

УДК 519.876.9: 577.4

Ю.В. Шмиголь, асп.

А.В. Калініченко, д-р с.-г. наук, доц.

В.М. Сакало, канд. техн. наук, старш. викл.

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В АГРОЕКОЛОГІЇ

*Подано особливості застосування теорії масового обслуговування при плануванні використання сільськогосподарських машин для зменшення техногенного навантаження на сільськогосподарські землі.*

*In article features of the theory of mass service application in planning of agricultural machines use are submitted with the purpose of reduction of technical loading by the agricultural grounds.*

### Постановка проблеми

Проблема безпеки, безпосередньо пов'язаної з виживанням, – одна із глобальних проблем людства, якій властивий системний характер [1]. Надмірна концентрація екологічно небезпечних виробництв, застаріле та неефективне природоохоронне обладнання, ненадійність технічних систем і недостатня кваліфікація кадрів на підприємствах підвищеного екологічного ризику, зокрема на аграрних підприємствах – усе це може стати причиною соціального та політичного напруження як у національному, так і в міжнародному масштабах.

Посилення технічного навантаження на родючі землі призводить до значного погіршення стану сільськогосподарських угідь, зниження якості продукції рослинництва. Збереження рівноваги в агроєкосистемах має бути постійним і довгостроковим процесом, що ґрунтується на комплексному підході до господарювання та на відповідних юридичних нормах.

### Аналіз досліджень і публікацій

Невирішені екологічні проблеми становлять серйозну загрозу повноцінному існуванню будь-якої країни.

Для України питання екологічної безпеки набувають пріоритетного значення.

Безпека людини та стан природного навколишнього середовища – найважливіші характеристики якості життя, науково-технічного та економічного розвитку держави [2].

Загрозу природному середовищу існування суспільства ще донедавна не виокремлювали, розглядаючи її в межах воєнної загрози, спрямованої на підриг економіки, отримання за допомогою сили доступу до корисних копалин [3].

Але сучасні еколого-економічні умови вимагають виділення питання екологічної безпеки в окрему категорію.

Особливо небезпечним вважається неправильне ведення аграрного виробництва, нераціональне використання техніки, що вимагають запровадження невідкладних заходів не тільки щодо збереження унікальних природних ресурсів, а й створення умов для їх самовідновлення.

Реальний результат від проведення таких заходів можна буде отримати тільки у разі їх комплексного застосування, що потребує, у свою чергу, впровадження чітко відпрацьованого механізму організаційного управління діяльністю всіх суб'єктів цього процесу.

**Мета досліджень** – визначення ефективності застосування елементів теорії масового обслуговування (ТМО) для оптимізації використання сільськогосподарської техніки під час внесення органічних добрив у ґрунт.

### Результати досліджень

Екологічна безпека передбачає розумне задоволення екологічних потреб будь-якої людини та суспільства загалом у всіх виявах життєдіяльності, гарантію проживання в екологічно чистому та сприятливому для життєдіяльності середовищі. Особливо важливою екологічна безпека є зараз у сфері аграрного виробництва.

Людство не задумується над тим, що питна вода уже давно отруєна, земля, на якій ведеться землеробство, також небезпечна.

Саме тому такою нагальною є потреба вирішення екологічної проблеми.

Одним із шляхів поліпшення ситуації є застосування апарату математичного моделювання та можливостей сучасних інноваційних технологій до розв'язання практичних задач сільськогосподарського виробництва.

У процесі дослідження розроблено автоматизований спосіб розв'язання задачі оптимізації використання сільськогосподарської техніки у період весняно-літніх польових робіт на основі використання теорії масового обслуговування.

Зокрема, розрахунки проведено за двома різними методиками: стандартною методикою складання планів використання наявних технічних засобів та методикою, що базується на положеннях ТМО [4].

Дослід проводився на базі АОПП „Великі Сорочинці” Миргородського району Полтавської області.

Для проведення робіт з удобрення кукурудзи на зерно, норма внесення під яку рідких органічних добрив становить 15 т/га (питома вага добрив 1,2 т/м<sup>3</sup>), у господарстві використовують два розкидача:

– трактор МТЗ82;

– машину для внесення органічних добрив РЖТ-4.

Як заправники, що безперервно доставляють добрива на поле зі складу на відстані 12 км, використовують трактор Т-150К та машину РЖТ-10.

Метою дослідження був розрахунок оптимальної кількості заправників для обслуговування двох працюючих розкидачів за критерієм мінімізації робочого часу.

Скорочення сумарного часу простою двох видів техніки дозволяє найоптимальнішим чином внести органічні добрива та оптимізувати час проведення технологічної операції. Техніко-технологічні характеристики розкидача та заправника наведено у таблиці.

#### Основні характеристики технічних засобів

Показник	Розкидач	Заправник
Швидкість руху $V$ , км/год	2	35
Місткість цистерн $Q$ , м <sup>3</sup>	5	10
Час заповнення цистерн $t$ , хв	3	4
Час переїзду між двома розкидачами $t$ , хв	–	3
Коефіцієнт використання об'ємів цистерн $K$	0,95	0,95
Робоча ширина $B$ , м	7	–

Потрібну кількість заправників  $n$  за стандартною методикою розраховують за формулою

$$n = \frac{mT_3}{(t_p + T_p)q}, \quad (1)$$

де  $m$  – кількість розкидачів;

$T_3$  – час рейсу заправника:

$$T_3 = t_3 + t_p q + t_n + 2 \frac{l}{V_3};$$

$l$  – відстань від поля до складу;

$V_3$  – швидкість руху заправника;

$t_p$  – час заповнення цистерни розкидача;

$T_p$  – тривалість циклу роботи розкидача:

$$T_p = \frac{Q_p K d}{N_d B_p V_p};$$

$Q_p$  – місткість цистерни розкидача;

$K$  – коефіцієнт використання об'ємів цистерн розкидача і заправника;

$d$  – питома вага органічних добрив;

$N_d$  – базисна норма добрив;

$B_p$  – робоча ширина захвату розкидача;

$V_p$  – швидкість руху розкидача;

$q$  – співвідношення місткості цистерн розкидача і заправника:

$$q = \frac{Q_3 K}{Q_p K};$$

$Q_3$  – місткість цистерни заправника.

Реалізацію моделі у середовищі Microsoft Excel показано на рис. 1–3, де у діапазоні А1:Е14 наведено вхідні дані (рис. 1), в діапазоні А15:Е18 – проміжні розрахунки за формулами (2)–(4) (рис. 2), а у чарунці J2 шукана кількість заправників (рис. 3). У формулі (1) використано автоматичну функцію заокруглення вгору.

У результаті проведених розрахунків було виявлено, що для обслуговування двох розкидачів достатньо трьох заправників (рис. 4).

Але це вірно лише за умови, якщо процес внесення добрив розкидачами та їх обслуговування заправниками розглядати як стаціонарний дискретний процес.

Оскільки процес внесення органічних добрив та елементи його обслуговування мають імовірнісний характер, проаналізуємо забезпеченість розкидачів заправниками з урахуванням імовірності розглянутого технологічного процесу.

Імовірність  $P_0$  вільного стану всіх каналів обслуговування становить

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^n \frac{f^k}{e!} + \frac{f^{n+1}}{n!(n-f)} \right]^{-1}; \quad 0 \leq k \leq n, \quad (2)$$

де  $f$  – зведена щільність потоку заявок;

$k$  – кількість зайнятих каналів.

	A	B	C	D	E
2	Кількість працюючих розкидачів		шт	$m$	2
3	Час	заповнення цистерни заправника	хв	$t_z$	4
4		заповнення цистерни розкидача		$t_p$	3
5		переїзду заправника між двома розкидачами		$t_k$	3
6	Швидкість	руху розкидача	км/год	$V_p$	2
7		руху заправника		$V_z$	35
8	Місткість	цистерни заправника	$m^3$	$Q_z$	10
9		цистерни розкидача		$Q_p$	5
10	Відстань від поля до складу		км	$l$	12
11	Питома вага органічних добрив		т/м <sup>3</sup>	$d$	1,2
12	Норма внесення добрив		т/га	$N_d$	15
13	Робоча ширина розкидача		м <sup>3</sup>	$B_p$	7
14	Коефіцієнт використання об'ємів цистерн розкидача і заправника			$K$	0,95

Рис. 1. Умови проведення дослідів

	A	B	C	D	E	F	G
16	Співвідношення місткості цистерн розкидача і заправника			$q$	$=(E8*E14)/(E9*E14)$		
17	Час	циклу роботи розкидача	хв	$T_p$	$=600*E9*E14*E11/(E12*E13*E6)$		
18		рейсу заправника (хв)	хв	$T_z$	$=E3+E16*E4+E5+120*E10/E7$		
19	Інтенсивність потоку заявок за годину		шт/год	$\lambda$	$=E2*60/(E17+E4)$		
20	Пропускна здатність каналу обслуговування					$\mu$	$=60/E18*E16$
21	Приведена щільність потоку заявок			$f$	$=E19/E20$		

Рис. 2. Розрахунок допоміжних величин

Зведена щільність потоку заявок визначають за формулою

$$f = \frac{\lambda}{\mu}, \tag{3}$$

де  $\lambda$  – інтенсивність потоку заявок на обслуговування від розкидачів:

$$\lambda = m \frac{1}{(T_p + t_p)};$$

$\mu$  – пропускна здатність одного каналу обслуговування:

$$\mu = \frac{1}{T_3 q}.$$

Середня довжина черги розкидачів  $q_m$  становить:

$$q_m = P_0 \frac{f^{n+1}}{n!(n-f)^2}. \tag{4}$$

Тоді простої визначають за формулою

$$I = \frac{q_m 100}{\lambda}, \tag{5}$$

а сумарний час простою обох видів техніки (рис. 5):

$$T_{пр} = \frac{q_m}{\lambda} n + \frac{(n-f)}{\mu} m. \tag{6}$$

	Г	Н	І	К
1	<b>Результати дослідження</b>			
2	<b>Кількість заправників</b>	<b>n</b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>=ОКРУГЛВВЕРХ((E2*E18)/((E17+E4)*E16);0)</b>
3			<i>ТМО</i>	<b>=J2</b>
4			<i>перевірочне значення</i>	<b>=J3+1</b>
5	Ймовірність вільного стану всіх каналів обслуговування	<b>P<sub>0</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>=(ПУАССОН(J2;E21;ИСТИНА)/EXP(-E21)+E21^(J2+1))/(ФАКТР(J2)*(J2-E21))^(J2-1)</b>
6			<i>ТМО</i>	<b>=(ПУАССОН(J3;E21;ИСТИНА)/EXP(-E21)+E21^(J3+1))/(ФАКТР(J3)*(J3-E21))^(J3-1)</b>
7			<i>перевірочне значення</i>	<b>=(ПУАССОН(J4;E21;ИСТИНА)/EXP(-E21)+E21^(J4+1))/(ФАКТР(J4)*(J4-E21))^(J4-1)</b>
8	Довжина черги заявок на обслуговування	<b>ψ<sub>ж</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>=J5*(E21^(J2+1))/(ФАКТР(J2)*((E21-J2)^2))</b>
9			<i>ТМО</i>	<b>=J6*(E21^(J3+1))/(ФАКТР(J3)*((E21-J3)^2))</b>
10			<i>перевірочне значення</i>	<b>=J7*(E21^(J4+1))/(ФАКТР(J4)*((E21-J4)^2))</b>
11	Простої розкидачів, %		<i>детермінований розв'язок</i>	<b>=J8*100/E19</b>
12			<i>ТМО</i>	<b>=J9*100/E19</b>
13			<i>перевірочне значення</i>	<b>=J10*100/E19</b>
14	Сумарний час простою техніки	<b>T<sub>пр</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>=J8/E19*J2+(J2-E21)/E20*E2</b>
15			<i>ТМО</i>	<b>=J9/E19*J3+(J3-E21)/E20*E2</b>
16			<i>перевірочне значення</i>	<b>=J10/E19*J4+(J4-E21)/E20*E2</b>

Рис. 3. Реалізація моделі

	Г	Н	І	К
1	<b>Результати дослідження</b>			
2	<b>Кількість заправників</b>	<b>n</b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>3,00</b>
3			<i>ТМО</i>	<b>4,00</b>
4			<i>перевірочне значення</i>	<b>5,00</b>
5	Ймовірність вільного стану всіх каналів обслуговування	<b>P<sub>0</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>0,02</b>
6			<i>ТМО</i>	<b>0,05</b>
7			<i>перевірочне значення</i>	<b>0,06</b>
8	Довжина черги заявок на обслуговування	<b>ψ<sub>ж</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>4,28</b>
9			<i>ТМО</i>	<b>0,25</b>
10			<i>перевірочне значення</i>	<b>0,05</b>
11	Простої розкидачів, %	<b>П</b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>68,81</b>
12			<i>ТМО</i>	<b>4,08</b>
13			<i>перевірочне значення</i>	<b>0,79</b>
14	Сумарний час простою техніки	<b>T<sub>пр</sub></b>	<i>детермінований розв'язок</i>	<b>2,24</b>
15			<i>ТМО</i>	<b>1,24</b>
16			<i>перевірочне значення</i>	<b>2,02</b>

Рис. 4. Результати, отримані за різними методиками розрахунків

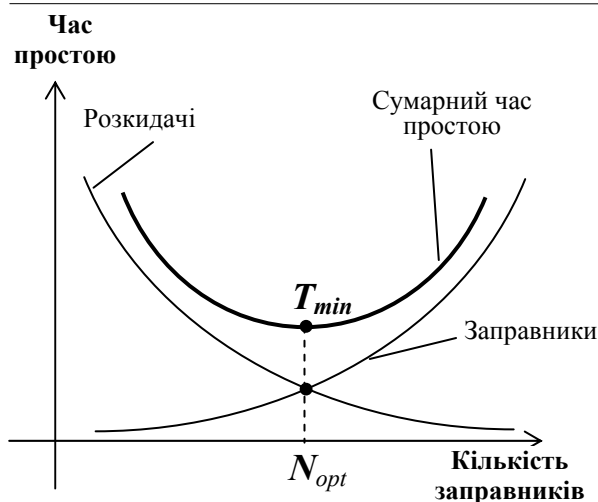


Рис. 5. Залежність часу простою від кількості заправників

Формули (2), (4), (5) подані в нашій моделі у діапазоні G5:J16 (рис. 3). Розрахунок проводився для трьох випадків:

- кількість заправників визначено за детермінованою методикою;
- кількість заправників отримано на основі ТМО;
- кількість заправників на одиницю більше, ніж за ТМО (перевірне значення).

Проміжні розрахунки за формулою (3) подано в діапазоні E19:E21 (рис. 2). Усі формули передані на основі стандартних функцій MS Excel.

Тоді, як було визначено за стандартною методикою, якщо господарство буде використовувати для обслуговування двох розкидачів три заправники, довжина черги заявок на обслуговування буде становити 4,28 на 1 год. Тобто, кожен розкидач як мінімум двічі на 1 год буде простоювати, причому простої становитимуть 68,81 % робочого часу. Сумарний час простою за всіма видами техніки становитиме 2,24 год.

Для мінімізації сумарного часу простою у моделі доцільно використати вбудований у MS Excel засіб «Поиск решения» назву засобу наводимо мовою оригіналу) (рис. 6).

Використання цього засобу дозволяє підібрати оптимальну кількість заправників (чарунка J3) за означених виробничих умов.

Зазвичай при використанні названого засобу чарунка, відведена під шукане значення, залишається пустою. Але у нашому випадку для коректної роботи функції ПУАССОН усі вхідні для неї чарунки повинні обов'язково мати числове значення більше нуля. Тому доцільно для коректної роботи моделі надати шуканій чарунці J3 значення, отримане за стандартною методикою.

Це дозволить зробити узгодженим спільне використання різнорідних функцій. Після закінчення підбору оптимальних значень початкове значення у чарунці J3 буде автоматично замінено на оптимальне.

Шукані значення не можуть бути від'ємними, тому активізується відповідний параметр.

У результаті пошуку оптимального значення методами ТМО підбором необхідної кількості каналів обслуговування за критерієм мінімізації функції сумарного часу простою усіх використаних видів техніки в середовищі електронних таблиць було виявлено, що використання чотирьох заправників замість трьох дозволяє зменшити час простою розкидачів з 68,81 до 4,08 %. Довжина їх черги при цьому скорочується з 4,28 до 0,25 одиниць. Сумарний час простою усіх видів техніки зменшується з 2,24 до 1,24 год.

Для верифікації моделі слід провести аналогічні розрахунки для кількості каналів обслуговування, що перевищує оптимальне значення (рис. 4).

Виявлено, що у разі використання п'ятьох заправників черги з розкидачів майже немає – 0,05 одиниць і ймовірність простою цієї техніки 0,79 %, але з'являється черга з самих заправників, кількість яких тепер надмірна.

Сумарний час простою обох видів техніки відповідно збільшується з 1,24 до 2,02 год.

Отже, оптимальна кількість каналів обслуговування за заданих умов  $n_{opt} = 4$ , що дозволяє скоротити сумарний час простою техніки до  $T_{min} = 1,24$  год. У цьому випадку використовували техніку, витрати від простою якої були майже однаковими для обох видів агрегатів. Якщо ж у грошовому виразі ці показники значно різняться, то доцільніше оптимізацію проводити за критерієм мінімізації сумарних грошових витрат від простою всіх видів техніки.

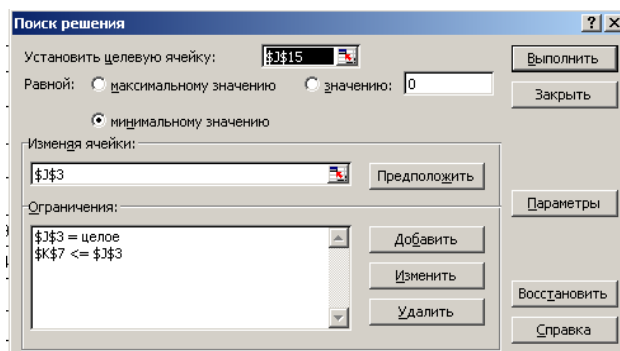


Рис. 6. Вигляд вікна «Поиск решения»

## Висновки

Одним із пріоритетних напрямів розвитку сільських територій є захист природного середовища поширенням методів моделювання екологічної збалансованості аграрного виробництва, які обмежують шкідливий вплив сільського господарства на стан навколишнього середовища.

Обґрунтоване застосування методології ТМО в аграрному виробництві дозволяє зменшити шкідливий вплив техніки на земельні ресурси за одночасного підвищення економічного ефекту виробництва.

Отже, вирішення проблем безпеки людини вимагає обов'язкового врахування технічних, технологічних, соціальних та інших факторів і загальнолюдських цінностей, а також, зважаючи на

обмеженість природних ресурсів, прогнозування не тільки поточних, а й віддалених наслідків управлінських рішень, що приймаються сьогодні.

## Література

1. Качинський А. Системний аналіз визначення пріоритетів в екологічній безпеці України. – К.: 1995. – 46 с. (Препринт / Нац. ін-т стратегічних дослідж.; № 42).
2. Пирожков С., Селіванов В. Національна безпека України: сучасне розуміння // Вісн. АН України. – 1992. – № 9. – С. 3–10.
3. Перелет Р. Международная экологическая безопасность и экономика // Моделирование процессов экологического развития. – М.: ВНИИСИ, 1991. – № 3. – С. 4–10.
4. Кутковецький В.Я. Дослідження операцій: Навч. посіб. – К.: Видавничий дім „Професіонал”, 2004. – 350 с.

Стаття надійшла до редакції 09.11.07.