

УДК 631.1.004

МОДЕЛЬ СТОХАСТИЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ МАШИНИ В БЕЗІНЕРЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ІЗ ЗАПІЗНЕННЯМ

І. Л. Роговський

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

Стаття з спеціальності: 133 – галузеве машинобудування.

Кореспонденція автора: rogovskii@nubip.edu.ua.

Історія статті: отримано – квітень 2020, акцептовано – серпень 2020.

Бібл. 24, рис. 5, табл. 1.

Анотація. В статті проведено аналіз підтримання існуючих сільськогосподарських машин в працездатному стані, за яким слід відпрацювати систему технічного обслуговування з урахуванням умов реформування аграрного сектора. Під технічним обслуговуванням розуміється комплекс робіт по підтриманню роботоздатності або справності виробів при використанні за призначенням шляхом регулювальних, знаючих, заправних і кріпильних робіт. Для оцінки альтернативних варіантів доцільно проводити морфологічний аналіз всієї сукупності можливих рішень досліджуваної проблеми, поданих у вигляді морфологічної матриці, в якій подані основні функції машини і варіанти предметних форм їх виконання.

Теоретичними дослідженнями надали відповідь на два головні питання – як має змінюватися система технічного обслуговування залежно від рівня розвитку аграрного виробництва, а також – які параметри повинна мати система обслуговуючого сервісу, щоб виконувати відповідні втручання з мінімальними технологічно потрібними витратами ресурсів та капіталовкладеннями. Оцінку рівня технічного обслуговування сільськогосподарських машин передбачено виконувати за сукупністю організаційно-технічних факторів, формалізованих через частині і комплексні показники, в два етапи. Перший – оцінка через частині показники по кожному фактору окремо. Другий – оцінка комплексного показника (за всіма факторами в цілому).

Ключові слова: методологія, коефіцієнт готовності, ефективність, сільськогосподарська машина.

Постановка проблеми

Однією з передумов забезпечення працездатності і екологічності сільськогосподарських машин в умовах існуючих обмежень фінансових ресурсів і низьких показників безвідмовності цих машин є пошук раціональних рішень з ефективності технічної експлуатації, які б дозволили виконати необхідні об'єми робіт з технічного обслуговування за

мінімальних затратах фінансових і трудових ресурсів [1-4].

Проблема підвищення надійності [5] й ефективного використання сільськогосподарських машин перебуває в тісному зв'язку із проблемою організації й технологією здійснення всіх процесів передбачених системою технічного обслуговування в аграрному виробництві [6, 7]. Раціональна організація експлуатації машин неможлива при відсутності необхідних відомостей про періодичність і технології виконання профілактичних робіт. У цьому зв'язку створення методики обґрунтування періодичності технічного обслуговування є актуальним науково-практичним завданням [8-16].

Вивчення факторів, що виявляють вплив на тривалість роботи даного вузла до моменту, коли доцільно проводити профілактичні роботи показує, що в цьому питанні існує своєрідний принцип невизначеності: чим повніше й точніше враховуються зазначені фактори, тим менш є достовірним отриманий результат. Більш достовірної виявляється періодичність ТО, встановлена з урахуванням вимог, сформульована з більш загальних позицій. Наприклад, встановлення періодичності здійснення операцій технічного обслуговування з урахуванням вимог раціональної організації використання машин в умовах, що склалися аграрних підприємствах. У зв'язку із цим у дослідженні розпочата спроба врахувати весь основний комплекс факторів, що визначають періодичність технічного обслуговування за даною машиною [17-20].

Згідно національних стандартів щодо сільськогосподарських машин передбачено проведення певних видів технічного обслуговування, які класифікуються за етапом існування машини і характеризуються чітко регламентованою періодичністю проведення [21-25]. Однак ці величини періодичності сформовані згідно планово-попереджувальної системи для виробничих умов [24]. Сьогодення потребує нових рішень щодо наукового обґрунтування величин періодичності проведення технічного обслуговування сільськогосподарських

машин і на думку автора вихідним етапом повинна стати формалізація впливу показників надійності.

Аналіз останніх досліджень

На практиці досить часто зустрічаються процеси, що мають стохастичну залежність між компонентами вектора як вхідних, так і вихідних змінних. При цьому ні характер, ні структура залежності нам невідомі. Об'єкти, що володіють подібною особливістю, називають «трубчастими».

Перша згадка про процеси «трубчастої» структури (Н-процесах) з'являється у роботі [3]. Ці процеси були помічені при моделюванні технологічних процесів в металургії. Було виявлено, що компоненти вектора входу досліджуваного процесу пов'язані стохастичною залежністю, внаслідок чого процес протікає не у всій області, встановленої технологічним регламентом підприємства, а лише в деякій його підобласті. У цих умовах процес моделювання та управління ускладнюється.

Розглянемо стохастичний багатовимірний об'єкт, представлений на рис. 1.

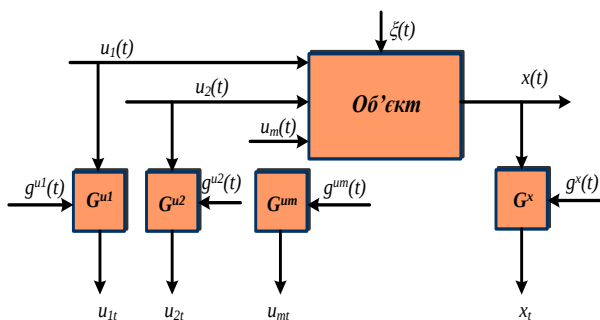


Рис. 1. Схема багатовимірного стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини.

Fig. 1. Scheme of multidimensional stochastic process of restoration of working capacity of agricultural machine.

Тут прийняті наступні позначення: A - невідомий оператор об'єкта, $x(t) \in \Omega(x) \subset R^1$ - вихідна змінна процесу, $u(t) = (u_i(t), i = 1, m) \in \Omega(u) \subset R^m$ - векторний вхідний вплив $\xi(t)$ - векторний випадковий вплив, (t) - безперервний час, $G^{u_i}, i = \overline{1, m}, G^x$ - канали зв'язку, які відповідають різним змінним, що включають в себе засоби контролю, $g^{u_i}(t), i = \overline{1, m}, g^x$ - випадкові перешкоди вимірювань відповідних змінних процесу з нульовими математичними очікуваннями і обмеженою дисперсією.

Мета досліджень

Мета досліджень - описати особливості аналітичних підходів до узагальнення математичної моделі стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини в безінерційних системах із запізненням.

Результати досліджень

Вимірюючи значення вхідних і вихідних змінних через інтервал часу Δt . Отримаємо навчальну вибірку $(u_i, x_i, i = \overline{1, s})$, де s - обсяг вибірки.

Звернемо увагу на одну важливу обставину - компоненти вектора вхідних змінних $u(t)$ пов'язані стохастичною залежністю.

Випадок, коли компоненти вектора входу $u(t)$ незалежні, може бути проілюстровано наступним рис. 2.

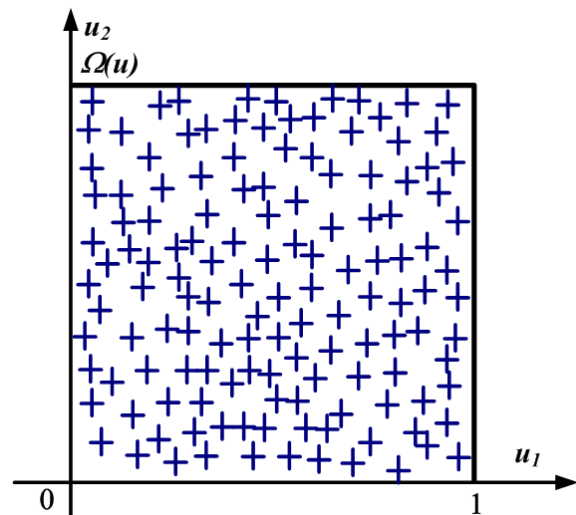


Рис. 2. Випадок незалежності компонент вектора входу $u(t)$.

Fig. 2. The case of independence of the components of the input vector $u(t)$.

Тут, з міркувань простоти, $u_1, u_2 \in [0; 1]$. Знаком «+» позначені точки процесу. Як видно з рисунку, точки процесу можуть бути розташовані по всій площі даного одиничного квадрата. Одному значенню компоненти $u_1(t)$ може відповідати безліч значень компоненти $u_2(t)$, і навпаки.

Якщо між компонентами вектора входу існує деяка залежність, то в якості ілюстрації можна розглянути приклад, представлений на рис. 3, де компоненти $u_1(t), u_2(t)$ пов'язані між собою стохастичною залежністю.

Як видно з представленого рисунку, точки процесу розташовуються не по всій площі одиничного квадрата $\Omega(u)$, а лише в його області $\Omega^H(u) \in \Omega(u)$.

Одному значенню компоненти u_1 відповідає тут вже значно менше число значень компоненти u_2 .

Чим менша область $\Omega^H(u)$, тим більше однозначним стає відношення між компонентами u_1 і u_2 .

Відзначимо, що області $\Omega^H(u)$ досліднику завжди невідома, оскільки її розміри і положення визначаються видом зв'язку між змінними процесу, про яку ми нічого не можемо сказати напевно.

Розглянемо рис. 4, на якому показано процес «трубчастої» структури.

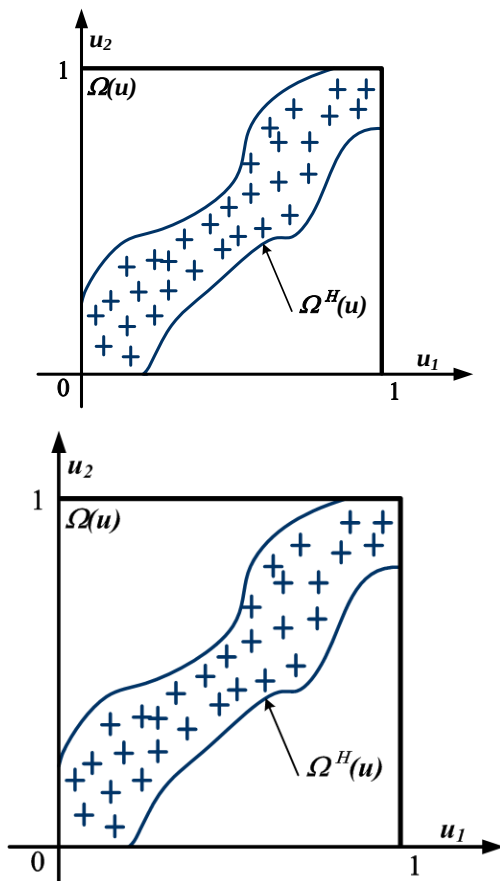


Рис. 3. Стохастичний зв'язок між вхідними змінними процесу.

Fig. 3. Stochastic relationship between input process variables.

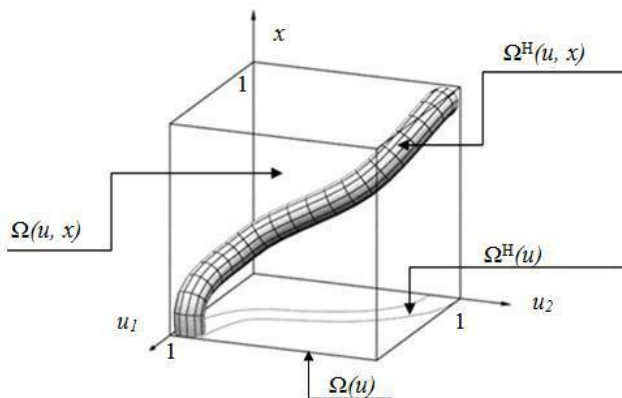


Рис. 4. Стохастичний процес відновлення працездатності сільськогосподарської машини з «трубчастої» структурою.

Fig. 4. Stochastic process of restoring the efficiency of an agricultural machine with a "tubular" structure.

Як видно з рисунку, область протікання процесу $\Omega(u, x)$ являє собою без порушення спільності, одиничний гіперкуб, де $u = (u_1, u_2) \in R^2$. Область протікання процесу $\Omega(u, x)$ на практиці відома завжди. Наприклад, для технологічного процесу значення «вхідних-вихідних» змінних визначаються рамками технологічного регламенту. Однак якщо досліджуваний процес має «трубчасту» структуру, тобто його вхідні змінні пов'язані між собою

стохастичною залежністю, то область його протікання обмежується не тільки простором гіперкуба $\Omega(u, x)$, але і деякою його підобластю $\Omega^H(u, x) \in \Omega(u, x)$, яка нам ніколи не відома. оскільки під область $\Omega^H(u, x)$ не відома, то і точно сказати про те, що досліджуваний об'єкт має даною особливістю, ми не можемо. У цьому полягає основна складність моделювання подібного роду процесів.

На практиці, при побудові моделі за наявними даними, використовують параметричні оцінки типу

$$x_\alpha(t) = A^\alpha(u(t), \alpha)$$

де A^α - параметрична структура моделі, а α - вектор параметрів. При цьому для деяких значень вхідних змінних процесу $u \in \Omega(u) \subset R^m$, які одночасно задовольняють умові $u \notin \Omega^H(u)$. Ми можемо отримати оцінки $x_\alpha \notin \Omega^H(u, x)$ або зовсім $x_\alpha \notin \Omega(u, x)$. Цей ефект продемонстрований на рис. 5.

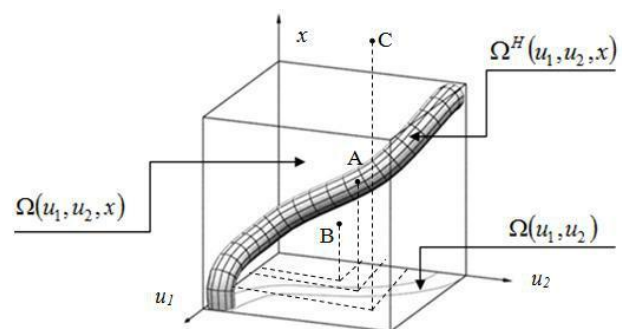


Рис. 5. Моделювання стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини з «трубчастої» структурою.

Fig. 5. Modeling of the stochastic process of restoring the efficiency of an agricultural machine with a "tubular" structure.

Тут точки А, В, С - це різні значення вихідної змінної $x(t)$. Отримані в результаті управління технологічним процесом. Як видно з рисунку, точка А належить області «трубчастого» процесу, тобто $A \in \Omega^H(u, x)$, точка В не влучає в область «трубки», але перебуває в технологічному регламенті ($B \notin \Omega^H(u, x)$, але $B \in \Omega(u, x)$). Точка, крапка С $\notin \Omega(u, x)$, тобто вона виходить за рамки технологічного процесу. Якісний результат від ведення процесу можливий лише при отриманні точок, подібних якій точці А, тобто таких, які в підсумку потрапили в простір «трубки» $\Omega^H(u, x)$. Точки, що не потрапили в рамки технологічного регламенту, такі як точка С, можна легко помітити і виключити з розгляду. Наприклад, можна отримати негативні значення відновлення машин, що, природно, не є реальним. Найбільш складний випадок представляють значення $x(t)$, які вписуються в обсяг гіперкуба $\Omega(u, x)$, але не належать простору «трубки» $\Omega^H(u, x)$ (наприклад, точка В на рисунку). Ці оцінки задовольняють умовам технологічного регламенту, а, значить, ми не маємо підстав для їх виключення, і враховуємо при управлінні. При цьому результат буде незадовільним.

Розглянемо ще одну обставину. Нехай нам необхідно відновити лінію в двовимірному просторі. Для якісного її відновлення нам буде потрібно вибірка з декількох десятків точок. Якщо ми працюємо в

тривимірному просторі і об'єктом відновлення є площину, то мова йде про декілька сотень точок. Таким чином, зі збільшенням розмірності простору, обсяги вибірок s , необхідні для якісного оцінювання, збільшуються на порядки. Але на практиці не поодинокі випадки, коли розмірність завдання k велика в порівнянні з обсягом наявної вибірки s . Наприклад, в практичних завданнях часто виникає ситуація, коли $k = 20 \div 30$, а $s = 900 \div 1000$. У цих ситуаціях математична статистика не може дати задовільне рішення задачі ідентифікації. Це означає, що отримані моделі будуть досить грубими.

Існує дуже важлива проблема, як зробити висновок на підставі малого - в сенсі математичної статистики - кількості даних. У нас була розглянута задача приблизно з 20 параметрами і всього 600 даними. За всіма правилами, не можна робити висновок по 600 даними, якщо змінюються 20 параметрів. Але де взяти більше? 600 машин були в експлуатації - ось і вся статистика. Життя такі завдання ставить.

У випадку наявності у об'єкта «трубчастої» структури компоненти його входу пов'язані стохастичною залежністю. Іншими словами, по суті, розмірність завдання в цьому випадку значно скорочується, і при малій кількості точок ми можемо отримати задовільні моделі.

Розглянемо приклад. Нехай стохастичний процес відновлення працездатності сільськогосподарської машини описується рівнянням:

$$x(u) = f(u_1, u_2, u_3) \quad (1)$$

де тривимірний вектор $u = (u_1, u_2, u_3) \in R^3$ є вхідний змінної, а $x \in R^1$ - вихідна змінна. Як говорилося раніше, при параметричній ідентифікації досліджуваного процесу необхідно визначити клас параметричних залежностей $x^\alpha(u) = f^\alpha(u_1, u_2, u_3, \alpha)$ і оцінити той чи інший способом параметри α за вибіркою спостережень $(u_i, x_i), i = \overline{1, s}$, де s - обсяг вибірки.

Нехай компоненти вектора входу $u = (u_1, u_2, u_3)$ стохастично ніяк не пов'язані, тобто незалежні. В цьому випадку вихідна змінна $x(t)$ є функція від трьох змінних $u = (u_1, u_2, u_3)$. Припустимо, що компоненти вектора вхідних змінних пов'язані функціонально, наприклад

$$u_2 = \varphi_1(u_1), u_3 = \varphi_2(u_2) = \varphi_2(\varphi_1(u_1)) \quad (2)$$

Звичайно ж, дослідник не знає про наявність залежності (2). У зворотному випадку можна було б підстановкою (2) в (1) отримати:

$$x(u) = f(u_1, \varphi_1(u_1), \varphi_2(\varphi_1(u_1))) \quad (3)$$

Таким чином, тривимірна залежність (1) могла б бути зведена до одновимірної залежності (3). Аналогічним чином залежність (1) може бути зведена і до двовимірної.

Як ми бачимо, при наявності функціональної залежності між компонентами вектора входу $u = (u_1, u_2, u_3)$ розмірність розв'язуваної задачі скорочується. Аналогічно справа йде і за наявності не функціональної залежності, а стохастичної. Але про наявність подібних залежностей досліднику нічого не відомо.

Приклад процесу «трубчастої» структури. Розглянемо результати одного дослідження. Об'єктом дослідження роботи був процес відновлення працездатності зернозбирального комбайна Славутич КЗС-9М. При тривалій експлуатації комбайна в його технічному стані відбувається ряд процесів, результатом яких є накопичення напружень, дефектів, сколів, зломів, зносів великої кількості складних відмов. Більшість цих відмов є аварійними і становлять небезпеку для повної втрати працездатності комбайна.

В ході дослідження було виділено ряд змінних $(u_i), i = \overline{1, 8}$, що впливають на процес втрати працездатності: тривалість відновлення працездатності силової енергетичної установки (u_1), тривалість відновлення працездатності жниварки (u_2), тривалість відновлення працездатності соломотрусу (u_3), тривалість відновлення працездатності ходової системи (u_4), тривалість відновлення працездатності гідростатичної трансмісії (u_5), тривалість відновлення працездатності копнувача (u_6), тривалість відновлення працездатності молотарки (u_7), тривалість відновлення працездатності похилої камери (u_8).

Значення змінних належать наступним чисельним інтервалам: $u_1 \in [4; 16]$, $u_2 \in [0.1; 0.2]$, $u_3 \in [15; 360]$, $u_4 \in [0.05; 0.4]$, $u_5 \in [1.4; 1.5]$, $u_6 \in [0.9; 0.95]$, $u_7 \in [3; 8]$, $u_8 \in [8; 356]$. Вибірка «вхід-вихід» змінних має вигляд $\{u_{1i}, u_{2i}, u_{3i}, u_{4i}, u_{5i}, u_{6i}, u_{7i}, u_{8i}, i = \overline{1, 9}\}$.

З метою дослідження взаємозв'язку між змінними була розрахована кореляційна матриця за наявними даними. Отримана матриця представлена в табл. 1.

Результати експерименту показали, що значення коефіцієнтів кореляції досить великі ($\approx 0.74 \div 0.99$).

Таблиця 1. Кореляційна матриця.

Table 1. Correlation matrix.

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6	u_7	u_8
t	0,94	0,98	0,89	0,94	0,91	0,87	0,96	0,96
u_1	1	0,93	0,83	0,96	0,87	0,87	0,95	0,84
u_2	0,93	1	0,84	0,96	0,9	0,84	0,97	0,94
u_3	0,83	0,84	1	0,74	0,89	0,87	0,79	0,94
u_4	0,96	0,96	0,74	1	0,86	0,8	0,99	0,84
u_5	0,87	0,9	0,89	0,86	1	0,89	0,92	0,92
u_6	0,87	0,84	0,87	0,8	0,89	1	0,82	0,86
u_7	0,95	0,97	0,79	0,99	0,92	0,82	1	0,89
u_8	0,84	0,94	0,94	0,84	0,92	0,86	0,89	1

Це говорить про наявність сильної лінійної залежності між факторами, що впливають на процес. Ґрунтуючись на цьому, як залежностей, що описують процес, було запропоновано взяти такі рівняння:

$$\begin{aligned} u_{\alpha 1} &= \alpha_0 + \alpha_2 u_2 + \alpha_3 u_3 + \alpha_4 u_4 + \alpha_5 u_5 + \alpha_6 u_6 + \alpha_7 u_7 + \alpha_8 u_8, \\ u_{\alpha 2} &= \beta_0 + \beta_1 u_1 + \beta_3 u_3 + \beta_4 u_4 + \beta_5 u_5 + \beta_6 u_6 + \beta_7 u_7 + \beta_8 u_8, \\ u_{\alpha 3} &= \gamma_0 + \gamma_1 u_1 + \gamma_2 u_2 + \gamma_4 u_4 + \gamma_5 u_5 + \gamma_6 u_6 + \gamma_7 u_7 + \gamma_8 u_8, \\ u_{\alpha 4} &= \eta_0 + \eta_1 u_1 + \eta_2 u_2 + \eta_3 u_3 + \eta_5 u_5 + \eta_6 u_6 + \eta_7 u_7 + \eta_8 u_8, \\ u_{\alpha 5} &= \kappa_0 + \kappa_1 u_1 + \kappa_2 u_2 + \kappa_3 u_3 + \kappa_4 u_4 + \kappa_6 u_6 + \kappa_7 u_7 + \kappa_8 u_8, \\ u_{\alpha 6} &= \lambda_0 + \lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2 + \lambda_3 u_3 + \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5 + \lambda_7 u_7 + \lambda_8 u_8, \\ u_{\alpha 7} &= \mu_0 + \mu_1 u_1 + \mu_2 u_2 + \mu_3 u_3 + \mu_4 u_4 + \mu_5 u_5 + \mu_6 u_6 + \mu_8 u_8, \\ u_{\alpha 8} &= \rho_0 + \rho_1 u_1 + \rho_2 u_2 + \rho_3 u_3 + \rho_4 u_4 + \rho_5 u_5 + \rho_6 u_6 + \rho_7 u_7, \end{aligned} \quad (4)$$

де $\alpha, \beta, \gamma, \eta, \kappa, \lambda, \mu, \rho$ - шукані параметри.

Після знаходження значень параметрів був поставлений наступний експеримент. Була розглянута параметрична структура моделі Детально розглянемо параметричну структуру на прикладі моделі $u_{\alpha 1}$:

$$u_{\alpha 1} = -47.2 - 2.4u_2 + 0.03u_3 + 32.5u_4 + 14.2u_5 + 30.9u_6 + 0.08u_7 + 0.03u_8 \quad (5)$$

В отриману модель $u_{\alpha 1}$ (5) були підставлені значення факторів $u_2 = 0.1$, $u_3 = 15$, $u_4 = 0.05$, $u_5 = 1.4$, $u_6 = 0.9$, $u_7 = 3$, $u_8 = 8$ з допустимих інтервалів визначення змінних, отримано $u_{\alpha 1} = 4$. Дане значення відповідає допустимих меж визначення фактора u_1 , максимальне значення якого 16. В ході експерименту аналогічні результати отримані для факторів $u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8$.

Висновки

1. Внаслідок цього можна стверджувати, що досліджуваний стохастичний процес відновлення працездатності сільськогосподарської машини має «трубчасту» структуру. Тобто певному значенню змінної u_i не може відповідати довільно задане значення змінної u_j .

2. При роботі з отриманою моделлю стохастичного процесу відновлення працездатності сільськогосподарської машини, при подачі на вхід керуючих впливів з технологічного регламенту, в деяких випадках при розрахунку планового і фактичного балансів виходили прогнози деяких технологічних параметрів, які виявлялися фізично не реалізуються. Наприклад, зміст елементів могли приймати негативні значення або перевищувати 100%, чого бути не може.

Список літератури

1. Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B. Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Proceedings of 17th International

Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 17. P. 1166-1172.

2. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal. 2017. Vol. 19. P. 158-163.

3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters. 2018. Vol. 16. P. 79-84.

4. Masek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16. P. 1180-1185.

5. Rogovskii I., Grubrin O. Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. 2018. Vol. 298. P. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.

6. Viba J., Lavendelis E. Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME, 22 April 2006. Tallinn, Estonia. P. 95-98.

7. Luo A.C.J., Guo Y. Vibro-impact Dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 2013. 213 p.

8. Astatheev V., Krupenin V. Efficiency of vibration machines. Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 24-26, 2017, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 16. P. 108-113.

9. Zagurskiy O., Ohienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 2018. P. 64-74.

10. Drga R., Janacova D., Charvatova H. Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, Vol. 76. UNSP 04036.

11. Novotny J. Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development". Jelgava, Latvia, May 23-25, 2016, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. Vol. 15. P. 16-20.

12. Pinzi S., Cubero-Atienza A. J., Dorado M. P. Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration. 2016. Vol. 266. Issue 3. P. 407-441.

13. Rogovskii I. L. Systemic approach to justification of standards of restoration of agricultural machinery. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2019. Vol. 10. No 3. P. 181-187.

14. Rogovskii I. L. Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's

costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine. 2019. Vol. 10. No 4. P. 145-150.

15. Роговський І. Л. Алгоритмічність визначення періодичності відновлення працездатності сільськогосподарських машин за ступенем витрат їх ресурсу. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv, Ukraine. 2020. Vol. 11. No 1. P. 155-162.

16. Rogovskii I., Titova L., Novitskii A., Rebenko V. Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 291-298.

17. Kalinichenko D., Rogovskii I. 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.

18. Kalinichenko D., Rogovskii I. 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.

19. Kalinichenko D., Rogovskii I. 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.

20. Калініченко Д. Ю., Роговський І. Л. Аналіз систем і стратегій технічного обслуговування 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.

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

22. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2017. Вип. 258. С. 399-407.

23. Роговський І. Л. Методологічність виконання технологічних операцій відновлення працездатності сільськогосподарських машин при обмежених ресурсах. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 314–322.

24. Rogovskii Ivan. Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL*. Lublin. 2016. Vol. 18. No 3. P. 155–164.

References

1. Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B. (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. *Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 23-25, 2018, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. 17. 1166-1172.
2. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal*. 19. 158-163.
3. Yata V.K., Tiwari B.C., Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. *Environmental Chemistry Letters*. 16. 79-84.
4. Masek J., Novak P., Jasinskas A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. 16. 1180-1185.
5. Rogovskii I., Grubrin O. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK*. Kyiv, Ukraine. 298. 149-156. doi: 10.31548/me.2018.04.149-156.
6. Viba J., Lavendelis E. (2006). Algorithm of synthesis of strongly non-linear mechanical systems. In *Industrial Engineering – Innovation as Competitive Edge for SME*, 22 April 2006. Tallinn, Estonia. 95-98.
7. Luo A.C.J., Guo Y. (2013). *Vibro-impact Dynamics*. Berlin: Springer-Verlag. 213.
8. Astatheev V., Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Proceedings of 16th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 24-26, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. 16. 108-113.
9. Zagurskiy O., Ohienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. *Conceptual bases and trends for development of social-economic processes*. Monograph. Opole. Poland, 64-74.
10. Drga R., Janacova D., Charvatova H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. *Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016)*, July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, 76, UNSP 04036.
11. Novotny J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Proceedings of 15th International Scientific Conference "Engineering for rural development"*. Jelgava, Latvia, May 23-25, Latvia University of Agriculture. Faculty of Engineering. 15. 16-20.
12. Pinzi S., Cubero-Atienza A.J., Dorado M.P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of

agricultural machinery. *Journal of Sound and Vibration*, 266 (3). 407-441.

13. 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.

14. Rogovskii I. L. (2019). Consistency ensure the recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 10(4). 145-150.

15. Rogovskii I. L. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Kyiv. Ukraine. 11(1). 155-162.

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.

17. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2014). Decision for technical maintenance of combine harvesters in system of RCM. *MOTROL. An International Quarterly Journal on Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin. 19(3). 179-184.

18. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2017). Modeling technology in centralized technical maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. Lublin–Rzeszów. 17(3). 93-102.

19. Kalinichenko D., Rogovskii I. (2018). Method for determining time of next maintenance of combine harvesters. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 18(1). 105-115.

20. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Systems analysis and strategies for technical maintenance of combine harvesters and their parts. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 380-390.

21. Kalinichenko D. Yu., Rogovskii, I. L. (2017). Artificial cognitive systems in the processes of technical maintenance of combine harvesters. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 262. 353-361.

22. Rogovskii I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 258. 399-407.

23. Rogovskii I. L. (2015). Metodological performance of technological operations of restoration of working capacity of agricultural machines at limited resources. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK*. Kyiv. 212(1). 314-322.

24. Rogovskii Ivan. (2016). Graph-modeling when the response and recovery of agricultural machinery. *MOTROL*. Lublin. 18(3). 155-164.

МОДЕЛЬ СТОХАСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В БЕЗИНЕРЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С ОПОЗДАНИЕМ

И. Л. Роговский

Аннотация. В статье проведен анализ поддержание существующих сельскохозяйственных машин в работоспособном состоянии, за которым следует отработать систему технического обслуживания с учетом условий реформирования аграрного сектора. Под техническим обслуживанием понимается комплекс работ по поддержанию работоспособности или исправности изделий при использовании по назначению путем регулировочных, знающих, заправочных и крепежных работ. Для оценки альтернативных вариантов целесообразно проводить морфологический анализ всей совокупности возможных решений исследуемой проблемы, представленных в виде морфологической матрицы, в которой представлены основные функции машины и варианты предметных форм их выполнения.

Теоретическими исследованиями предоставили ответ на два главных вопроса – как должна меняться система технического обслуживания в зависимости от уровня развития аграрного производства, а также – какие параметры должна иметь система обслуживающего сервиса, чтобы выполнять соответствующие вмешательства с минимальными технологически необходимыми затратами ресурсов и капиталовложениями. Оценку уровня технического обслуживания сельскохозяйственных машин предусмотрено выполнять по совокупности организационно-технических факторов, формализованных через части и комплексные показатели, в два этапа. Первый – оценка через части показатели по каждому фактору отдельно. Второй – оценка комплексного показателя (по всем факторам в целом).

Ключевые слова: методология, коэффициент готовности, эффективность, сельскохозяйственная машина.

MODEL OF STOCHASTIC PROCESS OF RESTORATION OF WORKING CAPACITY OF AGRICULTURAL MACHINE IN INERTIAL SYSTEMS WITH DELAY

I. L. Rogovskii

Abstract. In the article the analysis of existing agricultural machines in a healthy state, followed by work on the maintenance system subject to the conditions of reforming of the agrarian sector. Under maintenance refers to the complex of works on maintenance of working capacity or serviceability of the products during use by adjusting, knowledgeable, filling and retaining work. For the assessment of the alternatives it is advisable to conduct morphological analysis of the entire set of possible solutions to the research problem presented in a morphological matrix, which presents the basic functions of the machine and options the subject of the forms of their implementation.

Theoretical research has provided the answer to two fundamental questions – how to change maintenance system depending on the level of development of agricultural production, and what parameters must have the system maintenance service to perform the appropriate intervention with the minimum technologically necessary costs of resources and investment. Assessment of the level of maintenance of agricultural machinery is provided to carry on the totality of organizational and technical factors, formalized through parts and complex indicators, in two phases. The first evaluation of using of the indicators for each factor separately. Second – assessment of a complex indicator (for all factors).

Key words: methodology, availability, efficiency, agricultural machine.

I. Л. Роговський ORCID 0000-0002-6957-1616.