів або компенсаційні отвори перекриті крайками манжет або замінити набряклі манжети</p>
Гальма надмірно нагріваються	<p>Усунути причини, що перешкоджають поверненню педалей гальм в початкове положення.</p> <p>Усунути причини, що перешкоджають поверненню поршня головного гідроциліндра в початкове положення до упору в обмежувач.</p>

Кабіна

Мимовільне переміщення важеля управління подачею палива	Підтягнути пружину регулювальним болтом
---	---

Попадання конденсату в кабінку під час роботи кондиціонера	Перевірити кріплення трубок зливу конденсату, при необхідності закріпити або підтягнути кріплення.
Забивання фільтра системи вентиляції	Почистити очисник повітря і паперовий фільтр відповідно до інструкції на корпусі фільтра
Засмічення конденсатора кондиціонера, як наслідок-скидання фреону або відключення компресора	Очистити і продити стисненим повітрям конденсатор кондиціонера, встановлений на водяному радіаторі двигуна. При необхідності заправити систему фреоном відповідно до вказівок інструкції на кондиціонер.
Засмічення випарника кондиціонера	Відкрити екран даху, відкрутити болти верхнього люка кабіни і акуратно, не пошкоджуючи охолоджувач, зняти люк, перевернути охолоджувачем вгору і покласти його на дах без роз'єднання шлангів. Продути охолоджувач стисненим повітрям.
Нещільне прилягання дверей	Налаштувати щільність прилягання дверей регулювальними пластинами, що встановлені під петлі
Ослаблення кріплення амортизаторів кабіни	Підтягнути гайки і контргайки амортизаторів.
Ослаблення кріплення кабіни	Підтягнути по периметру стику з майданчиком водія дванадцять болтів
Ослаблення кріплення сидіння водія	Підтягнути чотири гайки кріплення

Гідравлічна система

1. Всі гідроциліндри не працюють:	
1) відсутня масло в гідробаку	Залити масло в гідробак

2) не відрегульований або засмітився запобіжно-переливної гідроклапан	Очистити клапан від бруду наступним чином: в нагнітальному фланці гідроклапана відкрутити заглушку, при цьому масло потече через отвір в бонці викруткою або бородком (з комплекту інструменту) натиснути на обидва каскади клапана до упору і відпустити; після цього текти повинна бути краплеподібно; інструмент не повинен потрапляти в зазор «клапан-сідло». Заглушку з кільцем встановити на місце. При необхідності відрегулювати гідроклапан на тиск $(12,5 \pm 0,5)$ МПа
2. Нагрів масла при роботі системи: 1) недостатня кількість масла в гідробаку	Дозаправити гідробак
2) забруднений фільтроелемент гідробака	замінити фільтроелемент
3) прогнуті або зім'яті мастилопроводи	Усунути вм'ятини або замінити маслопровід
4) наявність постійного тиску в системі, заклинив і засмітився гідроклапан з електромагнітним керуванням	Замінити або почистити гідроклапан з електромагнітним керуванням
3. Пінистість масла в гідробаку: підсос повітря в систему	Підтягнути усмоктувальні фланці насосів, штуцери і хомути всмоктуючих маслопроводів. Замінити пошкоджені ущільнювальні кільця фланців насосів. Замінити пошкоджені рукава
4. Повільний підйом робочих органів: 1) підсмоктування повітря в систему	Підтягнути усмоктувальні фланці насосів, штуцери і хомути

	всмоктуючих маслопроводів. Замінити пошкоджені ущільнювальні кільця фланців насосів. Замінити пошкоджені рукава
2) підвищені витоку масла в насосі, втрата продуктивності насоса	Замінити насос
3) не повністю відкрито прохідний перетин в рознімної муфті	Закрутити гайки рознімної муфти
5) злам всмоктуючого рукава насоса	Замінити рукав низького тиску
5. Гідроциліндри виносу мотовила не працюють синхронно: а) наявність повітря в гідроциліндрах б) внутрішня негерметичність гідроциліндра	Провести прокачування повітря шляхом двократного переміщення гідроциліндрів на повну величину ходу. Розібрати гідроциліндр, замінити ущільнювальне кільце по зовнішньому діаметру поршня і головки гідроциліндра або замінити гідроциліндр
7. Гідроциліндри підйому мотовила не працюють:	
а) наявність повітря в гідроциліндрах	Повітря стравити через заглушку, розташовану на гільзі гідроциліндра
б) внутрішня негерметичність гідроциліндра	Розібрати гідроциліндр, замінити ущільнювальне кільце по зовнішньому діаметру поршня і головки гідроциліндра або замінити гідроциліндр
8. Всі споживачі від гідророзподільників не працюють: 1) не працює гідроклапан з електромагнітним керуванням: - немає напруги на електромагніт - обрив витків котушки	Перевірте електропроводку. Замінити котушку

2) згорів запобіжник FU 5.3	Замінити запобіжник
3) не замикається голкою отвір в сидлі гідроклапана з електромагнітним керуванням	Замінити гідроклапан
9. Не спрацьовує один споживач секції електрогідророзподільника: - напруга подається одночасно на дві електрокатушки - бруд в дросельному отворі втулки - немає розвантаження з боку спрацьовує котушки - заклинило золотник в крайньому положенні	Одна або кілька клавiш на пультах електрогiдравлiки не повертаються в середнє положення - «Викл.» Очистити вiд бруду Замiнити секцiю електрогiдророзподiльного
10. Ускладнений поворот керованих колiс, споживачi основної гiдросистеми працюють нормально	Встановити недостатнiй тиск настройки запобiжного клапана в рульовому агрегатi. Замiнити насос.
11. При обертi рульового колеса немає повороту керованих колiс: внутрiшня негерметичнiсть в гiдроцилиндрi керованого моста	Розiбрати гiдроцилиндр повороту керованих колiс, замiнити ущiльнювальне кiльце по зовнiшньому дiаметру поршня i головки гiдроцилиндра або замiнити гiдроцилиндр

Гiдропривiд ходової частини

13. Гiдропривiд не працює нi в одному, нi в iншому напрямку:	
1) низький рiвень робочої рiдини	Дозаправити гiдробак. Контролювати зовнiшнiй стан агрегатiв i трубопроводiв. Визначити мiсце витоку масла i несправнiсть усунути.
2) пошкоджена тяга до регулюючого важеля гiдророзподiльного	Перевiрити стан i роботу механiзму управлiння гiдророзподiлювачем
3) вихiд з ладу передачi мiж двигуном i насосом	Перевiрити стан, пiдтягнути паси при необхiдностi замiнити.

4) внутрішнє пошкодження насоса або гідромотора	По черзі замінити насос і гідродвигун
5) засмічення дросельних отворів гідророзподільника насоса ГСТ	Почистити дроселі
14. Гідропрівод працює тільки в одному напрямку: -зворотний клапан насоса підживлення не закривається -пошкоджений клапан високого тиску на клапанній коробці гідромотора	Замінити зворотний клапан. Замінити клапан високого тиску
15. Нульове положення важко або неможливо знайти: не виставлено нульове положення важеля управління золотником гідророзподільника насоса ГСТ і нульове положення на пульті електрогідравліки троса управління	Від'єднати трос від насоса ГСТ, виставити нейтральне положення рукоятки управління ГСТ на пульті електрогідравліки і за допомогою регулювальної вилки підключити трос так, щоб він з'єднався з прапорцем без напруги (повинен залишитися без зміни свого становища)
16. Перегрів гідроприводу (температура робочої рідини більше верхнього допустимого рівня):	
1) низький рівень масла в гідробаку	Дозаправити гідробак маслом
-засмічений масляний радіатор -масляний фільтр або всмоктуючий трубопровід засмічені -внутріагрегатний витік рідини (втрати швидкості і потужності)	Почистити поверхню масляного радіатора Замінити фільтруючий елемент. Всмоктуючий трубопровід прочистити. По черзі замінити насос і гідродвигун
17. Шум у передачі: 1) повітря в передачі	Низький рівень масла в гідробаку. Дозаправити гідробак
2) внутрішнє пошкодження насоса або гідромотора	По черзі замінити насос і мотор
18. Повільний розгін і низька швидкість машини:	

1) повітря в гідроприводі	Низький рівень масла в гідробаку. Дозаправити гідробак
2) внутрішній юне або пошкодження насоса або гідромотора	По черзі замінити насос і гідродвигун
19. Течія масла в місцях з'єднання рукавів високого тиску ГСТ з фланцями: пошкодження ущільнювального кільця	Замінити кільце ущільнювача

Електрообладнання

Не включається "маса" - не загоряються піктограми "Немає зарядки", "Тиск масла в двигуні нижче норми"	Перевірити запобіжники FU1.1 (аккумуляторний ящик), справність кнопки SB1 на щитку приладів, справність обмотки вимикача SA2. При необхідності - замінити.
При повороті вимикача SA1 в перше положення стрілки приладів не відхиляються	Перевірити запобіжник FU6.4 (щиток приладів). При необхідності - замінити.
При повороті вимикача SA1 в друге положення пуск двигуна не відбувається	Перевірити положення важеля КПП (повинен бути в нейтральному положенні), справність реле KV4 (щиток приладів). При необхідності - замінити.
Не включаються:	перевірити:
фари транспортні	запобіжник FU6.1 (щиток приладів)
фари жатки	запобіжник FU3.1 (верхня панель кабіни)
фари вивантажного	запобіжник FU3.4 (верхня панель кабіни)
габаритні вогні	запобіжник FU6.2 (щиток приладів)
габаритні вогні	запобіжник FU6.3 (щиток приладів)
повороти ліві і	запобіжник FU4.2 (щиток приладів);
звуковий сигнал	запобіжник FU4.1 (щиток приладів)

склоочисник	запобіжник FU3.2 (верхня панель кабіни)
обігрівач	запобіжник FU5.4 (щиток приладів)
фара-мигалка	запобіжник FU5.1 (щиток приладів), реле KV8 (щиток приладів)
Стоп сигнал	запобіжник FU5.2 (щиток приладів), лампи, датчик SP (під майданчиком управління)
електрогідророзподільника	запобіжник FU5.3 (щиток приладів).
Вивантажний шнек не встановлюється в робоче положення	Перевірити справність обмотки електромагніту в електрогідророзподільника. При необхідності - замінити.
Вивантажний шнек не встановлюється в транспортне положення	Перевірити кінцевий вимикач SQ3 (Ленікс вивантаження). При необхідності - замінити.

Автоматична система контролю

При включенні "маси" не світяться піктограми в блоці А9, а при установці ключа запалювання SA1 в перше або третє положення на блоці БІСЧ не світиться «0»	Перевірити запобіжник FU4.3 (щиток приладів). При необхідності - замінити.
При натисканні на блоці А10 кнопки «Контроль ламп» не світиться одна або кілька піктограм в блоках А9-А11	Замінити перегорілі лампи
На блоці А11 світиться одна або кілька піктограм, вузли комбайна справні	Несправні датчики відповідних вузлів, великий зазор між датчиком і зірочкою. Встановити зазор не більше 2,5 мм
На блоці А9 світиться одна або кілька піктограм	Несправні датчики відповідних вузлів, замикання на «масу» проводів від датчиків. Перевірити справність

	датчиків і відсутність замикання проводу на «масу»
На блоці А12 не працює режим «контроль»	Несправний блок. замінити блок
На блоці А12 показання цифрового табло не відповідають дійсним значенням по одному з каналів вимірювання	Датчик даного каналу. Замінити датчик

Подрібнювач-розкидач

Забивання подрібнюючого барабана	Провести натяг ременів приводу подрібнюючого барабана Змінити кут нахилу ножів протиріжучими пристрої, відпустивши його кріплення, повернути його і затягнути кріплення.
Обрив або деформація ножів подрібнюючого барабана і протиризального пристрою	Замінити ножі новими
Зниження якості подрібнення і розщеплення маси	Переставити ножі барабана, повернувши на 180° іншої ріжучої крайкою. Загострити тупі ножі подрібнюючого барабана і протиріжучого пристрою.

Граничний стан зернозбирального комбайна визначається граничним станом його основних систем, агрегатів і вузлів. Критерії граничного стану комбайна вказані в таблиці Д.1.

Граничний стан систем, агрегатів і вузлів комбайна визначається граничним станом їх основних складових частин. Критерії граничного стану систем, агрегатів і вузлів вказані в таблиці Д.2 і Д.3. Граничний стан вважається таким, що наступило, якщо залишковий ресурс складової частини менше сезонного напрацювання комбайна для зони його використання.

Таблиця Д.1

Критерії граничного стану зернозбирального комбайна

Основні системи і агрегати, граничний стан яких визначає граничний стан комбайна	Критерії граничного стану комбайна
Жнивна частина Камера похилої Система, що несе Молотильний апарат Сепарувальні органи Транспортуючі органи Устаткування для прибирання незернової частини урожаю Кабіна	Граничний стан системи, що несе, і одночасно граничний стан одного агрегату або системи Одночасно граничний стан не менше трьох агрегатів і систем

У таблиці Д.1 не включені такі основні агрегати, як двигун, трансмісія і ходова система, оскільки їх ремонт за термін служби комбайна не повинен проводитися. Якщо перераховані агрегати вийшли з ладу, то їх граничний стан визначається за ознаками, вказаними в таблиці Д.4 і Д.5.

Таблиця Д.2

Критерії граничного стану основних систем і агрегатів комбайна

Система, агрегат	Основні складові частини, граничний стан яких визначає граничний стан системи агрегату	Критерії граничного стану системи, агрегату
Жнивна частина	Корпус жнивarki	Граничний стан корпусу

Камера похилої	Корпус похилої камери Ланцюгово-планковий транспортер	Граничний стан однієї із складових частин (з переліку гр.2)
Система, що несе	Рама молотарки Каркас молотарки	Граничний стан однієї із складових частин (з переліку гр.2)
Молотильний апарат	Барабан Підбарабання з надставкою	Граничний стан однієї із складових частин (з переліку гр.2)
Сепарувальні органи	Соломотряс Гуркіт Нижнє решето очищення (решітний стан) Вентилятор очищення	Граничний стан одночасно двох складових частин (з переліку гр.2)
Транспортуючі органи	Зерновий шнек Нижній колосовий шнек Верхній колосовий шнек Зерновий елеватор Колосовий елеватор Вивантажний шнек бункера Розподільний шнек бункера	Граничний стан одночасно трьох складових частин (з переліку гр.2)
Устаткування для прибирання незернової частини урожаю	Копичник Подрібнювач	Граничний стан однієї із складових частин (з переліку гр.2)
Кабіна	Каркас кабіни	Граничний стан каркаса кабіни

Таблиця Д.3

**Критерії граничного стану основних частин систем і агрегатів (вузлів)
комбайна**

Вузол	Критерії граничного стану
Корпус жниварки	Гранична деформація корпусу Тріщини в зварних з'єднаннях труб або балок корпусу Гранична деформація пальцевого бруса
Корпус похилої камери	Тріщини в зварних з'єднаннях корпуси, що викликали порушення його геометрії Гранична деформація корпусу похилої камери
Ланцюгово-планковий транспортер	Злам, скручування верхнього валу
Рама молотарки	Тріщини в зварних з'єднаннях лонжеронів з поперечними брусами і кронштейнами, що несуть, завдовжки більше 40% від загальної довжини зварного шва Тріщини лонжеронів і поперечних брусів рами Перекося рами молотарки зверху допустимої величини
Каркас молотарки	Деформація і перекося зверху допустимого, тріщини передніх стійок каркаса молотарки* Тріщини в зварних швах передніх стійок каркаса молотарки завдовжки більше 40% від загальної довжини зварного шва Руйнування каркаса молотарки в місцях кріплення зернового бункера Просідання підмоторної рами зверху допустимого Тріщини косинців кріплення копичника (подрібнювача) до каркаса молотарки*

	Тріщини і обриви підкосів каркаса молотарки*
Молотильний барабан	Злам, вигин, граничний знос посадочних місць під підшипники валу барабана Розбивання паза шпони валу барабана під шків приводу Гранична деформація підбічників (бильний барабан) Послаблення або руйнування чотирьох і більше заклепок одного підбічника Тріщини зварних швів опорного диска барабана
Підбарабання з надставкою	Граничний прогин планок решітки Граничний знос планок решітки
Соломотряс	Вигин, злам, граничний знос шатунових шийок колінчастого валу Руйнування тріщини, гранична деформація двох і більше клавіш соломотряса Граничний знос валу під маточиною шків доту
Гуркіт	Гранична деформація, тріщини рами стрясной дошки* Гранична деформація, тріщини рами решета* Гранична деформація, тріщини рами подовжувача гуркоту* Граничний знос, обрив ремінних відливів гуркоту Граничний знос осей гребінок решета Руйнування, тріщина осі (сполучного пальця) гуркоту Гранична деформація, знос посадочних місць коливального валу
Нижнє решето очищення (решітний стан)	Гранична деформація корпусу* Тріщина в зварних швах корпусу завдовжки більше 40% від загальної довжини зварного шва

	Граничний знос осей гребінок решета
Вентилятор очищення	Гранична деформація кожуха* Гранична деформація, обрив лопатей Гранична деформація консольної частини валу Розбивання паза шпони під шків приводу
Шнек	Обрив по зварюванню усієї спіралі або частковий обрив з деформацією стрічки Граничний знос спіралі Злам, вигин, граничний знос посадочних місць валу Гранична деформація, руйнування, знос кожуха*
Елеватор	Граничний знос скребків Гранична деформація пластин жорсткості скребків Гранична деформація, руйнування, знос середньої дошки кожуха*
Копнувач	Гранична деформація, злам днища Граничний знос посадочних місць, вигин консольної частини, те, що зім'яло шліц валу соломонабивача Граничний знос посадочних місць валу половонабивача
Подрібнювач соломи	Злам протирізального бруса Гранична деформація валу шнека Гранична деформація, злам, знос посадочних місць валу барабана Руйнування боковин подрібнювача* Руйнування зварних швів кронштейнів кріплення ножів
Каркас кабіни	Руйнування каркаса кабіни, майданчики водія в місцях кріплення до каркаса молотарки*

*Ушкодження корпусних деталей вузла, що не вимагають для їх усунення повного розбирання вузла, не є критеріями граничного стану.

Таблиця Д.4

Критерії граничного стану двигуна, трансмісії і ходової частини

Агрегат	Основні складові частини, граничний стан яких визначає граничний стан агрегату	Критерії граничного стану агрегату
Двигун	Блок циліндрів (корпус блоку) Кривошипно-шатунний механізм Циліндропоршнева група	Граничний стан однієї із складових частин
Трансмісія	Коробка передач Міст провідних коліс	Граничний стан однієї із складових частин
Ходова частина	Міст керованих коліс (для колісного і напівгусеничного комбайна) Гусеничний візок (для гусеничного і напівгусеничного комбайна)	Граничний стан моста керованих коліс або двох гусеничних візків

Таблиця Д.5

Критерії граничного стану основних складових частин (вузлів) двигуна, трансмісії і ходової частини

Вузол	Критерії граничного стану
Блок циліндрів (корпус блоку)	Ушкодження блоку циліндрів, заміни, що вимагають його, або ремонту з демонтажем і повним розбиранням
Кривошипно-шатунний механізм	Граничний знос колінчастого валу (параметр технічного стану - граничний проміжок в сполученні шейку валу - вкладиш)* Ушкодження колінчастого валу, заміни, що вимагають його, або шліфовки

Циліндропоршнева група	Гранична витрата масла на чад або граничну кількість газів, що прориваються в картер, що не усуваються заміною комплекту кілець*
Муфта зчеплення	Ушкодження корпусу, кожуха, заміни, що вимагають його, або ремонту з демонтажем і повним розбиранням Граничний знос або руйнування нажимного (ведучого) диска, окрім середнього Граничний знос посадочних місць під підшипники на валу
Коробка передач	Ушкодження картера, заміни, що вимагають його, або ремонту з демонтажем і повним розбиранням Граничний стан хоч би одного валу при напрацюванні більше 200 ч, визначуване граничним зносом посадочних місць під підшипники, граничним зносом шліців, наявністю тріщин, граничним вигином Граничний стан хоч би однієї шестерні постійного зачеплення при напрацюванні більше 200 ч.
Міст провідних коліс	Ушкодження картера, заміни, що вимагають його, або ремонту з демонтажем і повним розбиранням Граничний стан водила бортового редуктора, визначуване граничним зносом отворів під осі сателітів, граничним зносом шліців Граничний стан хоч би однієї шестерні постійного зачеплення при напрацюванні більше 200 ч.
Міст керованих коліс	Злам штампо - зварного бруса балки моста Тріщини зварних швів балки моста завдовжки більше 40% від загальної довжини шва Тріщини поворотного кулака Граничний знос посадочних місць під підшипники поворотного кулака Злам поворотного кулака

Візок гусеничний	<p>Тріщини в зварних з'єднаннях рами візка завдовжки більше 40% від загальної довжини зварного шва</p> <p>Поперечні тріщини швелера рами візка</p> <p>Гранична деформація труби рами візка</p> <p>Послаблення посадки втулки в рамі візка</p> <p>Обрив поперечних косинок рами візка</p> <p>Граничний знос посадочних місць під підшипники в маточині (на 3-х і більше катках)</p> <p>Руйнування або сколення обода (3-х і більше за катки) на довжині більше 150 мм</p> <p>Граничний знос реборд і поверхні бігової доріжки (3-х і більше за катки)</p> <p>Граничний знос поверхні реборд і бігової доріжки натяжного (що направляє) колеса</p> <p>Граничний знос посадочних місць під підшипники маточини натяжного (що направляє) колеса</p> <p>Руйнування або сколення обода натяжного (що направляє) колеса на довжині більше 200 мм</p> <p>Тріщина на 3-х спицях натяжного (що направляє) колеса</p> <p>Граничний двосторонній знос робочої поверхні зубів провідної зірочки</p>
------------------	--

Ресурс комбайна, його основної системи, агрегату або вузла відновлюється ремонтом, що виконується відповідно до діючої нормативно-технічної документації.

Втрата працездатності (відмова) комбайна, його основної системи, агрегату або вузла, що не кваліфікується як граничний стан, відновлюється усуненням несправностей, що виконується силами експлуатаційного персоналу або ремонтними службами експлуатуючих господарств.

Рішення про граничний стан комбайна, його основної системи агрегату або вузла приймається за результатами технічного контролю.

Зернозбиральний комбайн
“Славутич КСЗ-9.1”

№ п/п	Назва операції	Трудомісткість технічного контролю, люд-хв.	
Контрольно-оглядові роботи, очищення та зовнішнє миття комбайна			
1.	Зовнішній огляд та очищення комбайна	ЩТО; ТО-1; зберігання	48
2.	Перевірка і затяжка зовнішніх кріплень складових частин комбайну	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	91
3.	Перевірка роботоздатності двигуна, контрольних приладів, механізмів керування, виконавчих вузлів гідросистеми	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	36
4.	Зовнішнє миття комбайна	зберігання	45
5.	Перевірка та регулювання натягу ланцюгових передач	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	42
6.	Перевірка та регулювання натягу клинопасових передач	ЩТО; ТО-; підготовка до сезону	38
7.	Перевірка та регулювання запобіжних муфт	підготовка до сезону	87
Заправочно-змащувальні роботи			
8.	Перевірка рівня і дозаправки води в радіатор та масла в картер двигуна, баки гідроприводу та гідросистеми	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	42
9.	Заміна масла в картері двигуна, конічному редукторі похилого шнека бункера, механізмі коливальної шайби, бортових редукторах та коробці діапазонів	Обкатка; підготовка до сезону	68
10.	Мащення зернозбирального комбайна “Дон-1500”	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	

Технічне обслуговування жатки			
11.	Перевірка та регулювання різального апарату	підготовка до сезону	36
12.	Перевірка та регулювання мотовила	підготовка до сезону	23
13.	Перевірка та регулювання шнека жатки та проставки	Підготовка до сезону	52
14.	Перевірка та регулювання врівноважувального механізму жатки	ТО-1; підготовка до сезону	44
Технічне обслуговування похилої камери			
15.	Перевірка та регулювання транспортеру похилої камери	ТО-1; підготовка до сезону	24
16.	Перевірка та регулювання механізму включення і виключення приводу похилої камери	обкатка; ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	29
Технічне обслуговування підбирача			
17.	Перевірка та регулювання натягу тягових ланцюгів транспортера підбирача	обкатка; ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	14
18.	Перевірка та регулювання положення платформи підбирача відносно ґрунту	підготовка до сезону	14
19.	Перевірка та регулювання розвантажувального пристрою підбирача	підготовка до сезону	12
Технічне обслуговування молотарки			
20.	Перевірка та регулювання молотильного апарату	підготовка до сезону	32
21.	Перевірка та регулювання механізму включення молотарки	обкатка; ЩТО; ТО-1;	24

		підготовка до сезону	
22.	Перевірка соломотряса	підготовка до сезону	17
23.	Перевірка та регулювання вузлів очистки	підготовка до сезону	23
24.	Перевірка та регулювання транспортуючих органів	ТО-1; підготовка до сезону	88
Технічне обслуговування копнувача та подрібнювача			
25.	Перевірка та регулювання клопувач	підготовка до сезону	47
26.	Перевірка та регулювання подрібнювача	підготовка до сезону	24
Технічне обслуговування моторної установки			
27.	Очищення та промивка неповно поточної центрифуги	підготовка до сезону	44
28.	Перевірка герметичності впускного повітряного тракту и системи проміжного охолодження повітря	підготовка до сезону	14
29.	Перевірка ступеня забрудненості повітроочисника	підготовка до сезону	11
30.	Очистка повітроочисника двигуна	ЩТО; ТО-1; підготовка до сезону	35
31.	Злив відстою із паливного бака, прочистка отвору в кінці паливного бака	обкатка, ТО-1; підготовка до сезону	12
32.	Злив відстою та промивка фільтра грубої очистки палива	ТО-1; підготовка до сезону	44
33.	Злив відстою і заміна фільтруючих елементів фільтра тонкої очистки палива	підготовка до сезону	24

34.	Перевірка та регулювання кута початку нагнітання палива	підготовка до сезону	55
35.	Перевірка та регулювання форсунок	підготовка до сезону	88
36.	Перевірка та регулювання зазорів між клапанами та коромислами механізму газорозподілу	Підготовка до сезону	112
Технічне обслуговування ходової частини			
37.	Перевірка тиску повітря в шинах	обкатка; ТО-1; підготовка до сезону	15
38.	Перевірка рівня гальмівної рідини в живильних бачках гідроприводів гальм і блокування коробки діапазонів	ТО-1; підготовка до сезону	12
39.	Перевірка та регулювання гальм	обкатка; ТО-1; підготовка до сезону	18
40.	Перевірка та регулювання механізму переключення та блокування коробки діапазонів	обкатка; підготовка до сезону	14
Технічне обслуговування гідросистеми			
41.	Очистка та промивка сапунів баків гідроприводу і гідросистеми	ТО-1; підготовка до сезону	21
42.	Заміна фільтруючих елементів гідроприводу ГСТ-90	обкатка; підготовка до сезону	48
Технічне обслуговування електрообладнання			
43.	Перевірка роботоздатності системи освітлення та сигналізації	обкатка; підготовка до сезону	22

44.	Очистка акумуляторних батарей, перевірка рівня електроліту та доливка дистильованої води в акумуляторні батареї	обкатка; ТО-1; підготовка до сезону	16
-----	---	-------------------------------------	----

Зернозбиральний комбайн “Славутич КСЗ-9.1”

№ п/п	Назва операції	Трудовіс- ть, люд-хв.
Обкатка		
1.	Заміна масла в картері двигуна, конічному редукторі похилого шнека бункера, механізмі коливальної шайби, бортових редукторах та коробці. діапазонів	68
2.	Перевірка та регулювання механізму включення і виключення приводу похилої камери	29
3.	Перевірка та регулювання натягу тягових ланцюгів транспортера підбирача	14
4.	Перевірка та регулювання механізму включення молотарки	24
5.	Злив відстою із паливного бака, про чистка отвору в кришці паливного бака	12
6.	Перевірка тиску в шинах	15
7.	Перевірка та регулювання гальм	18
8.	Перевірка та регулювання механізму переключення та блокування коробки діапазонів	14
9.	Заміна фільтруючих елементів гідроприводу ГСТ-90	48
10.	Перевірка роботоздатності системи освітлення та сигналізації	22
11.	Очистка акумуляторних батарей, перевірка рівня електроліту та доливка дистильованої води в акумуляторні. батареї	
Щ Т О		
1.	Зовнішній огляд та очищення комбайна	48

2.	Перевірка і затяжка зовнішніх кріплень складових частин комбайну	91
3.	Перевірка роботоздатності двигуна, контрольних приладів, механізмів керування, виконавчих вузлів гідросистеми	36
4.	Перевірка та регулювання натягу ланцюгових передач	42
5.	Перевірка та регулювання натягу клинопасових передач	38
6.	Перевірка рівня і дозаправки води в радіатор та масла в картер двигуна, баки гідроприводу та гідросистеми	42
7.	Мащення зернозбирального комбайна “Дон-1500”	
8.	Перевірка та регулювання механізму включення і виключення приводу похилої камери	29
9.	Перевірка та регулювання натягу тягових ланцюгів транспортера підбирача	14
10.	Перевірка та регулювання механізму включення молотарки	24
11.	Очистка повітроочисника двигуна	35
ТО-1		
1.	Зовнішній огляд та очищення комбайна	48
2.	Перевірка і затяжка зовнішніх кріплень складових частин комбайну	91
3.	Перевірка роботоздатності двигуна, контрольних приладів, механізмів керування, виконавчих вузлів гідросистеми	36
4.	Перевірка та регулювання натягу ланцюгових передач	42
5.	Перевірка та регулювання натягу клинопасових передач	38
6.	Перевірка рівня і дозаправки води в радіатор та масла в картер двигуна, баки гідроприводу та гідросистеми	42
7.	Мащення комбайна	
8.	Перевірка та регулювання врівноважувального механізму жатки	44
9.	Перевірка та регулювання транспортеру похилої камери	24

10.	Перевірка та регулювання механізму включення і виключення приводу похилої камери	29
11.	Перевірка та регулювання натягу тягових ланцюгів транспортера підбирача	14
12.	Перевірка та регулювання механізму включення молотарки	24
13.	Перевірка та регулювання транспортуючих органів	88
14.	Очистка повітроочисника двигуна	35
15.	Злив відстою із паливного бака, прочистка отвору в кришці паливного бака	12
16.	Злив відстою та промивка фільтра грубої очистки палива	44
17.	Перевірка рівня гальмівної рідини в живильних бачках гідроприводів гальм і блокування коробки діапазонів	12
18.	Перевірка та регулювання гальм	18
19.	Очистка та промивка сапуні баків гідроприводу і гідросистеми	21
20.	Очистка акумуляторних батарей, перевірка рівня електроліту та доливка дистильованої води в акумуляторні батареї	16
Підготовка до сезону		
1.	Перевірка і затяжка зовнішніх кріплень складових частин комбайну	91
2.	Перевірка роботоздатності двигуна, контрольних приладів, механізмів керування, виконавчих вузлів гідросистеми	36
3.	Перевірка та регулювання натягу ланцюгових передач	42
4.	Перевірка та регулювання натягу клинопасових передач	38
5.	Перевірка та регулювання запобіжних муфт	87
6.	Перевірка рівня і дозаправки води в радіатор та масла в картер двигуна, баки гідроприводу та гідросистеми	42
7.	Заміна масла в картері двигуна, конічному редукторі похилого бункера, механізмі коливальної шайби, бортових редукторах та коробці діапазонів	68

8.	Мащення комбайну	
9.	Перевірка різального апарату	36
10.	Перевірка та регулювання мотовила	23
11.	Перевірка та регулювання шнека жатки та проставки	32
12.	Перевірка та регулювання врівноважу вального механізму жатки	44
13.	Перевірка та регулювання транспортеру похилої камери	24
14.	Перевірка та регулювання механізму включення і виключення приводу похилої камери	29
15.	Перевірка та регулювання натягу тягових ланцюгів транспортера підбирача	14
16.	Перевірка та регулювання положення платформи підбирача відносно ґрунту	14
17.	Перевірка та регулювання розвантажувального пристрою підбирача	12
18.	Перевірка та регулювання молотильного апарату	32
19.	Перевірка та регулювання механізму включення молотарки	24
20.	Перевірка соломотряса	17
21.	Перевірка та регулювання вузлів очистки	23
22.	Перевірка та регулювання транспортуючих органів	88
23.	Перевірка та регулювання копнувача	47
24.	Перевірка та регулювання подрібнювача	24
25.	Очищення та промивка неповно поточної центрифуги	44
26.	Перевірка герметичності впускного повітряного тракту і системи проміжного охолодження повітря	14
27.	Перевірка ступеня забрудненості повітроочисника	11
28.	Очистка повітроочисника двигуна	35
29.	Злив відстою із паливного бака, промивка отвору в кришці паливного бака	12
30.	Злив відстою та промивка фільтра грубої очистки палива	44
31.	Злив відстою і заміна фільтруючих елементів фільтра	24

	тонкої очистки палива	
32.	Перевірка та регулювання кута початку нагнітання палива	55
33.	Перевірка та регулювання форсунок	88
34.	Перевірка та регулювання зазорів між клапанами та коромислами механізму газорозподілу	112
35.	Перевірка тиску повітря в шинах	15
36.	Перевірка рівня гальмівної рідини в живильних бачках гідроприводів гальм і блокування коробки діапазонів	12
37.	Перевірка та регулювання гальм	18
38.	Перевірка та регулювання механізму переключення та блокування коробки діапазонів	14
39.	Очистка та промивка сапунів баків гідроприводу і гідросистеми	21
40.	Заміна фільтруючих елементів гідроприводу ГСТ-90	48
41.	Перевірка роботи здатності системи освітлення та сигналізації	22
42.	Очистка акумуляторних батарей, перевірка рівня електроліту та доливка дистильованої води в акумуляторні батареї	16
Зберігання		
1.	Зовнішній огляд та очищення комбайна	48
2.	Зовнішнє миття комбайна	45

Тривалість усунення відмов зернозбиральних комбайнів

Обробляємо файл даних:	Час_усун_відмовы.txt
Об'єм вибірки:	n = 52
Мінімальне значення:	xmin = 7.5000000
Максимальне значення:	xmax = 12.3000000
Асиметрія (не зміщена):	Ax= -0.2118400
Екссес (не зміщений):	Ex= -1.2028904
Медіана:	Medx = 10.3500000
Розмах вибірки:	Rx = 4.8000000
Число ступенів свободи вибірки:	f = 51
Дисперсія:	Dx= 2.2583220
Середньоквадратичне відхилення:	Sx= 1.5027714
Вибіркове математичне очікування:	Mx= 10.1673077

Задаємо довірчі інтервали: p=[0.9;0.95;0.99;0.999]

Число інтервалів: **k=7** Ширина інтервалу: **h= 0.68571**

Дисперсія: Ax: **Da= 0.10497** Ex: **De= 0.34721**

Довірчі інтервали для генеральної асиметрії

p= 0.9000:	-1.236409<=ax<= 0.812730
p= 0.9500:	-1.660800<=ax<= 1.237120
p= 0.9900:	-3.451813<=ax<= 3.028133
p= 0.9990:	-10.457535<=ax<=10.033855

Довірчі інтервали для генерального екссесу

p= 0.9000:	-3.066246<=ex<= 0.660465
p= 0.9500:	-3.838073<=ex<= 1.432292
p= 0.9900:	-7.095338<=ex<= 4.689557
p= 0.9990:	-19.836444<=ex<=17.430663

Довірчі інтервали для генерального МО

p= 0.1000:	9.818183<=mx<=10.516432
p= 0.0500:	9.748933<=mx<=10.585682
p= 0.0100:	9.609695<=mx<=10.724920
p= 0.0010:	9.439634<=mx<=10.894981

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії

p= 0.9000:	1.677233<=Dx<= 3.235249
p= 0.9500:	1.586075<=Dx<= 3.473107
p= 0.9900:	1.426368<=Dx<= 4.008198
p= 0.9990:	1.267223<=Dx<= 4.771920

=====

Параметри різних розподілів за правилом максимальної правдоподібності (ПМП):

гамбеловський розподіл:	mu= 10.8921725772;	sigma= 1.2697561104;
експоненціальний розподіл:	mu= 10.1673076923;	
гамма - розподіл:	a= 44.9975544062;	b= 0.2259524507;
логнормальний розподіл:	mu= 2.3080245750;	sigma= 0.1509427585;
нормальний розподіл:	mu= 10.1673076923;	sigma= 1.4882515753;
релеєвський розподіл:	b= 7.2659837070;	
рівномірний розподіл:	a= 7.5000000000;	b= 12.3000000000;
вейбуловський розподіл:	a= 10.8065328354;	b= 8.1141218443;

=====

Критерій згоди Колмогорова:

Краще всього підходить **гамма - розподіл;**

Критичний рівень значущості для нього = **0.4364575074**

=====

$origin := 1$

$n := 52$ $x := \text{READExcel}(\text{"NewData.xlsx"}, \text{"Лист1!C2:C52"})$

$l := \text{round}(1 + 3.32 \cdot \log(n)) = 7$

$\min(x) = 7.5$ $\max(x) = 12.3$

$f := \text{histogram}(l, x)$

$p := \frac{f^{(1)}}{n}$ $h := \frac{\max(x) - \min(x)}{l} = 0.686$ $f1 := \frac{p}{h}$

$f =$	$\begin{bmatrix} 7.843 & 8 \\ 8.529 & 4 \\ 9.214 & 8 \\ 9.9 & 5 \\ 10.586 & 8 \\ 11.271 & 4 \\ 11.957 & 14 \end{bmatrix}$	$p =$	$\begin{bmatrix} 0.154 \\ 0.077 \\ 0.154 \\ 0.096 \\ 0.154 \\ 0.077 \\ 0.269 \end{bmatrix}$	$f1 =$	$\begin{bmatrix} 0.224 \\ 0.112 \\ 0.224 \\ 0.14 \\ 0.224 \\ 0.112 \\ 0.393 \end{bmatrix}$
-------	---	-------	---	--------	--

$int := f^{(0)} =$	$\begin{bmatrix} 7.843 \\ 8.529 \\ 9.214 \\ 9.9 \\ 10.586 \\ 11.271 \\ 11.957 \end{bmatrix}$	$int1 := int - \frac{h}{2} =$	$\begin{bmatrix} 7.5 \\ 8.186 \\ 8.871 \\ 9.557 \\ 10.243 \\ 10.929 \\ 11.614 \end{bmatrix}$
--------------------	--	-------------------------------	--

$\sigma := \text{stdev}(x) = 1.503$ $\text{median}(x) = 10.4$ $\mu := \text{mean}(x) = 10.165$

$\text{var}(x) = 2.258$

$a := 44.9975544062$

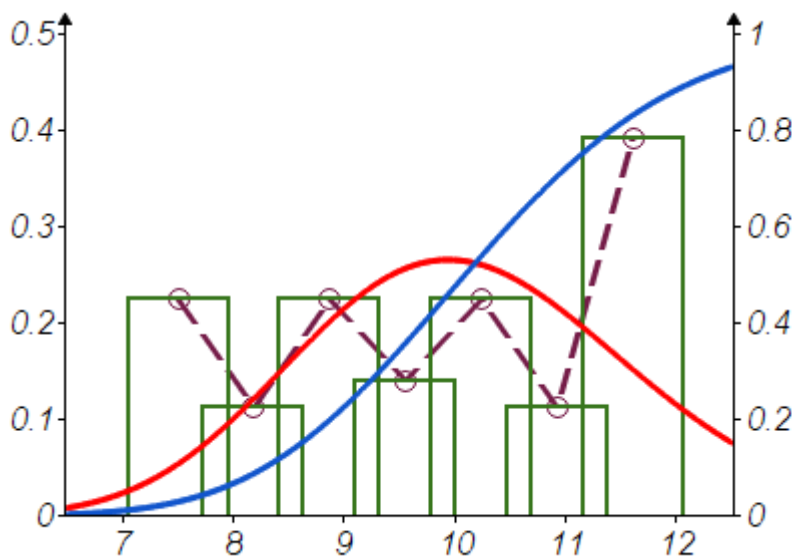
$b := 0.2259524507$

$x := 6.5, 6.51 \dots 12.5$

Гамма розподіл

$$f(x) := \frac{1}{b^a \cdot \Gamma(a)} \cdot x^{a-1} \cdot e^{-\frac{x}{b}}$$

$$F(x) := \frac{1}{b^a \cdot \Gamma(a)} \cdot \int_0^x t^{a-1} \cdot e^{-\frac{t}{b}} dt$$



Коефіцієнт готовності зернозбиральних комбайнів

Обробляємо файл даних:	Коефіцієнт готовності.txt
Об'єм вибірки:	n=52
Мінімальне значення:	xmin= 0.8100000
Максимальне значення:-	xmax= 0.9300000
Асиметрія (не зміщена):	Ax= -0.0046663
Екссес (не зміщений):	Ex= -1.0660518
Медіана:	Medx= 0.8700000
Розмах вибірки:	Rx= 0.1200000
Число ступенів свободи вибірки:	f=51
Дисперсія:	Dx= 0.0011989
середньоквадратичне відхилення:	Sx= 0.0346252
Вибіркове математичне очікування:	Mx= 0.8667308

Задаємо довірчі інтервали: $p=[0.9;0.95;0.99;0.999]$

Число інтервалів: $k=7$ Ширина інтервалу: $h= 0.01714$

Дисперсія Ax: $Da= 0.10497$ Дисперсія Ex: $De= 0.34721$

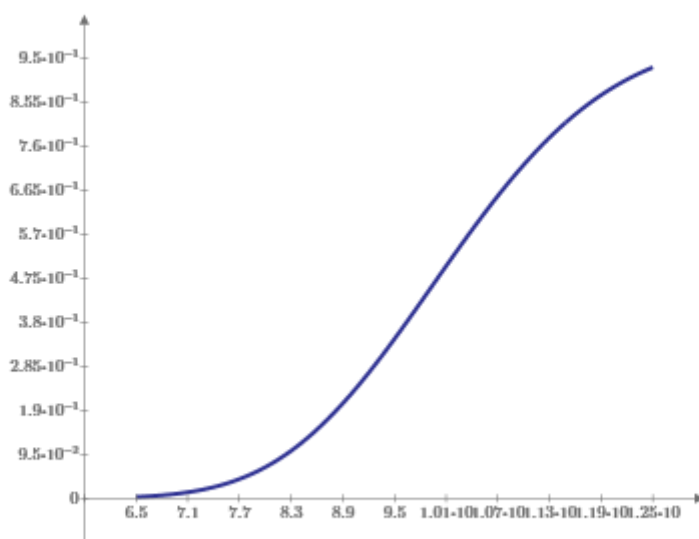
Довірчі інтервали для генеральної асиметрії

$p= 0.9000: -1.029236 \leq ax \leq 1.019903$

$p= 0.9500: -1.453626 \leq ax \leq 1.444294$

$p= 0.9900: -3.244640 \leq ax \leq 3.235307$

$p= 0.9990: -$



$10.250362 \leq ax \leq 10.241029$

Довірчі інтервали для генерального екссесу

$p= 0.9000: -2.929407 \leq ex \leq 0.797304$

$p= 0.9500: -3.701234 \leq ex \leq 1.569131$

$p= 0.9900: -6.958499 \leq ex \leq 4.826395$

$p= 0.9990: -19.699606 \leq ex \leq 17.567502$

Довірчі інтервали для генерального МО

$p= 0.1000: 0.858687 \leq mx \leq 0.874775$

$p= 0.0500: 0.857091 \leq mx \leq 0.876370$

$p= 0.0100: 0.853883 \leq mx \leq 0.879579$

$p= 0.0010: 0.849965 \leq mx \leq 0.883497$

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії

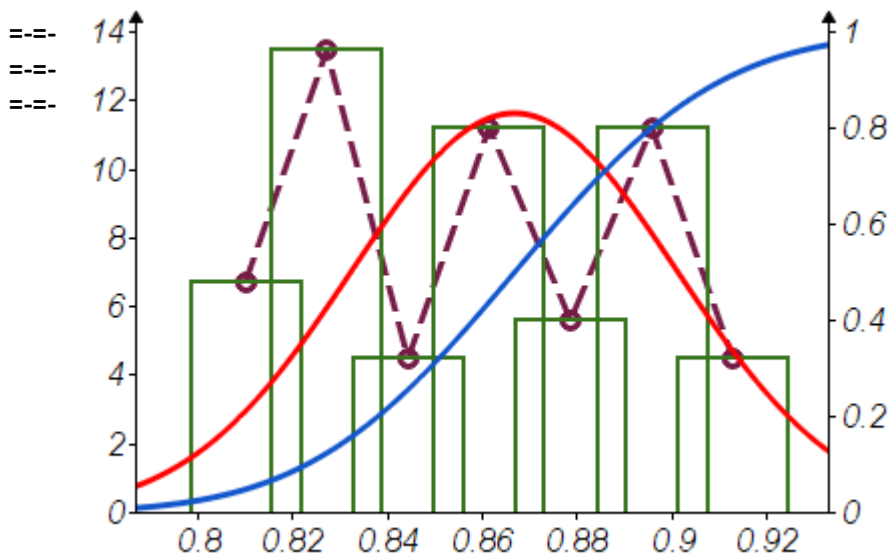
$origin := 1$
 $n := 52$ $x := \text{READExcel}(\text{"NewData.xlsx"}, \text{"Лист1!D2:D52"})$
 $l := \text{round}(1 + 3.32 \cdot \log(n)) = 7$ $\min(x) = 0.81$ $\max(x) = 0.93$
 $f := \text{histogram}(l, x)$
 $p = \frac{f^{(1)}}{n}$ $h = \frac{\max(x) - \min(x)}{l} = 0.017$ $f1 = \frac{p}{h}$
 $p = 0.9000: 0.000890 \leq Dx \leq 0.001718$
 $p = 0.9500: 0.000842 \leq Dx \leq 0.001844$
 $p = 0.9900: 0.000757 \leq Dx \leq 0.002128$
 $p = 0.9990: 0.000673 \leq Dx \leq 0.002533$
 $f = \begin{bmatrix} 0.819 & 6 \\ 0.836 & 12 \\ 0.853 & 4 \\ 0.87 & 10 \\ 0.887 & 5 \\ 0.904 & 10 \\ 0.921 & 4 \end{bmatrix}$ $p = \begin{bmatrix} 0.115 \\ 0.231 \\ 0.077 \\ 0.192 \\ 0.096 \\ 0.192 \\ 0.077 \end{bmatrix}$ $f1 = \begin{bmatrix} 6.731 \\ 13.462 \\ 4.487 \\ 11.218 \\ 5.609 \\ 11.218 \\ 4.487 \end{bmatrix}$
Параметри різних розподілів за правилом максимальної правдоподібності (ПМП):
 гамбеловський розподіл: $\mu = 0.8837919056$; $\sigma = 0.0314407598$;
 експоненціальний розподіл: $\mu = 0.8667307692$;
 гамма - розподіл: $a = 638.0073055997$; $b = 0.0013584966$;
 логнормальний розподіл: $\mu = 0.1438107767$; $\sigma = 0.0396135111$;
 нормальний розподіл: $\mu = 0.8667307692$; $\sigma = 0.0342906779$;
 релеєвський розподіл: $b = 0.6133506652$;
 рівномірний розподіл: $a = 0.8100000000$; $b = 0.9300000000$;
 вейбуловський розподіл: $a = 0.8831955432$; $b = 27.9344367443$;
 $\sigma := \text{stdev}(x) = 0.034$ $\text{median}(x) = 0.87$ $\mu := \text{mean}(x) = 0.866$
 $\text{var}(x) = 0.001$ $\text{mode}(x) = 0.87$
 $\mu = 0.8667307692$ $\sigma = 0.0342906779$ $x = 0.7, 0.701 \dots 1$

Нормальний розподіл

$$F(x) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(t-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt$$

$$f(x) := \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2 \cdot \sigma^2}}$$

Критерій згоди Колмогорова:
 Краще всього підходить
рівномірний розподіл;
 Критичний рівень значущості
 для нього = **0.4589853444**



Критерій згоди Пірсона:
 Краще всього підходить
нормальний розподіл;
 χ^2 -статистика для
 нього = **18.38462**;
 Критичне значення =
12.01704

Сезонний наробіток зернозбиральних комбайнів

Обробляємо файл даних: Наробіток.txt
 Об'єм вибірки: n=52
 Мінімальне значення: xmin= 299.0000000
 Максимальне значення: xmax= 346.0000000
 Асиметрія (не зміщена): Ax= -0.6028346
 Екссес (не зміщений): Ex= 0.5207775
 Медіана: Medx= 329.0000000
 Розмах вибірки: Rx= 47.0000000
 Число ступенів свободи вибірки: f=51
 Дисперсія: Dx= 113.4611614
 середньоквадратичне відхилення: Sx= 10.6518149
 Вибіркове математичне очікування: Mx= 328.9038462

Задаємо довірчі інтервали: p=[0.9;0.95;0.99;0.999]

Число інтервалів: k=7 Ширина інтервалу: h= 6.71429
 Дисперсія: Ax: Da= 0.10497 Ex: De= 0.34721

Довірчі інтервали для генеральної асиметрії:

p= 0.9000: -1.627404<=ax<= 0.421735
 p= 0.9500: -2.051795<=ax<= 0.846126
 p= 0.9900: -3.842808<=ax<= 2.637139
 p= 0.9990: -10.848530<=ax<= 9.642861

Довірчі інтервали для генерального екссесу:

p= 0.9000: -1.342578<=ex<= 2.384133
 p= 0.9500: -2.114405<=ex<= 3.155960
 p= 0.9900: -5.371670<=ex<= 6.413225
 p= 0.9990: -18.112776<=ex<=19.154331

Довірчі інтервали для генерального МО:

p= 0.1000: 326.429214<=mx<=331.378478
 p= 0.0500: 325.938362<=mx<=331.869330
 p= 0.0100: 324.951427<=mx<=332.856265
 p= 0.0010: 323.746016<=mx<=334.061677

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії:

p= 0.9000: 84.266473<=Dx<=162.543296
 p= 0.9500: 79.686568<=Dx<=174.493592
 p= 0.9900: 71.662646<=Dx<=201.377318
 p= 0.9990: 63.667015<=Dx<=239.747715

=====

Параметри різних розподілів за правилом максимальної правдоподібності (ПМП):

гамбеловський розподіл: $\mu=333.9072292509$; $\sigma= 8.8428026340$;
 експоненціальний розподіл: $\mu=328.9038461538$;
 гамма - розподіл: $\alpha=958.5571551515$; $b= 0.3431238757$;
 логнормальний розподіл: $\mu= 5.7952437391$; $\sigma= 0.0324216946$;
 нормальний розподіл: $\mu=328.9038461538$; $\sigma= 10.5488964341$;
 релеєвський розподіл: $b=232.6897282120$;
 рівномірний розподіл: $\alpha=299.0000000000$; $b=346.0000000000$;
 вейбуловський розподіл: $\alpha=333.7784505600$; $b= 37.4293172707$;

=====

Критерій згоди Колмогорова:

Краще всього підходить вейбуловський розподіл;
 Критичний рівень значущості для нього = 0.4950210473

=====

Критерій згоди Пірсона:

Краще всього підходить вейбуловський розподіл;

$origin := 1$

$n := 52$ $x := \text{READExcel}(\text{"NewData.xlsx"}, \text{"Лист1!A2:A52"})$

chi2-статистика для нього =

19.92308;

$l := \text{round}(1 + 3.32 \cdot \log(n)) = 7$

12.01704

$\min(x) = 299$ $\max(x) = 346$

$f := \text{histogram}(l, x)$

$p := \frac{f^{(1)}}{n}$ $h := \frac{\max(x) - \min(x)}{l} = 6.714$ $f1 := \frac{p}{h}$

$f =$	$\begin{bmatrix} 302.357 & 2 \\ 309.071 & 0 \\ 315.786 & 11 \\ 322.5 & 6 \\ 329.214 & 14 \\ 335.929 & 6 \\ 342.643 & 12 \end{bmatrix}$	$p =$	$\begin{bmatrix} 0.038 \\ 0 \\ 0.212 \\ 0.115 \\ 0.269 \\ 0.115 \\ 0.231 \end{bmatrix}$	$f1 =$	$\begin{bmatrix} 0.006 \\ 0 \\ 0.032 \\ 0.017 \\ 0.04 \\ 0.017 \\ 0.034 \end{bmatrix}$
-------	--	-------	---	--------	--

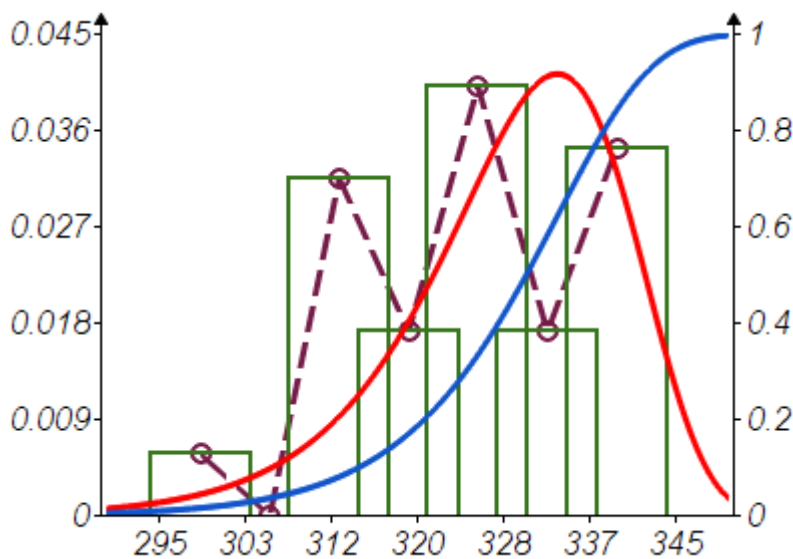
$int := f^{(0)} =$	$\begin{bmatrix} 302.357 \\ 309.071 \\ 315.786 \\ 322.5 \\ 329.214 \\ 335.929 \\ 342.643 \end{bmatrix}$	$int1 := int - \frac{h}{2} =$	$\begin{bmatrix} 299 \\ 305.714 \\ 312.429 \\ 319.143 \\ 325.857 \\ 332.571 \\ 339.286 \end{bmatrix}$
--------------------	---	-------------------------------	---

$\sigma := \text{stdev}(x) = 10.638$ $\text{median}(x) = 330$ $\mu := \text{mean}(x) = 328.98$
 $\text{var}(x) = 113.156$

$a := 333.77845056$ $b := 37.4293172707$ $x := 290, 290.1 \dots 350$

Розподіл Вейбула

$$f(x) := \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \quad F(x) := 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$



```

origin:=1 Обробляємо файл даних: Наробіток_на_відмову.txt
n:=52 Об'єм вибірки: n=52
Мінімальне значення: xmin= 127.0000000
Максимальне значення: xmax= 183.0000000
Асиметрія (не зміщена): Ax= -0.1777870
Екссес (не зміщений): Ex= -1.2146338
Медіана: Medx= 156.0000000
Розмах вибірки: Rx= 56.0000000
Число ступенів свободи вибірки: f=51
Дисперсія: Dx= 315.5878582
середньоквадратичне відхилення: Sx= 17.7647927
Вибіркове математичне очікування: Mx= 156.9807692

```

Задаємо довірчі інтервали: $p=[0.9;0.95;0.99;0.999]$

```

Число інтервалів: k=7 Ширина інтервалу: h= 8.00000
Дисперсія Ax: Da= 0.10497 Ex: De= 0.34721

```

Довірчі інтервали для генеральної асиметрії

```

p= 0.9000: -1.202357<=ax<= 0.846782
p= 0.9500: -1.626747<=ax<= 1.271173
p= 0.9900: -3.417760<=ax<= 3.062186
p= 0.9990: -10.423482<=ax<=10.067908

```

Довірчі інтервали для генерального екссесу

```

p= 0.9000: -3.077989<=ex<= 0.648722
p= 0.9500: -3.849816<=ex<= 1.420549
p= 0.9900: -7.107081<=ex<= 4.677813
p= 0.9990: -19.848188<=ex<=17.418920

```

Довірчі інтервали для генерального МО

```

p= 0.1000: 152.853649<=mx<=161.107890
p= 0.0500: 152.035019<=mx<=161.926519
p= 0.0100: 150.389038<=mx<=163.572501
p= 0.0010: 148.378687<=mx<=165.582851

```

Довірчі інтервали для генеральної дисперсії

```

p= 0.9000: 234.383956<=Dx<=452.107929
p= 0.9500: 221.645126<=Dx<=485.347218
p= 0.9900: 199.326894<=Dx<=560.123267
p= 0.9990: 177.087353<=Dx<=666.849053

```

=====

Параметри різних розподілів за правилом максимальної правдоподібності (ПМП):

```

гамбеловський розподіл: mu=165.5816911739; sigma= 15.1125155881;
експоненціальний розподіл: mu=156.9807692308;
гамма - розподіл: a= 77.8581701652; b= 2.0162401569;
логнормальний розподіл: mu= 5.0496876284; sigma= 0.1141840084;
нормальний розподіл: mu=156.9807692308; sigma= 17.5931481250;
релеєвський розподіл: b=111.6970921046;
рівномірний розподіл: a=127.0000000000; b=183.0000000000;
вейбуловський розподіл: a=164.7987891982; b= 10.5257320462;

```

=====

Критерій згоди Колмогорова:

Краще всього підходить **вейбуловський розподіл**;
Критичний рівень значущості для нього = **0.3554584213**

=====

Критерій згоди Пірсона:

Краще всього підходить **рівномірний розподіл**;
 χ^2 -статистика для нього = **9.30769**;
Критичне значення = **12.01704**

$$x := \text{READExcel}(\text{"NewData.xlsx"}, \text{"Лист1!B2:B52"})$$

$$l := \text{round}(1 + 3.32 \cdot \log(n)) = 7$$

$$\min(x) = 127 \quad \max(x) = 183$$

$$f := \text{histogram}(l, x)$$

$$p := \frac{f^{(1)}}{n} \quad h := \frac{\max(x) - \min(x)}{l} = 8 \quad f1 := \frac{p}{h}$$

$$f = \begin{bmatrix} 131 & 8 \\ 139 & 6 \\ 147 & 3 \\ 155 & 12 \\ 163 & 2 \\ 171 & 8 \\ 179 & 12 \end{bmatrix} \quad p = \begin{bmatrix} 0.154 \\ 0.115 \\ 0.058 \\ 0.231 \\ 0.038 \\ 0.154 \\ 0.231 \end{bmatrix} \quad f1 = \begin{bmatrix} 0.019 \\ 0.014 \\ 0.007 \\ 0.029 \\ 0.005 \\ 0.019 \\ 0.029 \end{bmatrix}$$

$$int := f^{(0)} = \begin{bmatrix} 131 \\ 139 \\ 147 \\ 155 \\ 163 \\ 171 \\ 179 \end{bmatrix} \quad int1 := int - \frac{h}{2} = \begin{bmatrix} 127 \\ 135 \\ 143 \\ 151 \\ 159 \\ 167 \\ 175 \end{bmatrix}$$

$$\sigma := \text{stdev}(x) = 17.745 \quad \text{median}(x) = 157 \quad \mu := \text{mean}(x) = 157.098$$

$$\text{var}(x) = 314.873$$

$$x := 120, 120.1 \dots 185$$

$$a := 164.7987891982 \quad b := 10.5257320462$$

$$f(x) := \frac{b}{a} \cdot \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} \quad F(x) := 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b}$$

