

УДК 631.376.004.14

І.І. Мельник, проф., канд. техн. наук

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.І. Сапсай, інж., Г.І. Барабаш, доц., канд. техн. наук, В.М. Зубко, канд. техн. наук

Сумський національний аграрний університет

В.В. Чуба, зав. лаб.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

Математична модель визначення оптимального складу агрегатів у рослинництві

В статті подано множини факторів впливу на експлуатаційні параметри машинних агрегатів та комплексів машин, які класифіковані за групами, представлені критерії оптимізації комплексів машин, подана методика визначення раціонального складу комплексу машин для рослинництва з урахування строків проведення технологічних операцій.

комплекс машин, раціональний склад, критерії оптимізації, показники роботи

Проблема. В сучасних умовах ведення сільського господарства є досить актуальним використання раціональних комплексів машин. Обґрунтування набору техніки та її ефективне використання необхідно розглядати окремо для кожного господарства з його природно-кліматичними умовами у єдиному системному взаємозв'язку: набір культур – сівозміна – попередник – культура – технологія – технологічна операція – машина-знаряддя – машинний агрегат – агростроки виконання операції – якість виконання робіт – комплекси машин.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

У роботах Сидорчука О.В. [3] виділяються інженерні аспекти розвитку аграрного виробництва. Теоретичною основою їх розв'язання є теорія системотехніки, яка передбачає проведення певних процедур.

У наукових працях Пастухова В.І. пропонується новий підхід до обґрунтування оптимального складу комплексів машин. Теоретичною основою прийняття рішень про оптимальний комплекс є згортка критеріїв у вигляді імовірності переваг певного комплексу машин. Мета такого підходу полягає в сукупності критеріїв ефективності функціонування комплексів машин та методи прийняття рішення про їх оптимальний комплекс в умовах невизначеності з урахуванням статистичної достатності реалізацій імітаційного моделювання технологічного процесу. Це дозволило розробити методику визначення складу комплексів машин з мінімальними витратами ресурсів, забезпеченням максимальної реалізації біопотенціалу рослин та зниження негативного впливу на довкілля [4].

Мета роботи. Розробити методику обґрунтування оптимальної кількості складу комплексів машин для виробництва продукції рослинництва.

Результати досліджень. Зменшення прямих витрат на виконанні механізованих робіт визначається ступінню досконалості машинних агрегатів (МА), до обґрунтування складу яких пред'являються суворі вимоги. В свою чергу склад МА, а відповідно і показники залежать від множини факторів, які пропонується класифікувати за групами (рис. 1).

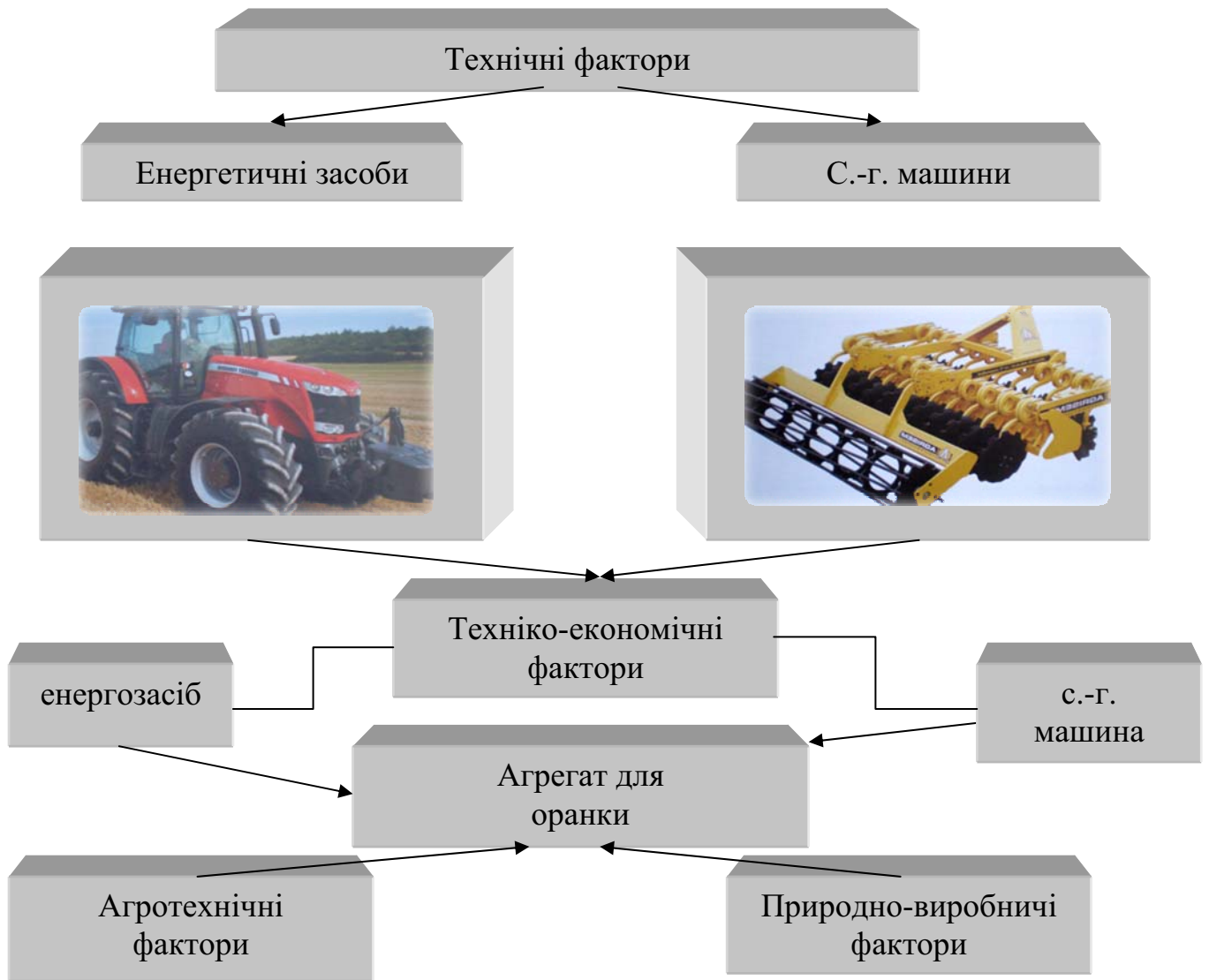


Рисунок 1 – Фактори впливу на експлуатаційні параметри машинних агрегатів та комплексів машин

1. Технічні фактори

Енергетичні засоби:

- Тип;
- Тягове зусилля на гаку;
- Ефективна потужність двигуна;
- Кількість передач для вибору робочих швидкостей;
- Питома витрата палива;
- Експлуатаційна маса;
- Надійність;
- Кінематичні характеристики.

С.-г. машини:

- Тип;
- Діапазон робочої швидкості;
- Конструктивна ширина захвату;
- Споживана потужність на привод робочих органів;
- Кінематична довжина;
- Експлуатаційна маса
- Надійність

2. Техніко-економічні фактори

- Балансова вартість
- Річне завантаження
- Система ТО і ремонту
- Відрахування на ТО і ремонт

- Кількість обслуговуючого персоналу

3. Агротехнологічні фактори

- Глибина обробітку ґрунту
- Норма внесення насіння, добрив, засобів захисту
- Врожайність рослинної маси, її стан

4. Природно-виробничі фактори

- Стан ґрунту (питомий опір, вологість, фон)
- Схил місцевості
- Довжина поля
- Конфігурація поля
- Наявність перешкод
- Кам'янистість
- Висота над рівнем моря

Відомо, що одну і ту ж операцію можуть виконувати різні за складом машинні агрегати із властивими тільки їм показниками роботи. На виконанні кожної операції може бути використано m варіантів агрегування. Технологічний процес виробництва продукції рослинництва складається із закінченого числа операцій, кількість яких виражається числом n . Тоді прямокутна матриця розміром $n \times m$ являє собою множину можливих варіантів використання машинних агрегатів [1, 2].

Критеріями оптимізації можуть бути приведені витрати ($C \rightarrow \min$), затрати робочого часу ($H \rightarrow \min$), витрата палива ($\Pi \rightarrow \min$), а також коефіцієнт використання парку машин ($K_n \rightarrow \max$), матеріаломісткість ($M \rightarrow \min$), капітальні вкладення ($K_e \rightarrow \min$). Показники використання машинних агрегатів виражаються через a_{ij} ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$).

Множина варіантів використання машинних агрегатів у річному періоді виконання механізованих робіт виражається матрицею:

$$S = \|a_{ij}\| = \{\Theta_{ij}, L_{ij}, k_{ск.у.}, U_{ij}, k_{зм}, W_{ij}, C_{ij}, k_n, Q_{ij}, x_{ij}, i_{ij}\}, \quad (1)$$

де Θ_{ij} – обсяг робіт, га (т, ткм);

L_{ij} – довжина гонів, м;

$k_{ск.у.}$ – коефіцієнт складності умов;

U_{ij} – норми висіву насіння, внесення мінеральних добрив та отрутохімікатів, кг/га;

$k_{зм}$ – коефіцієнт змінності;

W_{ij} – продуктивність машинно-тракторного агрегату, га (т, ткм)/год;

C_{ij} – прямі експлуатаційні витрати, грн/га (т, ткм);

k_n – коефіцієнт використання парку машин;

Q_{ij} – витрата палива, кг/га (т, ткм);

x_{ij} – кількість агрегатів;

i_{ij} – нахил місцевості, град.

У свою чергу підмножина $x_{ij} \in S$ включає елементи, у які входять типи енергетичних засобів t ($t = 1, 2, \dots, T$), сільськогосподарських машин ξ ($\xi = 1, 2, \dots, E$) та їх кількість у агрегаті $z\xi$, тобто:

$$x_{ij} = \{t, \xi, z_\xi\}. \quad (2)$$

Якщо застосувати один із критеріїв ефективності, можна визначити найбільш “вигідні” машинні агрегати для виконання кожної окремої операції технологічного процесу. Для цього необхідно перетворити прямокутну матрицю $n \times m$ у матрицю-

вектор так, що:

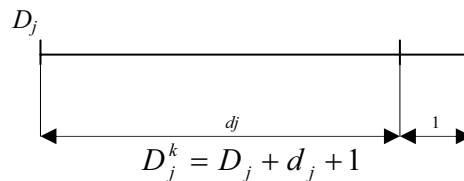
$$A = \text{opt} \left| \begin{matrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{matrix} \right|_{j=1}^n. \quad (3)$$

Матриця A являє собою систему машинних агрегатів, які можуть виконувати відповідні механізовані операції технологічного процесу. З метою пошуку оптимального складу комплексів машин для вирощування озимого ріпаку необхідно розглянути дану систему з урахуванням строків виконання робіт і загальним річним завантаженням машин.

Почергово розглядаючи технологічні операції з урахуванням тривалості їх виконання за основною операцією у межах $j = 1, 2, \dots, n$, визначається реальна тривалість виконання кожного циклу, уточнюється необхідна кількість машинних агрегатів на основних, допоміжних та суміжних операціях. Знаючи початок D_j і тривалість d_j виконання j -ї операції, визначаються терміни закінчення механізованих робіт:

$$D_j^k = D_j + d_j + 1_{\partial n}, \quad (4)$$

де D_j^k – термін закінчення j -ї операції.

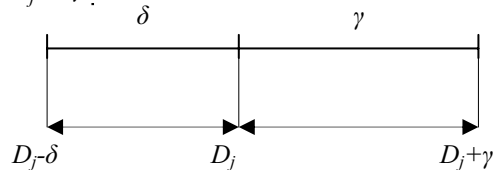


Оскільки x_{ij} залежить від тривалості виконання механізованої операції, відповідно знайшовши суму кількості агрегатів за строками виконання робіт l ($l = D_j, D_{j+1}, \dots, 365$) і операціями j ($j = 1, 2, \dots, n$) по кожному енергетичному засобу t ($t = 1, 2, \dots, T$), одержимо:

$$\|x_{it}\| = \left| \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1T} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{365,1} & x_{365,2} & \dots & x_{365T} \end{matrix} \right| = \left| \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{l=D_j}^{D_j^k} x_{l(j)} \right|. \quad (5)$$

У виразі (4) D_j – фіксований термін початку виконання механізованої операції, визначений наперед в циклі планування робіт.

В залежності від умов, які склались на даний момент початок виконання операції j може перенесений на більш ранню або пізню дату. Нехай маємо відрізок з агротехнічних умов $[D_j - \delta, D_j + \gamma]$.



де δ – кількість днів, на які раніше виконується технологічна операція;

γ – кількість днів, на які пізніше виконується технологічна операція.

Введемо у вираз (4) замість фіксованих чисел D_j змінну величину α , таку, що $D_j - \delta \leq \alpha \leq D_j + \gamma$, тобто $\alpha \in [D_j - \delta, D_j + \gamma]$.

Функцію включення величини α у відрізок $[D_j - \delta, D_j + \gamma]$ введемо таким чином:
 $\alpha = \mu(k) = D_j - \delta + k[D_j + \gamma - (D_j - \delta)] = D_j - \delta + k(\gamma + \delta)$, тобто
 $\alpha = \mu(k) = D_j - \delta + k(\delta + \gamma), k \in [0, 1]$.

При такому означенні функції $\mu(k)$ матимемо:

при $k = 0: \alpha = \mu(0) = D_j - \delta$;

при $k = \frac{\delta}{\delta + \gamma}: \alpha = \mu(\frac{\delta}{\delta + \gamma}) = D_j - \delta + \frac{\delta}{\delta + \gamma} * (\delta + \gamma) = D_j - \delta + \delta = D_j$;

при $k = 1: \alpha = \mu(1) = D_j - \delta + \delta + \gamma = D_j + \gamma$.

Для даної задачі достатньо надавати такі значення k :

$$0, \frac{1}{\delta + \gamma}, \frac{2}{\delta + \gamma}, \frac{3}{\delta + \gamma} \dots \frac{\delta - 1}{\delta + \gamma}, \frac{\delta}{\delta + \gamma} \dots \frac{\delta + 1}{\delta + \gamma} \dots \frac{\delta + \gamma - 1}{\delta + \gamma}, \frac{\delta + \gamma}{\delta + \gamma} = 1.$$

Вибравши конкретне значення k із наведеної вище множини значень величини k , знаходиться конкретне $\alpha_k = \mu(k)$.

Далі, підставивши у вираз (4) отримані перетворення, знаходимо число D_j^k :

$$D_j^k = \alpha_k + d_j + 1_{\text{дн}}, \quad (6)$$

де $\alpha_k = \mu(k)$.

Таким чином, матриця (5) набирає вигляду:

$$\|x_{tl}\| = \left| \sum_{j=1}^n \sum_{l=\alpha_k}^{\alpha_k + d_j + 1} X_{l(j)} \right|, \quad (7)$$

або

$$\|x_{tl}\| = \left| \sum_{j=1}^n \sum_{l=\mu(k)}^{\mu(k) + d_j + 1} X_{l(j)} \right|. \quad (8)$$

для будь-якого значення k із вищенаведеної множини значень k .

Далі досліджуючи матрицю (5) на максимум для кожного t по l , одержимо матрицю-вектор кількості енергетичних засобів t -го типу:

$$x_t^{\max} = \max_{t=1}^T \|x_{tl}\|. \quad (9)$$

Загальна кількість годин роботи енергетичних засобів типу t протягом року під час виконання механізованих робіт знаходиться за такою залежністю:

$$H_t^3 = \left| \sum_{j=1}^n (x_{l(j)} d_j T_{3M}) \right|. \quad (10)$$

Відповідно річне завантаження одиничного енергетичного засобу кожного типу дорівнюватиме:

$$H_t^3 = \left| \sum_{j=1}^n \frac{(x_{l(j)} d_j T_{3M})}{x_t^{\max}} \right|. \quad (11)$$

З аналізу залежності встановлено, що зменшення кількості енергетичних засобів x_t^{\max} за рахунок перерозподілу робіт між ними призводить до збільшення їх річного

завантаження, а отже, до зменшення приведених витрат на виконання механізованих робіт та зниження капітальних вкладень. Для пошуку шляхів зменшення значення x_t^{\max} необхідно ввести поняття “відсікаюча перемінна” – δ_t , початкове значення якої дорівнює:

$$\delta_t = x_t^{\max} - 1. \quad (12)$$

Розглядаючи елементи матриці (11) по кожному t ($t = 1, 2, \dots, T$), знаходять значення l , для якого $x_{tl} > \delta_t$. У цьому випадку із множини x_{tl} для даного t і l знаходять таке значення (тобто таку операцію), для якого справедлива нерівність:

$$x_{tl} \geq x_t^{\max} - \delta_t. \quad (13)$$

Такий пошук проводиться для всіх t по всіх l . Якщо нерівність (13) не підтверджується, то перемінна δ_t для всіх t зменшується на 1 до того моменту, поки нерівність (13) буде справедлива. Відповідно для одержаного j планується використання іншого агрегату, близького за критерієм ефективності до вибраного раніше за умови, що тип енергетичного засобу t цього агрегату увійшов до складу агрегатів на інших операціях. Тимчасово знявши з j -ї роботи попередній агрегат, тобто частково звільнивши матрицю (5) від раніше прийнятого значення t по $D_j, D_{j+1}, \dots, D_j^k$, перевіряють її стан з новим t . Якщо нерівність (13) справедлива, то перебудовується матриця A з урахуванням нововведеного агрегату. Кожний перерозподіл стану системи, яка розглядається, викликає нове значення матриці A . Тому на кожному етапі перерозподілу аналізується ця матриця для визначення випадку збільшення N_t . При цьому тимчасово зняті агрегати повністю виключаються із системи. У іншому випадку вони залишаються для продовження корегування згаданої матриці.

Коли знімається один із типів агрегатів із основної операції, то визначаються нові строки виконання робіт й уточнюється кількість агрегатів на допоміжних і суміжних операціях. При заміні агрегатів на допоміжних і суміжних операціях одночасно визначається їх необхідна кількість.

Процес перерозподілу робіт продовжується до моменту, коли “відсікаюча перемінна” δ_t для всіх t набуває значення $\delta_t = 0$.

Остаточне значення елементів матриці (13) являє собою матрицю використання раціонального складу парку енергетичних засобів по днях календарного періоду робіт.

Кількісний склад енергетичних засобів раціонального комплексу машин визначається із залежності:

$$X_t^e = \max_l \left| \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{l=\mu(k)}^{\mu(k)+d_j+1} x_{l(j)} \right|. \quad (14)$$

Кількісний і структурний склад сільськогосподарських машин залежить від складу машинних агрегатів, у яких використовуються енергетичні засоби раціонального машинного парку:

$$X_\xi^c = \max_l \left| \sum_{\xi=1}^{\Xi} \sum_{j=1}^n \sum_{l=\mu(k)}^{\mu(k)+d_j+1} (x_{l(j)} z_\xi) \right|. \quad (15)$$

Виділивши із набору технологічних операцій ті, що виконуються при вирощуванні культур змодельованої сівозміни, і прийнявши, що α — номер першої операції і β — кількість операцій по даній культурі, визначають раціональні комплекси машин для вирощування і збирання сільськогосподарських культур. Для цього необхідно, використавши (14) і (15), взяти суму по i так, що $i = \alpha, \alpha + 1, \dots, \alpha + \beta$.

В подальшому отримані дані будуть використані для визначення нормативу потреби в техніці основних груп господарств Сумської області.

Висновки.

Одержана методика визначення оптимального складу комплексів машин в структурі машинного парку, які є його складовою частиною і їх робота взаємозв'язана з роботою всього парку машин.

Розкривши множину S і використавши (14) і (15), одержимо технологічний процес вирощування і збирання сільськогосподарських культур у сівозміні, який дає можливість ефективно використовувати техніку з врахуванням отриманих строків виконання робіт.

Цільову функцію розглянутої вище системи цілісних математичних моделей, визначення структури комплексів машин, у загальному вигляді можна позначити залежністю:

$$F = f(A(d_i^0)) \rightarrow \min_i Kr^e,$$

де Kr^e — критерій ефективності;

$A(d_i^0)$ — динамічний стан системи (агрегати – строки робіт).

Список літератури

1. Мельник І.І. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу : навчальний посібник / І. І. Мельник, В. Д. Гречкосій, В. В. Марченко та ін. – К. : ВВЦ НАУ, 2004. – 151с.
2. Мельник І.І. Інженерний менеджмент: Навч. Посібник / І. І. Мельник, І. Г. Тивоненко, С. Г. Фришев, В. П. Бабій, С. М. Бондар. За заг. ред. Мельника І. І. – Вінниця «Нова Книга», 2007. – 536 с.
3. Сидорчук О. В. Системотехніка аграрного виробництва та інженерні аспекти його розвитку /О.В.Сидорчук // Вісник Львів. ДАУ. –2000. – № 4. – С. 5–12.
4. Пастухов В. І. Обґрунтування оптимальних комплексів машин для механізації польових робіт : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.05.11 “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва” / В. І. Пастухов . – Х., 2006. – 38 с.

І. Мельник, В. Сапсай, Г. Барабаш, В. Зубко, В. Чуба

Математическая модель обоснования рационального состава машинных агрегатов в растениеводстве

В статье поданы множество факторов, которые классифицированы по группам, представлены критерии оптимизации комплексов машин, подана методика определения рационального состава комплексов машин для растениеводства с учетом сроков проведения технологических операций.

I. Melnik, V. Sapsaj, G. Barabash, V. Zubko, V. Chuba

Mathematical model of ground rational composition machine aggregates is in plant-grower

In the article given great number of factors, which is classified on groups, the criteria of optimization complexes machines are presented, the method of determination rationally complexes machines is given for a plant-grower taking into account the terms leadthrough of technological operations.

Одержано 05.09.11