УДК 631.354.2

АНАЛІЗ БАГАТОКАНАЛЬНОЇ СИСТЕМИ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИ СТАЛОМУ І НЕСТАЛОМУ РЕЖИМАХ РОБОТИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

О. В. Надточій, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-2876-3021
Л. Л. Тітова, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0001-7313-1253
Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: titovall@ukr.net

Анотація. *В статті визначено повні сумарні втрати на обслуговування груп комбайнів з пропускною здатністю молотарки більше 9 кг/с і різним сезонним навантаженням. Встановлено, що мінімум витрат припадає на наробіток близько 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальна ж кількість ланок технічного обслуговування для малих (150 га) і великих (>900 га) наробітків на зернозбиральний комбайн зростає більш ніж в два рази, порівняно для всіх кількостей ЗК в групах.*

Аналіз і порівняння характеристик СМО для сталого і несталого режимів роботи показав що взаємний перехід для групи ЗК триває від 4 годин (20 комбайнів) і до 8 годин (1-5 комбайнів). Врахування моделі СМО і запропонованого методу дасть змогу отримати точніше характеристики СМО: час очікування в черзі, довжину черги, тощо. Величина повних сумарних втрат на 1 годині роботи в порівнянні із сталим режимом відрізняється за величиною майже в 5 раз.

Ключові слова: ***оптимізація, система масового обслуговування, зернозбиральний комбайн, періодичність, технічного обслуговування***

Постановка проблеми. Відомо, що щорічні втрати зерна від несвоєчасного збирання для господарств України за різними оцінками, сягають більше 10% зібраного урожаю [1]. Це при сучасних урожайностях складає майже 7 млн тонн [2]. Зниження втрат зерна напряму залежить від високого рівня матеріально-технічного забезпечення та правильної організації роботи служби сервісу. Слід також враховувати, що низька платоспроможність сільськогосподарських підприємств та незначні обсяги інвестицій

© О. В. Надточій, Л. Л. Тітова, 2018

унеможливила вчасно проводити переоснащення матеріально-технічної бази [3]. Це призвело до старіння парку. Значно збільшилися витрати грошових коштів на технічне обслуговування і ремонт комбайнів, особливо в дрібних господарствах, в тому числі і фермерських [4]. Тому оптимізація складу служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів при різному їх річному навантаженні і кількості в збиральному загоні є на сьогодні одним з актуальних завдань [5].

Мета досліджень – уточнення моделі оптимізації складу служби технічного сервісу зернозбиральних комбайнів на основі теорії масового обслуговування для неустановленого режиму і в залежності від сезонного навантаження на комбайн.

Аналіз останніх досліджень. Для аналізу використовувалися дані, отримані за результатами збору, математичного обробітку статистичної інформації та математичного моделювання [1, 2].

Українські фермери на сьогодні практично не мають ремонтно-обслуговуючої бази [6]. Так, за даними НААН оснащеність ремонтно-технологічним обладнанням селянських (фермерських) господарств складає всього лише 15...25%. Машинозабезпеченість селянських господарств іноді перевищує відповідні нормативи для великих господарств в середньому 3,2 рази [7]. Проте, незважаючи на це, в них виконується не більше 30% польових механізованих робіт в оптимальні агротехнічні терміни [8]. Мова йде про збиральні роботи. Пояснюється це вкрай слабкою ремонтно-обслуговуючої базою. І результат не заставляє себе довго очікувати [9, 10]. Терміни жнив розтягуються на місяць, а сезонний наробіток коливається в межах від 150 до 1000 га на комбайн [7].

Результати досліджень. Найбільш ефективно відмови та відновлення працездатності ЗК під час проведення збиральних робіт можна описати теорії масового обслуговування [1]. При цьому процеси, які протікають в системі можна мають вигляд (рис. 1). Випадковий характер потоку заявок призводить до того, що в СМО відбувається якийсь випадковий процес. Якщо випадковий процес Марківський, то функціонування СМО можна описати системою диференціальних рівнянь, а в граничному випадку − системою лінійних алгебраїчних рівнянь, рішенням яких визначаються характеристики роботи СМО. В статті [1] автори і розглядають саме граничний стан системи, коли потік замовлень установлений і незмінний. Проте це явище скоріш «штучне» для спрощення математичної моделі розрахунків. В реальних умовах роботі збиральних загонів притаманні несталі режими роботи системи масового обслуговування (СМО) [8]. Тобто такі режими, які залежать від часу. При цьому СМО матиме імовірнісні характеристики, що

залежать від часу, наприклад, протягом деякого його інтервалу. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані, але вже з урахуванням похідних ймовірностей. Саме таку систему і пропонується розглянути в даній статті.

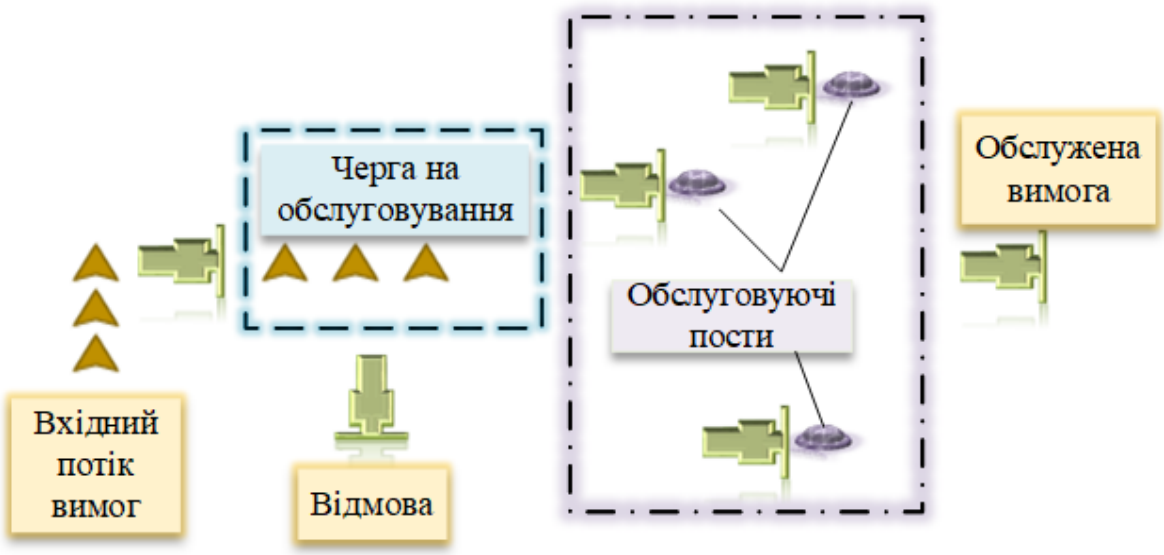

Рис. 1. Система масового обслуговування (СМО).

У системах масового обслуговування потік вимог є випадковим. Випадково і час обслуговування. Робота СМО протікає нерегулярно; то утвориться черга на обслуговування, то відбувається простоювання постів обслуговування. Завданням теорії масового обслуговування – встановити оптимальну (з мінімальними простоями) залежність між характером потоку вимог, числом постів та їх продуктивністю (часом обслуговування), правилами роботи системи обслуговування.

Найбільш часто в якості критеріїв – показників ефективності роботи систем масового обслуговування – використовуються показники середнього часу очікування вимоги початку обслуговування; середнього розміру черги на обслуговування; ймовірності того, що в системі обслуговування перебуватиме певна кількість вимог; середнє число постів, зайнятих або вільних від обслуговування, і ряд інших. Однак найбільш доцільно використовувати економічні показники оцінки ефективності функціонування систем масового обслуговування, які дають узагальнену характеристику виробничого процесу. У цьому випадку в якості критерію ефективності функціонування СМО вибираються загальні грошові витрати, пов'язані з простоями комбайнів в очікуванні обслуговування, і витрати на створення та експлуатацію постів (обслуговуючих ланок) [4, 6]. З метою виявлення найбільш ефективної системи технічного обслуговування виконані розрахунки

сумарних витрат на ТО зернозбиральних комбайнів. При цьому розглядалися варіанти різної інтенсивності використання зернозбиральних комбайнів в господарствах Київської та Черкаської областей, а також при певній (оптимальній) варіації кількості каналів обслуговування системою.

Для прикладу скористаємося даними попередньої [1] роботи привівши деякі дані (табл. 1).

1. Щільність потоку вимог λ та інтенсивність обслуговування за роками експлуатації та річним наробітком.

Роки експл. комб	Кіль-кість, од	Річний наробіток, га (інтервали і їх середини)						μ, 1/год
		150-180	470-500	630-660	780-810	840-870	1000-1030	
		165	485	645	795	855	1015	
		λ, 1/год.						
5 рік	3	0,236	0,193	0,196	0,189	0,193	0,170	0,4256
	5	0,393	0,323	**0,327**	0,315	0,323	0,283	
	10	0,787	0,646	0,654	0,630	0,646	0,567	
	15	1,181	0,969	0,982	0,945	0,969	0,850	
	20	1,575	1,292	1,309	1,260	1,292	1,134	

Відповідно до табл. 1 розраховані щільності потоку вимог λ і інтенсивність обслуговування μ для господарств з різним річним навантаженням на один ЗК і різною кількістю комбайнів в господарстві. Нами прийнято, що частка відмов (1 і 2 груп складності), усуваються виїзними ланками, близько 70% [3, 4]. Сама ж СМО вибрана багатоканальною. При цьому в багатоканальній СМО необхідно розрізняти два випадки:

- число вимог n, що надійшли в систему, менше числа каналів обслуговування N, тобто всі вони знаходяться на обслуговуванні 0 <n <N;
- число вимог n, що надійшли в систему, більше або дорівнює числу каналів обслуговування N, тобто N вимог обслуговуються, а решта очікують у черзі (k = 1, 2, ..., m − N).

Для початку розглянемо СМО спрощену зі сталим режимом роботи системи, коли основні ймовірнісні характеристики її постійні в часі, наприклад, протягом години. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані. Ці баланси виглядають так:

Для випадку $0 \le n < N$:

$P_0 m\lambda = P_1\mu$; $P_1(\mu + (m-1)\lambda) = P_0 m\lambda + P_2 2\mu$;

$$P_2(2\mu+(m-2)\lambda)=P_1(m-1)\lambda+P_3 3\mu$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$
$$P_n(n\mu+(m-n)\lambda)=P_{n-1}(m-(n-1))\lambda+P_{n+1}(n+1)\mu$$

Для випадку $N \le n \le m$:

$$P_n(N\mu+(m-n)\lambda)=P_{n-1}(m-(n-1))\lambda+P_{n+1}N\mu$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$P_{m-1}\lambda=P_m N\mu$$

Припустимо, що наша система має два канали обслуговування N = 2. Інтенсивність надходження однієї вимоги на обслуговування $\lambda = 0.327$ разів протягом години. Інтенсивність обслуговування вимог $\mu = 0.4256$. Кількість обслуговуваних машин m складає 5 (табл. 1, виділений фрагмент). Потрібно визначити ймовірність знаходження різного числа вимог в системі.

Скористаємось для знаходження цих ймовірностей системою PTC Mathcad Prime 4.0 (рис. 2).

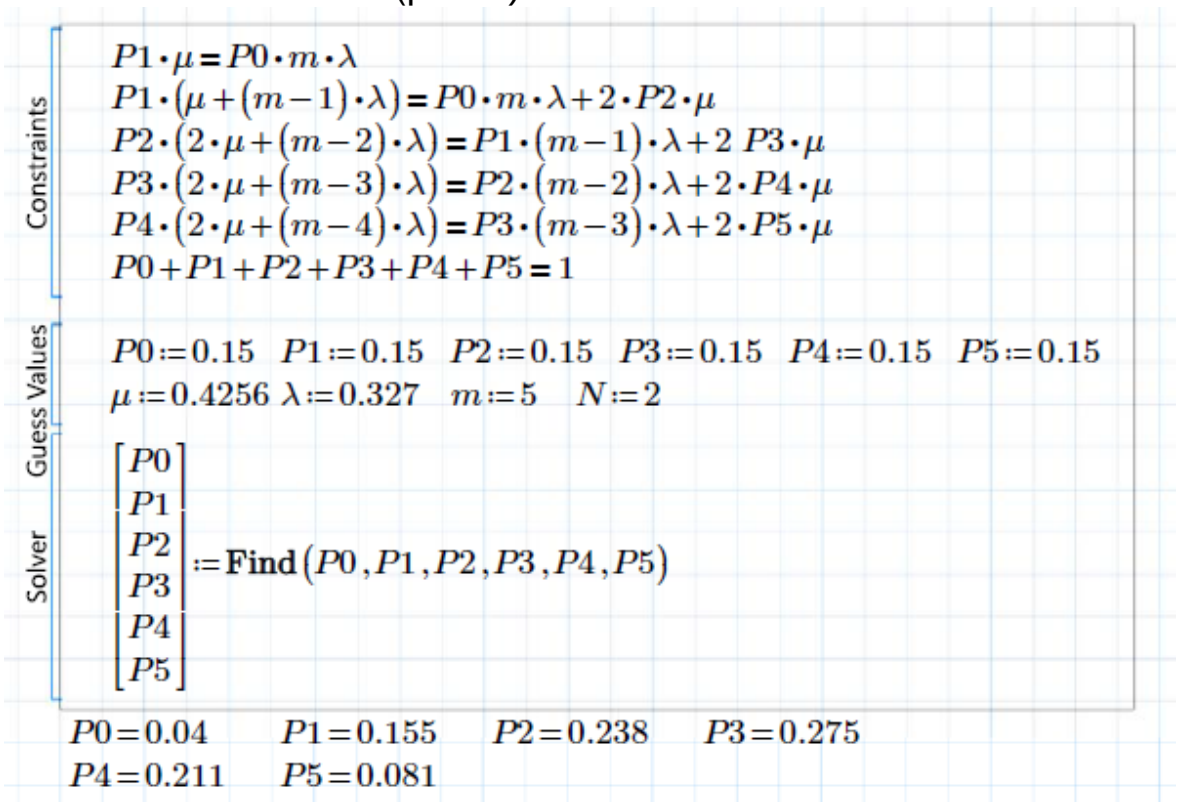

Рис. 2. Лістинг розрахунку СМО зі сталим режимом (PTC Mathcad Prime 4.0).

Для вирішення задачі скористаємося блоком функції Find. При використанні його необхідно задати початкові наближення шуканих значень: $P0:=0.15; P1:=0.15; P2:=0.15; P3:=0.15; P4:=0.15; P5:=0.15$. Як бачимо значення ймовірностей мають сталий вигляд і незмінні від часу, навколо якого ми аналізуємо систему. Тобто і на початку 1-ї

години роботи і на 4 часі зміни це значення незмінне. Насправді в житті звісно так процеси не відбуваються. Відмови ЗК носять цілком випадковий характер і залежать від часу. Тому вважати для першого наближення, що система знаходиться у сталому стані можливо, однак цікавішим (реальнішим) буде такий підхід, який дасть змогу розрахувати ймовірнісні характеристики враховуючи момент часу. Тобто несталий режим роботи групи ЗК.

Розглянемо саме такий несталий режим роботи СМО, коли її основні імовірнісні характеристики залежать від часу, наприклад, протягом деякого його інтервалу. Тоді інтенсивності вхідних і вихідних потоків для кожного стану будуть збалансовані, але вже з урахуванням похідних ймовірностей.

Таким чином, ми будемо мати систему звичайних диференціальних рівнянь, що описують функціонування багатоканальної замкнутої системи при несталому режимі. Для складання вищезгаданої системи рівнянь, що описує функціонування СМО з пуассоновским потоком, існує мнемонічне правило:

• Похідна $\frac{dP(t)}{dt}$ ймовірності перебування системи в стані n дорівнює алгебраїчній сумі кількох членів.

• Число членів цієї суми дорівнює кількості стрілок на графі станів системи, що з'єднують стан n з іншими.

• Якщо стрілка направлена → в аналізований стан n, то член береться зі знаком «плюс».

• Якщо стрілка направлена ← з розглянутого стану n, то член береться зі знаком «мінус».

• Кожен член суми дорівнює добутку ймовірності того стану, з якого спрямована стрілка, на інтенсивність потоку подій, що переводить систему по даній стрілці. Відповідно до розмічених графом станів (рис. 1.) ця система звичайних диференціальних рівнянь буде виглядати так. Для випадку $0 \le n < N$:

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = P_1(t)\mu - P_0(t)m\lambda \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = P_0(t)m\lambda + P_2(t)2\mu - P_1(t)(\mu + (m-1)\lambda) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = P_1(t)(m-1)\lambda + P_3(t)3\mu - P_2(t)(2\mu + (m-2)\lambda) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} = P_{n-1}(t)(m-(n-1))\lambda + P_{n+1}(t)(n+1)\mu - P_n(t)(n\mu + (m-n)\lambda) \end{cases} \quad (2)$$

Для випадку $N \le n \le m$:

$$\begin{cases} \dfrac{dP_n(t)}{dt} = P_{n-1}(t)(m-(n-1))\lambda + P_{n+1}(t)N\mu - P_n(t)(N\mu + (m-n)\lambda) \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \dfrac{dP_m(t)}{dt} = P_{m-1}\lambda - P_m N\mu \end{cases} \quad (3)$$

Constraints

$$\frac{d}{dt}P_0(t) = -P_0(t)\cdot 5\cdot\lambda + P_1(t)\cdot\mu$$
$$\frac{d}{dt}P_1(t) = P_0(t)\cdot 5\cdot\lambda + P_2(t)\cdot 2\cdot\mu - P_1(t)\cdot(\mu + 4\cdot\lambda)$$
$$\frac{d}{dt}P_2(t) = P_1(t)\cdot 4\cdot\lambda + P_3(t)\cdot 2\cdot\mu - P_2(t)\cdot(2\cdot\mu + 3\cdot\lambda)$$
$$\frac{d}{dt}P_3(t) = P_2(t)\cdot 3\cdot\lambda + P_4(t)\cdot 2\cdot\mu - P_3(t)\cdot(2\cdot\mu + 2\cdot\lambda)$$
$$\frac{d}{dt}P_4(t) = P_3(t)\cdot 2\cdot\lambda + P_5(t)\cdot 2\cdot\mu - P_4(t)\cdot(2\cdot\mu + 1\cdot\lambda)$$
$$\frac{d}{dt}P_5(t) = P_4(t)\cdot 1\cdot\lambda - P_5(t)\cdot 2\cdot\mu$$

$\mu := 0.4256 \quad \lambda := 0.327 \quad m := 5 \quad N := 2$

$$D(t,P) := \begin{bmatrix} -P_0\cdot 5\cdot\lambda + P_1\cdot\mu \\ P_0\cdot 5\cdot\lambda + P_2\cdot 2\cdot\mu - P_1\cdot(\mu + 4\cdot\lambda) \\ P_1\cdot 4\cdot\lambda + P_3\cdot 2\cdot\mu - P_2\cdot(2\cdot\mu + 3\cdot\lambda) \\ P_2\cdot 3\cdot\lambda + P_4\cdot 2\cdot\mu - P_3\cdot(2\cdot\mu + 2\cdot\lambda) \\ P_3\cdot 2\cdot\lambda + P_5\cdot 2\cdot\mu - P_4\cdot(2\cdot\mu + 1\cdot\lambda) \\ P_4\cdot 1\cdot\lambda - P_5\cdot 2\cdot\mu \end{bmatrix} \qquad P := \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$t0 := 0 \quad t1 := 8 \quad N := 1000$

$S := \text{rkfixed}(P, t0, t1, N, D)$

$t := S^{\langle 0\rangle} \quad P0 := S^{\langle 1\rangle} \quad P1 := S^{\langle 2\rangle} \quad P2 := S^{\langle 3\rangle} \quad P3 := S^{\langle 4\rangle} \quad P4 := S^{\langle 5\rangle} \quad P5 := S^{\langle 6\rangle}$

Рис. 3. Лістинг розрахунку СМО при несталому режимі роботи.

Система (1) і (2) описує процес функціонування багатоканальної замкнутої СМО при несталому режимі роботи. Для вирішення скористаємось початковими даними попереднього розв'язку, $\lambda = 0.327$, $\mu = 0.4256$. Для рішення використаємо вбудовану функцію *rkfixed* (P, to, tl, N, D), що реалізує метод Рунге-Кутта з фіксованим кроком. Для початку слід сформувати функцію вектору відхилень величин, яка по суті являє систему правих частин відповідних диференційних рівнянь $D(t, P)$, а також вектор початкових значень *P*.

Далі визначемо додаткові параметри для вирішення системи диференційних рівнянь: початковий і кінцевий інтервал часу дослідження системи та кількість кроків ітерації.

За початкові умови (рис. 3) були взяті інтервали часу від 0 до 8 год. Це зроблено навмисне, щоб спробувати побачити через який час система почне переходити при даних вхідних значеннях у сталий режим на протязі зміни. Результат розрахунку системи рівнянь подано на рис. 4.

Як бачимо з рис. 4, на протязі зміни система так і не переходить у сталий режим. Це доводить, що доцільніше розрахунки проводити для СМО при несталому режимі. Порівнявши значення P0 для першої задачі рівне 0,04 на будь якому проміжку часу і значення P0 для другої (рис. 4, синя крива), очевидно що саме тут криється загальна помилка. Якщо в подальших розрахунках використовувати єдине (усереднене) значення P0, ймовірність вірного рішення буде дещо сумнівна.

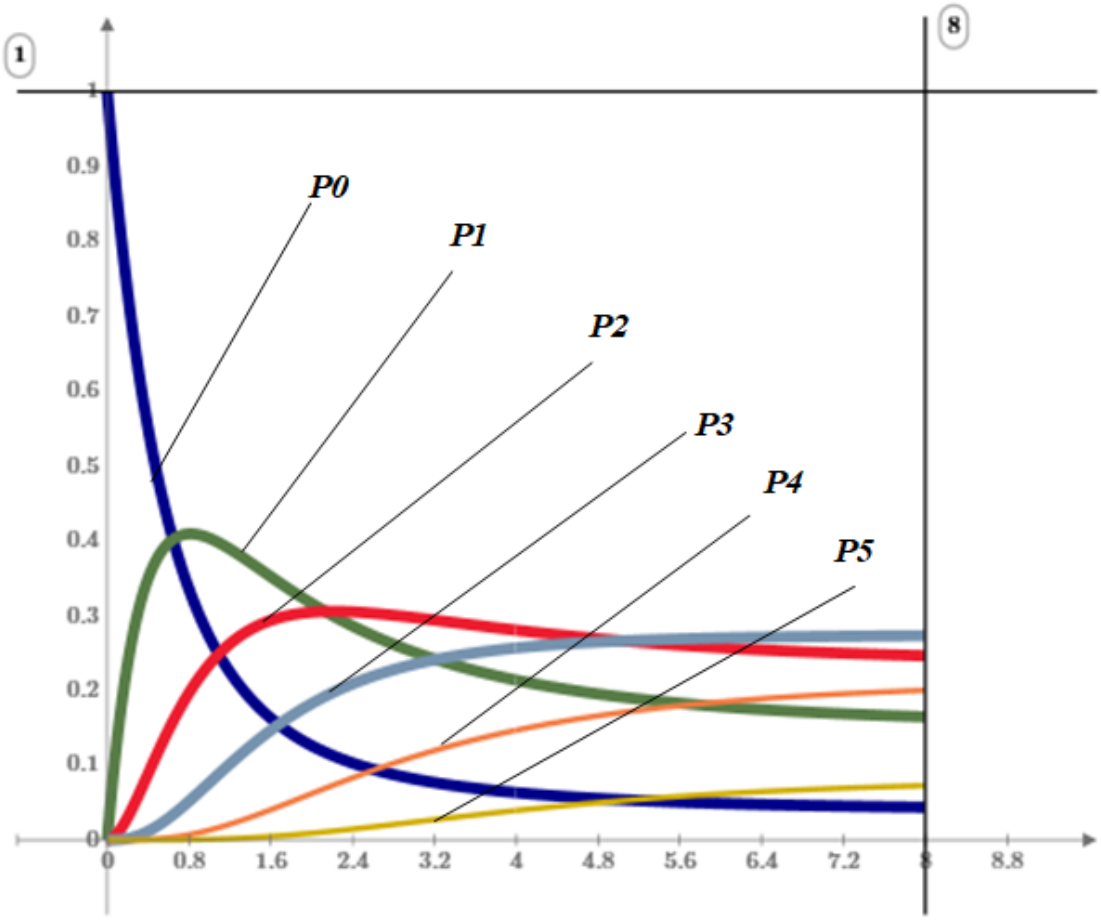

Рис. 4. Графічний розвязок системи диференційних рівнянь для СМО при несталому режимі.

Подальше моделювання і аналіз даних графічних залежностей показав, що при збільшені часу *t1* до 20 годин система заходиться

у такому ж стані як і при 9-й годині. Можна стверджувати, що перехід у сталий стан при даних $\lambda = 0.327$, $\mu = 0.4256$ відбувається після 8 годин роботи і в подальшому не змінюється. Значення ж ймовірностей стають рівними даним задачі СМО при сталому режимі (рис. 2):

$$P0 = 0.04; P1 = 0.155; P2 = 0.238; P3 = 0.275; P4 = 0.211; P5 = 0.081.$$

Всі інші характеристики СМО можна визначити за наступними залежностями (табл. 2).

2. Характеристики СМО і основні залежності.

Середня довжина черги	$L_1 = \sum_{k=n}^{m} (k-n) P^k$
Середнє число вимог, які обслуговуються	$L_2 = \sum_{k=1}^{m} k P_k$
Середнє число вільних від обслуговування каналів	$L_3 = \sum_{k=0}^{n-1} (n-k) P_k$
Коефіцієнт використання замовлень	$K_2 = 1 - \frac{L_2}{m}$
Час очікування в черзі	$MQ = \frac{1-K_2}{\lambda K_2} - \frac{1}{\mu}$
Повні середні втрати від простою вимог у черзі і не завантаженості каналів	$\varphi(n) = C_1 \cdot L_1 + C_2 \cdot L_3$

Для подальшого порівняння двох режимів СМО сталого і несталого та подальшого розрахунку залежностей табл. 2 були визначені наступні дані (табл. 3).

3. Визначені характеристики СМО для сталого і несталого режимів.

Час t1, год	Ймовірності для несталого режиму СМО						L_1	L_3	MQ	$\varphi(n)$
	P0	P1	P2	P3	P4	P5				
0,5	0,481	0,379	0,119	0,02	0,002	0,00006	0,024	0,379	-1,864	854,7
1	0,271	0,403	0,235	0,075	0,013	0,00095	0,104	0,403	-1,431	1221,4
1,5	0,175	0,361	0,288	0,136	0,035	0,00388	0,218	0,361	-1,034	1592,6
2	0,126	0,316	0,304	0,182	0,062	0,00913	0,333	0,316	-0,683	1965,6
3	0,082	0,251	0,297	0,235	0,111	0,024	0,7	0,251	0,471	3302
8	0,044	0,165	0,246	0,273	0,2	0,0726	0,94	0,155	1,255	4070

В табл. 1 t1 є найбільшим значенням інтервалу. Нами взяті для аналізу інтервали [0…0,5]; [0,5…1]; [1…1,5]; [1,5…2]; [2…3] та [4…8]. Всі інші параметри (P0, …, P5) та інші розраховані саме для цього

значення t1. При цьому слід звернути увагу на значення MQ, яке лише після 2,5 години роботи збирального загону стає позитивним. Фізична величина цієї змінної є часом очікування в черзі. Тобто майже до 3 години ймовірність черги відсутня. І лише після 2,5 години є ймовірність утворення черги. Якщо ж використовувати СМО при сталому режимі то ймовірність часу простою в черзі буде відразу рівним 1,255 години.

В результаті математичного обробітку початкових даних побудовані залежності сумарних витрат на обслуговування груп комбайнів від сезонного наробітку і числа обслуговуючих ланок N (рис. 5).

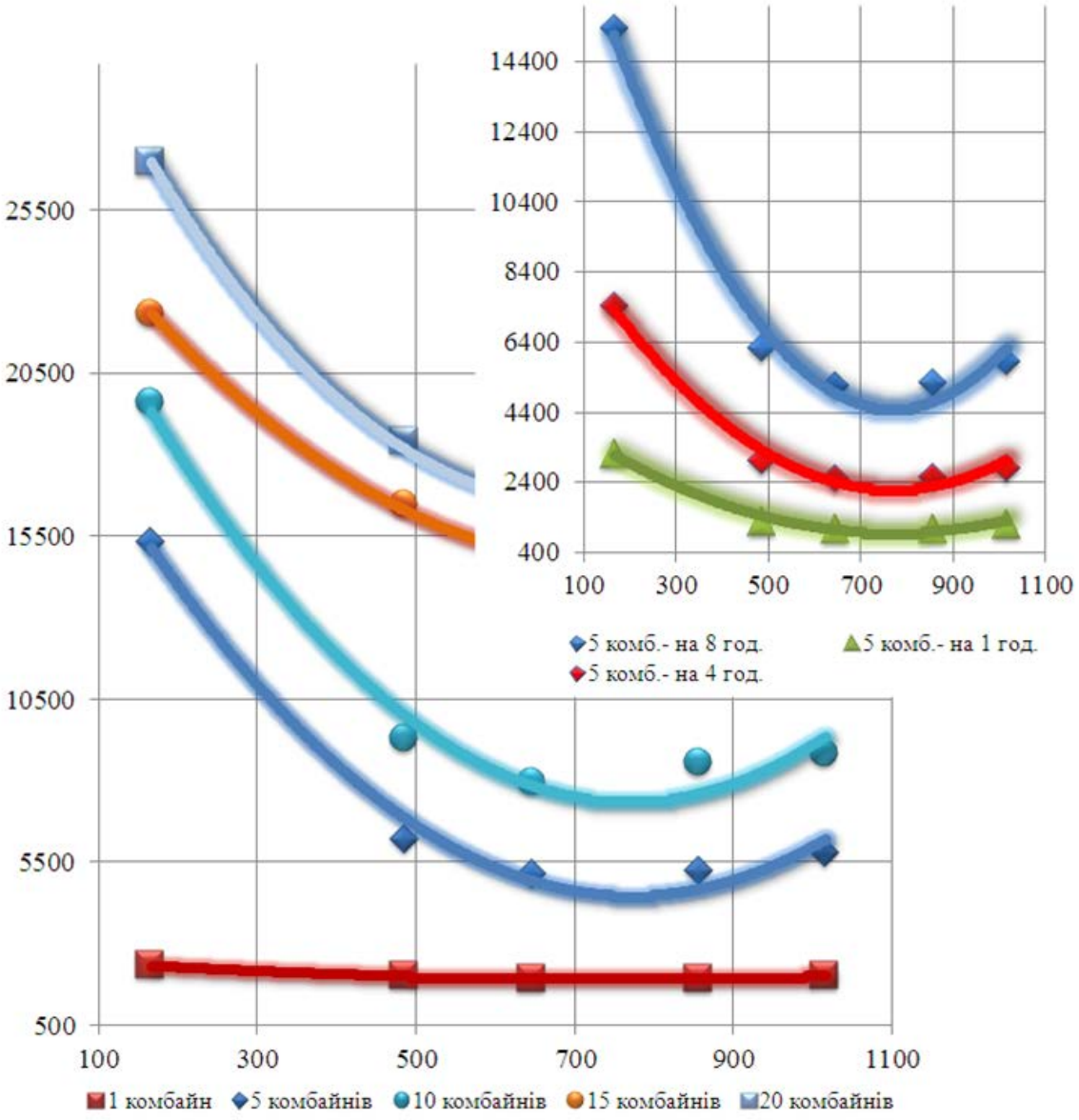

Рис. 5. Залежності повних сумарних втрат $\varphi(n)$ на обслуговування груп комбайнів від їх річного наробітку та втрати для

групи з 5 комбайнів для несталого режиму роботи (1-ша, 4-та та 8-ма години роботи).

З рис. 5 слідує наступне, що мінімальні повні сумарні втрати на обслуговування для всіх груп комбайнів з пропускною здатністю молотарки більше 9 кг/с відповідають наробітку близько 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальна ж кількість ланок технічного обслуговування від малих і великих наробітків на ЗК зростає більш ніж в два рази, порівняно для всіх кількостей груп ЗК.

Виробничі потужності систем технічного обслуговування з існуючими в господарствах агрегатами технічного обслуговування низькі при малих середніх річних навантаженнях на один зернозбиральний комбайн. У зв'язку з цим доцільно в малих господарствах (до 5 ЗК) мати малогабаритні багатофункціональні агрегати технічного обслуговування.

Несталий режим роботи характерний для групи ЗК триває від 4 годин (20 комбайнів) і до 8 годин (1-5 комбайнів). Врахування моделі СМО і запропонованого методу дасть змогу отримати точніше характеристики СМО: час очікування в черзі, довжину черги, тощо. Величина повних сумарних втрат на годині роботи в порівнянні із сталим режимом відрізняється за величиною майже в 5 раз.

Висновки

1. Повні сумарні втрати грошових коштів від простою ЗК в черзі і недовантаженості каналів обслуговування залежать від річної напрацювання машин. Вони мінімальні при річній напрацювання 600-700 га.
2. Кількість агрегатів технічного обслуговування в господарстві визначається, річним навантаженням на один комбайн та числом комбайнів в ланці збирально-транспортного комплексу.
3. В малих господарствах доцільно мати малогабаритні багатофункціональні агрегати технічного обслуговування.
4. Використання в розрахунках моделі СМО з несталим режимом роботи на будь якому інтервалі часу зміни дасть змогу точніше планувати витрати на технічний сервіс збиральних загонів.

Список літератури

1. *Надточій О. В., Тітова Л. Л.* Використання системи масового обслуговування для оптимізації затрат на обслуговування комбайнів. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 251. С. 148–160.
2. *Надточій О. В., Войтюк Д. Г, Демко А. А.* Моніторинг комбайнового ринку України. Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 2. С. 322–328.
3. *Тітова Л. Л., Роговський І. Л.* Аналіз періодичності техобслуговування машин для лісотехнічних робіт. Науковий вісник Національного університету біоресурсів

і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212. Ч. 1. С. 322–328.
4. *Тітова Л. Л., Роговський І. Л.*, *Надточій О. В.* Імітаційність місцеперебування засобу відновлення працездатності машин для лісотехнічних робіт. Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2015. Вип. 33. С. 140–149.
5. *Надточій О. В., Тітова Л. Л., Роговський І. Л.* Модель розпізнавання образів параметрів технічного стану машин для лісотехнічних робіт. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. Київ. 2016. Вип. 4. С. 8–13.
6. *Тітова Л. Л., Роговський І. Л.* Совершенствование системы восстановления работоспособности машин для лесотехнических работ. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. 2015. Vol. 17. № 3. P. 253–264.
7. *Надточій О., Тітова Л., Роговський І.* Аналіз динаміки комбайнового ринку України. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Дослідницьке. 2016. Вип. 20. С. 254–261.
8. *Сеньо П. С.* Випадкові процеси: підручник. Львів. Компакт – ЛВ. 2006. 288 с.
9. *Rogovskii I. L.* Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2016. Вип. 254. С. 424–431.
10. *Роговський І. Л.* Технічні вимоги до гарантійного технічного обслуговування сільськогосподарських машин. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2010. Вип. 144. Ч. 3. С. 286–291.

References

1. *Nadtochiy, O. V., Titova, L. L.* (2016). Use of queuing systems for optimization of maintenance costs of combines. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 251. 148–160.
2. *Nadtochy, O. V., Voytyuk, D. G., Demko, A. A.* (2010). Monitoring of a combine market of Ukraine. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 144. Part 2. 322–328.
3. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2015). Analysis of the frequency of maintenance of machinery for forestry work. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 212. Part 1. 322–328.
4. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L., Nadtochiy, O. V.* (2015). Imitational whereabouts, restore the health of machines for forestry work. Agricultural machines. Lutsk. Vol. 33. 140–149.
5. *Nadtochiy, O. V., Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2016). Model of pattern recognition parameters of technical condition of machines for forestry work. Technical services agricultural, forestry, and transport complexes. Kiev. Vol. 4. 8–13.
6. *Titova, L. L., Rogovskii, I. L.* (2015). Improving the system of recovery of work-ability of machines for forestry work. Motrol: Motorization and power industry in agriculture. Vol. 17. No 3. 253–264.
7. *Nadtochiy, O., Titova, L., Rogovskii, I.* (2016). Analysis of dynamics of combine market of Ukraine. Technical and technological aspects of development and testing of new equipment and technologies for agriculture of Ukraine. Doslidnitske. Vol. 20. 254–261.

8. *Senio, P. S.* (2006). Random processes: tutorial. Lviv. Compact – LV. 288.
9. *Rogovskii, I. L.* (2016). Analysis of model of recovery of agricultural machines and interpretation of results of numerical experiment. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 254. 424–431.
10. *Rogovskii, I. L.* (2010). Technical requirements for warranty maintenance of agricultural machinery. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kiev. Vol. 144. Part 3. 286–291.

АНАЛИЗ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИ УСТАНОВИВШЕМСЯ И НЕУСТАНОВИВШЕМСЯ РЕЖИМАХ РАБОТЫ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

А. В. Надточий, Л. Л. Титова

Аннотация. *В статье определены полные суммарные потери на обслуживание групп комбайнов с пропускной способностью молотилки более 9 кг/с и различной сезонной нагрузкой. Установлено, что минимум затрат приходится на наработку около 800 га на один комбайн за сезон. Оптимальное количество звеньев технического обслуживания для малых (150 га) и больших (> 900 га) наработок на зерноуборочный комбайн возрастает более чем в два раза по сравнению для всех количеств ЗК в группах.*

Анализ и сравнение характеристик СМО для устойчивого и неустойчивого режимов работы показал, что взаимный переход для группы ЗК длится от 4 часов (20 комбайнов) и до 8 часов (1-5 комбайнов). Учет модели СМО и предложенного метода позволит получить более точные характеристики СМО: время ожидания в очереди, длину очереди и тому подобное. Величина полных суммарных потерь на 1 часе работы по сравнению с установившимся режимом отличается по величине почти в 5 раз.

Ключевые слова: ***оптимизация, система массового обслуживания, зерноуборочный комбайн, периодичность технического обслуживания***

ANALYSIS OF MULTI-CHANNEL SYSTEM OF MASS SERVICE WITH INSTALLED AND UNINSTALLED OPERATING MODES OF GRAIN HARVESTER COMBINE

O. V. Nadtochy, L. L. Titova

Abstract. *The article defines the total aggregate losses for the maintenance of groups of combines with a threshing capacity of more than 9 kg/s and various seasonal loads. It is established that the minimum cost is about 800 ha per harvester per season. The optimal number of maintenance links for small (150 ha) and large (>900 ha) developments*

for combine harvester is more than doubled compared to all grain harvester combines in groups.

Analysis and comparison of SMO characteristics for stable and unstable operating modes has shown that the mutual transition for grain harvester combines group lasts from 4 hours (20 combines) and up to 8 hours (1-5 combines). Taking into account the SMO model and the proposed method will allow obtaining more accurate characteristics of the QMS: waiting time in the queue, queue length and the like. The value of the total total losses at 1 hour of operation differs by a factor of almost 5 in comparison with the steady-state regime.

Key words: ***optimization, mass maintenance system, grain harvester combine, periodicity of maintenance***

УДК 620.92

ОБҐРУНТУВАННЯ ТИПОВИХ ПРОЕКТІВ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ З АГРОБІОМАСИ В УКРАЇНІ

Г. Г. Гелетуха, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-5249-3092
Т. А. Желєзна, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-9607-3022
С. В. Драгнєв, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0003-3754-4186
А. І. Баштовий, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-1510-2945
Інститут технічної теплофізики НАН України
І. Л. Роговський, кандидат технічних наук
ORCID 0000-0002-6957-1616
Національний університет біоресурсів і природокористування України
e-mail: geletukha@nas.gov.ua

Анотація. *У статті проаналізовані та узагальнені результати техніко-економічного обґрунтування типових проектів виробництва та споживання паливних брикетів з агробіомаси в Україні. Методи дослідження включають огляд існуючих в Україні успішних прикладів виробництва і використання*

© Г. Г. Гелетуха, Т. А. Желєзна, С. В. Драгнєв, А. І. Баштовий, І. Л. Роговський, 2018