

ІНСТИТУТ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
УКРАЇНСЬКОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК
(ІМЕСГ - УАН)

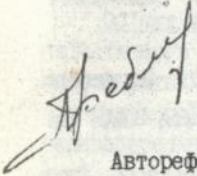
На правах рукопису

ГРИБИНИК ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ ФУНКЦІОНУВАННЯ І РОЗРОБКА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ
ПАРКУ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА

Спеціальності:

05.20.01 - Механізація сільськогосподарського виробництва
05.20.03 - Експлуатація, ремонт та відновлення с.-г. техніки



Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

сmt. Глеваха - 1994



00778840 (Y)

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Інституті
сільського господарства Ук

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
Босий М.А.

Науковий консультант - доктор технічних наук,
професор Фінн Е.А.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,
академік УААН,
професор Погорілий Л.В.

кандидат технічних наук,
доцент Мельник І.І.

Провідна установа - Центр випробування та прогнозування
с.-г. техніки і технологій Міністерства
сільського господарства та
продовольства України (УкрЦВТ)

Захист відбудеться "27" лютого 1994 р. о 14 год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 020.30.01 по
присудженню наукового ступеня доктора технічних наук в Інституті
механізації та електрифікації сільського господарства
Української академії аграрних наук за адресою: 255133, Київська
область, Васильківський район, смт.Глеваха-1, вул. Вокзальна,
11, ІМЕСГ УААН, кімната 613.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту
механізації та електрифікації сільського господарства УААН за
вказаною вище адресою.

Автореферат розісланий "23" вересня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Грицишин М.І.

Загальна характеристика роботи

Актуальність теми дослідження. Зерно для України є одним із основних факторів стабільності економіки країни. В зв'язку з цим завжди актуальним є питання підвищення валових зборів зерна з одночасним зниженням витрат на його виробництво. Біля половини витрат на виробництво зерна припадає на утримання і експлуатацію машино-тракторного парку (МТП) господарств. Одним з основних завдань впровадження науково-технічного прогресу в виробництві зерна є покращення співвідношення між затратами і одержаним ефектом. За останній час це співвідношення мало тенденцію до погіршення, незважаючи на низькі, порівняно з світовими ціни технічних засобів. При переході економіки на ринкові відносини надзвичайно актуальним стає питання формування оптимального складу МТП. Актуальність задачі раціонального формування парку зернозбиральних машин особливо велика. Це підтвержується і кількістю досліджень по цій темі в провідних розвинених країнах. Причому всі ці дослідження завершуються побудовою орієнтованих на широке використання комп'ютерних моделей, з дружнім інтерфейсом, що є одним із найдійовіших методів впровадження науково-технічних розробок в цих країнах. Формування парку господарств України проходило без впливу ринкових факторів. Парк зернозбиральних комбайнів конкурентно здатного с.-г. підприємства повинен бути сформований з урахуванням багатofакторності умов його функціонування - економічних, кліматичних, агротехнологічних, агроекологічних, організаційно-господарських. Задача формування такого парку має постійно виражену актуальність.

Об'єкт дослідження - умови збирання на протязі погоднокліматичного циклу (ПКЦ) і парк зернозбиральних комбайнів господарства.

Мета роботи - обґрунтування раціонального складу парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства, який забезпечував би найбільшу економічну ефективність при збиранні зернових культур.

Методи досліджень і устаткування. Обґрунтування парку зернозбиральних машин проведено на основі методів імітаційного моделювання, дослідження операцій, теорії ланцюгів Маркова і статистичної ідентифікації. Експериментальні дослідження виконано в господарських умовах для перевірки адекватності розроблених моделей. При цьому використовувались статистичні

методи обробки і аналізу одержаних даних. Імітаційні експерименти проведено при допомозі розробленої комп'ютерної системи імітаційного моделювання процесу збирання, що включає також детерміновану математичну модель. Моделі запрограмовано при допомозі мов програмування Turbo Pascal 6.0, Turbo Basic 1.1. Імітаційні експерименти проведено на ПЕОМ IBM PC AT.

Теоретичні результати і новизна. Розроблено модель функціонування парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства, що дозволила поєднати переваги імітаційної і детермінованої математичної моделей при проведенні системного аналізу всієї множини варіантів з урахуванням імовірнісного характеру функціонування парку. Розроблено моделі випадання опадів і дефіциту вологості повітря. Ідентифікацію моделей погодних умов проведено з застосуванням нового інформаційного критерію Акаїке. Обґрунтовано методику проведення експериментів з використанням імітаційної моделі і математичної моделі збирання, яка дозволяє скоротити кількість імітаційних прогонів. Розроблено модель лінійного програмування (ЛП-модель) управління роботами парку зернозбиральних комбайнів.

Практичні результати і новизна. Розроблено комп'ютерну систему імітаційного моделювання роботи парку зернозбиральних комбайнів, яка дозволяє обґрунтувати оптимальний парк конкретних господарств, окремих регіонів, всього АПК. Розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для моделювання випадання опадів і дефіциту вологості повітря. Обґрунтовано оптимальні склади парку зернозбиральних комбайнів для існуючих і модельних господарств.

На захист вноситься: модель функціонування комбайнового парку господарства, методика обґрунтування оптимального складу комбайнового парку сільськогосподарського підприємства, комп'ютерна система для обґрунтування оптимального парку господарства та оперативного управління його роботами під час збирання урожаю зернових культур, обґрунтовані склади парку зернозбиральних комбайнів.

Апробація роботи. Основні положення і результати досліджень освітлені в 8 друкованих наукових працях, доповідались на республіканських науково-практичних конференціях (Глевах 1988, 1994 р.).

Предмет і ступінь впровадження. Розрахунки по складу парку зернозбиральних комбайнів передано для впровадження в

колгоспі села Партизани-1, Запорізької області Приморського району. Програми для розрахунку оптимального складу комбайнового парку і моделювання погодних умов під час збирання зернових передано ВІМ (м.Москва) і УкрЦВТ. Обґрунтований склад парку зернозбиральних комбайнів в господарствах України з врахуванням поставок комбайнів "СНІСЕИ" передано Красноярському комбайновому заводу.

Ефективність впровадження. Впровадження оптимального парку зернозбиральних комбайнів і програмного забезпечення та його ефективного використання дозволяє знизити загальні затрати на збирання на 17-23 %.

Область впровадження. Методика дослідження по обґрунтуванню оптимального складу комбайнового парку, алгоритми і програми для персонального комп'ютера можуть бути використані при вдосконаленні існуючих і проектуванні нових складів парку зернозбиральних комбайнів для господарств, що виробляють зерно.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку основної використаної літератури, який включає 110 назв, в тому числі 53 на іноземних мовах. Загальний обсяг дисертації з додатками складає 215 сторінок. Основна частина дисертації - 124 сторінки машинописного тексту, 14 малюнків, 25 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі "Стан питання і задачі досліджень" розглянуто різні технології і технічні засоби збирання зернових культур в Україні і розвинених країнах світу. Проведено аналіз робіт по обґрунтуванню складу комбайнового парку сільськогосподарського підприємства. Наведено результати досліджень по сукупних втратах зерна в різних умовах.

Дослідження по обґрунтуванню оптимального парку почалися з розробки детермінованих моделей. Дальший розвиток в удосконаленні методів йшов по шляху надання їм динамічного характеру з метою врахування стохастичності функціонування сільськогосподарських машин. В розробку цих методів значний вклад внесли вчені СНГ- М.С.Рунчев, Л.В.Погорілий, Ю.К. Киртбая, Е.В.Жалін, Е.І.Липкович, В.Г. Антипін, Е.А.Фінн, В.І. Дубина, М.А.Босий, М.І.Табашников, К.С. Орманджі, М.І.Шасанов, Б.Д.Пвик, С.М.Коваль, В.П.Третяк, А.Г.Філіпов, Л.Д.Пастічна, В.А.Гоберман, Г.М. Данилова, В.В. Войцехівський та інші, а також вчені інших країн - Д. Хант, Е.Одслі, Д.С.Бойс, Е.ван-Ельдерен, В.С.Барровс,

Г.Ф.Дональдсон, Г.Е.Файрбенкс, М.Б.Мак-Гічен, Г.А.Паскаль, П.Р.Філіпс, Рамеш Кумар, П.Д.Врублевський та інші.

Проведено аналіз різних моделей для оптимізації парку зернозбиральних комбайнів. Для одержання початкового рішення поставленої задачі використано сучасну математичну модель оптимізації парку зернозбиральних комбайнів, розроблену в Іллінойському університеті США під керівництвом професора Д.Ханта китайським вченим Г.Хуан-Венем, яка дозволяє знайти оптимальний рівень сумарної потужності парку зернозбиральних комбайнів.

Проведений аналіз дозволив зробити висновок про необхідність створення системи імітаційного моделювання на основі персонального комп'ютера для обґрунтування раціонального парку зернозбиральних комбайнів, орієнтованої на широке впровадження в господарствах України.

Система імітаційного моделювання по аналогії з реальною системою повинна включати підсистеми моделювання погодних умов на протязі збирання, підсистему прийняття рішень і підсистему моделювання роботи зернозбирального комбайна.

Для досягнення поставленої мети визначено наступні задачі досліджень:

- за допомогою системного підходу, використовуючи метод імітаційного моделювання розробити комп'ютерну систему для обґрунтування раціонального складу парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства, що забезпечує максимальну ефективність при збиранні зернових культур;

- перевірити адекватність розроблених математичних моделей за допомогою експериментальних досліджень;

- розробити методику обґрунтування оптимального складу парку зернозбиральних комбайнів, основу на використанні розробленої імітаційної моделі;

- обґрунтувати оптимальний парк зернозбиральних комбайнів.

У другому розділі обґрунтовано і сформульовано в термінах системного підходу умови функціонування парку зернозбиральних комбайнів господарства. У відповідності з системними передумовами розроблено імітаційну модель функціонування парку зернозбиральних комбайнів сільськогосподарського підприємства, що включає модель роботи зернозбирального комбайна, модель погодних умов, моделі втрат зерна від перестов, за жатков, за молотарков, модель розподілу комбайнів по полях. Передбачається,

що модель може адекватно відобразити дійсний хід збирання ранніх зернових культур. Розроблено модель лінійного програмування розподілу зернозбиральних агрегатів по полях, що підлягають збиранню, з цільовою функцією, що виражає прибуток, який буде одержано при збиранні в даний день, з відрахуванням ціни втраченого зерна і прямих експлуатаційних затрат. Критерієм для порівняння альтернатив в рамках системного підходу прийнято сукупні затрати на утримання і експлуатацію парку зернозбиральних комбайнів і вартості втрат зерна.

Моделі погодних умов розроблено на основі теорії ланцюгів Маркова. Агрегована модель погодних умов складається з двох основних підмоделей – моделі опадів і моделі дефіциту вологості повітря.

Для обґрунтування правильного порядку ланцюга Маркова нами використано новий неінтерактивний інформаційний критерій Акаїке. Акаїке визначив цей критерій (AIC) в наступному вигляді:

$$AIC = (-3) \log(\text{максимальна правдоподібність}) + 2k \quad (2)$$

де k – число незалежних параметрів однієї моделі.

Якщо існує кілька конкуруючих між собою оцінок в модельній проблемі ідентифікації, то кращою альтернативою являється, та оцінка, що мінімізує AIC (MAICE).

Використовуючи спрощені позначення, визначаємо імовірність переходу ергодичного марківського ланцюга як $P_{i,i+1,\dots,j-1,j}$, а частоту цих переходів при допомозі $N_{i,i+1,\dots,j-1,j}$. Коли робота ведеться з великими вибірками даних (або з відносно великими), функція логарифму правдоподібності задається виразом:

$$\log L = \sum_{i,i+1,\dots,j-1,j} N_{i,i+1,\dots,j-1,j} \times \log P_{i,i+1,\dots,j-1,j} =$$

$$+ \sum_{i,i+1,\dots,j-1,j} N_{i,i+1,\dots,j-1,j} \times \log(N_{i,i+1,\dots,j-1,j}/N_{i,i+1,\dots,j-1,j}) \quad (3)$$

де $(N_{i,i+1,\dots,j-1,j}/N_{i,i+1,\dots,j-1,j})$ є оцінкою по максимальній правдоподібності для проби, відносно невідомої імовірності переходу. Задача автора є визначення правильного порядку з набору конкуруючих порядків. Для цього необхідно визначити порівняльну істинність порядку m і порядку $i, m-1$. Хай $P_{i,i+1,\dots,j-1,j}$ представляють собою імовірності переходу ланцюга порядку m і S -дорівнює кількості станів (в даному випадку $S = 2$, день сухий, або дощовий), і потрібно визначити справедливість рівності $P_{i,i+1,\dots,j-1,j} = P_{i+1,j-1,j}$, при $i = 1, 2, \dots, S$. На наступному кроці необхідно отримати логарифми правдоподібності і їх відношення $\log \mu_{m-1,m}$. $2 \log \mu_{m-1,m}$ для

ергодичного ланцюга є асимптотичною χ^2 -кватратною варіацією з $\sqrt{2}S^{m+1}$ ступенями свободи. В даному випадку ∇ - позначає оператор диференціювання по верхньому індексу, тобто:

$$\begin{aligned} \nabla x^a &= x^a - x^{a-1}, \\ \nabla^2 x^a &= \nabla(\nabla x^a). \end{aligned} \quad (4)$$

Перепишемо $-2\log \lambda_{n,m-1} = m-1\eta_m$, звідки з врахуванням (3) одержимо:

$$\begin{aligned} m-1\eta_m &= 2 \sum_{i=1, i+1, \dots, j-1, j} N_{i,i+1, \dots, j-1, j} \times [\log(N_{i,i+1, \dots, j-1, j} / \\ & N_{i,i+1, \dots, j-1} - \log(N_{i+1, \dots, j-1, j} / N_{i+1, \dots, j-1})]. \end{aligned} \quad (5)$$

Вираз, що стоїть в правій частині, служить мірою або ступінню того, наскільки добре послідовність, яка вивчається підтверджує гіпотезу про порядок m , або порядок $m-1$ для ланцюга, де лічильник послідовних номерів станів, в послідовності яка спостерігається $i, i+1, \dots, j-1, j$ сумується до m . Для $k < m-1$ можна показати, що $m\eta_m = k\eta_{k+1} + \dots + m-1\eta_m$. Тоді, пр. умові що ланцюг має порядок k , виходить χ^2 -кватратний розподіл з U -ступенями свободи:

$$\nu = \sqrt{2}S^{m+1} - \sqrt{2}S^k + 1 \quad \text{при } k \geq 0 \quad (6)$$

На основі АІС-підходу використовуємо наступну функцію втрат:

$$R(k) = m\eta_m - 2(\sqrt{2}S^{m+1} - \sqrt{2}S^{k+1}) \quad (7),$$

де k - порядок моделі, що вивчається, m - найбільший порядок, що прийнято для вивчення.

Функція втрат складається з двох взаємодіючих членів, а саме - відношення логарифмів правдоподібності і кількості ступенів свободи. Таким чином, кращий порядок являється таким, що мінімізує суму цих двох членів. Це і буде мінімальна АІС оцінка (MAISE).

Формулу для визначення числа ступенів свободи слід перетворити до більш зручного для використання вигляду:

$$\begin{aligned} \nabla x^a &= x^a - x^{a-1}, \quad \nu = \sqrt{2}S^{m+1} - \sqrt{2}S^{k+1} \\ \sqrt{2}S^{m+1} &= S^{m+1} - S^m, \quad \sqrt{2}S^{m+1} = S^{m+1} - S^m \quad \text{тоді:} \end{aligned}$$

$$\nu = S^{m+1} - S^m - S^{k+1} + S^k \quad (8).$$

Використовуючи формулу (8) визначаємо кількість ступенів свободи для випадків коли $k=0, m=1, k=0$ і $m=2, k=0$ і $m=3, k=1$ і $m=2, k=1$ і $m=3, k=2$ і $m=3, k=3$ і $m=3$.

Використовуючи формулу (5) визначали статистику відношень

логарифмів правдоподібності. Для одержання всіх значень статистики достатньо вирахувати kNm для випадків коли $k=0$ і $m=1$, $k=1$ і $m=2$, $k=2$ і $m=3$, всі інші значення можна знайти використовуючи формулу $kNm = kNm+1 + \dots + m-1Nm$. Використовуючи формулу (7) визначали функцію втрат, яка ідентифікує адекватний порядок моделі випадання опадів.

Розподіл кількості опадів для дощових днів, які йдуть за дощовим днем, і дощових днів, які йдуть за сухим днем для кожного періоду було підібрано, використовуючи симплекс-метод Нельдера і Міда, шляхом мінімізації суми квадратів різниці між дійсними значеннями кумулятивних імовірностних кривих і підгончними. Кумулятивну функцію гамма-розподілу визначали як

$$F(x) = \int_{\epsilon}^x ((x-\epsilon)/b)^{c-1} [\exp(-(x-\epsilon)/b)] / (b \Gamma(c)) dx, \quad (9)$$

де b - параметр масштабу; c - параметр форми, ϵ - нижня межа розподілу, x - значення випадкової величини, може знаходитись в інтервалі $0 - \infty$;

$\Gamma(c)$ - гамма-функція від параметру c .

Для підгонки по методу найменших квадратів, нами запропонована наступна функція:

$$f(b, c, \epsilon) = \sum_{i=1}^N \left[\int_{\epsilon}^{d(1-1/2)} ((x-\epsilon)/b)^{c-1} [\exp(-(x-\epsilon)/b)] / (b \Gamma(c)) dx - F(d(1-1/2)) \right]^2, \quad (11)$$

де i - поточний інтервал;

N - кількість інтервалів; $d = (x_{\max} - x_{\min})/N$.

Використовуючи раніше розвинуті положення по моделюванню послідовностей сухих і дощових днів, в основу моделювання дефіциту вологості автором покладено періодичний марківський процес з періодом 8. Таке значення періоду зв'язано з тим, що на метеостанціях прийнято фіксувати значення дефіциту вологості повітря через кожні три години, вісім разів на добу.

Так як процес зміни величини дефіциту вологості носить поступовий характер, нами прийнято, що величина дефіциту вологості в момент часу t залежить лише від значення дефіциту вологості в час $t-1$ (три години тому) і не залежить від будь-якої іншої інформації про попередній розвиток процесу. При цьому також розуміється, що дефіцит вологості повітря окремо визначається для сухих і дощових днів.

Діапазон можливих значень дефіциту вологості повітря було

розбито на вісім рівних інтервалів 0-3, 3-6, 6-9, 9-12, 12-15, 15-18, 18-21, більше 21 гПа. Матрицю перехідних імовірностей для переходу 12-15 подано в таблиці 1 (метеостанція "Фастів").

Матриці перехідних імовірностей лягли в основу алгоритму моделювання дефіциту вологості повітря. Такі матриці розраховано окремо для сухих і дошових днів. Період зб'рання зернових розділили на шість підперіодів з 1 липня по 31 серпня. Перші чотири періоди по 10 днів, два останні - по 11 днів. Для кожного із періодів розраховуються 16 матриць перехідних імовірностей, 8 - для сухого і 8 - для дошового дня. Використовуючи метод Монте-Карло моделювали хід дефіциту вологості повітря. Отримані реалізації дефіциту вологості повітря використовували для одержання статистично незалежних прогонів загальної імітаційної моделі роботи комбайнового парку.

З метою перевірки методу моделювання дефіциту вологості повітря, опираючись на теорію марківських ланцюгів, використовуючи одержані матриці перехідних імовірностей, промоделивали випадковий вектор дефіциту вологості повітря для 12 реалізацій. За результатами моделювання побудували інтегральні функції розподілу імовірностей дефіциту вологості. Ці функції для кожного з переходів порівняли з такими ж функціями, одержаними за результатами обробки фактичних даних.

Таблиця 1.
Матриця перехідних імовірностей для переходу 12-15 годин

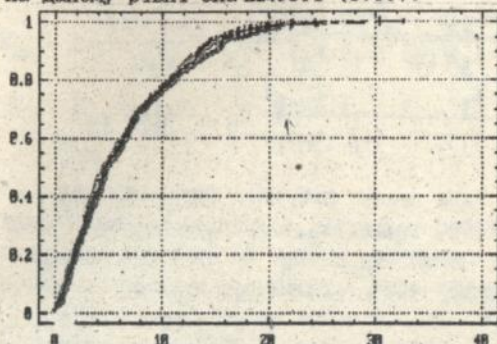
Дефіцит	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	> 21
0-3	0.288	0.264	0.298	0.115	0.019	0.010	0.005	0
3-6	0.015	0.068	0.220	0.376	0.283	0.034	0.005	0
6-9	0.009	0.009	0.027	0.109	0.355	0.318	0.155	0.018
9-12	0	0	0	0.038	0.154	0.346	0.308	0.154
12-15	0	0	0	0	0	0.667	0	0.333
15-18	0	0	0	0	0	0	0	0
18-21	0	0	0	0	0	0	0	0
> 21	0	0	0	0	0	0	0	0

Для перевірки гіпотези було застосовано критерій Колмогорова-Смирнова на рівні значимості 0.05.

Критичне значення критерію Дкр при кількості даних в виборці 522, для всіх переходів дорівнює 0.0619.

Даний тест також було застосовано для перевірки даних про дефіцит вологості, одержаних методом моделювання і історичних даних (метеостанція "Фастів") без розбивки на переходи, тобто для перевірки функціонування моделі в цілому (мал.1).

Вибірка становила 499 спостережень. Для такої кількості спостережень критичне значення критерію становить $D_{кр}=0.063308$, дійсне відхилення становить 0.060105 . Гіпотеза про належність виборок до однієї генеральної сукупності не може бути відкинута на даному рівні значимості (0.05).



Дефіцит вологості повітря, гПа.

Мал.1 Кумулятивна функція розподілу дефіциту вологості повітря (дійсні значення і одержані методом моделювання).

Для визначення техніко-експлуатаційних показників роботи комбайна розроблено модель його роботи в конкретних умовах збирання.

Для визначення миттєвої пропускної здатності в реальних умовах по відомій пропускній здатності для комбайнів класичної технологічної схеми використовували рівняння, запропоноване профессором В.Г.Антипіним:

$$g_0 = \frac{g_p(1 - \alpha_p)[(100 - W_c) + (100 - W_s)]}{(100 - W_c)\epsilon_c(1 + \epsilon_c) + \delta_k(100 - W_s)} \quad (12)$$

де: g_0 - можлива миттєва пропускна здатність в конкретних умовах, кг/с; g_p - паспортна (розрахункова) пропускна здатність, кг/с; α_p - розрахунковий вміст зерна в масі, яка підлягає осмолоту, 0.4; W_c - вологість незернової частини урожаю (НЧУ), %; W_s - вологість зерна, %; ϵ_c - засміченість хлібною маси в долях одиниці; δ_k - фактична соломистість культури, що підлягає осмолоту.

Вологість зерна і незернової частини урожаю визначається динамічним ходом дефіциту вологості повітря.

Вектори дефіциту вологості повітря, одержані за допомогою моделювання, а також історичні дані були апроксимовані за допомогою інтерполяційного полінома Лагранжа в 10 точках: 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 0 годин. Така апроксимація потрібна для визначення величини дефіциту в проміжних точках, а також

для визначення тривалості роботи комбайнів на протязі дня.

Для апроксимації використовували формулу:

$$D(t) = \frac{(t - t_1)(t - t_2) \dots (t - t_n)}{(t - t_0)(t - t_1) \dots (t - t_n)} D_0 +$$

$$+ \frac{(t - t_0)(t - t_2) \dots (t - t_n)}{(t_1 - t_0)(t_1 - t_2) \dots (t_1 - t_n)} D_1 + \dots$$

$$\dots + \frac{(t - t_0)(t - t_1) \dots (t - t_{n-1})}{(t_n - t_0)(t_n - t_1) \dots (t_n - t_{n-1})} D_n, \quad (13)$$

де t - час доби, для якого потрібно визначити поточне значення дефіциту вологості, годин; t_0, \dots, t_n - вузлові точки поліному Лагранжа, час доби; D_0, \dots, D_n - значення дефіциту вологості в вузлових точках, гПа; n - кількість вузлових точок, $n = 10$.

Визначення середнього дефіциту вологості повітря потрібно проводити з врахуванням обмеження на мінімальне значення дефіциту вологості, коли можлива робота зернозбирального комбайна - > 3 гПа. Теоретично може виникнути ситуація, коли на протязі дня дефіцит вологості може декілька раз знизуватись нижче 3 гПа., в той час як критерій по випаданню опадів (не більше 1.4мм на протязі попередніх 24 годин) ще не спрацює. В такому випадку може бути декілька робочих відрізків на протязі робочого дня, і тривалість робочого дня буде визначатися сумою цих відрізків, а середній дефіцит вологості повітря визначиться як:

$$T = \sum_{i=1}^N t_i, \quad B = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\int_{t_i}^{t_{i+1}} D(t) dt}{(t_{i+1} - t_i)} \right), \quad [14]$$

де B - середній дефіцит вологості повітря на протязі робочого дня, гПа; i - номер період на протязі дня, коли можлива робота комбайна; N - кількість періодів на протязі дня, коли дефіцит вологості повітря вищий 3гПа.

Нами прийнято, що в період проведення збирання комбайнами використовувється весь час, коли можлива їх робота в залежності від випадання опадів і значення дефіциту вологості повітря. Можлива тривалість роботи комбайна визначається по формулі (14). Якщо на протязі дня відбувається переїзд комбайна з одного поля

на інше, тоді тривалість роботи комбайна розбивається на два періоди і з останнього віднімається час на переїзд комбайна, а також на інші підготовчі роботи.

Використовуючи відомі залежності визначимо обернену величину до коефіцієнта використання змінного масу $K_{зм}$ як

$$1/K_{зм} = \left[\frac{0.36 l b_p + t_e W_0}{0.36 l b_p} + \frac{60 M_0 + t_{в0} Y_3 W_0}{60 M_0} + \frac{60 M_{п} + t_{вп} Y_{НЧУ} W_0}{60 M} \right] + \frac{T_0 + T_3}{T_0} + \frac{T_0 + T_5}{T_0} + \frac{T_0 + T_{6.2}}{T_0} - 4 \quad (15),$$

де l - довжина гонів, м; b_p - робоча ширина захвату, м; W_0 - продуктивність за годину основного часу, га/год; t_e - середній час повороту, с; M_0 - маса зерна в бункері, т; $t_{в0}$ - середній час вивантаження бункера, хв; Y_3 - урожайність зерна, ц/га; $M_{п}$ - маса НЧУ в причепі, т; $t_{вп}$ - час вивантаження причепа, хв; $Y_{НЧУ}$ - урожайність НЧУ, ц/га.

Позначивши вираз в квадратних дужках через R і виконавши необхідні перетворення з врахуванням (12), одержимо виробіток зернозбирального комбайна в га

$$V_{зм} = W_0 T_0 = \frac{3.6 \epsilon_p (1 - \alpha_p) [(100 - W_c) + (100 - W_a)]}{[(100 - W_c) \epsilon_c (1 + \epsilon_c) + \delta_k (100 - W_a)] Y_3 (1 + \delta_k)} \times \frac{T_{зм} - T_5 - T_{6.2}}{R - \eta \dots T_{п} - 2} \quad (16)$$

Значення коефіцієнтів надійності технологічного процесу одержано на основі результатів перевірки роботи комбайнів в господарських умовах та випробувань на МВС.

Моделювання біологічних втрат зерна, а також втрат за жаткою і комбайном проведено на основі робіт вчених СНГ Пугачева А.Н., Кіртбая Ю.К., Процєрова А.В., Лубніна М.Г., Вєцєхівського В.В., а також роботи голандського вченого Д.Х.Ван-Кампена.

Для розподілу зернозбиральних агрегатів по полях, що підлягають збиранню автором розроблено модель лінійного програмування.

Цільова функція лінійної моделі виражає прибуток, який буде одержано при збиранні в даний день, з відрахування ціни втраченого зерна і прямих експлуатаційних затрат:

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [T W_{ij} X_{ij} Y_i C_i - W_{ij} P_{ij} T X_{ij}] - \sum_{i=1}^N P_i \left[S_i - \frac{\sum_{j=1}^M (W_{ij} X_{ij})}{2} \right] \rightarrow \text{MAX.} \quad (17)$$

Обмеження лінійної моделі:

$$\sum_{j=1}^M T X_{ij} W_{ij} \leq S_i \quad (\text{обмеження по площі полів}),$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} \leq K_j \quad (\text{обмеження по кількості комбайнів } j\text{-ї марки}),$$

$$\sum_{i=1}^N X_{ijk} \leq K_{jk} \quad (\text{обмеження по кількості комбайнів } k\text{-ї комплектації - копувач, под-рібнувач})$$

де T - тривалість можливої (за погодними умовами) роботи комбайнів в даний день, годин; W_{ij} - продуктивність комбайна j -ї марки на i -му полі, га/год; S_i - поточна площа i -го поля на початку дня, га; Y_i - поточна урожайність на i -му полі, ц/га; C_i - ціна зерна на i -му полі, крб/ц, \$/ц; P_i - поточні втрати зерна на i -му полі, ц; P_{ij} - експлуатаційні затрати комбайна j -ї марки на i -му полі без врахування реновації, крб/га, \$/га; X_{ij} - кількість комбайнів j -ї марки на i -му полі, шт; N - кількість полів; M - кількість марок комбайнів; K_j - загальна кількість комбайнів j -ї марки; K_{jk} - загальна кількість комбайнів j -ї марки k -ї комплектації.

У третьому розділі наведено програмні питання, методики і результати експериментальних досліджень в господарських умовах та експериментальних прогонів імітаційної моделі.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося:

- перевірити адекватність моделі роботи зернозбирального комбайна по продуктивності і витраті палива для комбайнів різної пропускнуої здатності;

- перевірити адекватність моделі лінійної програмування розподілу збиральних агрегатів по полях, що підлягають збиранню в даний день;

- перевірити адекватність функціонування агрегованої моделі збирання;

- провести імітаційні експерименти на основі даних реального господарства.

Експериментальні дослідження по перевірці моделі

функціонування зернозбирального комбайна і моделі розподілу зернозбиральних агрегатів перевіряли в ряді господарств поліської і лісостепової зоні України на протязі 1986-1990 років.

Так як натурні експерименти із зернозбиральним комбайном практично неможливо повторити в одних і тих же умовах, кожний такий експеримент можна розглядати тільки як окрему точку. Тому при перевірці адекватності моделі функціонування зернозбирального комбайна було вирішено застосувати непараметричний U-критерій (критерій Уілкінсона або Манна-Уітні) Даний критерій призначено для перевірки гіпотези H_0 про те, що функції розподілів F і G двох генеральних сукупностей однакові $H_0: F = G$.

Проведена перевірка з застосуванням статистики Уілкінсона або Манна-Уітні для даних, одержаних в результаті проведених експериментальних досліджень в господарських умовах для комбайнів з пропускнуою здатністю 5 і 7 т/с показала, що модель функціонування комбайна задовільно прогнозує показники продуктивності і витрати палива з прийнятою імовірністю 0.95.

В господарських умовах проведено перевірку ЛП-моделі розподілу зернозбиральних агрегатів. Як показує аналіз результатів перевірки, рішення по розподілу комбайнових агрегатів по полях, які підлягають збиранню, при використанні ЛП-моделі за вибраним критерієм - максимум прибутку кращі, ніж рішення, які приймали спеціалісти господарства. Розроблена модель лінійного програмування може служити як поради́к при прийнятті оперативних рішень, а сама ЛП-модель може бути використана в складі загальної моделі імітаційного моделювання для розподілу агрегатів по полях, що підлягають збиранню.

Математична модель Х.Веня-Д.Ханта використана для перевірки результатів імітаційного моделювання збирання. В згаданій моделі зазначено, що при визначенні оптимального парку зернозбиральних комбайнів при допомозі даної моделі необхідно до одержаної кількості комбайнів додати ще один зернозбиральний комбайн, щоб вихувати динамічний хід погодних умов. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що загальний рівень потужності парку зернозбиральних комбайнів, одержаний за допомогою імітаційного моделювання, завжди буде вищий за рівень потужності, визначений за допомогою моделі Х.Веня-Д.Ханта.

Використовуючи імітаційну модель функціонування

зернозбирального комбана проведено повнофакторний експеримент для комбайнів різної пропускної здатності на трьох рівнях зміни основних агрокологічних факторів і одержано регресійні залежності для енергії, завантаження двигула і швидкості руху, які є вхідними даними для моделі Х.Веня-Д.Ханта.

Енергія (E), кВт год :

$$E = 100.3748 - 0.4366 X_1 - 25.5981 X_2 - 1.3366 X_3 + 0.0054 X_1^2 + 1.4902 X_1 X_2 + 0.01392 X_1 X_4 + 0.02244 X_1 X_5 + 0.9046 X_2 X_5, (18)$$

де X_1 - урожайність, ц/га;

X_2 - соломистість; X_3 - засміченість; X_4 - вологість зерна, %;

X_5 - вологість НЧУ, %.

Швидкість руху комбайна (S), км/год:

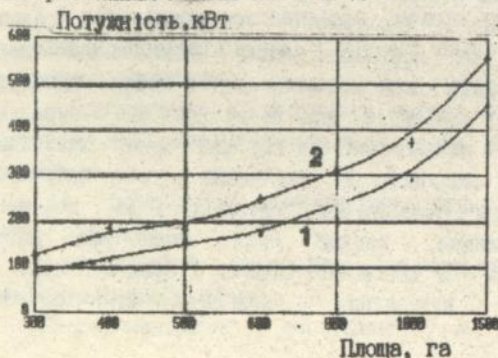
$$S = 6.2424 - 0.0088 X_1 - 1.1971 X_2 - 0.0152 X_1 X_2 - 0.0067 X_1 X_3 - 0.0002 X_1 X_5 + 0.3974 X_2^2. (19)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна комбайна (LF):

$$LF = 0.2828 + 0.0167 X_1 + 0.0994 X_2 + 0.1304 X_3 - 0.000083 X_1^2 - 0.0024 X_1 X_2 - 0.0026 X_1 X_3 - 0.000019 X_1 X_5 - 0.7905 X_2 X_3 (20)$$

Рівняння (18-20) мають значущі коефіцієнти множинної детермінації з імовірністю 0.95

Використовуючи модель Х.Веня-Д.Ханта нами проведено імітаційні експерименти для трьох зон України - Степу (метеостанція "Нова Каховка"), Лісостепу ("Полтава"), Полісся ("Коростень"). В результаті проведених експериментів визначено оптимальний парк комбайнів для господарств трьох зон, для різної площі посіву райних зернових культур. Проведено порівняння рівня сумарної потужності парку, одержаного в результаті імітації і з використанням моделі Х.Веня-Д.Ханта (мал.2).



Мал.2 Сумарна потужність парку в залежності від площі (га) під ранніми зерновими культурами, кВт: 1-модель Х.Веня-Д.Ханта; 2-імітаційна модель (HARVEST).

Використовуючи систему імітаційного моделювання визначено оптимальний парк зернозбиральних комбайнів конкретного господарства - колгоспу "Прогресс", Дніпівської облат., Васильківського району (дані 1988 року), з комбайнів перспективних типорозмірів пропускною здатністю 6кг/с і 9кг/с. Дане порівняння показує, що рівень потужності оптимального парку, одержаного в результаті проведення імітаційних експериментів завжди вищий, як і передбачається в роботі Х.Веня-Д.Ханта.

У четвертому розділі " Підсумкові результати досліджень і їх економічна ефективність" представлено розроблене на основі результатів теоретичних досліджень, наведених в першому і другому розділах, а також експериментальних досліджень, наведених в третьому розділі, інформаційно-програмне забезпечення для імітаційного моделювання функціонування парку зернозбиральних комбайнів, яке об'єднано в дві інформаційні системи WEATHER-1.0 і HARVEST-1.0, та результати обґрунтування парку зернозбиральних комбайнів для різних типорозмірів господарств степової, лісостепової і поліської зон України.

Для використання системи необхідно ведення г'яти баз даних - по сортах культур, полях, погодних умовах, комбайнах, тракторах, що використовуються при проведенні збирання, тарифах оплати праці, цінах на паливе та мастильні матеріали і т.і.

Програмне забезпечення, розроблене з використанням мов програмування TURBO-PASCAL і TURBO-BASIC, і забезпечує дружній інтерфейс з користувачем. Система працює на персональному комп'ютері типу IBM під управлінням MS-DOS.

Розроблені системи моделювання роботи зернозбирального комплексу господарства можуть бути використані для двох основних цілей - оптимізації парку зернозбиральних комбайнів і оперативного управління парком під час жнив. В зв'язку з цим економічний ефект від використання системи складається з прибутку одержаного за рахунок раціоналізації складу парку і прибутку за рахунок раціоналізації управління парком під час проведення збирання. Так як якість управління парком важко оцінити формалізованими методами, ми обмежилися тільки визначенням прибутку від раціоналізації складу парку.

В табл. 2 представлено результати розрахунків для зони Степу. Раціональний склад парку зернозбиральних комбайнів дозволяє зменшити сумарні затрати на експлуатацію, утримання і втрати зерна на 13-27 % від існуючого в господарствах парку зернозбиральних комбайнів, або на 35-65 тис. \$ щорічно.

Таблиця 2.

Оптимальний парк зернозбиральних комбайнів (Степ)

Площа, га	т е х н о л о г	Вартість комбайна в процентах від ринкової вартості											
		25 %				50 %				75 %		100 %	
		Проп. кг/с		Прибу- ток, \$		Проп. кг/с		Прибу- ток, \$		Проп. кг/с		Прибу- ток, \$	
		6	9	6	9	6	9	6	9	6	9		
50-60	п к	1	0	14.2	1	0	8.9	1	0	3.7	1	0	-1.6
		1	0	15.6	1	0	10.6	1	0	5.6	1	0	0.5
61-70	п к	1	0	17.2	1	0	11.8	1	0	6.3	1	0	0.8
		1	0	18.9	1	0	13.8	1	0	8.5	1	0	3.4
71-80	п к	1	0	20.2	1	0	14.5	1	0	8.9	1	0	3.2
		1	0	22.2	1	0	16.8	1	0	11.5	1	0	6.1
81-90	п к	1	0	23.3	1	0	17.4	1	0	11.5	1	0	5.6
		1	0	24.4	1	0	19.9	1	0	14.4	1	0	8.9
91-100	п к	1	0	26.2	1	0	20.2	1	0	14.1	1	0	8.0
		1	0	28.7	1	0	23.0	1	0	17.3	1	0	11.6
101-150	п к	1	0	41.1	1	0	34.4	1	0	26.9	1	0	19.8
		1	0	44.8	1	0	38.3	1	0	31.8	1	0	25.3
151-200	п к	1	0	56.4	1	0	46.4	1	0	38.3	1	0	30.1
		1	0	59.7	1	0	52.3	1	0	44.9	1	0	37.5
201-250	п к	0	1	68.7	1	0	58.9	1	0	49.7	1	0	40.6
		1	0	74.9	1	0	66.7	1	0	58.4	1	0	50.2
251-300	п к	0	1	82.8	0	1	70.6	1	0	60.3	1	0	50.1
		0	1	90.1	1	0	80.6	1	0	71.5	1	0	62.5
301-400	п к	2	0	111.0	2	0	94.8	0	1	80.0	0	1	65.6
		2	0	121.2	2	0	106.3	0	1	94.2	0	1	81.2
401-500	п к	0	2	139.5	2	0	120.2	2	0	101.9	2	0	83.5
		0	2	152.1	2	0	135.6	2	0	119.1	0	1	103.3
501-600	п к	0	2	168.2	1	1	143.9	2	0	123.3	2	0	103.0
		0	2	182.3	2	0	163.6	2	0	145.5	2	0	127.4
601-800	п к	1	2	223.8	3	0	193.9	3	0	165.4	3	0	136.8
		2	1	243.2	3	0	217.4	1	1	193.1	1	1	169.7
801-1000	п к	2	2	279.4	2	1	241.4	2	1	207.1	3	0	174.1
		2	2	303.5	2	1	272.1	3	0	243.0	3	0	214.3
1001-1500	п к	3	2	418.3	3	2	363.7	2	2	309.0	3	1	259.7
		3	2	455.7	2	2	408.0	3	1	363.0	3	1	319.0

Технологія з подріонувачем - п., з колісним - к.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Досліджено вплив умов функціонування зернозбиральних комбайнів на їх техніко-експлуатаційні показники. Встановлено, що на денний виробіток зернозбиральних комбайнів найбільш суттєво впливають - агроекологічні характеристики біологічної маси урожаю, погодні умови, рельєф поля і довжина гонів, організація роботи.

2. Досліджено ймовірнісні характеристики погодних умов в період збирання урожаю в різних природно-кліматичних зонах України, розроблено методику їх моделювання і одержано математичні моделі погодних умов для різних природно-кліматичних зон України.

Встановлено, що найбільш адекватно погодні умови можуть бути описані марківськими ланцюгами 1, 2 або 3 порядку з використанням інформаційного неінтерактивного критерію, який дозволяє автоматизувати процес вибору найбільш адекватної моделі для погодних умов даної географічної точки.

Для кожної області України визначено середні значення тривалості роботи зернозбиральних комбайнів на протязі доби, з урахуванням ймовірнісного характеру погодних умов.

3. Розроблено аналітичну залежність (16) для визначення денного виробітку зернозбиральних комбайнів з урахуванням ймовірнісного характеру умов їх функціонування - вологості зерна та НЧУ, урожайності, соломистості, засміченості, довжини гонів, приведеної пропускної здатності.

4. Встановлено, що на величину загальних витрат при збиранні зернових, з урахуванням цінності урожаю, суттєво впливає організація використання парку зернозбиральних комбайнів. Для оперативного управління роботами парку зернозбиральних комбайнів с.-г. підприємства розроблено модель лінійного програмування (17), яка також використовується в імітаційній моделі і дозволяє автоматизувати процес прийняття рішення по оперативному управлінню роботами парку зернозбиральних комбайнів с.-г. підприємства.

5. Розроблено методику обґрунтування парку зернозбиральних комбайнів с.-г. підприємства. Особливістю створеної методики є поєднання імітаційної (адекватність моделі реальному процесові збирання) та детермінованої математичних моделей (точний математичний метод оптимізації), що дозволяє практично вирішувати задачу оптимізації парку на ПЕОМ за рахунок

скорочення в 30-50 разів кількості необхідних імітаційних прогонів при оптимізації парку зернозбиральних комбайнів для господарств з площею посіву ранніх зернових 50-1500га.

6. З використанням імітаційної моделі функціонування зернозбирального комбайна одержано емпіричні залежності між енергією (18), яка затрачається на процес збирання, швидкістю руху комбайна (19), коефіцієнтом завантаження двигуна (20) та характеристиками біологічної маси урожаю с.-г. культури - урожайністю, соломи тівстю, засміченістю, вологістю зерна і НЧУ.

Експериментальними дослідженнями моделі функціонування зернозбирального комбайну в виробі їх умовах встановлена її адекватність на рівні значимості 0.05.

7. Експериментальними дослідженнями встановлено, що розроблена модель лінійного програмування для вирішення задачі розподілу комбайнів по полях, готових до збирання, може бути використана як в складі загальної імітаційної моделі без втрати її адекватності, так і самостійно для оперативного управління парком зернозбиральних комбайнів с.г. підприємства.

8. Обґрунтовано раціональний склад парку зернозбиральних комбайнів для с.-г. підприємств з площею посіву ранніх зернових культур від 50 до 1500 га в основних природно-кліматичних зонах України на основі комбайнів з пропускною здатністю 6 кг/с і 9 кг/с.

9. Економічний ефект від впровадження результатів досліджень на одне господарств з площею посіву ранніх зернових культур 700-1500 га складає 23-85 тис. дол. США в цінах американського ринку на зерно та с.-г. техніку і досягається за рахунок раціоналізації складу парку зернозбиральних комбайнів і ефективного їх використання.

Основні положення дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Методические указания по разработке зональной системы машин для комплексной механизации растениеводства на 1991...95 гг. // Госагропром СССР, ВИМ. М., 1988, с.40.

2. Гриньник О.М. Скільки потрібно комбайнів? // АПК Наука Техніка Практика. -1990, -№11, с.14-15

3. Грицишин М.І., Босий М.А., А.Н.Гриньник. Чого потребує ДОН? // Механізація сільського господарства. -1988. -№7. - с.10.

4. Босий Н.А., Грицишин М.І., Гриньник А.Н. Обоснование структуры парка зерноуборочных комбайнов для условий УССР. // Пути развития механизации производства зерна в Украинской ССР: Тез.

докл. Респуб. научно-практ. конф. УНИИМЭСХ. -Глеваха.-1988.-С.91.

5. Грибиник А.Н. Имитационное моделирование уборки зерновых культур с учетом их сортового состава. // Пути развития механизации производства зерна в Украинской ССР:Тез. докл. научно-практ. конферен. -Глеваха.-1988. -С.100.

6. Грибиник А.Н. Обоснование парка зерноуборочных комбайнов хозяйства. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1991. -№4. -С.15-16.

7. Грицишин М.І., Грибиник О.М. Біоенергетична оцінка виробництва продукції рослинництва. // Інженерні проблеми сільськогосподарського виробництва України: Тези доповіді науково-практ. конферен. -Глеваха.-1994. - С.41.

8. Масло І.П., Грицишин М.І., Грибиник О.М., Шидирявий О.М. Енергетична оцінка сільськогосподарського виробництва. // Техніка АПК. -1994. -№6. -С.12-13.

Greebeenuk A.N. A Investigation of the Function Conditions and an Optimizat: in Method Development for Grain Combine Fleet. Typescript.

The thesis for a candidate of technical science degree on specialized fields 05.20.01 - Argriculture Mechanization and 05.20.03 -Agriculture Machinery Exploitation, Repair and Restoration. The Institute for Mechanization & Electrification of Agriculture, Glevakha, 1994.

A defence of eigh' science works on investigation of the function conditions and an optimization method development for farm grain combine fleet. With using this computer system are designed the optimal fleets for the model and existing farms. The results are used for substantiation of combine fleet of Ukraine.

Грибиник А.Н. Исследование условий функционирования и разработка метода оптимизации парка зерноуборочных комбайнов сельскохозяйственного предприятия. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидат технических наук по специальностям 05.20.01 - механизация сельскохозяйственного производства и 05.20.03 - эксплуатация, ремонт, и восстановление с.-х. техники, институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Глеваха, 1994.

Защищается 8 научных работ, которые содержат исследования условий функционирования и разработку метода оптимизации парка зерноуборочных комбайнов с.-х. предприятия. На основании проведенных исследований разработана компьютерная система для обоснования оптимального состава парка. Обоснован оптимальный парк для модельных и существующих хозяйств. Результаты исследований использованы при обосновании комбайнового парка Украины.

Ключові слова:

сільськогосподарське підприємство, парк зернозбиральних комбайнів, оптимальність, імітаційне моделювання.

Ms. 20.250

450290

