

## Розділ 3

# ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ ТА ЕФЕКТИВНЕ МАШИНОВИКОРИСТАННЯ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ

УДК 004:631.1:631.55

## МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ, ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ І СІВБИ ЯРИХ КУЛЬТУР ЗА ЕНЕРГЕТИЧНИМ ПОКАЗНИКОМ

**Віктор Днесь, к. т. н., Ростислав Кудринський, к. т. н., Володимир Скібчик, к. т. н.**

*Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,  
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха, Васильківський р-н, Київська обл., Україна  
e-mail: vik31@ua.fm, rostkud@gmail.com, scibczyk05@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.077>

**Днесь В., Кудринський Р., Скібчик В. Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником**

У статті викладено методичні засади визначення ефективності використання технічних засобів відповідно до агровимог, обсягів механізованих робіт та умов використання в процесах обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур за енергетичним показником.

Відповідно до методології системного підходу проаналізовано технологічні системи обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур та означено показники, що відображають вхідний вплив, параметри технічного оснащення, вплив агрометеорологічних умов та ефективність їх функціонування. Для кожної з цих систем сформована притаманна їй множина показників, які відображають потік вимог та впливають на ефективність виконання процесу.

Означено вплив агрометеорологічних умов на технологічні системи обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур і виокремлено окремі чинники, якими він проявляється.

Відповідно до особливостей технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур та сучасного рівня технічного оснащення окреслено можливі способи виконання цих процесів: послідовне виконання – виконання кожної операції здійснюється по чергово окремим агрегатом, паралельне – одночасне виконання двох і більше операцій одним агрегатом, комбіноване – частина операцій виконується паралельно, а частина – послідовно. Для кожного зі способів встановлено також характер трансформації їх відповідних параметрів.

Також встановлено особливості трансформації характеристик вхідних впливів, параметрів технічного оснащення, впливів агрометеорологічних умов і показників функціонування технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих польових культур залежно від способів поєднання цих систем.

**Ключові слова:** технологічна система, обробіток ґрунту, внесення добрив, сівба, ярі культури, системний підхід, енергетичний показник.

**Dnes V., Kudrynetskyi R., Skibchik V. Methodological principles for determining the efficiency of using equipment during tillage, application of fertilizers and sowing of spring crops by energy indicator**

The article presents methodological principles for determining the efficiency of technical means in accordance with agricultural requirements, the amount of mechanized work and conditions of use in the processes of tillage, fertilization and sowing of spring crops by energy indicator. In accordance with the methodology of the system approach, technological systems of tillage, fertilization and sowing of spring crops are analyzed and indicators reflecting the input impact, parameters of technical equipment, the impact of agrometeorological conditions and the efficiency of its operation are identified.

For each of those systems there is a appropriate set of indicators that reflect the flow of requirements and effect the process efficiency. The influence of agrometeorological conditions on technological systems of tillage, fertilizer application and sowing of spring crops is determined and some factors by of its manifestation are singled out.

According to the peculiarities of technological systems, tillage, fertilization and sowing of spring crops and the current level of technical equipment, possible ways performing these processes are outlined: sequential execution – each operation is performed alternately by a separate unit, parallel – simultaneous execution of two or more operations by one unit, combined – some operations performed in parallel and some are sequential. For each of the methods, the nature of transformation of their respective parameters is also established.

The peculiarities of transformation of characteristics of the input influences, parameters of technical equipment, influences of agrometeorological conditions and indicators of functioning of technological systems of tillage, introduction of fertilizers and sowing of spring field crops depending on ways of combination of these systems are determined.

**Key words:** technological system, tillage, fertilizer application, sowing, spring crops, system approach, energy index.

**Постановка проблеми.** На сьогодні ринок сільськогосподарської техніки України характеризується значною номенклатурою технічних засобів, призначених для виконання кожної з можливих операцій. Серед різноманіття технічних засобів важко обрати необхідний, використання якого в умовах конкретного господарства буде ефективним. Під час вибору технічних засобів постає управлінська задача – узгодження їхніх параметрів з умовами їх використання, технологіями та обсягами робіт.

Особливо гостро це питання постає під час вибору технічних засобів для виконання технологічних операцій обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби – широка номенклатура операцій; можливість виконання однієї операції різними типами технічних засобів; можливість різноманітного поєднання операцій; великий розкид однотипних знарядь за шириною захвату тощо. Усе це накладається на пропозицію на ринку однотипних технічних засобів від різних виробників, а також підбір відповідних енергозасобів.

Аналіз технологічних операцій обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур із використанням методології системного підходу є основою для розроблення інструментарію вибору ефективних технічних засобів в умовах конкретного господарства. А використання енергетичного показника за критерієм ефективності дасть змогу знизити вплив спекулятивної складової під час формування вартості технічних засобів та ціни врожаю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сучасному етапі досліджень технологічних систем в агропромисловому виробництві широко застосування набуває використання методів системного підходу [1–3; 13; 24]. Багато вчених використовують його для аналізу технологічних систем обробітку ґрунту [4; 5; 7; 8; 15; 16], сівби, внесення добрив [16], захисту рослин [25], збирання врожаю [6; 14; 23]. Цей підхід дає змогу всебічно підійти до аналізу відповідних систем.

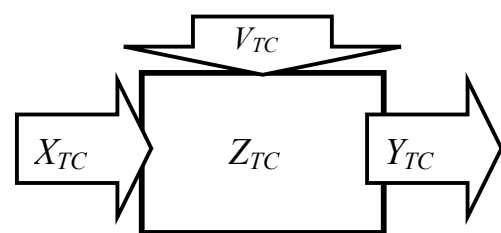
Дослідженням технологічних систем обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив займалися чимало вчених. Проте вони розглядають зазначені процеси за допомогою різних підходів, а саме: 1) за допомогою детермінованого, що не дає змоги врахувати мінливість агрометеорологічних умов [11; 12; 19–22]; 2) як критерій оцінки ефективності використовують економічний показник [8; 9; 15;

23; 24]; 3) розглядають технологічні системи обробітку ґрунту, сівби, внесення добрив як сталі системи без можливості зміни операцій або їх комбінування [8; 15; 16; 18].

**Постановка завдання.** Метою досліджень є підвищення ефективності використання технічних засобів завдяки узгодженню їхніх характеристик з агровиногами, обсягами механізованих робіт й умовами функціонування під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником за допомогою розроблених методичних засад.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз структури робіт у технологічних системах обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур вказує на те, що такі системи є складними, відкритими, динамічними, стохастичними. Розглянуті системи є технологічно поєднані між собою, проте відрізняються предметом праці, структурою робіт щодо його перетворення, агротехнічними вимогами до виконання тощо. Кожна зі систем характеризується вагомністю у формуванні показників ефективності.

У загальному вигляді кожна з виокремлених технологічних систем, відповідно до методології системного підходу [1–3; 13], можна представити у вигляді характеристик вхідних впливів ( $X_{TC}$ ), параметрів технічного оснащення ( $Z_{TC}$ ), впливів агрометеорологічних умов ( $V_{TC}$ ) та показників ( $Y_{TC}$ ) її функціонування (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема технологічної системи в загальному вигляді [13]

**Fig. 1.** General scheme of the technological system [13]

Такий підхід до дослідження технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур об'єктивно враховує особливості їх функціонування та формування показників ефективності ( $Y_{TC}$ ) від характеристик потоку вимог ( $X_{TC}$ ), параметрів технічного оснащення ( $Z_{TC}$ ) та

впливів агрометеорологічних умов ( $V_{TC}$ ). Тобто розв'язується задача синтезу [1]:

$$Y_{TC} = f(X_{TC}, Z_{TC}, V_{TC}, T). \quad (1)$$

Враховуючи структуру технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих польових культур, можна стверджувати, що параметри технічного оснащення відображаються характеристиками машинно-тракторного агрегату (МТА) і є характерними для всіх означених систем:

$$Z_{TC} = \left\{ \begin{array}{l} W_{zod}, q \\ m^e, k_{TOP}^e, k_{am}^e, E^e, n^{on}, n^{dn} \\ m^{m1}, k_{TOP}^{m1}, k_{am}^{m1}, E^{m1}, n^{m1} \\ \dots \\ m^{mr}, k_{TOP}^{mr}, k_{am}^{mr}, E^{mr}, n^{mr} \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де  $W$  – годинна продуктивність МТА, га/год;  $q$  – питома витрата палива, кг/га;  $m^e, m^{m1} \dots m^{mr}$  – відповідно маса енергозасобу та сільськогосподарських машин 1... $r$ -го типу, що входять до складу МТА, кг;  $k_{TOP}^e, k_{TOP}^{m1} \dots k_{TOP}^{mr}$  – відповідно коефіцієнти відррахувань на технічне обслуговування і ремонт енергозасобу та сільськогосподарських машин 1... $r$ -го типу, що входять до складу МТА, %;  $k_{am}^e, k_{am}^{m1} \dots k_{am}^{mr}$  – відповідно коефіцієнти відррахувань на амортизацію енергозасобу та сільськогосподарських машин 1... $r$ -го типу, що входять до складу МТА, %;  $n^{m1} \dots n^{mr}, n^{on}, n^{dn}$  – відповідно кількість машин в агрегаті 1... $r$ -го типу, основних та допоміжних працівників.

Виходячи з мети дослідження, встановлено, що показники ефективності ( $Y_{TC}$ ) для технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих польових культур мають такий вигляд:

$$Y_{TC} = \{E_c, B_{np}, t_r\}, \quad (3)$$

де  $E_c$  – сумарні питомі витрати енергії, МДж/га;  $B_{np}$  – питомі витрати праці, люд.-год/га;  $t_r$  – тривалість робіт, год.

Сумарні питомі витрати енергії на виконання технологічних процесів обробітку ґрунту, внесення добрив ( $E_c$ ) визначають як суму витрат енергії на виконання цих процесів ( $E_s$ ) та енергетичної оцінки потенційних втрат урожаю ( $E_\phi$ ). Методики визначення витрат енергії на виконання технологічних процесів розкриті в працях [10; 17; 19].

Питома енергетична оцінка потенційних втрат урожаю визначається за формулою

$$E_B = \frac{e_\kappa(1-\varphi)B_\kappa}{S}, \quad (4)$$

де  $e_\kappa$  – вміст енергії в 1 кг сухої речовини відповідної культури, МДж/кг;  $\varphi$  – вологість культури, %;  $B_\kappa$  – потенційні втрати врожаю через несвоєчасність виконання робіт, ц.

Відповідно потенційний обсяг втрат вирощеного врожаю, зумовлений несвоєчасним виконанням робіт, визначається за формулою

$$B_\kappa = \left( D_n(S - D_{ad}W_{zod}t_\phi) - \frac{(D_n - 1)D_n}{2}W_{zod}t_\phi \right) U_\kappa K_\phi, \quad (5)$$

де  $D_n$  – тривалість несвоєчасного виконання робіт, діб;  $D_{ad}$  – агродопустима тривалість виконання робіт, діб;  $t_\phi$  – тривалість роботи протягом доби, год;  $U_\kappa$  – потенційна врожайність культури, ц/га;  $K_\phi$  – коефіцієнт добових втрат урожаю.

Множина потоку вимог ( $X_{TC}$ ) – це множина характеристик предмета праці, які впливають на ефективність виконання процесу.

Отже, множина потоку вимог ( $X_{TC}^o$ ) для технологічної системи обробітку ґрунту складається з виду операції, обсягу робіт, глибини обробітку, типу ґрунту тощо:

$$X_{TC}^o = \{O, S, h, P\}, \quad (6)$$

де  $O$  – вид операції (оранка, лущення, боронування, дискування тощо);  $S$  – обсяг робіт, га;  $h$  – глибина обробітку, см;  $P$  – питомий опір ґрунту, кПа.

Для технологічної системи сівби ярих культур множина потоку вимог ( $X_{TC}^c$ ) має вигляд

$$X_{TC}^c = \{O, S, h, P, V\}, \quad (7)$$

де  $O$  – вид операції (сівба);  $V$  – норма висіву насіння, кг/га.

Для внесення добрив множина потоку вимог ( $X_{TC}^{\phi}$ ) має вигляд

$$X_{TC}^{\phi} = \{O, S, V\}, \quad (8)$$

де  $O$  – вид операції (поверхнєве внесення, підживлення, внутрішньогрунтове внесення тощо).

Вплив зовнішнього середовища ( $V_{TC}$ ) визначається агрометеорологічними умовами. Вплив агрометеорологічних умов на технологічні системи обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур проявляється через різні чинники (див. табл.). Будь-які зміни у вхідному потоці ( $X_{TC}$ ) впливають на функціональні показники ( $Y_{TC}$ ). Інтенсивність обслуговування вхідного потоку вимог залежить від параметрів технічного забезпечення процесів та організаційного режиму використання техніки, тобто параметрів ( $Z_{TC}$ ).

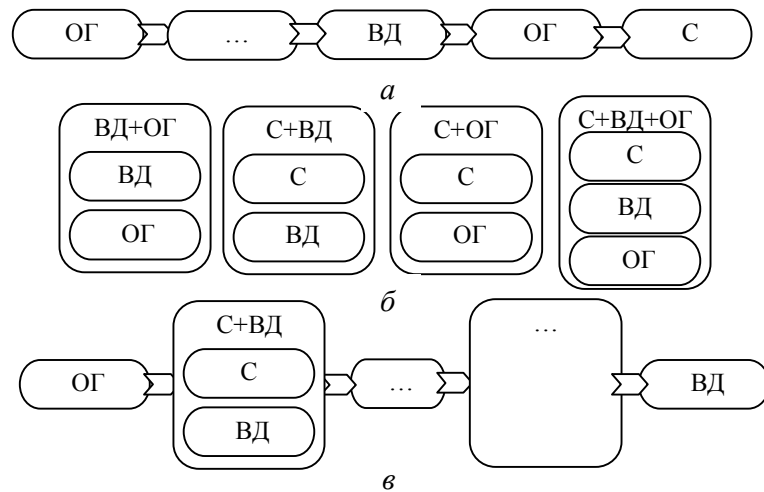
Враховуючи особливості означених технологічних систем та сучасний рівень технічного оснащення, можна виокремити такі комбінації виконання технологічних операцій: послідовне виконання – виконання кожної операції здійснюється по чергово окремим агрегатом (рис. 2, а); пара-

лельне – одночасне виконання двох і більше – частина операцій виконується паралельно, а операцій одним агрегатом (рис. 2, б); комбіноване – частина – послідовно (рис. 2, в).

**Таблиця.** Означення впливу агрометеорологічних умов на технологічні системи обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур

**Table.** Determination of the impact of agrometeorological conditions on the technological systems of tillage, fertilizer application and sowing of spring crops

Технологічна система	Чинники
Обробітку ґрунту	1) настання фізичної стиглості ґрунту; 2) випадання опадів (зміна стану ґрунту).
Сівби	1) зміна температури ґрунту; 2) випадання опадів (зміна стану ґрунту).
Внесення добрив	1) настання фенологічних фаз розвитку рослин; 2) зміна швидкості руху повітря; 3) випадання опадів (зміна стану ґрунту).



**Рис. 2.** Виконання технологічних процесів обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих зернових культур послідовним (а), паралельним (б) та комбінованим (в) способами: ОГ – обробіток ґрунту; ВД – внесення добрив; С – сівба  
**Fig. 2.** Execution of the technological processes of tillage, application of fertilizers and sowing of spring grain crops in sequential (a), parallel (b) and combined (c) ways: OG – tillage; VD – fertilizer application; C – sowing

Враховуючи викладене, залежно від способу виконання технологічних процесів параметри відповідних технологічних систем визначаються по-різному. Так, для послідовного виконання технологічних операцій ( $V^S$ ) вплив агрометеорологічних умов визначається для кожної  $i$ -ї операції окремо (9), а для паралельного ( $V^P$ ) – як об’єднання вимог до кожної з  $i$ -х операцій (10):

$$V^S = V_i; \quad (9)$$

$$V^P = V_1 \cup V_2 \cup \dots \cup V_i. \quad (10)$$

Окремо слід зупинитися на комбінованому виконанні операцій, для якого час виконання ( $t_r$ ), затрати праці ( $Z_n$ ) та енергії ( $E_c$ ) для виконання

всього переліку операцій визначаються як сума цих показників за операціями, що виконуються послідовним і паралельним способами:

$$t_r^C = \sum t_r^S + \sum t_r^P, \quad (11)$$

$$Z_n^C = \sum Z_n^S + \sum Z_n^P, \quad (12)$$

$$E_c^C = \sum E_c^S + \sum E_c^P, \quad (13)$$

де  $t_r^C$ ,  $t_r^S$ ,  $t_r^P$  – відповідно час виконання всього переліку операцій, операцій, що виконуються послідовним і паралельним способами, год;  $Z_n^C$ ,  $Z_n^S$ ,  $Z_n^P$  – відповідно затрати праці на виконання всього переліку операцій, операцій, що викону-

ються послідовним і паралельним способами, люд.-год/га;  $E_c^C$ ,  $E_c^S$ ,  $E_c^P$  – сумарні питомі витрати енергії на виконання всього переліку операцій, операцій, що виконуються послідовним і паралельним способами, МДж/га.

Отже, розроблено методичні засади, що є основою для визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив та сівби ярих культур за енергетичним показником.

### Висновки

Розкриті методичні засади, які дають змогу розробити інструментарій для визначення ефективності використання технічних засобів відповідно до агровимог, обсягів механізованих робіт й умов функціонування під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником.

Встановлено особливості трансформації характеристик вхідних впливів, параметрів технічного оснащення, впливів агрометеорологічних умов і показників функціонування технологічних систем обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих польових культур залежно від способів поєднання цих систем.

### Бібліографічний список

1. Адамчук В. В., Грицишин М. І. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва. Київ: Аграр. наука, 2012. 416 с.
2. Адамчук В. В., Сидорчук О. В., Мироненко В. Г. Системно-проектні підстави управління парком машин сільськогосподарських товаровиробників. *Вісник аграрної науки*. 2014. № 11. С. 33–40.
3. Грицишин М. І. Методологічні основи комплектування МТП аграрних підприємств в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. *Механізація та електрифікація сільського господарства: міжвідом. темат. наук. зб.* Глеваха, 2014. Вип. 99, т. 1. С. 392–400.
4. Гуков Я. С. Механіко-технологічне обґрунтування енергозберігаючих засобів механізації обробітку ґрунту в умовах України: автореф. ... дис. д-ра техн. наук. Глеваха, 1998. 33 с.
5. Гуков Я. С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ: Нора-прінт, 1999. 280 с.
6. Днесь В. І., Кудринський Р. Б., Крупич С. О., Скібчик В. І. Ефективність застосування різних технологій вирощування сільськогосподарських культур. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. / ННЦ «ІМЕСГ»*. Глеваха, 2019. Вип. 9 (108). С. 195–200.
7. Дубровин В. А., Левчук Н. С. Перспективы дифференциации основной обработки почвы. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2001. № 2. С. 32–34.
8. Івасюк І. П. Обґрунтування параметрів технологічної системи обробітку ґрунту та сівби озимих культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Глеваха, 2010. 19 с.
9. Жалнин Э. В. К дискуссии о методике оценки экономической эффективности сельскохозяйственной техники. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. № 3. С. 3–9.
10. Основи інженерного менеджменту: навч. посіб. / І. І. Мельник, І. Г. Тивоненко, С. Г. Фришев, В. П. Бабій, С. М. Бондар. Київ: Вища освіта, 2006. 525 с.
11. Попович В. К., Белоконь Н. И., Полянская Л. Г. Определение рационального состава парка машин для хозяйств. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1980. № 5. С. 58–59.
12. Репетов А. П. Оптимизация состава МТП и его работоспособность. *Тракторы и сельхозмашины*. 1984. № 2. С. 8–10.
13. Сидорчук О. В. Інженерія машинних систем: монографія. Київ: ННЦ «ІМЕСГ», 2007. 263 с.
14. Сидорчук О. В., Пукас В. Л., Луб П. М., Шарибур А. О. Структурний аналіз проектів технологічних систем збирання врожаю. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2018. № 2. С. 10–14.
15. Луб П. М. Обґрунтування параметрів комплексу ґрунтообробних машин сільськогосподарського підприємства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2006. 20 с.
16. Луб П. М. Особливості управління проектами адаптивних технологічних систем удобрення, підготовки ґрунту та сівби сільськогосподарських культур. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2011. № 1/5(49). С. 39–41.
17. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ: Урожай, 1988. 208 с.
18. Мининзон В. И., Тюленев А. В., Вечернин Б. В. Определение оптимального состава машинно-тракторного парка в зависимости от погодных условий. *Тракторы и сельхозмашины*. 1986. № 3. С. 7–9.
19. Мельник І. І., Гречкосій В. Д., Марченко В. В. Оптимізація комплексів машин і структури машинно-тракторного парку та планування технічного сервісу. Київ: Вид. центр НАУ, 2001. С. 5–47.
20. Фінн Е. А., Варшавський М. Л., Червотюк І. С. Комплектування машинно-тракторного парку колгоспів і радгоспів. Київ: Урожай, 1989. 176 с.
21. Хабатов Р. Ш. Прогнозирование оптимальных параметров и состава машинно-тракторного парка. Киев: ВЦ Госплана УССР, 1969. 75 с.
22. Киртбая Ю. К. Резервы в использовании машинно-тракторного парка. Москва: Колос, 1976. 256 с.

23. Комарніцький С. П. Узгодження збиральних і транспортних робіт у проєктах збирання ранніх зернових культур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2012. 19 с.

24. Кудринський Р. Б. Щодо науково-методичних засад визначення техніко-експлуатаційних показників машинно-тракторних агрегатів. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загально-*

*держ. зб. / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2017. Вип. 5 (104). С. 216–226.*

25. Шолудько П. В. Імітаційна модель оцінки експлуатаційних властивостей машинно-тракторних агрегатів при виконанні технологічної операції обприскування. *Вісник Львівського державного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2007. № 11. С. 30–37.*

*Стаття надійшла 19.11.2020*