УДК 631.4.001 http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2022-1-30(44)-6

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ СТАНУ НЕЗАЛЕЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМОТЕХНІКИ РОСЛИННИЦТВА

Сівак І., канд. техн. наук., доц.,
e-mail: sivakim@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-6297-587X
Національний університет біоресурсів і природокористування України

Анотація

Метою дослідження *є обґрунтування аналітичних положень інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва. Практичним результатом буде формування вихідних положень Smart-технології інженерного менеджменту зміни станів незалежних елементів системотехніки рослинництва.*

Методи дослідження. *Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів відносно інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва та використання системного підходу. Для формування наукової проблеми, визначення мети і постановки задач дослідження застосовувався аналітичний метод і порівняльний аналіз. Створюючи аналітичні моделі, використали основні положення теорії системотехніки, методології системного аналізу, теорії матриць, диференціальних обчислень і дослідження за теорією графів, теорії марківських процесів і теореми Бернуллі.*

Результати дослідження. *У статті розглянуто рішення, які дали змогу обґрунтувати диференціальні рівняння, які характеризують зміни станів сільськогосподарських машин в сукупності системотехніки рослинництва, аналогічні яким у теорії марківських процесів називаються рівняннями розмноження та загибелі. В аналітичному дописі застосовано ергодичну властивість марківських процесів, згідно з якими встановлено існування граничного або встановленого режиму стаціонарного ймовірнісного процесу зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва.*

У статті розглянуто моделі ймовірності зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва, які прагнуть до граничних значень $P_0, P_1, P_2, ..., P_z$ і не залежать від початкового розподілу P_0. Розв'язуючи ці моделі для режиму, можна знайти ймовірності P_n, де $n = 0, 1, 2, 3, ..., z$, усіх можливих станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва. Це використано для визначення рівня технічної готовності сільськогосподарських машин. Відповідно до теореми Бернуллі, встановлено, що зі збільшенням кількості дослідів, а саме переходів станів в аналізованому випадку, частота події сходиться по ймовірності з імовірністю події і для режиму.

Висновок. *У результаті проведених досліджень:*

- отримано нові науково обґрунтовані технічні та технологічні рішення і розробки, спрямовані на обґрунтування аналітичних положень інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва, які в подальшому будуть слугувати вихідними положеннями Smart-технології інженерного менеджменту;

- підтверджено, що інтенсивність відновлення, крім кількості несправних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва, залежить також від характеру несправностей і виду усунення несправностей і від типу засобів інженерного менеджменту, за яких ці несправності усуваються;

- обґрунтовано аналітичні положення визначення взаємного зв'язку між коефіцієнтом технічної готовності сільськогосподарських машин, надійністю сільськогосподарських машин та потужністю засобів інженерного менеджменту у структурі технологій виробництва продукції рослинництва.

Ключові слова*: відновлення, коефіцієнт технічної готовності, сільськогосподарська машина, надійність, системотехніка.*

Вступ. Рослинництво є одним із ключових галузей сільського господарства [Najafi, 2017], а рівень його розвитку визначається пріоритетами економіки держави [Fonteijn, 2021]. Наявність розвиненого рослинництва у країні сприяє забезпеченню продовольчої незалежності громадян і загалом національної безпеки [Voinalovych, 2020].

Споживачами продукції рослинництва сьогодні є не тільки люди та тварини, але й цілі галузі, пов'язані з виробництвом біопалива, медицина, текстильна промисловість [Kostikov, 2018]. Проте основні потужності рослинництва, як і раніше, орієнтовані на виробництво продуктів харчування для людства, тому до виробленої сільськогосподарської продукції зараз пред'являються дуже жорсткі вимоги відповідність цілій групі параметрів якості та безпеки [Nazarenko, 2020]. Екологічна чистота продукції тут займає одне із провідних місць [Zubko, 2022]. Прагнення конкретного виробника, компанії чи держави висунути на ринок свою сільгосппродукцію досягається через забезпечення параметрів якості цієї продукції та зниження її собівартості [Revathi, 2017]. Виконання цих умов у рослинництві сьогодні немислимо без використання досягнень науково-технічного прогресу, застосування нових технологій та систем машин [Mozharivskyi, 2022].

Зміна систем машин для вирощування сільськогосподарських культур розвинених країн нині відбувається у рекордно короткі терміни [Nazarenko, 2021].

У вітчизняному сільгоспмашинобудуванні ці процеси відбуваються значно повільніше [Rogovskii, 2019]. Досягнення науково-технічного прогресу, які впроваджуються в конструкцію нових тракторів, комбайнів, сільськогосподарських машин та засобів їхнього технічного сервісу підвищують якість сільськогосподарської продукції, надійність і продуктивність техніки, її ергономічність, а також допомагають по новому уявити взаємозв'язок у системах «сільськогосподарська машина-рослина» і «сільськогосподарська машина- людина» [Romasevych, 2018].

Потенційні можливості сільськогосподарських машин у період експлуатації максимально реалізуються за наявністю системи інженерного забезпечення виробництва [Kuzmich, 2020]. Ця система в сучасному варіанті є кшталт кваліфікованого інженерного менеджменту [Hrynkiv, 2020], який має сучасні інноваційні засоби, а також комплекс пристроїв для зв'язку та контролю за роботою машин із використанням інформаційних технологій і космічних апаратів [Lysenko, 2021]. Для більш інтенсивного вдосконалення технічних об'єктів і появи їхніх принципово нових варіантів важливо мати уявлення про сучасні перспективні напрями розвитку засобів системотехніки рослинництва та систем управління аграрного виробництвом, а також знати, як у найкоротший термін довести нові технічні рішення на стадії масового застосування аграрним виробництвом [Carmona, 2016]. Тут корисно використовувати наявний зарубіжний досвід із просування інновацій ринку інженерного менеджменту.

Постановка завдань. *Метою дослідження* є обґрунтування аналітичних положень інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва. Практичним результатом буде формування вихідних положень Smart-технології інженерного менеджменту зміни станів незалежних елементів системотехніки рослинництва.

Методи і матеріали. Методологічною основою роботи є узагальнення та аналіз відомих наукових результатів відносно інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва та використання системного підходу. Для формування наукової проблеми, визначення мети і постановки задач дослідження застосовували аналітичний метод і порівняльний аналіз. Для створення аналітичних моделей використані основні положення теорії системотехніки, методології системного аналізу, теорії матриць, диференціальних обчислень і дослідження за теорією графів, теорії марківських

процесів і теореми Бернуллі.

Результати. Системотехніка рослинництва, як складна технічна система, утворюється з незалежних елементів, тому що простій одного з них, як незалежних елементів, не викликає простою інших елементів, тим більше системи загалом. Тому поняття безвідмовності дії системотехніки рослинництва для характеристики аналізованої системи взагалі неприйнятно. Однак, оцінюючи системотехніку рослинництва, важливо знати, скільки сільськогосподарських машин у момент часу T_0 або в середньому за період (T_0, T_0+T) справні та здатні виконувати корисну роботу в сукупній технології виробництва продукції рослинництва.

Позначимо через E_n стан, у якому системотехніка рослинництва характеризується наявністю n несправних сільськогосподарських машин. Кількість станів, у яких можуть бути сільськогосподарські машини, складе $z+1$, де z – загальна кількість сільськогосподарських машин, які формують системотехніку рослинництва. Під час експлуатації сільськогосподарських машин зміни станів відбуватимуться у моменти виникнення потреби в усуненні несправностей і під час завершення відновлення працездатності. Якщо потік заявок і потік відновлення мають властивість ординарності, то в інтервалі ($t, t+dt$) можуть відбутися такі переходи:

$$E_0 \to E_0, E_0 \to E_1, E_n \to E_n,$$
$$E_n \to E_{n+1}, E_n \to E_{n-1}, E_z \to E_z, \quad (1)$$
$$E_z \to E_{z-1}, n = 1, 2, 3, \dots, z-1.$$

Механізм переходу сільськогосподарських машин з одного стану в інший можна простежити на найпростішому прикладі [Rogovskii, 2022], переробленому стосовно технічної експлуатації сільськогосподарських машин.

Позначимо через $P_n(t)$ n=0, 1, 2, 3,..., z безумовну ймовірність стану E_n у момент t, через λ_n та μ_n – інтенсивності потоку вимог на усунення несправностей і потоку відновлення. Приймемо, що інтенсивності λ_n та μ_n є функціями лише через n.

Нехай $\lambda_n dt$ – імовірність виникнення вимоги в інтервалі ($t, t+dt$), а $\mu_n dt$ – імовірність закінчення процесу відновлення у цьому інтервалі, тоді:

- зміни станів:

$$-1 \geq n \geq 1 \begin{cases} E_0 \to E_0 \\ E_0 \to E_1 \\ E_n \to E_n \\ E_n \to E_{n+1}; \\ E_n \to E_{n-1} \\ E_z \to E_z \\ E_z \to E_{z-1} \end{cases} \quad (2)$$

- імовірність переходів:

$$\begin{cases} 1-\lambda_n dt \\ \lambda_0 dt \\ 1-(\lambda_n+\mu_n)dt \\ \lambda_n dt \\ \mu_n dt \\ 1-\mu_z dt \\ \mu_z dt \end{cases}. \quad (3)$$

Матрицю ймовірностей переходу τ можна представити в такому табличному виді (табл. 1).

Матрицю ймовірностей переходу τ можна представити в такому графічному вигляді (рис. 1).

Сукупність імовірностей $P_n(t)$, яка відповідає деякому моменту t, може бути представлена стохастичним вектором $\vec{P}(t)$ у просторі з числом вимірювань, який дорівнює кількості можливих зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва:

$$\vec{P}(t) = [P_0(t);\ P_1(t);\ P_2(t); \dots;\ P_n(t); \dots;\ P_z(t)]. \quad (4)$$

Цей вектор $\vec{P}(t)$ обмежений за величиною і напрямом умовою, що його компоненти не негативні й у сумі рівні одиниці.

Рівняння станів у векторній формі виражаються такою рівністю:

Таблиця 1 – Матриця ймовірностей переходу станів в момент τ сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва

Стан у момент τ	Стан у момент τ+*dt*						
	E_0	E_1	E_2	E_n	...	$E_{(z-1)}$	E_z
E_0	t-$\lambda_0 dt$	$\lambda_0 dt$	0	0	...	0	0
E_1	$\mu_1 dt$	1-(λ_1+μ_1)dt	$\lambda_1 dt$	0	...	0	0
E_2	0	μ_2 dt	1-(λ_2+μ_2)dt	$\lambda_2 dt$	...	0	0
E_3	0	0	$\mu_3 dt$	1-(λ_3+μ_3)dt	...	0	0
τ=⋯	...	...	...	...	...	...	...
E_{z-1}	0	0	0	0	...		$\lambda_{z-1} dt$
E_z	0	0	0	0	...		1-$\mu_z dt$

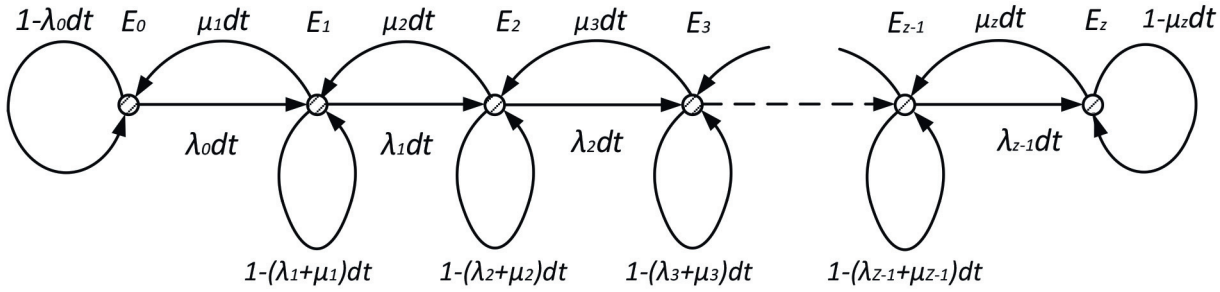

Рисунок 1 – Граф імовірностей зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва

$$\vec{P}\,(t+dt) = \vec{P}\,(t)\tau, \tag{5}$$

звідки

$$P_0(t+dt) = (1-\lambda_0 dt)P_0(t) + \mu_1 dt P_1(t); \tag{6}$$

$$P_n(t+dt) = \lambda_{n-1} dt P_{n-1}(t) + \\ + (1-\lambda_n dt - \mu_n dt)P_n(t) + \mu_{n+1} dt P_{n+1}(t); \tag{7}$$

$$P_z(t+dt) = \lambda_{z-1} dt P_{z-1}(t) + \\ + \left(1-\mu_z dt\right)P_z(t). \tag{8}$$

Нехай тут dt прямує до нуля. Тоді маємо:

$$\frac{d}{dt}P_0(t) = -\lambda_0 P_0(t) + \mu_1 P_1(t); \tag{9}$$

$$\frac{d}{dt}P_n(t) = \lambda_{n-1} P_{n-1}(t) - \\ - (\lambda_n + \mu_n)P_n(t) + \mu_{n+1} P_{n+1}(t); \tag{10}$$

За $1 \le n \le z$-1:

$$\frac{d}{dt}P_z(t) = -\mu_z P_z(t) + \lambda_{z-1} P_{z-1}(t). \tag{11}$$

Отримані диференціальні рівняння (9)-(11) характеризують зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва, аналогічні яким у теорії марківських процесів називаються рівняннями розмноження та загибелі. Відома ергодична властивість марківських процесів, згідно з якою існує граничний або встановлений режим стаціонарного імовірнісного процесу зміни станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва. Якщо матриця переходу τ, як це має місце в цьому випадку, не є розкладною або періодичною, то існує межа:

$$\lim_{t\to\infty} \vec{P}\,(\infty) = \vec{P}. \tag{12}$$

Отже, ймовірності зміни станів сільськогосподарських машин в сукупності системотехніки рослинництва прагнуть граничних значень $P_0, P_1, P_2, ..., P_z$ і не залежать від початкового розподілу P_0. Розв'язавши рівняння (9)-(11) для режиму, можна знайти ймовірності P_n, де $n = 0, 1, 2, 3, ..., z$

всіх можливих станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва. Це дуже важливо щодо коефіцієнта технічної готовності k_r, який є основним показником, бо характеризує рівень технічної готовності сільськогосподарських машин. Коефіцієнт технічної готовності сільськогосподарських машин за певний період експлуатації визначають за такою формулою:

$$k_r = \frac{\overline{z_n}}{z}, \quad (13)$$

де $\overline{z_n}$ – середня кількість справних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва за аналізований період їх експлуатації.

Відповідно до теореми Бернуллі, зі збільшенням кількості дослідів, а саме переходів станів в аналізованому випадку, частота подій сходиться за ймовірності з імовірністю події і для режиму, який встановився, можна записати, що $z_l = z - \overline{n}$, де $\overline{n}$ – середня кількість несправних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва, рівна $\sum_{n=0}^{t} nP_n$.

Отже,

$$k_r = 1 - \frac{1}{z}\sum_{n=0}^{z} nP_n. \quad (14)$$

У цьому рівнянні ймовірності станів сільськогосподарських машин у сукупності системотехніки рослинництва P_n, n=1, 2, 3,..., z у правій частині рівняння (14) є функціями інтенсивності вимог на усунення несправностей λ_n та інтенсивності відновлення μ_n. Отже, за цією формулою (14) можна визначити взаємний зв'язок між коефіцієнтом технічної готовності сільськогосподарських машин, надійністю сільськогосподарських машин і потужністю засобів інженерного менеджменту у структурі технологій виробництва продукції рослинництва.

Плануючи технічну експлуатацію сільськогосподарських машин, необхідно вирішувати основні завдання щодо визначення:

- коефіцієнта технічної готовності сільськогосподарських машин заданої надійності за заданої потужності засобів інженерного менеджменту;
- необхідної потужності засобів інженерного менеджменту для забезпечення наперед заданої величини коефіцієнта технічної готовності сільськогосподарських машин заданої надійності;
- оптимальної величини коефіцієнта технічної готовності сільськогосподарських машин та оптимальної потужності засобів інженерного менеджменту, які забезпечують мінімальні сумарні витрати живої і уречевленої праці, пов'язані з простоями сільськогосподарських машин в очікуванні усунення несправностей і наявністю надлишкових потужностей технічного обслуговування.

Якщо прийняти, що потік вимог на усунення несправностей сільськогосподарських машин – окремий випадок потоку вимог на технічне обслуговування, а потік відновлення – окремий випадок потоку технічного обслуговування, то завдання технічної експлуатації сільськогосподарських машин зводяться до відповідних завдань теорії масового обслуговування. Проте процеси технічної експлуатації сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва значно складніші ніж процеси, які зараз розглядають для аналітичного вирішення завдань масового обслуговування.

Обговорення. У результаті наведена матриця, граф переходів і диференціальні рівняння (9)-(11) формують математичну модель аналізованих явищ інженерного менеджменту зміни стану незалежних елементів системотехніки рослинництва лише у найпершому наближенні [Brown, 2018]. Умова, за якою λ_n та μ_n є функціями лише кількості несправних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва, як правило, задовольняється лише у найпростіших випадках [Rogovskii, 2021].

У найпоширеніших, практично складніших, випадках перехід кожної з сіль-

ськогосподарських машин з несправного в справний стан проходить через кілька фаз [Mráz, 2019]. Інтенсивність відновлення μ_n, крім кількості несправних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва, залежить також від характеру несправностей (виду усунення несправностей) та від типу засобів інженерного менеджменту, у яких ці несправності усуваються [Yousif, 2013]. Проте практично можливі випадки, коли рівняння (9)-(11) вирішуються аналітично.

Висновки. У результаті проведених досліджень:

- отримано нові науково обґрунтовані технічні та технологічні рішення і розробки, спрямовані на обґрунтування аналітичних положень інженерного менеджменту стану незалежних елементів системотехніки рослинництва, які в подальшому будуть слугувати вихідними положеннями Smart-технології інженерного менеджменту;

- підтверджено, що інтенсивність відновлення μ_n, крім кількості несправних сільськогосподарських машин у структурі технологій виробництва продукції рослинництва, залежить також від характеру несправностей і виду усунення несправностей і від типу засобів інженерного менеджменту, за яких ці несправності усуваються;

- обґрунтовано аналітичні положення визначення взаємного зв'язку між коефіцієнтом технічної готовності сільськогосподарських машин, надійністю сільськогосподарських машин та потужністю засобів інженерного менеджменту у структурі технологій виробництва продукції рослинництва.

Перелік літератури

Carmona I. G., Colado J. (2016) Control of a two wired hammerhead tower crane. Nonlinear Dynamics. 84(4). pp. 2137-2148. http://dx.doi.org/10.1007/s11071-016-2634-3.

Fonteijn H., Afonso M., Lensink D., Mooij M., Faber N., Vroegop A., Polder G., Wehrens R. (2021) Automatic phenotyping of tomatoes in production greenhouses using robotics and computer vision: From theory to practice. Agronomy. 11(8). pp. 1599. http://dx.doi.org/10.3390/agronomy11081599.

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). pp. 19-29. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073.

Kostikov A. A., Perig A. V., Larichkin O. V., Stadnik A. N., Gribkov E. P. (2019) Research into payload swaying reduction through cable length manipulation during boom crane motion. FME Transactions. 47(3). pp. 464-476. http://dx.doi.org/10.5937/fmet1903464K.

Kuzmich I. M., Rogovskii I. L., Titova L. L., Nadtochiy O. V. (2021) Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 677. pp. 052002. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002.

Lysenko V., Bolbot I., Lendiel T., Nurseitova K., Amirgaliyev Y. (2021) Mobile robot with optical sensors for remote assessment of plant conditions and atmospheric parameters in an industrial greenhouse. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments. 12040. pp. 80-89. https://doi.org/10.1117/12.2613975.

Mozharivskyi D. M., Titova L. L., Nadtochiy O. V., Dasic P. (2022) Aspects of expert system of engineering management of technical condition of grain harvesters. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. 13(1). pp. 60-66. http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2022.01.060.

Najafi P., Asoodar M., Marzban A., Hormozi M. (2017) Reliability analysis of agricultural machinery: a case study of sugarcane chopper harvester. AgricEngInt: CIGR Journal. March 17(1)1. pp. 158-165.

Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Ti-

tova 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). pp. 71-79. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747.

Nazarenko I., Mishchuk Y., Mishchuk D., Ruchynskyi M., Rogovskii I., Mikhailova L., Titova L., Berezovyi M., Shatrov R. (2021) Determiantion of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4(7(112)). pp. 41-49. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292.

Revathi S., Radhakrishnan T., Sivakumaran N. (2017) Climate control in greenhouse using intelligent control algorithms. Paper Presented at the Proceedings of the American Control Conference. pp. 887-892. http://dx.doi.org/10.23919/acc.2017.7963065.

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. pp. 884-890. https://doi.org/10.22616/ERDev.2022.21.TF279.

Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Troyanovskaya I. P., Sokolova V. A. (2021) Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 720. pp. 012110 doi: 10.1088/1755-1315/720/1/012110.

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. pp. 291-298. https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18. N451.

Romasevych Y., Loveikin V. (2018) A novel multi-epoch particle swarm optimization technique. Cybernetics and Information Technologies. 18(3). pp. 62-74. http://dx.doi.org/10.2478/cait-2018-0039.

Voinalovych O., Aniskevych L., Motrich M., Titova L. (2020) Rationale of acceptable risk of using tractors with operational damages of responsible parts. Engineering for Rural Development. 19. pp. 784-792.

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. 26(1). pp. 25-37. https://doi.org/10.2478/agriceng-2022-0003.

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. pp. 84-90.

Brown R., Richards A. (2018) Engineering principles of agricultural machinery. ASABE. 84(2). pp. 1120-1132.

Mrбz M., Urbanovičová O., Findura P., Prнstavka M. (2019) Use of information systems to support decision making according to analysis machines. Agricultural Machinery. 2. pp. 89-93.

UDC 631.4.001

ENGINEERING MANAGEMENT OF INDEPENDENT ELEMENTS OF PLANT SYSTEMS

Sivak I., Cand. of Tech. Scs, Associate Prof.,
e-mail: sivakim@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-6297-587X
National University of Life and Environmental Science of Ukraine

Summary

Purpose of the study. *The aim of the research is to substantiate the analytical provisions of engineering management of the state of independent elements of plant engineering. The practical result will be the formation of the initial provisions of Smart-technology of engineering management to change the state of independent elements of plant engineering.*

Research methods*. The methodological basis of the work is the generalization and analysis of known scientific results regarding the engineering management of the state of independent elements of plant engineering, and the use of a systems approach. Analytical method and comparative analysis was used to form a scientific problem, determine the purpose and set research objectives. The main provisions of the theory of systems engineering, methodology of systems analysis, theory of matrices, differential calculations and research on the theory of graphs, the theory of Markov processes, Bernoulli's theorem was used to create analytical models.*

The results of the study*. The article considers the solutions that allowed substantiate the differential equations that characterize changes in the state of agricultural machinery in the complex of plant engineering, similar to which in the theory of Markov processes is called equations of reproduction and death. The analytical paper uses the ergodic property of Markov processes, according to which the existence of a limit or established regime of stationary probabilistic process of changing the state of agricultural machinery in the complex of plant engineering systems is established. The article considers the probability models of changes in the state of agricultural machinery in the aggregate of plant engineering systems, which tend to the limit values* $P_0, P_1, P_2, \ldots, P_z$ *and do not depend on the initial distribution of* P_0*. The solution of these models for the regime, we can find the probabilities of* P_n*, where* $n = 0, 1, 2, 3, \ldots, z$*, of all possible states of agricultural machinery in the aggregate of plant engineering. This was used to determine the level of technical readiness of agricultural machinery. According to Bernoulli's theorem, it is established that with increasing number of experiments, namely state transitions in the analyzed case, the frequency of the event converges in probability with the probability of the event, and for the regime.*

Conclusions. *As a result of research:*

- new scientifically sound technical and technological solutions and developments were obtained, which are aimed at substantiating the analytical provisions of engineering management of independent elements of plant engineering, which will serve as the starting point of Smart technology of engineering management.

- it was confirmed that the intensity of recovery, in addition to the number of faulty agricultural machinery in the structure of crop production technologies, also depends on the nature of faults and the type of troubleshooting, and the type of engineering management tools.

- the analytical provisions for determining the relationship between the coefficient of technical readiness of agricultural machinery, the reliability of agricultural machinery and the power of engineering management in the structure of crop production technologies are substantiated.

Key words: *restoration, coefficient of technical readiness, agricultural machine, reliability, system engineering.*