

under the influence of natural and anthropogenic factors" and the physical mechanical properties of the soil. The concept of "property" as the characteristics of the system to change or retain the status and the process. The parameters include the proposed state indicators and characteristics, quantified the current state of the system.

Properties of soil, tillage processes, tools, connection properties and technological operations, parameters of state.

УДК 631.172: 631.354.2

КІНЕТИКА ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНО-СОЛОМИСТОГО ВОРОХУ В ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНАХ

Г. А. Голуб, доктор технічних наук

Розроблена кінетична модель процесу сепарації зерно-соломистого вороху в зернозбиральних комбайнах.

Кінетика, зернозбиральний комбайн, зерно-соломистий ворох, сепарація.

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 кількісних критеріїв, без яких неможливо провести оптимізацію параметрів робочих органів. 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

© Г. А. Голуб, 2015

робочих органів машин та обладнання. Пов'язані вони насамперед із відсутністю узагальненого кількісного критерію оптимізації. Як критерій оптимізації параметрів мобільних робочих органів машин та обладнання використовують продуктивність, витрати палива, питому енергомідкість 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.

Аналіз останніх досліджень. Нами 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 енергомідкість машин та обладнання, як 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 енергомідкості із урахуванням якісних показників роботи машин і обладнання в наукових дослідженнях не приділяється достатньої уваги, узагальнені кількісні критерії оптимізації не обґрунтовувалися, що зводить об'єктивність оцінки параметрів машин та обладнання.

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.

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 [2]. 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 [3]. 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 [4]. При цьому, витрати енергії на виконання технологічної операції визначаються упродовж заданого часу вимірюванням витрат палива за величиною об'єму для мобільних машин і обладнання. Обсяг виконаних робіт у мобільних процесах визначають 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.

Стосовно сепаруючих робочих органів зернозбирального комбайна відомо, що вміст соломи в зерно-соломистому воросі становить від 32 до 40 % від його загальної маси [7].

Згідно з агротехнічними вимогами ОСТ 70.8.1-81, втрата зерна за комбайном має бути не більше 1,5 % (із них не більше 0,75 % має становити втрата зерна за молотильно-сепаруючими робочими органами і не більше 0,75 % – за очисткою), а чистота зерна в бункері комбайна повинна бути не менше 97 %.

При урожайності зерна 47,9 ц/га, вологості зерна 17 % і соломи 19 % та співвідношенні зерна до соломи на висоті зрізу 1:1, втрата зерна за очисткою становили від 0,05 до 0,085 %, а чистота бункерного зерна – від 99,8 до 99,95 % [8].

Таким чином, 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.

Мета досліджень. Обґрунтувати узагальнений кількісний критерій оптимізації для оцінки роботи зернозбирального комбайна на основі оцінки кінетики процесу сепарації зерно-соломистого вороху.

Результати досліджень. Розглянемо формалізацію формування показників якості роботи сепаруючих робочих органів зернозбирального комбайна на основі кінетики процесу сепарації зерно-соломистого вороху. Будемо вважати, що зерно-соломистий ворох складається із соломи, обмолоченого, необмолоченого та пошкодженого зерна. Приймаючи допущення, що швидкість зменшення вмісту кожного компонента у зерно-соломистому воросі під час очистки пропорційна вмісту цього компонента у зерно-соломистому воросі, який знаходиться на очистці (чим менше кількість відповідного компонента у зерно-соломистому воросі, тим менша швидкість зменшення його вмісту у зерно-соломистому воросі), можна записати кінетичне рівняння вмісту кожного компонента зерна в диференційній формі, яке буде мати вигляд:

$$\frac{d(m_i - m_{oi})}{d\tau} = -k_i(m_i - m_{oi}), \quad (1)$$

де; m_i – поточне значення маси i -го компонента у зерно-соломистому воросі під час очистки, кг; m_{Oi} – маса i -го компонента у зерно-соломистому воросі, яка втрачається з іншими компонентами і не виділяється під час очистки, кг; k_i – параметр процесу видалення i -го компонента із зерно-соломистого вороху, c^{-1} ; τ – час очистки зерно-соломистого вороху, с.

Провівши математичні перетворення рівняння (1):

$$\frac{d(m_i - m_{Oi})}{m_i - m_{Oi}} = -k_i d\tau,$$

та інтегрування диференційного рівняння отримаємо:

$$\ln(m_i - m_{Oi}) = -k_i \tau.$$

Враховавши межі зміни маси i -го компонента в зерно-соломистому воросі від початкового значення до поточного, одержимо однопараметричне рівняння процесу відділення i -го компонента, яке визначає масу i -го компонента в зерно-соломистому воросі на поточний момент часу:

$$\frac{\ln(m_i - m_{Oi})}{\ln(m_{Pi} - m_{Oi})} = -k_i \tau; \quad \frac{m_i - m_{Oi}}{m_{Pi} - m_{Oi}} = \exp(-k_i \tau);$$

$$m_i - m_{Oi} = (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau); \quad m_i = m_{Oi} + (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau), \quad (2)$$

де: m_{Pi} – маса i -го компонента у зерно-соломистому воросі на початку очистки, кг.

В той же час, маса i -го компонента виділеного очисткою на поточний момент часу, становить:

$$\begin{aligned} m_{Pi} - m_i &= m_{Pi} - m_{Oi} - (m_{Pi} - m_{Oi}) \exp(-k_i \tau) = \\ &= (m_{Pi} - m_{Oi}) [1 - \exp(-k_i \tau)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Привівши масу i -го компонента виділеного очисткою на поточний момент часу до маси i -го компонента у зерно-соломистому воросі на початку очистки, одержимо вирази для визначення рівня виділення i -го компонента із зерно-соломистого вороху на поточний момент часу;

$$\frac{m_{Pi} - m_i}{m_{Pi}} = \frac{(m_{Pi} - m_{Oi})}{m_{Pi}} [1 - \exp(-k_i \tau)]; \quad \text{або } \alpha_i = \alpha_{Pi} [1 - \exp(-k_i \tau)], \quad (4)$$

де: $\alpha_i = \frac{m_{Pi} - m_i}{m_{Pi}}$ – поточний рівень виділення i -го компонента із зерно-соломистого вороху в процесі очистки, відн. од.;

$\alpha_{Pi} = \frac{m_{Pi} - m_{Oi}}{m_{Pi}}$ –

максимальний рівень виділення i -го компонента із зерно-соломистого вороху в процесі очистки, відн. од.

При цьому величина $(m_{Pi} - m_{Oi})\exp(-k_i\tau)$ є абсолютною втра-
тою i -го компонента по завершенню очистки в кг, а величина
 $\frac{(m_{Pi} - m_{Oi})}{m_{Pi}}\exp(-k_i\tau)$ – відносною втратою i -го компонента за очисткою

у відн. од. Величина $\frac{m_{Oi}}{m_{Pi}}$ є відносною втратою i -го компонента з ін-
шими компонентами під час очистки у відн. од.

При постійні швидкості руху зерно-соломистого вороху під час
очистки, час очистки можна замінити співвідношенням довжини ре-
шета (L , м) і швидкості руху (v , м/с) зерно-соломистого вороху. У
цьому випадку вираз під експонентою для i -го компонента зерно-
соломистого вороху можна записати наступним чином:

$$k_i\tau = k_i \frac{L}{v} = \mu_i L, \quad (5)$$

де: μ_i – параметр процесу видалення i -го компонента із зерно-
соломистого вороху (коефіцієнт сепарації), m^{-1} .

Таким чином, загальний баланс зерно-соломистого вороху під
час очистки має вигляд, приведений в табл. 1. У таблицях задіяні
позначення: $m_{ПЗ}, m_{ПНЗ}, m_{ППЗ}, m_{ПС}$ – маса обмолоченого, необмолоче-
ного та пошкодженого зерна і соломи у зерно-соломистому воросі на
початку очистки, кг; $m_{ЗС}, m_{НЗС}, m_{ПЗС}, m_{СЗ}$ – маса обмолоченого, необ-
молоченого та пошкодженого зерна, яка втрачається із соломкою і не
виділяється під час очистки та маса соломи, яка потрапляє в зерно і
не виділяється під час очистки, кг.

1. Загальний баланс зерно-соломистого вороху під час очистки.

Компоненти	Стадія очистки		
	початок	процес	закінчення
Обмолочене зерно	$m_{ПЗ}$	$m_{ЗС} + (m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$
Солома	$m_{ПС}$	$m_{СЗ} + (m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$
Необмолочене зерно	$m_{ПНЗ}$	$m_{НЗС} + (m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Пошкоджене зерно	$m_{ППЗ}$	$m_{ПЗС} + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$

Характеристика компонентів зерно-соломистого вороху після очистки має вигляд, приведений в табл. 2. Характеристика якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху, приведена в табл. 3.

2. Характеристика компонентів зерно-соломистого вороху після очистки.

Компоненти	Назва компонентів та їх склад		
	Зерно	Солома	Необмолочене зерно
Обмолочене зерно	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_3 L)]$	$m_{ЗС}$	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \times \exp(-\mu_3 L)$
Солома	$m_{СЗ}$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times [1 - \exp(-\mu_C L)]$	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \times \exp(-\mu_C L)$
Необмолочене зерно	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_{НЗ} L)]$	$m_{НЗС}$	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \times \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Пошкоджене зерно	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times [1 - \exp(-\mu_{ПЗ} L)]$	$m_{ПЗС}$	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \times \exp(-\mu_{ПЗ} L)$

3. Характеристика якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху.

Назва показників	Значення показників
Вміст соломи в обмолоченому зерні	$m_{ЗС}$
Вміст необмолоченого зерна в обмолоченому зерні	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) [1 - \exp(-\mu_{НЗ} L)]$
Вміст пошкодженого зерна в обмолоченому зерні	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) [1 - \exp(-\mu_{ПЗ} L)]$
Втрата обмолоченого зерна з соломю	$m_{ЗС}$
Втрата необмолоченого зерна з соломю	$m_{НЗС}$
Втрата пошкодженого зерна з соломю	$m_{ПЗС}$
Кількість необмолоченого зерна на сході з очистки	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС}) \exp(-\mu_{НЗ} L)$
Вміст обмолоченого зерна в необмолоченому	$(m_{ПЗ} - m_{ЗС}) \exp(-\mu_3 L)$
Вміст пошкодженого зерна в необмолоченому	$(m_{ППЗ} - m_{ПЗС}) \exp(-\mu_{ПЗ} L)$
Вміст соломи в необмолоченому зерні	$(m_{ПС} - m_{СЗ}) \exp(-\mu_C L)$

Характеристика узагальнених якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху, приведена в табл. 4.

4. Характеристика узагальнених якісних показників процесу очистки зерно-соломистого вороху.

Назва показників	Значення показників
Засміченість обмолоченого зерна (вміст соломи, необмолоченого та пошкодженого зерна в обмолоченому зерні)	$m_{CЗ} + (m_{ПНЗ} - m_{НЗС})[1 - \exp(-\mu_{НЗ}L)] + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС})[1 - \exp(-\mu_{ПЗ}L)]$
Втрата зерна під час очистки (втрата обмолоченого, необмолоченого та пошкодженого зерна з соломой)	$m_{ЗС} + m_{НЗС} + m_{ПЗС}$
Схід компонентів з очистки* (сумарна кількість необмолоченого, обмолоченого та пошкодженого зерна, а також соломи на сході з очистки)	$(m_{ПНЗ} - m_{НЗС})\exp(-\mu_{НЗ}L) + (m_{ПЗ} - m_{ЗС})\exp(-\mu_{З}L) + (m_{ППЗ} - m_{ПЗС})\exp(-\mu_{ПЗ}L) + (m_{ПС} - m_{СЗ})\exp(-\mu_{С}L)$

*Даний показник може характеризувати величину повторного обмолоту, при його наявності, і при цьому впливати на оцінку енергомосткості роботи комбайна або збільшувати втрати зерна під час очистки при відсутності повторного обмолоту (при цьому до втрат зерна з соломой під час очистки додається сумарна кількість необмолоченого, обмолоченого та пошкодженого зерна, яке сходить з очистки.

Засміченість обмолоченого зерна доцільно оцінювати у відносних одиницях, привівши її значення до абсолютної величини взятої проби зерна в бункері комбайна, а втрату зерна під час очистки доцільно оцінювати у відносних одиницях, привівши її значення до абсолютної величини урожайності зерна.

Висновок. Мінімізація питомої енергомосткості 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.

Список літератури

1. Погорелый Л. В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин // Л. В. Погорелый, В. Я. Анилович. – К.: Феникс, 2004. – 208 с.
2. Ляхов Ю. А. Исследование методов контроля и оценки качества сельскохозяйственных полевых работ: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: Ульяновский сельскохозяйственный институт. Ульяновск, 1973. – 32 с.
3. 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.

4. Голуб Г. А. Критерії оптимізації параметрів машин та обладнання / Г. А. Голуб // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. – Львів, ЛНАУ, 2008. – № 12 (2). – С. 17–24.
5. Ермолов Л. С. Основы надежности сельскохозяйственной техники // Л. С. Ермолов, В. М. Кряжков, В. Е. Черкун. – 2-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Колос, 1982. – 271 с.
6. Селиванов А. И. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники // А. И. Селиванов, Ю. Н. Артемьев. – М.: Колос, 1978. – 248 с.
7. Косилов Н. И. Интенсификация сепарирования зернового вороха: автореферат дис. ... д.т.н.: 05.20.01. – Челябинск, 1989. – 43 с.
8. Кузьмич А. Я. Обґрунтування параметрів та режимів роботи сепаруючих поверхонь повітряно-решітних очисток комбайнів. – Дисертація на здобуття наукового ступеня к.т.н. – Глеваха, 2013. – 218 с. – С. 130–132.

Обосновано вибор критерия оптимизации для определения параметров средств механизации и оборудования в технологических процессах сельскохозяйственного производства.

Оптимизация, параметры машин и оборудования, критерии.

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.

Optimization, parameters of machines and equipment, criteria's.

УДК 620.1

ІННОВАЦІЙНІ МОДЕЛІ МЕХАНІКИ ПЕРКОЛЯЦІЙНО-ФРАКТАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

***І. Г. Грабар, доктор технічних наук
Житомирський національний агроекологічний університет
О. І. Грабар, кандидат технічних наук
Житомирський державний технологічний університет***

Показано, що результати, отримані з позицій механіки суцільного середовища, не задовольняють для цілого ряду задач сучасної механіки матеріалів. Для підвищення достовірності результатів пропонується застосовувати моделі механіки перколяційно-фрактальних середовищ. Наведено ряд розв'язків актуальних задач на основі МПФС.

Механіка перколяційно-фрактальних середовищ, поріг перколяції, кінцевомірні моделі, фрактальна розмірність.

© І. Г. Грабар, О. І. Грабар, 2015