

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АГРОТЕХНІКИ ВИРОБНИЦТВА ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР СИСТЕМОТЕХНІКИ РОСЛИННИЦТВА

Сівак Ігор Миколайович

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-6297-587X

sivakim@ukr.net

В статті автор подає результати оцінки роботи агротехніки виробництва зернових культур за допомогою показника ефективності функціонування, який дозволяє оцінити агротехніку виробництва зернових культур з урахуванням якості виконання технологічного процесу, надійності машин та їх здатності виконати роботу до певного моменту часу. У теоретичних дослідженнях використовувалися елементи системного аналізу, елементи теорії систем, методи кінематичного та динамічного аналізу механізмів та машин, методи математичного моделювання процесів. В основу досліджень ґрунтово-кліматичних умов функціонування виробничих процесів рослинництва покладено стандартні методики з подальшим застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії подоби. Експериментальні дослідження виконано з використанням галузевих методик, методик планування спостережень за роботою агротехніки виробництва зернових культур.

Автором запропоновано метод моделювання роботи агротехніки виробництва зернових культур, заснований на поданні агротехніки виробництва зернових культур у вигляді окремих кінематичних схем та подальшого дослідження їх за допомогою методів кінематичного та динамічного аналізу та синтезу. Також подано залежності та закономірностей пливучих технічних та технологічних параметрів агротехніки виробництва зернових культур на показники надійності та якості його роботи.

Результати дослідження при їх реалізації дозволяють підвищити напруження агротехніки виробництва зернових культур на відмову з 7,6 до 120 годин і забезпечити посів зернових культур в агротехнічні терміни, за рахунок рівномірного розподілу насіння та якісного їх загортання створити більш комфортні умови для зростання рослин, що сприяють підвищенню врожаю.

Запропоновані залежності та закономірності, а також інженерні рішення та методика оцінки експлуатаційної надійності можуть бути практичною базою при проектуванні нових ґрунтообробних та посівних агрегатів, що дозволяють виконувати роботу з коефіцієнтом надійності технологічного процесу 0,98–0,99.

Ключові слова: агротехніка, параметр, зерно, системотехніка, рослинництво.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.4.17>

Постановка проблеми. Порівняно зі світовим рівнем витрати на виробництво продукції рослинництва перевищують 10...15 раз (Golub & Dvornyk, 2020). Найбільш ефективним шляхом їх зниження є перехід до ресурсозберігаючих технологій, які передбачають використання агротехніки виробництва зернових культур (Pöhlitz et al., 2018). Ці агрегати здатні за один прохід виконати кілька технологічних операцій та скоротити час проведення польових робіт (Rogovskii et al., 2019). Тому в даний час з'явився підвищений попит на агротехніку виробництва зернових культур і виробництвом їх займаються понад тридцять підприємств (Nazarenko et al., 2021), якими розроблено близько шістдесяти різних типів (Foley et al., 2012). Однак, через брак знань про особливості їх експлуатації та відсутність достовірної інформації про причини, що викликають відмови агротехніки виробництва зернових культур, спостерігається низька надійність та низька якість виконання механізованої роботи (Rogovskii et al., 2020). Особливо це відзначається на початковому етапі їхньої експлуатації. За існуючими даними напруження на відмову у агротехніки виробництва зернових культур дорівнює всього 32...63 год, що впливає на строки, зокрема, посіву (Charmen et al., 2015). Посів у оптимальні терміни дає збільшення врожаю на 2-4 ц/га, а поглиблення насіння на 2 см від рекомендованої глибини посіву знижує їхню польову схожість на 5-10 %.

Відповідно до тенденцій науково-технічного прогресу необхідно постійно підвищувати надійність та якість роботи агротехніки виробництва зернових культур, що потребує вивчення умов їх функціонування та виявлення причин, що викликають відмови (Rogovskii, 2019). У такій постановці розв'язати завдання можна лише з урахуванням всього різноманіття факторів, що впливають на їхню роботу. У свою чергу, це можливо при розгляді агротехніки виробництва зернових культур як динамічної системи з ймовірнісними вхідними та вихідними змінними (Hrynkiv et al., 2020). Отже, вирішення таких завдань, як розробка відповідних методів моделювання робочих процесів системотехніки рослинництва з урахуванням умов їх функціонування, розробка основних принципів теорії розрахунку та обґрунтування параметрів робочих органів, що підвищують надійність та якість роботи, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Агротехніка виробництва зернових культур представлена у вигляді окремих машин (Nazarenko et al., 2020), на які діють різні фактори, що впливають на ефективність функціонування (Yinyana et al., 2019). Чинники поділяються на дві групи: контрольовані та неконтрольовані (рис. 1).

Однак, при всій значущості проведених досліджень деякі важливі аспекти проблеми, що розглядається, роз-

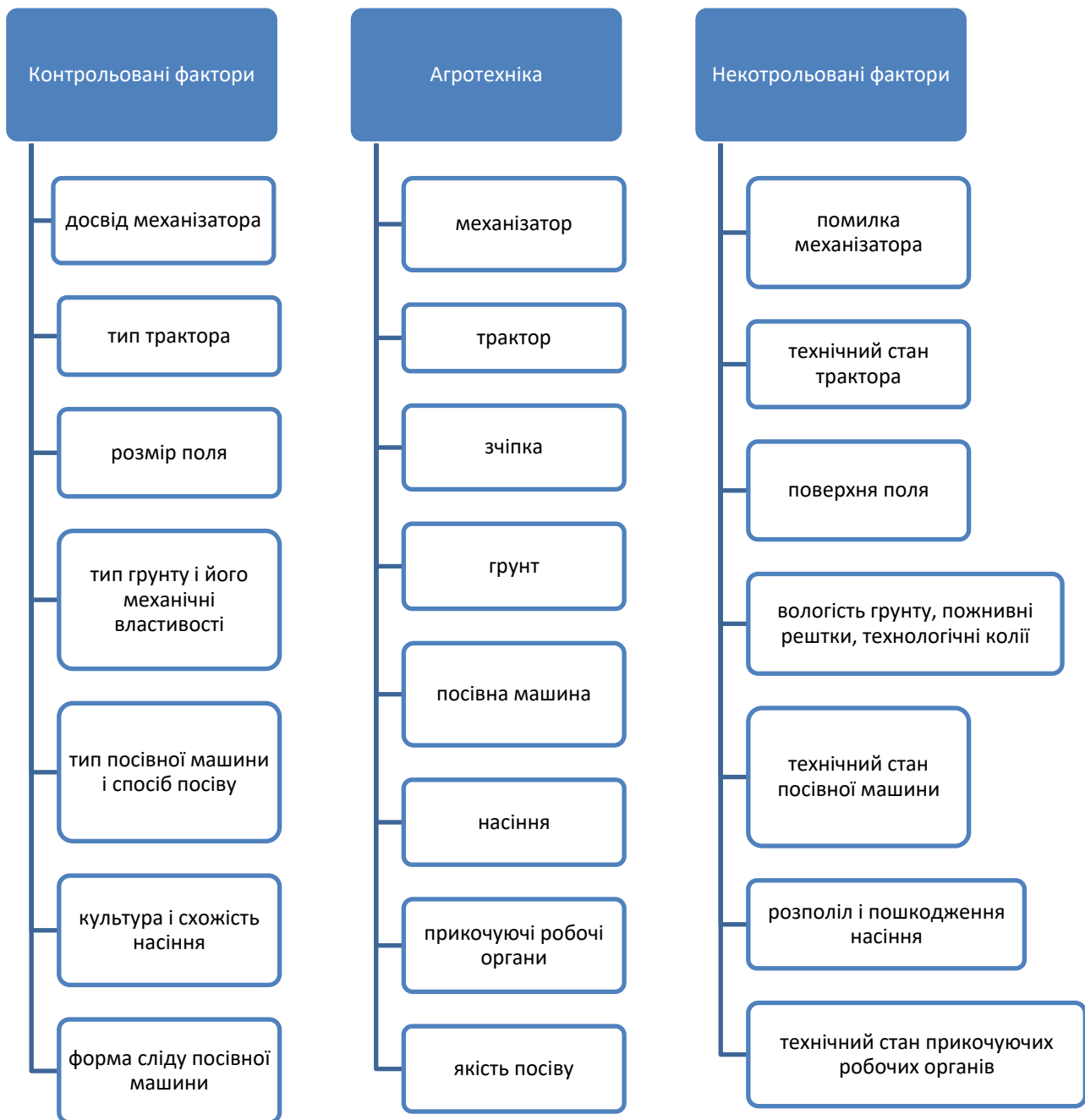


Рис. 1. Схема впливу факторів на ефективність машиновикористання агротехніки виробництва зернових культур

роблені недостатньо (Hossain et al., 2014). У проведених дослідженнях закономірності зміни показників при взаємодії елементів машин та агрегатів із ґрунтом та навколишнім середовищем розглядалися щодо зниження енергоємності процесів, оптимізації параметрів елементів машин, визначення показників використання машин (Zubko et al., 2022).

Причини, які впливають на якість роботи виконуваної робочими органами агротехніки виробництва зернових культур, вивчені недостатньо (Brown & Richards, 2018). Недостатньо досліджень щодо виявлення сил та моментів, що діють на робочі органи агротехніки при виконанні роботи (Romaniuk et al., 2018). Недосконалі методи

оцінки ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур залежно від їхнього технічного стану та часу роботи за зміну (Celik, 2013).

Контрольовані фактори задаються технологією та їх вплив відомий, а неконтрольовані виникають несподівано і керувати ними неможливо (Rogovskii et al., 2021), але їх вплив необхідно враховувати при розробці нових та експлуатації існуючих машин (Yousif et al., 2013).

Метою досліджень є дослідження ефективності функціонування комбінованих ґрунтообробно-посівних агрегатів шляхом удосконалення їх робочих органів, які забезпечують надійність та якість виконання ними роботи.

Результати досліджень. Експлуатація агротехніки виробництва зернових культур є послідовністю різних станів, в яких можуть знаходитися його машини. У будь-який час стан машин описується випадковим вектором $\vec{S}(t)$. Компоненти $S_k(t)$, ($k=1,2,\dots,N$) вектора $\vec{S}(t)$ представляють різні стани машин. У кожному стані машини можуть виконувати роботу з певним рівнем якості, що залежить від випадкового впливу факторів. Кількісна оцінка якості роботи агротехніки $H_S(t)$ у кожний момент часу є функцією стану машин $\vec{S}(t)$ у цей момент і називається характеристикою якості функціонування агротехніки виробництва зернових культур:

$$H_S(t) = H\vec{S}(t). \quad (1)$$

Оскільки стан $\vec{S}(t)$ машин змінюється у часі випадковим чином, то процес $H\vec{S}(t)$ є випадковим. Випадковий процес $H\vec{S}(t)$ є загальною математичною моделлю функціонування агротехніки виробництва зернових культур, яка представлена у вигляді блок-схеми, через вектор вихідних показників, вектор вхідних показників, вектор керованих впливів від контрольованих факторів, вектор некерованих дій від неконтрольованих факторів.

У теоретичних дослідженнях використовувалися елементи системного аналізу, елементи теорії систем, методи кінематичного та динамічного аналізу механізмів та машин, методи математичного моделювання процесів. В основу досліджень ґрунтово-кліматичних умов функціонування виробничих процесів рослинництва покладено стандартні методики з подальшим застосуванням теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії подоби. Експериментальні дослідження виконано з використанням галузевих методик, методик планування спостережень за роботою агротехніки виробництва зернових культур. Обробка експериментальних даних здійснювалася методами математичної статистики з допомогою комп'ютерних програм MathCad, Microsoft Office Excel.

Ефективністю функціонування агротехніки виробництва зернових культур у разі слід вважати математичне очікування випадкової функції $H_S(t)$, як середнє за безліччю реалізацій випадкового процесу $H\vec{S}(t)$. Для агротехніки виробництва зернових культур з послі-

довно з'єднаними елементами з погляду надійності (рис. 2) ефективність функціонування визначиться за формулою:

$$H_S(t) = \sum_{j=1}^m H \cdot P_{H_S}(t) = \sum_{j=1}^m H \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

де H – ефективність функціонування ідеальної машини, га/год; P_{H_S} – ймовірність появи H_S -го стану машини; $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента машини; m – кількість машин у агротехніці виробництва зернових культур.

Для визначення ймовірності безвідмовної роботи $P_i(t)$ використовується інтегральна функція у вигляді експоненційного закону розподілу:

$$P_i(t) = e^{(-\lambda_i \cdot t)}, \quad (3)$$

де λ_i – параметр потоку відмов i -го елемента машини, 1/год.

При цьому вихідний ефект агротехніки виробництва зернових культур на момент часу t залежатиме від ефективності функціонування машини:

$$E_S(t) = \int_0^t H \cdot P_{H_S}(t) dt = \int_0^t H \cdot e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} dt = \frac{H}{\lambda_i} \left(1 - e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot t} \right), \quad (2)$$

де t – час роботи машини, год.

У реальному житті машина може працювати і при одному або двох елементах, що відмовили. При цьому ефективність функціонування її може бути дещо нижчою, ніж у машини, що працює зі справними елементами (рисунок 3).

Беручи до уваги, що відмова одночасно двох елементів машини (висівних апаратів) веде до відмови, обмежиться трьома її станами:

– машина справна і всі її елементи працюють:

$$P_{H_1} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_6; \quad (3)$$

– машина працює з одним апаратом, що відмовив під непарним номером:

$$P_{H_2} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot (1 - P_5) \cdot P_6; \quad (4)$$



Рис. 2. Схема посівної машини з послідовним з'єднанням елементів

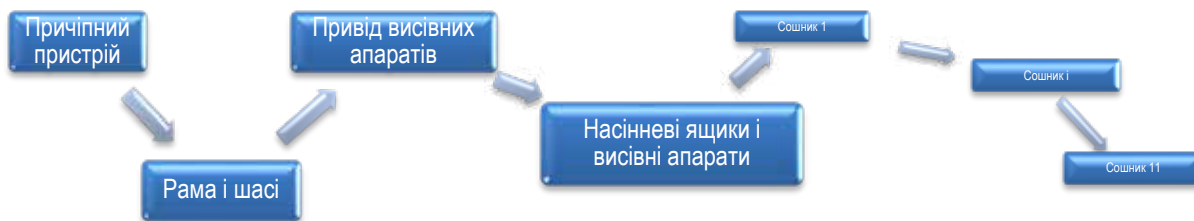


Рис. 3. Схема посівної машини з паралельним (дублюючим) розташуванням елементів

– машина працює з одним апаратом, що відмовив під парним номером:

$$P_{H_3} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot (1 - P_4) \cdot P_5 \cdot P_6. \quad (5)$$

Тоді ефективність функціонування машини, що характеризує математичне очікування вихідного ефекту, визначиться за формулою повного математичного очікування:

$$E_S(t) = k_{H_1} \cdot P_{H_1} + k_{H_2} \cdot P_{H_2} + k_{H_3} \cdot P_{H_3}, \quad (6)$$

де k_{H_i} – ефективність функціонування машини, що у одному з можливих станів від H_1 до H_3 . Підставивши відповідні значення P_{H_3} у формулу (3), отримаємо у загальному вигляді ефективність функціонування машини при паралельному з'єднанні двох елементів:

$$E_S(t) = e^{(-\lambda_{S_1} \cdot t)} \cdot \left\{ k_{H_1} + \sum_{i=2}^2 k_{H_i} (e^{(\lambda_i \cdot t)} - 1) \right\}, \quad (7)$$

де λ_{S_1} – параметр потоку відмов машини H_i -м стані,

$$\lambda_{S_1} = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad (8)$$

де n – кількість елементів, у тому числі складається машина.

Вихідний ефект машини на момент часу (t):

$$E_S(t) = \int_0^t e^{(-\lambda_{S_1} \cdot t)} \cdot \left\{ k_{H_1} + \sum_{i=2}^2 k_{H_i} (e^{(\lambda_i \cdot t)} - 1) \right\} dt, \quad (9)$$

де $-\lambda_{S_2} = -\lambda_{S_1} + \lambda_5$ – параметр потоку відмов машини S_2 стані;

$-\lambda_{S_3} = -\lambda_{S_1} + \lambda_4$ – параметр потоку відмов машини S_3 стані.

Формулу визначення вихідного ефекту машини на момент часу (t) з паралельним з'єднанням двох елементів можна подати у вигляді:

$$E_S(t) = \sum_{i=1}^2 \frac{k_{H_i}}{\lambda_{H_i}} (1 - e^{-(\lambda_{H_i} \cdot t)}) - \frac{k_{H_1}}{\lambda_{H_1}} (1 - e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)}), \quad (10)$$

При оцінці ефективності функціонування посівних машин виникають ситуації, коли необхідно порівняти машини з комбінованим з'єднанням кількох систем з неоднорідними елементами. У яких відмова деяких елементів системи може призвести лише до часткового зниження якості машиною роботи, але не призведе її до зупинки.

В цьому випадку приймемо, що ймовірність безвідмовної роботи машини дорівнює P_{H_1} . Тоді ймовірність

роботи машини з відмовою, наприклад, у системі навішування кільчастих котків буде P_{H_2} , системи ланцюгових вирівнювачів P_{H_3} , маркера P_{H_4} , сигналізації P_{H_5} . Відповідно, ефективність функціонування машини визначиться як повне математичне очікування:

$$E_S(t) = k_{H_1} \cdot P_{H_1} + k_{H_2} \cdot P_{H_2} + k_{H_3} \cdot P_{H_3} + k_{H_4} \cdot P_{H_4} + k_{H_5} \cdot P_{H_5}, \quad (11)$$

Оскільки k_{H_i} ефективність функціонування машини, що знаходиться в одному з можливих станів h_1 до h_N . Підставивши відповідні значення P_{H_i} у формулу (11), отримаємо формулу вихідного ефекту у загальному вигляді:

$$E_S(t) = \int_0^t k_{h_1} \cdot e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} dt + \int_0^t \sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} \cdot e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} dt - \int_0^t \sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_1} \cdot e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} dt. \quad (12)$$

де $-\lambda_{H_y} = -\lambda_{H_1} + \lambda_i$ – параметр потоку відмов машини H_y стані.

Модель вихідного ефекту машини до моменту часу (t) з структурою елементів, що гілкується, можна представити як:

$$E_S(t) = \sum_{h_y=h_2}^{h_N} \frac{k_{h_y}}{\lambda_{H_y}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} \right\} - \frac{1}{\lambda_{H_1}} \cdot \left(\sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} - k_{h_1} \right) \cdot \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} \right\}. \quad (13)$$

Враховуючи що $k_{h_y} = k_{h_1} - \delta_{h_y}$ можна спростити формулу (13):

$$\sum_{h_y=h_2}^{h_N} k_{h_y} - k_{h_1} = (k_{h_1} - \delta_{h_2}) + (k_{h_1} - \delta_{h_3}) + \dots + (k_{h_1} - \delta_{h_N}) - k_{h_1} = (N-2) \cdot k_{h_1} - \sum_{k=2}^N \delta_{h_k}. \quad (14)$$

де δ_{h_k} – втрата ефективності функціонування машини h_k -у стані;

$$\sum_{k=2}^N \delta_{h_k} = k_{h_1} - \delta_{h_1}$$

де δ_{h_1} – втрата ефективності машини в h_1 -у стані:

$$E_S(t) = \sum_{h_y=h_2}^{h_N} \frac{k_{h_y}}{\lambda_{H_y}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_y} \cdot t)} \right\} - \frac{(N-3) - \delta_{h_1}}{\lambda_{H_1}} \left\{ 1 - e^{-(\lambda_{H_1} \cdot t)} \right\}. \quad (15)$$

Значення показника ефективності функціонування залежить від параметра потоку відмов i -х елементів машини, відповідно виявивши причину появи відмови та усунувши її знизимо параметр потоку відмов та підвищимо показник ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур.

Для перевірки розроблених моделей здійснено розрахунки показника ефективності функціонування агротехніки виробництва зернових культур з послідовним з'єднанням елементів у машинах залежно від параметра потоку відмов (рисунок 4). Напрацювання машини на відмову змінювали від 10 до 100 годин. Аналізуючи результати необхідних ходимо відзначити, що машина з напрацюванням на відмову 10 годин ($\lambda = 0,1$) до кінця зміни має показник ефективності функціонування – 0,63, а з напрацюванням на відмову 100 годин ($\lambda = 0,01$) – 0,905. Це означає, що можливість виконання машиною роботи підвищилася з 0,63 до 0,905.

При дублюванні ненадійного елемента, що має параметр потоку відмов $\lambda = 0,05$, а параметр потоку відмовних елементів машини 0,01 через 10 годин роботи машини показник ефективності функціонування дорівнює 0,82, а без дублюючого – 0,75 (рисунок 5).

Посівна машина має кілька систем, відмова яких не призведе до її зупинки, а лише трохи знизить якість роботи, що виконується. До таких систем належать: катки, маркери, ланцюгові вирівнювачі та система сигналізації. Якщо відмова ходової частини машини або приводу висівних апаратів веде до зупинки машини, то поломка одного, двох кілець біля ковзаник або однієї ресори навішування не зупинить машину. При цьому вона може бути в одному з перерахованих станів (таблиця 1).

Кожному стану машини відповідає власний показник ефективності функціонування, що визначає якість виконання роботи. Розрахунки показують, що з урахуванням роботи машини з однією, що частково відмовила система (варіант 1), показник ефективності функціонування машини після 10 годин роботи залишається ще

доволі високим 0,903, якщо враховувати, що машина після першої відмови зупиниться показник рівне – 0,786.

При досягненні параметра потоку відмов ($\lambda = 0,01$), для машини з встановленими на неї системами через 10 годин роботи маємо показник ефективності функціонування (варіант 2) – 0,976, при цьому, без урахування роботи машини з частковою відмовою системи (варіант 2) – 0,95. Таким чином, використовуючи показник ефективності функціонування, можна ще на стадії проектування машини ділити показники її надійності.

Зібраний статистичний матеріал та дослідження у типових господарствах обраних зон дозволили виявити основні ненадійні елементи машини. Такі, як зчпний пристрій для з'єднання машин, причіпний пристрій, вилки та кронштейни коліс зчпки, приймачі сошників для насіння та навішування котків (таблиця 2).

Частка конструкційних відмов, спричинених технологічною та технічною недосконалістю машини, становить від 30 до 50 %.

З технологічних відмов основними є: звужена смуга посіву, забивання котків ґрунтом та наявність гребенів після загортання насіння.

Поява відмов та зниження ефективності функціонування машини обумовлено такими факторами: технічний стан машини; фізико-механічні властивості ґрунту; стан поверхні поля; помилки оператора під час виборів технологічних прийомів і режимів роботи машини (таблиця 3).

Зчпний пристрій є найважливішим елементом, що визначає надійність машини. На підставі результатів дослідження виготовлено новий зчпний пристрій, який складається з двох сполучних ланок, встановлених на кронштейнах по краях рами паралельно до переднього та заднього брусів. Пристрій має один ступінь свободи, дозволяє

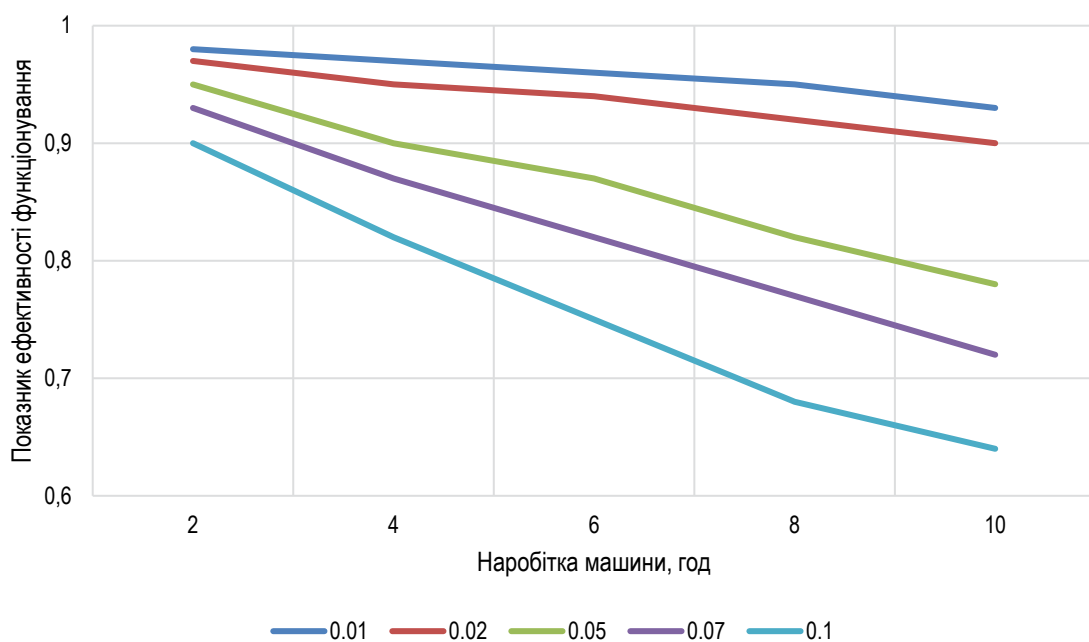


Рис. 4. Динаміка зміни показника ефективності функціонування з послідовно з'єднаними елементами машини в залежності від часу її роботи і параметру потоку відмов

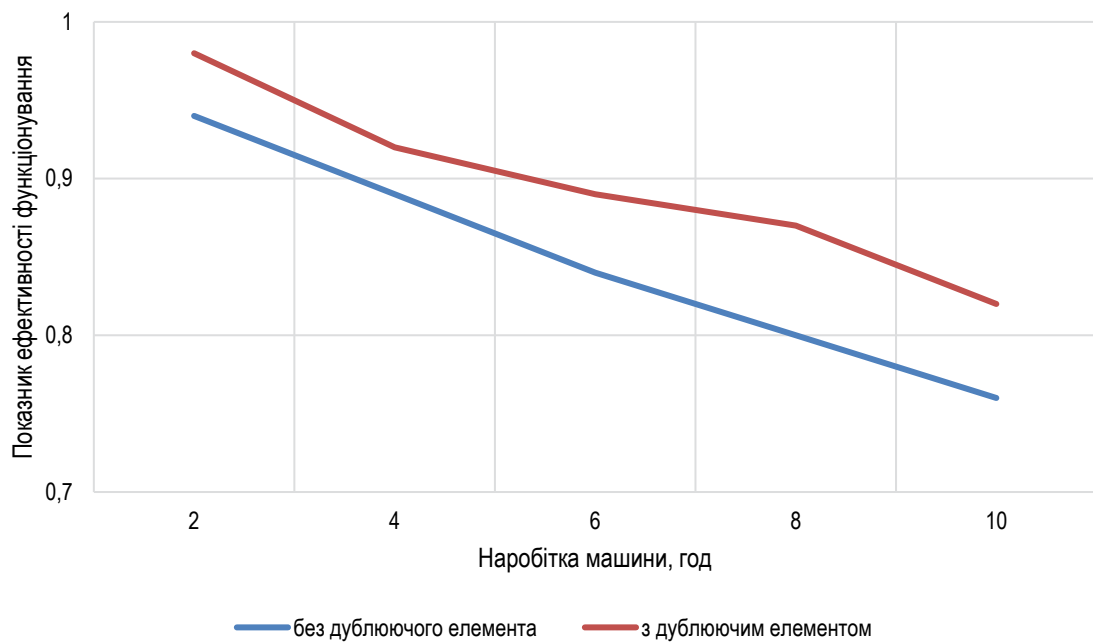


Рис. 5. Динаміка зміни показника ефективності функціонування при дублюванні ненадійного елемента

Таблиця 1

Параметри станів машини

Стан машини	Показник ефективності	Параметр потоку відмов		
		Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3
Машини справна	1,0	0,05	0,01	0,011
Відмова кільця ковзанки	0,7	0,04	0,008	0,01
Відмова вирівнювача	0,8	0,04	0,009	0,009
Відмова маркера	0,7	0,04	0,008	0,009
Відмова сигналізації	0,8	0,04	0,009	0,009

Таблиця 2

Кількість претензій щодо конструкційних відмов машини

Відмова	Рік						
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Усього відмов	46	154	240	63	38	98	24
у т. ч. конструкційні	14	53	82	30	18	39	12
Зчіпний пристрій	-	13	17	4	2	11	-
Причіпний пристрій	4	5	11	-	-	2	-
Колесо зчіпки	4	10	12	6	2	8	-
Приймач сошника	-	6	8	2	1	3	3
Наважка ковзанок	3	18	9	9	3	5	1
Інші пристрої	3	1	25	9	10	10	8

Таблиця 3

Розподіл відмов машини за ступенем впливу факторів, %

Чинник	Рік							Середнє значення
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Технічний стан	65,2	59,7	60,0	52,5	63,2	49,0	54,2	57,2±5,9
Властивість ґрунту	4,4	11,7	16,3	19,0	10,5	18,4	33,3	16,2±9,1
Стан поля	19,6	9,1	10,8	19,0	15,8	17,3	4,2	13,7±5,8
Помилка оператора	10,8	19,5	12,9	9,5	10,5	15,3	8,3	12,4±3,9

машинам незалежно копіювати ґрунт і не дає можливість машинам переміщатися щодо один одного. Довжина сполучних ланок не менше 0,4 м, що унеможлиблює зближення машин і зменшує дію сил від коливань машин при пересуванні по нерівній поверхні поля. При цьому сила реакції, що розриває ланки у точці вигину, зменшується у 18 разів. Для визначення сил і моментів, що діють на причіпний пристрій КППА, необхідно мати вихідну інформацію про величину опору тягового машин і агрегату в цілому.

Обговорення. Виявлено основні елементи, що знижують надійність та якість роботи агротехніки виробництва зернових культур (Lekavičienė et al., 2019). Найбільш значущими факторами, що впливають на відмови елементів є: технічний стан агротехніки виробництва зернових культур – $57,7 \pm 3,9$ %; стан поверхні поля – $16,2 \pm 9,1$ %; фізико-механічні властивості ґрунту – $13,7 \pm 5,8$ %; помилки оператора під час виборів технологічних прийомів і режимів роботи агротехніки виробництва зернових культур – $12,4 \pm 3,9$ % відмов (Vaitauskienė et al., 2017). Частка конструкційних відмов, спричинених технологічною та технічною недосконалістю агротехніки виробництва зернових культур, становить від 30 до 50 % (Rogovskii et al., 2022).

Висновки. Для оцінки роботи агротехніки виробництва зернових культур слід застосовувати показник ефективності функціонування. Для його визначення розроблено математичну модель, яка має на вході параметри технологічного процесу посіву зернових культур, а на виході, на відміну від інших, дає комплексну оцінку якості роботи агротехніки виробництва зернових культур до певного моменту часу. Зі зменшенням параметра потоку відмов агротехніки виробництва зернових культур $\lambda = 0,1$ до $\lambda = 0,01$ показник ефективності функціонування збільшується від 0,63 до 0,95, відповідно збільшується ймовірність виконання роботи до кінця десятигодинної зміни з 0,63 до 0,95. При появі у агротехніки виробництва зернових культур ненадійного елемента з параметром потоку відмов $\lambda = 0,05$ показник ефективності функціонування машини через 10 годин роботи 0,75, при дублюванні ненадійного елемента він збільшується до 0,82. Показник ефективності функціонування для агротехніки виробництва зернових культур з параметром потоку відмов $\lambda = 0,01$ через 10 годин роботи дорівнює 0,95, а з урахуванням його можливої роботи з одним елементом, що відмовив, він збільшується до 0,976.

Бібліографічні посилання:

1. Brown, R. & Richards, A. (2018). Engineering principles of agricultural machinery. ASABE, 84(2): 1120–1132.
2. Celik, A. (2013). Strip tillage width effects on sunflower seed emergence and yield. *Soil and Tillage Research*, 131: 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.004>.
3. Charman, W. C., Moxey, A. P. & Towers, W. (2015). Mitigating arable soil compaction: are view and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146: 10–25.
4. Foley, K. M., Shock, C. C., Norberg, O. S. & Welch, T. K. (2012). Making strip tillage work for you: a grower's guide, Oregon State University, Department of Crop and Soil Science Ext. CR5: 140.
5. Golub, G. & Dvornyk, A. (2020). Research of indicators of strip tillage. *TEKA. Quarterly journal of agri-food industry*, 20(2): 83–90.
6. Hossain, M. S., Gathala, M. K., Tiwari, T. P. & Hossain, M. S. (2014). Strip tillage seeding technique: a better option for utilizing residual soil moisture in rain fed moisture stress environments of North-West Bangladesh. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 2(4 April): 132–136.
7. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O. & Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(105): 19–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.
8. Lekavičienė, K., Šarauskisa, E., Naujokienė, V., Buragienė, S. & Kriauciūnienė, Z. (2019). The effect of the strip tillage machine parameters on the traction force, diesel consumption and CO₂ emissions. *Soil and Tillage Research*, 192: 95–102.
9. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A. & Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(7–108): 71–79. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
10. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M. & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(112)): 41–49. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
11. Pöhlitz, J., Rücknagela, J., Koblenza, B., Schlüter, S., Vogelb, Hans-Jörg & Olaf, C. (2018). Computed tomography and soil physical measurements of compaction behaviour under strip tillage, mulch tillage and no tillage. *Soil and Tillage Research*, 175: 205–216. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.007>.
12. Rogovskii, I. L. (2019). Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine, 10(3): 181–187. <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.03.181>.
13. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Gumenyuk, Yu. O. & Nadtochiy, O. V. (2021). Technological effectiveness of formation of planting furrow by working body of passive type of orchard planting machine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 839: 052055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/839/5/052055>.

14. Rogovskii, I., Titova, L., Sivak, I., Berezova, L. & Vyhovskyi, A. (2022). Technological effectiveness of tillage unit with working bodies of parquet type in technologies of cultivation of grain crops. *Engineering for Rural Development*, 21: 884–890. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279>.
15. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Trokhaniak, V. I., Haponenko, O. I., Ohiienko, M. M. & Kulik, V. P. (2020). Engineering management of tillage equipment with concave disk spring shanks. *INMATEH. Agricultural Engineering*, 60(1): 45–52. <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-05>.
16. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A. & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*, 18: 291–298. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N451>.
17. Romaniuk, W., Polishchuk, V., Marczuk, A., Titova, L., Rogovskii, I. & Borek, K. (2018). Impact of sediment formed in biogas production on productivity of crops and ecologic character of production of onion for chives. *Agricultural Engineering*, 22(1): 105–125. <https://doi.org/10.1515/agriceng-2018-0010>.
18. Vaitauskienė, K., Šaraukisa, E., Kęstutis, Romaneckas & Jasinskas, A. (2017). Design, development and field evaluation of row-cleaners for strip tillage in conservation farming. *Soil and Tillage Research*, 174: 139–146.
19. Yinyana, S., Sunb, X., Xiaochanc, W., Zhichaoa, H., Newmanb, D. & Weimin, D. (2019). Numerical simulation and field tests of minimum-tillage planter with straw smashing and strip laying based on EDEM software. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166: 105021.
20. Yousif, A. L., Dahab, H. M. & El-Ramlawi, R. H. (2013). Crop-machinery management system for field operations and farm machinery selection. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development*, 5: 84–90.
21. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering* this link is disabled, 26(1): 25–37.

Sivak I. M., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Engineering management of technological parameters of agricultural techniques of cereal crops production systems of plant growing

In the article, the author presented the results of evaluating the work of agricultural machinery for the production of grain crops using the performance efficiency indicator, which allows to evaluate the agricultural machinery for the production of grain crops, taking into account the quality of the execution of the technological process, the reliability of the machines and their ability to perform the work up to a certain point in time. Elements of system analysis, elements of systems theory, methods of kinematic and dynamic analysis of mechanisms and machines, methods of mathematical modeling of processes were used in theoretical research. The basis of the studies of the soil-climatic conditions of the functioning of production processes of crop production is based on standard methods with the subsequent application of the theory of probabilities and mathematical statistics, the theory of similarity. Experimental studies were carried out using branch methods, methods of planning observations on the work of agricultural machinery for the production of grain crops.

The author proposed a method of modeling the work of agricultural machinery for the production of grain crops, based on the presentation of agricultural machinery for the production of grain crops in the form of separate kinematic schemes and their further research using the methods of kinematic and dynamic analysis and synthesis. The dependencies and regularities of the influence of technical and technological parameters of agricultural machinery for the production of grain crops on indicators of reliability and quality of its work are also presented.

The results of the research during their implementation make it possible to increase the working time of agricultural machinery for the production of grain crops from 7.6 to 120 hours and to ensure the sowing of grain crops in agrotechnical terms, due to the uniform distribution of seeds and their high-quality wrapping, to create more comfortable conditions for the growth of plants, which contribute to the increase harvest

The proposed dependencies and regularities, as well as engineering solutions and methods for assessing operational reliability can be a practical basis for designing new tillage and seeding units, which allow you to perform work with a technological process reliability coefficient of 0.98–0.99.

Key words: agrotechnics, parameter, grain, system engineering, crop production.