

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АГРОТЕХНІЧНИХ ЗАХОДІВ ШЛЯХОМ АГРОЕКОЛОГІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ МАШИНО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

КРАСИЛЬНИЙ В.О., ШМИГОЛЬ Ю.В., КОЩЕНКО О.М.

Полтавська державна аграрна академія

Стаття присвячена дослідженню існуючих методичних підходів, теоретичних і практичних основ управління ефективністю використання сільськогосподарської техніки на рівні підприємства, плануванню оптимального використання машинно-тракторного парку при проведенні осінньо-польових робіт на основі економіко-математичних методів та ЕОМ.

Постійний розвиток АПК України вимагає екологічно безпечної, енерго- і ресурсозберігаючої та економічно збалансованої взаємодії сільськогосподарського виробництва і сфери технічного обслуговування, обробки, збирання, заготівлі, переробки, збереження та транспортування продукції. Оптимізація використання наявних технічних засобів – одна з найбільш важливих задач землеробства, що дозволяє значно підвищити ефективність виробництва, знизити собівартість сільськогосподарської продукції.

Використання математичних методів та можливостей сучасного програмного забезпечення у землеробстві є досить перспективним і практично ефективним [3]. До важливих задач, які розв'язуються за допомогою моделювання процесів та явищ, що відбуваються в агроєкосистемах, належить отримання, обробка, накопичення, упорядкування та використання меліоративно-екологічної та агроєкологічної інформації на основі сучасної науково-обґрунтованої методології із застосуванням принципів системного аналізу та засобів сучасних інформаційних технологій.

Сутністю оптимізації функціонування агроєкосистем є розрахунок таких параметрів, що дозволяють, з одного боку, припинити процес руйнування агро-ресурсів, з іншого – отримувати достатньо високу віддачу вкладеної антропогенної енергії врожаєм [2].

Метою досліджень є підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку сільськогосподарського підприємства шляхом комп'ютерного моделювання.

Основні цілі, що ставилися при написанні статті: дослідження існуючих методичних підходів до управління ефективністю використання сільськогосподарської техніки на рівні підприємства; планування оптимального використання машинно-тракторного парку при проведенні осінньо-польових робіт на основі економіко-математичних методів та ЕОМ; надання відповідних рекомендацій виробництву.

Об'єктом дослідження виступає підсобне сільське господарство (ПСГ)

„Світанок” газопромислового управління „Полтавагазвидобування”, розташоване на території села Базилівщина Машівського району Полтавської області.

Методика досліджень. Економіко-математичний метод дає можливість моделювати та проводити складні об’ємні розрахунки на сучасних ЕОМ. З його допомогою можна знайти оптимальний розв’язок задачі без розгляду кожного з усіх можливих варіантів. Експлуатація МТП підприємства за єдиним оптимальним планом дає змогу підвищити ефективність усієї системи машин за рахунок найбільш раціонального їх використання в усі періоди часу. З’являється можливість, виходячи з загальної мети, організувати найбільш ефективну експлуатацію кожної машини таким способом і за таким призначенням, щоб увесь машинно-тракторний парк використовувався максимально економічно ефективно [4]. Вдале розв’язання такої задачі дає змогу суттєво підвищити рівень аграрного виробництва, знизити собівартість продукції, зменшити навантаження на ґрунти, покращити механічний склад земельних ресурсів.

Класична оптимізаційна модель на основі теорії лінійного програмування формулюється наступним чином [1]: знайти мінімум цільової функції

$$Z = \sum_{l=1}^n c_l x_l + \sum_{L=n+1}^s c_L x_L \quad (1)$$

за умов:

1) кількість причіпного та навісного обладнання, необхідного для виконання робіт у господарстві по кожному з агротехнічних періодів може бути більшою, ніж фактично потрібно: $\sum_{l=1}^n a_{kl} x_l \geq b_k, \quad k = \overline{1, m};$ (2)

2) причіпне та навісне обладнання і трактори не можуть працювати більше днів, ніж визначено агротехнічними вимогами:

$$\sum_{L=n+1}^s q_{jL} x_L - \sum_{l=1}^n P_{jt} x_l \geq 0, \quad j = \overline{m+1, t}; \quad (3)$$

3) кількість причіпного та навісного обладнання кожної марки не перевищує кількості тракторів, з якими їх використовують:

$$x_{il} \geq \sum_{L=n+1}^s \alpha^L x_{iL}, \quad i = \overline{l+1, w}; \quad (4)$$

4) кількість задіяних для роботи тракторів не перевищує їх наявної кількості у господарстві:

$$x_l \leq f_l, \quad l = \overline{1, n}; \quad (5)$$

5) кількість причіпного та навісного обладнання не перевищує їх наявної кількості у господарстві:

$$x_L \leq e_L, \quad l = n+1, s; \quad (6)$$

$$b) \text{ невід’ємність шуканих змінних: } x_l \geq 0, x_L \geq 0; \quad (7)$$

$$7) \text{ цілочисельність шуканих змінних: } x_l - \text{цілі}, x_L - \text{цілі}. \quad (8)$$

Позначення:

x_l – кількість причіпного та навісного обладнання l -того типу;

l – порядковий номер причіпного та навісного обладнання, $l = \overline{1, n}$;
 x_L – кількість тракторів L -того типу;
 L – порядковий номер трактора, $L = \overline{n + 1, s}$;
 c_l – коефіцієнт¹ цільової функції для l -того типу причіпного та навісного обладнання;
 c_L – коефіцієнт цільової функції для L -того типу тракторів;
 a_{kl} – продуктивність l -того типу причіпного та навісного обладнання на k -тій роботі;
 k – порядковий номер сільськогосподарських робіт, $k = \overline{1, m}$;
 b_k – обсяг роботи k -того виду;
 P_{jt} – агротехнічні терміни виконання роботи в агротехнічному періоді;
 j – період робіт, $j = \overline{m + 1, t}$;
 q_{jL} – можлива кількість робочих днів для виконання роботи трактором L -того типу в агротехнічному періоді;
 α^l – коефіцієнт-зв'язка (якщо причіпне чи навісне обладнання l -того типу не взаємодіє з трактором для L -того типу, $\alpha = 0$; якщо причіпне чи навісне обладнання l -того типу взаємодіє з трактором для L -того типу, $\alpha = 1$);
 f_l – кількість наявного в господарстві причіпного та навісного обладнання l -того типу;
 e_L – кількість наявних у господарстві тракторів L -того типу.

Для спрощення подальшого розв'язання поставленої задачі будемо вважати, що трактори, причіпне та навісне обладнання можуть працювати тільки у заданому комплекті (зв'язці), який будемо надалі називати агрегатом. Тому множини l і L співпадатимуть: $x_l = x_L = x_i$.

Оптимізація використання сільськогосподарської техніки дає значний не лише економічний, а й екологічний ефекти.

Для обґрунтування раціонального комплексу машин важливо дати кількісну оцінку ресурсів, використовуючи енергетичні еквіваленти ресурсів та врожайності. Це дозволяє сформулювати інженерну задачу з кількісним критерієм і реалізувати системні принципи проектування технології [5].

Для розрахунків сукупної енергії, затраченої на виробництво сільськогосподарської продукції, користуються енергетичними еквівалентами. Енергетичні еквіваленти підрозділяються на групи: еквіваленти на основні засоби, еквіваленти на оборотні засоби виробництва і еквіваленти на трудові ресурси. При розробці еквівалентів сукупної енергії на оборотні засоби виробництва (сільськогосподарські машини, трактори, транспортні засоби, будови) враховують, що вони щорічно переносять на врожай культури тільки частку своєї сукупної енергії пропорційно строку використання та часу, затраченому на виконання одиниці роботи.

По оборотних засобах виробництва прийнято, що вони свою сукупну енер-

¹ Коефіцієнтами цільової функції можуть виступати грошові витрати, енергетичні витрати, силове навантаження на ґрунт і т.д.

гію переносять на врожай повністю в рік їх використання (за винятком добрив, енергія яких переносяться по частинах протягом декількох років).

При розробці еквівалентів сукупної енергії на одну людину враховують прямі затрати енергії (затрати праці) та затрати енергії на соціально-побутові, культурні й навчальні комплекси. При цьому еквіваленти сукупної енергії диференційовані за професійними групами сільськогосподарських робітників, так як затрати енергії на трудові процеси та підготовку спеціалістів значно відрізняються [5].

Розв'язання задачі оптимального використання наявних технічних засобів має свої певні особливості. Склад технічних засобів та перелік необхідних технологічних операцій при проведенні посівних чи будь-яких інших робіт мають елемент певної усталеності. Тобто, кількісні характеристики процесу змінюються не досить часто. Тому при оптимізації процесу надзвичайно ефективною може бути ще більша його автоматизація шляхом підготовки для певного господарства сталої розрахункової форми в MS Excel² із впровадженням у цю форму спеціалізованих розрахункових макросів, що зводять виконання розрахунків до зміни цінкових характеристик та запуску відповідного макросу для перерахунку.

Очевидно, що аграрне виробництво є досить енергозатратним і енергоємним. Оптимальне існування сільськогосподарських культур не може бути забезпечене лише використанням техніки. Для цього потрібен ряд додаткових як природних, так і антропогенних факторів.

Результати досліджень. Розглянемо задачу з оптимізації використання машинно-тракторних агрегатів на осінньо-польових роботах у ПСГ „Світанок” за допомогою засобу Поиск рішення.

У таблицях 1 та 2 наведено вхідні дані щодо обсягів осінньо-польових робіт у господарстві, агротехнічних термінів їх виконання, наявного парку тракторів і допоміжного обладнання, а також деякі основні характеристики використання машинно-тракторних агрегатів, сукупні енергетичні затрати по кожному агрегату.

1. Плановий обсяг осінньо-польових робіт у ПСГ „Світанок”

Вид роботи	Загальна площа, га	Агротехнічні терміни, дні
Плоскорізний обробіток	474	12
Внесення твердих органічних добрив	1500	9
Оранка на зяб і чорних парів	2350	18
Дискування стерні	1100	9
Культивація з боронуванням	554	6
Коткування до посіву	554	6
Посів зернових	554	6
Боронування після посіву	554	6

² Назви програмних продуктів та надбудов наводяться мовою оригіналу.

2. Склад наявного парку тракторів, причіпного та навісного обладнання і основні характеристики використання машинно-тракторних агрегатів у ПСГ „Світанок”

Вид роботи	Марка трактора	Кількість тракторів, шт.	Причіпне та навісне обладнання	Кількість обладнання, шт.	Норма виробітку за зміну (7 год.), га	Маса трактора, кг	Маса обладнання, кг
Плоскорізний обробіток	ХТЗ-170	6	КПС-3,8	3	19,1	8700	1150
Внесення твердих органічних добрив	ХТЗ-180Р	5	МТО-12	4	16,1	9100	5300
	МТЗ-80	12	МТО-3	11	10,5	3093	2200
Оранка на зяб і чорних парів	К-701	3	ПН-8-35	3	10,6	12500	2150
	Т-150 К	18	ПЛН-5-35	15	6,5	7275	1500
	Т-150	6	ПЛН-5-35	15	6,5	6975	1500
	МТЗ-80	12	ПЛН-3-35	3	2,4	3093	522
Дискування стерні	Т-150 К	12	БДТ-7	3	28,4	7275	3500
	Т-150	6	БДТ-6,3	3	25,5	6975	698
Культивація з боронуванням	Т-150 К	12	КПС-4(2шт.)	21	32,7	7275	1546
	ХТЗ-170	6	„Європак”	2	33,6	8700	2900
Коткування до посіву	ЮМЗ-6Л	4	ЗКВГ-1,4(2)	2	33,8	2829	1670
	Т-70	5	КЗК-10	2	18,2	4250	4300
	МТЗ-80	12	ЗКВГ-1,4(2)	2	36,6	3093	1670
Посів зернових	Т-150	6	„Марліс”	2	28,0	6975	700
	Т-150 К	12	СЗ-3,6(3шт.)	13	35,5	7275	4140
	МТЗ-80	12	СЗ-5,4	2	19,0	3093	2190
Боронування після посіву	Т-150 К	12	БЗСС-1(18)	1	87,6	7275	2898
	Т-70	5	ЗОР-0,7(24)	1	57,5	4250	228

Необхідно скласти план оптимального використання техніки для виконання всіх запланованих робіт так, щоб сукупні витрати енергії були мінімальними. Період осінньо-польових робіт становить 18 днів і не є неперервним.

Уведемо наступні позначення: x_1 – шукана кількість агрегатів ХТЗ-170/КПС-3,8; x_2 – ХТЗ-180Р/МТО-12; x_3 – МТЗ-80/МТО-3; x_4 – К-701/ПН-8-35; x_5 – Т-150К(ХТЗ-170)/ПЛН-5-35; x_6 – Т-150/ПЛН-5-35; x_7 – МТЗ-80/ПЛН-3-35; x_8 – Т-150К/БДТ-7; x_9 – Т-150/БДТ-6,3; x_{10} – Т-150К/КПС-4(2 шт.); x_{11} – ХТЗ-170/„Європак”; x_{12} – ЮМЗ-6Л/ЗКВГ-1,4 (2); x_{13} – Т-70/КЗК-10; x_{14} – МТЗ-80/ЗКВГ-1,4(2); x_{15} – Т-150/„Марліс”; x_{16} – Т-150 К/СЗ-3,6 (3 шт.); x_{17} – МТЗ-80/СЗ-5,4; x_{18} – Т-150 К/БЗСС-1(18); x_{19} – Т-70/ЗОР-0,7(24), які будуть використовуватися на різних видах робіт.

Знайдемо мінімум цільової функції, коефіцієнтами при змінних якої бу-

дуть енергетичні витрати по кожному з агрегатів. Усі розрахунки затрат сукупної енергії на виробництво сільськогосподарської продукції проведено на основі енергетичних еквівалентів, враховано енергетичні витрати по тракторах, причіпному та навісному обладнанню та трудових ресурсах (табл. 3). Для знаходження енергетичних витрат на трактор, причіпне і навісне обладнання множимо їх масу на відповідний енергетичний еквівалент та кількість годин у робочій зміні [5], а для знаходження енергетичних витрат по трудовим ресурсам – енергетичний еквівалент на тривалість робочої зміни.

3. Розрахунки енергетичних витрат, МДж

Умовні позначення	Агрегат	Енергетичні витрати по трактору, МДж	Енергетичні витрати по агрегату, МДж	Енергетичні витрати по трудовим ресурсам, МДж	Енергетичні витрати, усього, МДж
x_1	ХТЗ-170/КПС-3,8	1479,87	289,80	303,80	2073,47
x_2	ХТЗ-180Р/МТО-12	1547,91	2151,80	303,80	4003,51
x_3	МТЗ-80/МТО-3	526,12	893,20	303,80	1723,12
x_4	К-701/ПН-8-35	2126,25	541,80	303,80	2971,85
x_5	Т-150К(ХТЗ-170)/ПЛН-5-35	1237,48	378,00	303,80	1919,28
x_6	Т-150/ПЛН-5-35	1186,45	378,00	303,80	1868,25
x_7	МТЗ-80/ПЛН-3-35	526,12	131,54	303,80	961,46
x_8	Т-150К/БДТ-7	1237,48	1960,00	303,80	3501,28
x_9	Т-150/БДТ-6,3	1186,45	390,88	303,80	1881,13
x_{10}	Т-150К/КПС-4(2 шт.)	1237,48	551,92	303,80	2093,20
x_{11}	ХТЗ-170/„Європак”	1479,87	1035,30	303,80	2818,97
x_{12}	ЮМЗ-6Л/ЗКВГ-1,4 (2 шт.)	481,21	2384,76	303,80	3169,77
x_{13}	Т-70/КЗК-10	722,93	3070,20	303,80	4096,93
x_{14}	МТЗ-80/ЗКВГ-1,4(2)	526,12	1192,38	303,80	2022,30
x_{15}	Т-150/„Марліс”	1186,45	524,30	303,80	2014,55
x_{16}	Т-150 К/СЗ-3,6 (3 шт.)	1237,48	3100,86	303,80	4642,14
x_{17}	МТЗ-80/СЗ-5,4	526,12	1640,31	303,80	2470,23
x_{18}	Т-150 К/БЗСС-1(18)	1237,48	1622,88	303,80	3164,16
x_{19}	Т-70/ЗОР-0,7(24)	722,93	127,68	303,80	1154,41

У кінцевому результаті математична модель даної задачі матиме наступний вигляд: знайти мінімум цільової функції,

$$Z = 2073,47x_1 + 4003,51x_2 + 1723,12x_3 + 2971,85x_4 + 1919,28x_5 + 1868,25x_6 + 961,46x_7 + 3501,28x_8 + 1881,13x_9 + 2093,20x_{10} + 2818,97x_{11} + 3169,77x_{12} + 4096,93x_{13} + 2022,30x_{14} + 2014,55x_{15} + 4642,14x_{16} + 2470,23x_{17} + 3164,16x_{18} + 1154,41x_{19}$$

за умов:

а) обсяг виконаних робіт (у га) не повинен бути меншим за запланований (обмеження по площах):

$$\begin{aligned}
&229,2x_1 \geq 474; \\
&144,9x_2 + 94,5x_3 \geq 1500; \\
&190,8x_4 + 117x_5 + 117x_6 + 43,2x_7 \geq 2350; \\
&255,6x_8 + 229,5x_9 \geq 1100; \\
&196,2x_{10} + 201,6x_{11} \geq 554; \\
&202,8x_{12} + 109,2x_{13} + 219,6x_{14} \geq 554; \\
&168x_{15} + 213x_{16} + 114x_{17} \geq 554; \\
&525,6x_{13} + 345x_{14} \geq 554;
\end{aligned}$$

б) агрегати не можуть працювати більше днів, ніж визначено агротехнічними термінами (обмеження по періоду передпосівного обробітку ґрунту і посіву зернових):

$$\begin{aligned}
&12x_1 + 6x_{11} \leq 108; \\
&9x_2 \leq 90; \\
&12x_3 + 18x_7 + 6x_{14} + 6x_{17} \leq 216; \\
&18x_4 \leq 54; \\
&18x_5 + 9x_8 + 6x_{10} + 6x_{16} + 6x_{18} \leq 324; \\
&18x_6 + 9x_9 + 6x_{15} \leq 108; \\
&6x_{12} \leq 72; \\
&6x_{13} \leq 90;
\end{aligned}$$

в) кількість задіяних для роботи тракторів не перевищує їх наявної кількості у господарстві (обмеження по кількості тракторів):

$$\begin{array}{ccccc}
x_1 \leq 6; & x_2 \leq 5; & x_3 \leq 12; & x_4 \leq 3; & x_5 \leq 18; \\
x_6 \leq 6; & x_7 \leq 12; & x_8 \leq 12; & x_9 \leq 6; & x_{10} \leq 12; \\
x_{11} \leq 6; & x_{12} \leq 4; & x_{13} \leq 5; & x_{14} \leq 12; & x_{15} \leq 6; \\
x_{16} \leq 12; & x_{17} \leq 12; & x_{18} \leq 12; & x_{19} \leq 5; &
\end{array}$$

г) кількість задіяних для роботи сільськогосподарських машин кожної марки не перевищує їх наявної кількості у господарстві (обмеження за кількістю допоміжного обладнання):

$$\begin{array}{cccc}
x_1 \leq 3; & x_2 \leq 4; & x_3 \leq 11; & x_4 \leq 3; \\
x_5 + x_6 \leq 15; & x_7 \leq 3; & x_8 \leq 3; & x_9 \leq 3; \\
2x_{10} \leq 21; & x_{11} \leq 2; & x_{12} + x_{14} \leq 2; & x_{13} \leq 2; \\
x_{15} \leq 2; & 3x_{16} \leq 13; & x_{17} \leq 2; & x_{18} \leq 1; \\
x_{19} \leq 1; & & &
\end{array}$$

д) невід'ємність змінних: $x_i \geq 0, i = \overline{1,19}$;

е) цілочисельність розв'язку: $x_i = \text{цел}, i = \overline{1,19}$.

Побудувавши математичну модель задачі в MS Excel (рис. 1) і розв'язавши її за допомогою засобу Поиск решения (рис. 2), отримано наступний розв'язок:

$Z_{min} = 122430,83$ при $x_1 = 3, x_2 = 4, x_3 = 10, x_4 = 3, x_5 = 12, x_6 = 3, x_7 = 1, x_8 = 2, x_9 = 3, x_{10} = 3, x_{11} = 0, x_{12} = 0, x_{13} = 2, x_{14} = 2, x_{15} = 2, x_{16} = 0, x_{17} = 2, x_{18} = 1$ і $x_{19} = 1$.

добрив – 4 агрегати ХТЗ-180Р/МТО-12 і 10 агрегатів МТЗ-80/МТО-3, на оранці на зяб і чорних парів – 3 агрегати К-701/ПН-8-35, 12 – Т-150К(ХТЗ-170)/ПЛН-5-35, 3 – Т-150/ПЛН-5-35 і 1 – МТЗ-80/ПЛН-3-35, на дискуванні стерні – 2 агрегати Т-150К/БДТ-7 і 3 – Т-150/БДТ-6,3, на культивуванні з боронуванням – 3 агрегати Т-150К/КПС-4(2 шт.), на коткуванні до посіву – 2 агрегати Т-70/КЗК-10 і 2 – МТЗ-80/ЗКВГ-1,4(2), на посіві зернових – 2 агрегати Т-150/”Марліс” і 2 – МТЗ-80/СЗ-5,4, на боронуванні після посіву – 1 агрегат Т-150/БЗСС-1(18) і 1 – Т-70/ЗОР-0,7(24). При цьому загальні енергетичні витрати за одну робочу зміну складуть 122430,83 МДж, у тому числі на плоскорізному обробітку ґрунту – 6220,41 МДж, на внесенні твердих органічних добрив – 33245,23 МДж, на оранці – 38513,09 МДж, на дискуванні стерні 12645,94 МДж, на культивуванні з боронуванням – 6279,60 МДж, на коткуванні до посіву – 12238,45 МДж, на посіві зернових – 8969,55 МДж, на боронуванні посівів – 4318,56 МДж.

Висновки. Математична обробка результатів польових дослідів, обліків і спостережень, економічного стану підприємства на базі сучасної комп’ютерної техніки є необхідною складовою будь-якого сільськогосподарського дослідження. Для автоматизації розв’язання таких задач найбільш ефективно використовується середовище електронних таблиць MS Excel та вбудовані у нього засоби Поиск решения, Подбор параметра, Диспетчер сценариев та деякі інші.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Браславец М.Е., Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1972. – 592 с.
2. Вергунова І.М. Використання моделювання для отримання кількісної оцінки та прогнозування стану агроєкосистем та їх складових. // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції „Реформування системи аграрної вищої освіти в Україні: досвід і перспективи”. – К.: НАУ, 2005. – Ч. II. – С. 113 – 116.
3. Калініченко А.В., Костоглод К.Д., Протас Н.М. Використання оптимального програмування при розв’язанні задач сільськогосподарського виробництва. – Полтава: Інтерграфіка, 2004. – 104 с.
4. Новиков Г. И., Колузанов К. В. Применение экономико-математических методов в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1975. – 288 с.
5. Сосновська О.О., Ярошенко П.П., Іванюта М.В. Техніко-економічне обґрунтування господарських рішень в рослинництві: Навч. посіб. – К. Центр навчальної літератури, 2006. – 384 с.

В статье показано, что использование методов математического моделирования значительно повышает эффективность использования сельскохозяйственной техники на уровне предприятия, улучшает планирование оптимального использования машинно-тракторного парка при проведении осенне-полевых работ, значительно уменьшает энергетические затраты. Использование возможностей электронных таблиц MS Excel позволяет автоматизировать процесс решения задач данного типа.

The article tells that the use of mathematical modelling methods considerably raises efficiency of agricultural machinery use at an enterprise level. It improves the planning of the machine and tractor park optimum use carrying out the autumn field works and considerably reduces energy expenses. The use of MS Excel opportunities allows to automate this type problems solving process.