

УДК 631.171

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Gennadiy Golub, Oleg Marus

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, 03041, Ukraine

**Анотація.** Обґрунтовано вибір критерію оптимізації для визначення параметрів засобів механізації і обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва.

**Ключові слова:** оптимізація, параметри машин і обладнання, критерії.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Будь-які засоби механізації і обладнання мобільних чи стаціонарних технологічних процесів сільськогосподарського виробництва споживають енергію та виконують певний обсяг робіт із показниками якості та надійності, що є характерними для даної машини чи обладнання. Визначення параметрів робочих органів машин та обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва під час їх удосконалення, випробування та експлуатації потребує обґрунтування узагальненого кількісного критерію, без якого неможливо провести оптимізацію параметрів робочих органів.

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На основі аналізу близько півтори тисячі авторефератів дисертацій у галузі машин та обладнання для механізації та електрифікації сільськогосподарського виробництва, які є наявності в науково-технічній бібліотеці Національного наукового центру “Інститут механізації та електрифікації сільського господарства” НААН України, встановлено, що на етапі становлення механізованого сільськогосподарського виробництва основним показником роботи машин і обладнання була їх продуктивність. Це забезпечувало вибір найдосконаліших робочих органів для засобів механізації в землеробстві. У міру збільшення дефіцитності енергетичних ресурсів вагомим чинником стала питома енергомісткість машин та обладнання, як відношення потужності до продуктивності для стаціонарних машин, або відношення витрат палива до обробленої площі для мобільних машин. Значна кількість досліджень базується на використанні статистичних показників оцінки якості роботи машин та обладнання. За параметр оптимізації часто беруть узагальнений показник якості виконання технологічного процесу на основі урахування вагомості декількох показників якості, що характеризують процес. Використанню питомої енергомісткості із урахуванням якісних показників роботи машин і обладнання в наукових дослідженнях не приділяється достатньої уваги, узагальнені кількісні критерії оптимізації не обґрунтовувалися, що звужує об’єктивність оцінки параметрів машин та обладнання.

### РЕЗУЛЬТАТИ І ДИСКУСІЯ

Порівняльну оцінку ефективності механізованих технологічних процесів проводять, як правило, на основі економічних критеріїв. Основним серед них є витрати на виробництво продукції (визначається як сума відрахувань на технічне обслуговування та ремонт, заробітної плати, вартості пального або електроенергії, втраченої продукції та інших складових) і термін

окупності машин та обладнання. Деякі параметри машин і обладнання (ширина захвату для польових машин та місткість їх бункерів для вирощеної продукції або добрив, а також робоча швидкість руху по полю) встановлюються на основі мінімізації витрат на виконання технологічної операції.

Основні труднощі виникають у разі оптимізації конструкційних і кінематичних параметрів робочих органів машин та обладнання. Пов'язані вони насамперед із відсутністю узагальненого кількісного критерію оптимізації. Як критерій оптимізації параметрів робочих органів машин та обладнання використовують продуктивність, витрати палива для мобільних машин, споживану потужність для стаціонарного обладнання, питому енергомісткість та якість виконання технологічної операції. Кожен із цих показників є важливою, але однобічною характеристикою машини або обладнання. Крім того, параметри робочих органів машин та обладнання, визначені на основі кожного окремого показника, часто мають значення, які знаходяться у зворотній кореляційній залежності, а тому для їх визначення застосовують компромісний підхід, об'єктивність якого часто сумнівна.

Зменшення витрат енергії на виконання заданого обсягу сільськогосподарських робіт, збільшення продуктивності машин та обладнання, їх показників надійності й рівня відповідності їх показників якості агротехнічним та зоотехнічним вимогам є основними напрямками удосконалення засобів механізації і обладнання в технологічних процесах сільськогосподарського виробництва. У зв'язку з цим, порівняння робочих органів однотипних машин і обладнання в технологічному процесі виробництва або визначення оптимальних параметрів робочих органів окремої машини чи обладнання доцільно проводити на основі комплексного кількісного показника, що враховує енергетичні показники, показники продуктивності, надійності та якості виконання операцій технологічного процесу.

Оцінити якість виконання машиною або обладнанням технологічної операції означає встановити ступінь наближення дійсних показників якості роботи машини до нормативних. Якість виконання формується на основі показників, що можуть бути виміряні прямим або опосередкованим методом. Перелік основних показників, що встановлюють якість виконання технологічних операцій згідно з агротехнічними та зоотехнічними вимогами, наведено в [1]. Для оцінки якості виконання технологічних операцій машинами і обладнанням використовуються такі показники: рівень досягнення заданих властивостей матеріалом, що обробляється, коефіцієнт варіації як критерій оцінки відхилення від середнього або заданого значення, а також ймовірність перебування показника якості роботи машини або обладнання у заданих межах, як відношення площі обмеженої кривою розподілу і допустимими межами відхилення показника та загальної площі обмеженої кривою розподілу даного показника. У випадку нормального закону розподілу (закон Гауса) розрахунки базуються на використанні спеціальної нормальної інтегральної функції нормального розподілу, для визначення якої складені відповідні таблиці, а ймовірність перебування показника якості роботи машини або обладнання в інтервалі значень від  $a$  до  $b$  знаходять так:

$$p(a < X < b) = \Phi\left(\frac{b-m}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{a-m}{\sigma}\right), \quad (1)$$

де  $p(a < X < b)$  – ймовірність перебування показника якості в інтервалі значень від  $a$  до  $b$ , відн. од.;  $X$  – випадкова величина показника якості, яка розподілена за нормальним законом, кг, м і т.д.;  $a$ ,  $b$  – нижня та верхня межа значення показника якості, кг, м і т.д.;

$\Phi\left(\frac{b-m}{\sigma}\right)$ ,  $\Phi\left(\frac{a-m}{\sigma}\right)$  – табличне значення нормальної інтегральної функції нормального

розподілу (функція Лапласа або інтеграл ймовірності) за  $t = \frac{b-m}{\sigma}$  та  $t = \frac{a-m}{\sigma}$ , відн. од.;  $m$  – середньостатистичне значення показника якості, кг, м і т.д.;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення показника якості, кг, м і т.д.

Ймовірність перебування показника якості роботи машини або обладнання в інтервалі значень наведено в прикладі для пневматичного калібратора яєць зернової молі. Визначалась ймовірність потрапляння яєць зернової молі, які використовуються для розведення ентомологічного препарату трихограми, в задані діапазони даних. Критерієм оптимізації параметрів обладнання, яке використовувалося для розподілу яєць на фракції, використано

якість добору крупних яєць, яка виражалась через інтегральну ймовірність  $I_m$  (%) (рис. 1) того, що розмір яєць зернової молі знаходиться в діапазоні, що перевищує мінімальний граничний об'єм для крупних яєць –  $0,0247 \text{ мм}^3$  але менший за об'єм конгломератів –  $0,04717 \text{ мм}^3$  (яйця, що злиплись). В даному випадку ймовірність добору крупних яєць зернової молі становила 42 %.

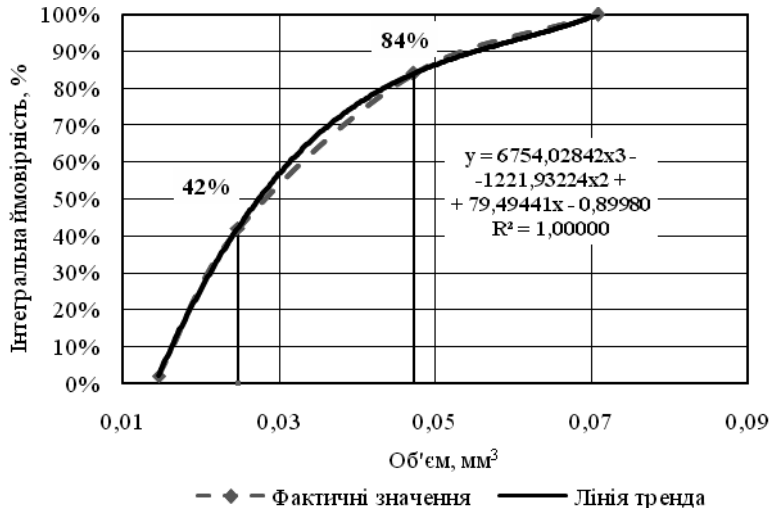


Рис. 1. Інтегральна ймовірність розподілу фракцій яєць зернової молі

Застосування показника якості роботи машини або обладнання дозволяє визначити кореляційну функцію та спектральну щільність і на цій основі виявити періодичність зміни показника в стаціонарному процесі, щільність розподілу дисперсій по частотах і врешті внутрішню структуру процесу і його фізичну суть в аналізі параметрів машин, у тому числі якісних показників виконання технологічного процесу [2]. Однак у зв'язку з тим, що ні кореляційна функція, ні спектральна щільність не регламентуються агротехнічними та зоотехнічними вимогами під час оцінки якісних показників роботи машин, а їх визначення потребує ускладнених розрахунків, використання кореляційної функції та спектральної щільності обмежено лише потребами удосконалення машин та обладнання.

Слід відмітити, що єдиний метод встановлення нормативних агротехнічних та зоотехнічних показників і допусків на них, в основі якого були б економічні критерії доцільності їх дотримання, часто відсутній. Адже логічно, що звуження допуску на агротехнічний або зоотехнічний показник буде виправдано, якщо при цьому буде забезпечено додатковий економічний ефект за рахунок зменшення експлуатаційних витрат або збільшення виробництва та якості продукції у разі роботи на звуженому допуску [3]. Складність полягає також в тому, що більшість агротехнічних та зоотехнічних вимог не конкретизована залежно від природно-кліматичних зон, метеорологічних чинників та видів оброблюваної рослинної сировини, а в деяких випадках характеризується надмірно жорсткими нормативами їх показників. Стосовно останнього професор Ю.К. Кіртбая відзначив, що це приводить до суттєвих труднощів під час проектування машин, до невиправданого ускладнення конструкцій, зниження надійності, масових випадків вибракування машин під час випробувань і врешті до зниження темпів технічного прогресу та збільшення витрат ресурсів.

Якщо якість роботи машин або обладнання характеризується декількома показниками якості, особливо це стосується випадків, коли машина або обладнання у разі порівняння з іншими має переваги щодо одних показників і поступається в інших, їх об'єднують в узагальнений показник на основі експертної оцінки вагомості кожного показника [4].

Комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації для визначення параметрів робочих органів машин та обладнання, має бути прямо пропорційним витратам енергії і обернено пропорційним обсягу виконаних робіт, ймовірності безвідмовної роботи для не відновлюваних об'єктів або коефіцієнту готовності для відновлюваних об'єктів та ймовірності

того, наскільки показники якості роботи машин та обладнання відповідають агротехнічним та зоотехнічним вимогам. У цьому разі комплексний кількісний показник, як критерій оптимізації, повинен набувати мінімального значення. Формалізовано це виглядатиме так:

$$E = \frac{W}{Q p_H \sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де:  $E$  – комплексний показник, як критерій оптимізації роботи машини і обладнання в технологічному процесі, кВт год./га для мобільних машин або кВт год./т для стаціонарних машин;  $Q$  – обсяг виконаних робіт, га для мобільних машин або т для стаціонарних машин;  $W$  – витрати енергії на виконання технологічної операції, кВт год.;  $p_H$  – ймовірність безвідмовної роботи для не відновлюваного обладнання або коефіцієнт готовності для відновлюваних машин, відн. од.;  $p_i$  – ймовірність того, що значення  $i$ -го показника для оцінки якості роботи машин або обладнання знаходиться в межах заданих агротехнічними або зоотехнічними вимогами, відн. од.;  $\alpha_i$  – вагомість  $i$ -го показника для оцінки якості роботи машини чи обладнання, яка встановлюється на основі експертних оцінок, відн. од.

Для мобільних машин і обладнання витрати енергії на виконання технологічної операції становлять:

$$W = \frac{V_{II} \rho_{II} q_{II}}{k}, \quad (3)$$

де:  $V_{II}$  – витрати палива на виконання технологічної операції, л;  $\rho_{II}$  – щільність палива, кг/л;  $q_{II}$  – теплотворна здатність палива, кДж/кг;  $k = 3600 \text{ с/год.}$  – коефіцієнт перерахунку одиниць часу.

При цьому, витрати енергії на виконання технологічної операції визначаються протягом заданого часу вимірюванням витрат електроенергії за допомогою лічильника в стаціонарних процесах або витрат палива за величиною об'єму для мобільних машин і обладнання. Обсяг виконаних робіт у стаціонарних процесах визначають за кількістю виробленої продукції, а в мобільних – за обробленою площею, що також не спричиняє труднощів. Ймовірність безвідмовної роботи машини і обладнання та їх коефіцієнт готовності в технологічному процесі визначається згідно з чинними нормативами [5, 6] під час проведення ресурсних випробувань. Якщо параметри машини чи обладнання визначають на етапі проведення науково-дослідних робіт, то в цьому разі показник ймовірності безвідмовної роботи машини і обладнання (або коефіцієнт готовності) в технологічному процесі можна не враховувати.

## ВИСНОВОК

Мінімізація питомої енергоємності машин та обладнання з урахуванням якісних показників їх роботи дозволяє визначити оптимальні значення конструктивно-кінематичних параметрів робочих органів машин та обладнання і проводити їх об'єктивну порівняльну оцінку на етапі виконання науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Погорельий Л.В., Анилович В.Я. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. – К.: Феникс, 2004. – 208 с.
2. Лур'є А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1970. – 376 с.
3. Ляхов Ю.А. Исследование методов контроля и оценки качества сельскохозяйственных полевых работ: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

наук: Ульяновский сельскохозяйственный институт. Ульяновск, 1973. – 32 с.

4. Дубровин В.А. Обоснование технологического процесса и параметров плуга для двухъярусной вспашки под сахарную свеклу: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.20.01 / Украинский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Глеваха, 1987. – 24 с.
5. Ермолов Л.С., Кряжков В.М., Черкун В.Е. Основы надежности сельскохозяйственной техники. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
6. Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
7. Медони Л.Ф. Характеристика имаго трихограммы в связи с её обновлением / Медони Л.Ф., Ермичева Ф.М., Шляхтич В.А. // Трихограмма. Ч. 1. – Кишинев: Штиинца, 1980. – С. 33–38.
8. Биологический метод защиты растений / Труды Всесоюзного научно-исследовательского института защиты растений. – Ленинград, 1975. – Вып. № 4. – С. 162–165.
9. Теленга Н.А. Руководство по размножению и применению трихограммы для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур / Н.А. Теленга, В.А. Щепетильникова. – К.: Издательство Академии наук Украинской ССР, 1949. – 99 с.
10. Sweetman H. The principles of biological control. Interrelation of hosts and pests and utilization in regulation of animal and plant population / H. Sweetman. – Dubuque, Iowa: Wm. C. Brown company publishers, 1958. – 575 p.

#### OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF MACHINES AND EQUIPMENT

**Summary.** The choice of criterion for optimization is grounded for determination of parameters of facilities of mechanization and equipment in the technological processes of agricultural production.

**Key words:** optimization, parameters of machines and equipment, criteria's.