

НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

ЛОВОДКО МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОВІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ
САМОХІДНИХ КУКУРУДЗО- ТА БУРЯКОЗЕМІРАЛЬНИХ МАШИН

Спеціальність 05.20.01

"Механізація сільськогосподарського виробництва"

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук



Київ - 1996



Дисертація є рукопис

Робота виконана в Інституті механізації та електрифікації сільського господарства Української академії аграрних наук.

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор БОРОШОК Л.А.

Офіційні опоненти: академік УААН, доктор технічних наук,
професор МАРТИНЕНКО І.І.

кандидат технічних наук, старший
науковий співробітник ЄСЕРЧУК М.І.

Провідна установа - Український державний центр по випробуванню та прогнозуванню техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва (УкрЦВТ).

Захист дисертації відбудеться "16" травня 1996 р.
_____ год. на засіданні спеціалізованої ради Д 01.05.04 в Національному аграрному університеті за адресою: м.Київ, вул.Героїв Оборони, 12, учбовий корпус 7, ауд.27. Просимо взяти участь в обговоренні дисертації під час її захисту або вислати відгук на автореферат в 2-х примірниках, завірених печаткою, на адресу: 252041, м.Київ, вул. Героїв Оборони, 15, сектор захисту дисертацій.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного аграрного університету.

Автореферат розісланий "___" _____

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук, доцент

1996 р.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

В.Д. ГРЕЧКОСІЙ

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми досліджень. Особливе місце в економіці України займає виробництво сільськогосподарської продукції. В рослинництві найбільша увага приділяється вирощуванню кукурудзи та цукрових буряків. Площа посівів кукурудзи на зерно складає 10 %, а на силос 37 % від загальної площі посівів зернових та кормових культур. Цукрові буряки вирощуються на площі 1568 тис.га, тобто на 43 % площі посівів усіх технічних культур.

Велике значення в подальшому нарощуванні виробництва кукурудзи та цукрових буряків є впровадження високопродуктивних машин для їх збирання.

Самохідні машини для збирання цукрових буряків та кукурудзи є енергонасиченими, які виконують складні технологічні операції. Але при їх використанні не було досягнуто розрахункових значень продуктивності та якості виконання технологічних операцій. Так, математичне очікування пропускнуої здатності цих машин не перевищує 0,6...0,7 від розрахункових, а втрати врожаю більше допустимих за агротехнічними вимогами у 2...3 рази.

Підвишити продуктивність, зменшити витрати коштів та пально-го на одиницю зібраної продукції можна за допомогою використання систем управління та оптимізації режимів роботи при виконанні основних технологічних операцій.

Дослідження виконані в ІМЕСГ УААН. Вони входили в тематичний план інституту згідно з завданням 05.14 Єдиної цільової комплексної науково-технічної програми 0.Ц.047, завданням 04.04 і постановою ДДНТ від 2.08.88 р. № 272, спільним наказом Держагропрому СРСР та Мінсільгоспшашу СРСР від 31.08.87 р. № 675/39 про прискорення робіт по впровадженню в сільськогосподарське виробництво засобів автоматизації.

Об'єкт дослідження. Технологічні процеси самохідних кукурудзо-

збирального комбайна КСКУ-6 та коренезбиральних машин РКМ-6, КС-6В, а також технічні засоби по їх оптимізації.

Мета роботи. Підвищення продуктивності самохідних кукурудзо-збирального комбайна та коренезбиральної машини, зниження витрат коштів та пального на одиницю зібраної продукції.

Для досягнення поставленої мети основна увага приділялась розв'язанню таких задач:

1. Теоретично та експериментально дослідити самохідні кукурудзозбиральний комбайн та коренезбиральну машину, як об'єкти управління завантаженням, режими їх роботи, а також умови експлуатації.

2. Визначити реєстраційні параметри технологічного процесу, за якими слід виконувати управління завантаженням двигуна та робочих органів.

3. Розробити принципівні схеми, алгоритм функціонування та макетний зразок пристрою для управління завантаженням.

4. Розробити програму та методику проведення довгострокових лабораторно-польових та експлуатаційних випробувань.

5. Провести лабораторно-польові та експлуатаційні випробування розробленого пристрою та оцінити його економічну ефективність.

Методи досліджень та апаратура. При розв'язанні поставлених задач використовувались методи математичного моделювання та графо-аналітичний метод обчислення максимально можливої продуктивності комбайна. Результати аналітичних досліджень перевірялись і уточнювались в лабораторних та лабораторно-польових умовах.

Експериментальні дослідження в лабораторних умовах проводились на установках, оснащених необхідними приладами. При польових дослідженнях використовувався спеціально для цього розроблений та виготовлений вимірвальний комплекс, який дозволяв вести безперервну реєстрацію на протязі великого проміжку часу рядів розподілу вхід-

них та вихідних параметрів пристрою, що досліджувався, з урахуванням їх випадкового характеру у вірогідно-статистичному відношенні. Результати експериментальних досліджень оброблялись з використанням обчислювальної техніки та методів математичної статистики.

Теоретичні результати та новизна. Розроблено принципи теоретичного аналізу оцінки ефективності використання пристроїв оптимізації завантаження з урахуванням вірогідного характеру збурень. За їх результатами складено рівняння динаміки самохідного комбайна як об'єкту управління завантаженням. Розроблена методика проведення довгострокових експлуатаційних випробувань. Сформульовані вимоги до пристрою управління завантаженням та розроблені принципи оптимізації завантаження самохідних збиральних машин.

Практичні результати та новизна. Розроблено дослідні зразки пристроїв для управління завантаженням самохідних кукурудозбирального комбайна та коренезбиральної машини та апаратуру для проведення довгострокових польових випробувань самохідних збиральних машин.

Новизна технічних рішень підтверджена авторськими свідоцтвами СРСР на винаходи № 826577, № 1193710, № 1384254.

На захист виносяться: принципи оптимізації завантаження самохідних збиральних машин; склад, параметри та конструкції пристроїв для управління завантаженням, які можуть використовуватись на самохідних збиральних машинах різного типу; методика та прилади для проведення польових випробувань, одержані особисто здобувачем.

Апробація роботи. Основні положення роботи були повідомлені і обговорені на вчених радах ІМЕСГ / 1977, 1986-1990 роки / та науково-технічних конференціях: "Основні напрями розвитку техніки для вирощування цукрових буряків та кукурудзи по індустріальних технологіях в світлі Продовольчої програми СРСР" /Харків, УкрНДІСГСМ, 1986 р./ і "Енергозберігаючі технології та технічні засоби для на-

рошування виробництва сільськогосподарської продукції" (Глеваха, ІМЕСГ, 1993 р.) Матеріали дисертації опубліковано в двох статтях і викладено в трьох авторських свідоцтвах на винаходи.

Методика і апаратура, які використовувались при проведенні лабораторно-польових досліджень, на конкурсі в ІМЕСГ "За крашу розробку, яка сприяє прискоренню і здешевленню наукових досліджень", зайняли перше місце (наказ № 35 - заг. від 1.03.1990 р.).

Предмет і ступінь впровадження. За результатами досліджень розроблені Вихідні вимоги на створення систем контролю та управління режимами роботи самохідних кукурудозозбирального комбайна КСКУ-6 та коренезбиральної машини РКМ-6, які були затверджені Держагропромом СРСР за № Р-32/8 та № Р-53/27. На основі Вихідних вимог Болгаро-Радянським МВО "Агроавтоматика" за участю ІМЕСГ були виготовлені дослідні зразки систем САКАР-КСКУ та САКАР-РКМ, які пройшли приймальні та широкі експлуатаційні випробування на кукурудозозбиральному комбайні КСКУ-6 та коренезбиральній машині РКМ-6 в господарствах Херсонської, Харківської та Київської областей за участю Південно-Української МВС та УкрЦВТ.

За результатами експлуатаційних випробувань з урахуванням необхідності подальшого удосконалення та уніфікації пристроїв були розроблені Вихідні вимоги на систему автоматичного контролю та управління режимами роботи кукурудзо- та бурякозбиральних машин. (Затверджені Мінсільгосппродом України 23.04.1993 р.).

Вихідні вимоги передані НВО "Славутич" Мінмашпрому України для проведення робіт по створенню таких систем.

Ефективність впровадження. Застосування пристрою оптимізації режимів роботи на кукурудозозбиральному комбайні КСКУ-6 та коренезбиральній машині РКМ-6 забезпечує збільшення їх продуктивності при збиранні кукурудзи на зерно на 17,6 %, на силос - на 10,7 %, цукрових буряків - на 19 %, зменшення питомих витрат паль-

ного при збиранні кукурудзи на зерно на 5,3 %, на силос - на 12,2 %, цукрових буряків - на 12,9 %.

Річний економічний ефект від впровадження пристрою оптимізації завантаження на кукурудзозбиральному комбайні КСКУ-6 складає до 720 крб., на коренезбиральній машині РКМ-6 - до 504 крб. у цінах 1990 року.

Галузь застосування. Результати досліджень можуть бути використані в сільськогосподарському виробництві та сільськогосподарському машинобудуванні при вдосконаленні існуючих та створенні нових енергонасичених збиральних машин.

Розроблений вимірально-реєструючий комплекс можна використовувати на машиновипробувальних станціях та у науково-дослідних установах при випробуванні та дослідженні сільськогосподарської техніки.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, основних висновків, списку використаної літератури, який вилячає 118 найменувань, з т.ч. 6 іноземною мовою, та додатків. Загальний обсяг дисертації 231 сторінка, з них 105 сторінок машинописного тексту, 18 таблиць, 66 рисунків, 11 додатків.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі "Стан питання і задачі досліджень" розглянуті роботи по оптимізації режимів функціонування сільськогосподарських машин. Ці питання знайшли відображення в працях ряду українських вчених - Боровика Л.А., Гром-Мазнічевського Л.І., Мартиненка І.І., Настенка М.М., Носова Г.Р., Сакала Л.Г..

Приведено аналіз технологічних процесів та відомих з літературних джерел результатів досліджень умов роботи самохідних кукурудзозбиральних комбайнів і коренезбиральних машин. Встановлено, що вони працюють в умовах нестабільного навантаження, обумовленого значними коливаннями агрофону. Це видно з приведеної

таблиці І.

Таблиця І

Межі значень параметрів урожайності по робочих змінах
(кукурудза гібрид ЗПСК-46А, радгосп "Інгулецький" Херсонської обл.)

Параметри	Математичне очікування	Середньоквадратичне відхилення
І	2	3
Загальна врожайність, ц/га	151,8...231,0	29,7...45,0
Відношення маси початків до листостеблової маси	0,95...1,20	0,14...0,18
Вологість, %:		
зерна	24,2...39,7	2,8...4,7
листочкової маси	27,1...75,4	3,2...9,0

Вивчення умов роботи самохідних збиральних машин, а також вплив на їх навантаження врожайності продукту, що збирають, дозволило визначити робочі органи, які найбільш вразливі при виконанні технологічного процесу. Для самохідного кукурудзозбирального комбайна це - прокатуючі вальці жатки, подрібнювач та качаноочишувач, для самохідної коренезбиральної машини - копачі та шнековий очишувач.

Досягнення максимально можливої продуктивності, при збереженні якості виконання технологічного процесу, може бути забезпечено підтриманням оптимального завантаження робочих органів і двигуна. Результати лабораторно-польових досліджень свідчать, що при постійній швидкості руху комбайна не забезпечується його робота в оптимальному режимі. Математичне очікування експлуатаційної потужності двигуна не перевищує 66 % і в той же час, вірогідність перевантаження складає до 20 %.

Проведено аналіз, класифікацію та вибір оптимальних варіантів

існуючих принципових схем та конструкцій пристроїв, які використовуються в системах контролю та управління режимами роботи сільськогосподарської техніки.

В заключній частині розділу сформульовані мета та задачі досліджень по темі дисертації.

У другому розділі "Обґрунтування принципових схем і конструкцій управляючих пристроїв" відмічається, що завданням оптимізації роботи самохідних збиральних машин є досягнення максимальних техніко-економічних показників їх використання. Ці показники визначаються продуктивністю машин, повнотою збору врожаю, енерговитратами, витратами на обслуговування. Продуктивність машин обмежується пропускною здатністю робочих органів та потужністю енергетичної установки.

Аналіз даних (ВО "Херсонський комбайновий завод"), які отримані при дослідженнях самохідного кукурудоззбирального комбайна КСКУ-6, дозволяє визначити максимальне допустиме завантаження двигуна, вище якого, через зниження його швидкісного режиму і зв'язаних з ним робочих органів, з'являється небезпека технологічної відмови. Встановлено, що для технологічного процесу, який розглядається, максимально допустиме зниження швидкісного режиму двигуна складає 7-10 % його номінального значення.

Момент опору, який виникає на валу двигуна в робочому режимі, можна визначити з рівняння:

$$M = \sum_{i=1}^n (M_{oi} + g_i \frac{BV}{100} Y_i) + K_v V + M_{co} \quad (I)$$

де M_{oi} - момент опору холостого ходу робочих органів, Н.м; B - ширина захвату комбайна, м; V - швидкість руху, м/с; Y_i - математичне очікування врожайності культури, що збирають, кг/м²; K_v - питомий опір трансмісії на одиницю швидкості, Н.с; M_{co} - момент опору холостого ходу трансмісії, Н.м; g_i - питомий крут-

ний момент на обробку подачі 1 кг маси за секунду, Н.м.с/кг.

Повне експлуатаційне завантаження двигуна являє собою сумарне завантаження всіх робочих органів та трансмісії комбайна. Питомі крутні моменти для кожного робочого органа були визначені при лабораторно-польових дослідженнях. Для самохідного кукурудозбирального комбайна КСКУ-6 вони складають: катка - $g_1 = 9,34$ Н.м.с./кг, качаноочишувач з транспортерами качанів - $g_2 = 4,37$ Н.м.с./кг, подрібноувач з транспортерами листостеблової маси - $g_3 = 8,5$ Н.м.с./кг.

Характеристика дизельного двигуна $M = f(n)$ складається з двох частин - безрегуляторної та регуляторної. У спрощеному вигляді її можна зобразити двома відрізками прямих ліній, перший з яких відповідає регуляторній частині характеристики, а другий - безрегуляторній.

$$n = \begin{cases} a_1 + b_1 M, & \text{при } M \leq M_{\text{ном}}; \\ a_2 + b_2 M, & \text{при } M > M_{\text{ном}}. \end{cases} \quad (2)$$

де a_1, a_2, b_1, b_2 - постійні коефіцієнти.

Завантаження двигуна залежить від чотирьох випадкових у вірогідно-статистичному відношенні величин. Це загальна врожайність Y_1 , врожайність качанів Y_2 , врожайність листостеблової маси Y_3 , а також опір на самопересування комбайна M_c . Відомо, що сума декількох випадкових величин, які підлягають будь-яким законам розподілу, наближено підпорядковується нормальному закону розподілу. Внаслідок цього, для характеристики розподілу швидкісного режиму двигуна достатньо обчислити основні вірогідно-статистичні характеристики нормального закону розподілу - математичне очікування $m(n)$ та середньоквадратичне відхилення $\sigma(n)$.

При коливанні завантаження робочих органів коливається також і швидкісний режим двигуна, причому, математичне очікування розпо-

ділу його швидкісного режиму з урахуванням переходу з регуляторної частини характеристики на безрегуляторну складає:

$$m_1(n) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(M) f(M) dM = (a_1 + b_1 M_0) \Phi(t_{01}) - b_1 \sigma_1(M) \varphi(t_{01}) + (a_2 + b_2 M_0) [1 - \Phi(t_{01})] - b_2 \sigma_2(M) \varphi(t_{01}), \quad (3)$$

де $\varphi(M)$ - функціональна залежність частоти обертання валу двигуна від його навантаження; $f(M)$ - щільність розподілу ефективного навантаження двигуна;

$$\Phi(t_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{M_0 - \frac{t_{01}^2}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad \varphi(t_{01}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t_{01}^2}{2}}; \quad t_{01} = \frac{M - M_0}{\sigma_1(M)}.$$

Але для забезпечення нормальної роботи комбайна математичне очікування швидкісного режиму двигуна повинне задовольнити додаткову умову, яка обмежує вірогідність зниження його швидкісного режиму нижче мінімально-допустимого значення n_{min} величиною $\rho_0 = 3\%$. Виходячи з цієї умови, математичне очікування $m_2(n)$ розподілу швидкісного режиму двигуна складає

$$m_2(n) = m_S(n) \Phi(t_{02}) - \sigma_S(n) \varphi(t_{02}) + m_P(n) [1 - \Phi(t_{02})] - \sigma_P(n) \varphi(t_{02}), \quad (4)$$

де $m_S(n)$, $\sigma_S(n)$ - математичне очікування та середньоквадратичне відхилення розподілу швидкісного режиму двигуна при роботі його на безрегуляторній частині характеристики; $m_P(n)$, $\sigma_P(n)$ - відповідно на регуляторній частині характеристики;

$$\Phi(t_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{n_{ном} - \frac{t_{02}^2}{2}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt; \quad \varphi(t_{02}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t_{02}^2}{2}}; \quad t_{02} = \frac{n_{ном} - m_P(n)}{\sigma_P(n)}.$$

Ці дві поставлені умови будуть виконуватись, якщо $m_1(n) =$

$= m_2(n)$. Таким чином, точка перетину значень характеристик $m_1(n)$ і $m_2(n)$ являє собою максимально допустимий режим роботи, при якому вірогідність перевантаження двигуна не повинна перевищувати P_0 .

Згідно розрахунків, при допустимій вірогідності перевантаження $P_0 = 3\%$, експлуатаційний крутний момент двигуна може зрости з 510 Н.м до 690 Н.м. При цьому використання експлуатаційної потужності двигуна підвищується до 91,6%, що було підтверджено результатами лабораторно-польових і експлуатаційних досліджень.

Самохідна збиральна машина являє собою складну динамічну систему з декількома акумуляторами енергії у вигляді мас, які обертаються або рухаються поступально. При розчленуванні комбайна на приведені маси враховувалась участь вузлів в технологічному процесі і вплив на них коливань характеристик культури, що збирають, або її фракцій, ідентичність завантаження різних робочих органів, вид кінематичного зв'язку між вузлами. Виходячи з цього самохідний кукуруддозбиральний комбайн, наприклад, можна представити у вигляді п'ятимасової механічної системи (рис. 1).

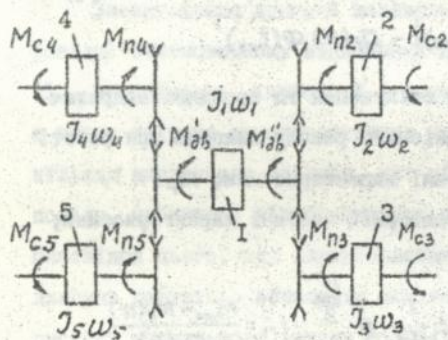


Рис. 1. Еквівалентна схема механічної частини самохідного кукуруддозбирального комбайна:

- 1 - приведена до колінчастого вала двигуна маса його обертових деталей і механізмів (без регулятора швидкісного режиму);
- 2 - приведені до осі ведучих коліс маси трансмісії і комбайна з врахуванням його поступального руху;
- 3, 4, 5 - маси обертових деталей відповідно жатки, подрібнювача та качаноочишувача приведені до осей Y_x приводних шківів.

Приведені маси характеризуються приведеними моментами інерції

$J_1 \dots J_5$, швидкісними режимами $\omega_1 \dots \omega_5$, моментами опору від зовнішнього навантаження $M_{c2} \dots M_{c5}$ і обертовими моментами $M_{n2} \dots M_{n5}$. Під впливом зовнішніх збурень і керуючих дій відбувається зміна показників роботи комбайна, які можна вважати вихідними змінними.

Властивості комбайна, як об'єкта управління завантаженням, в операторній формі можна описати системою рівнянь.

$$\begin{aligned}
 1. & (T_1 p + 1) Y_{\omega_1} - a_{11} Y_{\omega_2} - a_{12} Y_{\omega_3} - a_{13} Y_{\omega_4} - \\
 & - a_{14} Y_{\omega_5} - a_{15} Y_V = b_{11} X_i ; \\
 2. & (T_2 p + 1) Y_V - a_{21} Y_{\omega_1} = b_{21} X_i - b_{22} F_2 ; \\
 3. & (T_3 p + 1) Y_{\omega_3} + a_{31} Y_{\omega_1} + a_{32} Y_{M_3} = 0 ; \\
 4. & (T_4 p + 1) Y_{\omega_4} + a_{41} Y_{\omega_1} + a_{42} Y_{M_4} = 0 ; \\
 5. & (T_5 p + 1) Y_{\omega_5} + a_{51} Y_{\omega_1} + a_{52} Y_{M_5} = 0 ; \\
 6. & Y_{M_3} - a_{61} Y_{\omega_3} - a_{62} Y_{g_3} = b_{61} e^{-pT_3} F_3 ; \\
 7. & Y_{M_4} - a_{71} Y_{\omega_4} - a_{72} Y_{g_4} = b_{71} e^{-pT_4} F_4 ; \\
 8. & Y_{M_5} - a_{81} Y_{\omega_5} - a_{82} Y_{g_5} = b_{81} e^{-pT_5} F_5 ; \\
 9. & Y_z - a_{91} Y_{\omega_1} = b_{91} X_H ; \\
 10. & Y_{g_3} - a_{101} Y_V = b_{101} X_{G_3} ; \\
 11. & Y_{g_4} - a_{111} Y_V = b_{111} X_{G_3} e^{-pT_4} ; \\
 12. & Y_{g_5} - a_{121} Y_V = b_{121} X_{G_3} e^{-pT_5} ,
 \end{aligned} \tag{5}$$

де індекси I-5 визначають до якої з приведених мас по рис. I відноситься параметр; $T_1 - T_5$ - постійні часу приведених мас; $Y_{\omega_1} - Y_{\omega_5}$; Y_V ; $Y_{M_3} - Y_{M_5}$; $Y_{g_3} - Y_{g_5}$; Y_z - зміни показників роботи комбайна у відносних величинах в операторній формі запису; X_H ; X_i ; $X_{G_3} - X_{G_5}$;

$F_2 - F_5$ - зміни керуючих дій у відносних величинах в операторній формі запису; $a_{11} - a_{121}$; $b_{11} - b_{121}$ - коефіцієнти, що являються функціями параметрів агрегату та режимів роботи; $\tau_3 - \tau_5$ - час запізнення передачі ланки; ρ - оператор Лапласа.

Система рівнянь (5) дає можливість проводити аналіз впливу окремих параметрів на комбайн як динамічну систему. Для цього необхідно визначити передаточні функції комбайна по збурюючих та управляючих впливах, а потім його амплітудно-фазові характеристики.

За результатами проведеного огляду принципових схем і конструкцій існуючих пристроїв управління завантаженням, а також аналітичних досліджень було розроблено кілька варіантів принципових схем і конструкцій пристроїв оптимізації завантаження стосовно до самохідних кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 та коренезбиральної машини РКМ-6. В загальному вигляді функціональна схема такого пристрою приведена на рис.2.

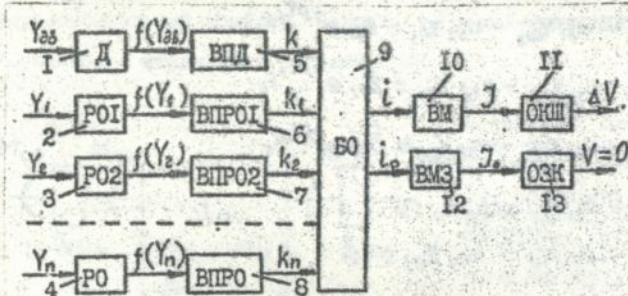


Рис. 2. Схема функціонального пристрою підтримання оптимального завантаження самохідних збиральних машин:
 1 - двигун;
 2, 3, 4 - робочі органи;
 5 - вимірвальний перетворювач завантаження

двигуна; 6, 7, 8 - вимірвальні перетворювачі завантаження робочих органів; 9 - блок обробки інформації; 10 - виконавчий механізм керування робочою швидкістю; 11 - орган управління робочою швидкістю; 12 - виконавчий механізм зупинки; 13 - орган зупинки комбайна.

При зміні завантаження двигуна D і робочих органів $PO1 \dots PO_n$, які викликані коливаннями врожайності

Y_{22}, Y_1, \dots, Y_n , на входи вимірвальних перетворювачів дви-

гуна ВПД і робочих органів ВПРОІ, ..., ВПРОІ надходять сигнали $f(Y_{0i}), f(Y_1), \dots, f(Y_n)$, що є функціями врожайності. Вимірвальні перетворювачі формують сигнали $K, K_1 \dots K_n$, які подаються на вхід блока обробки інформації БО. Блок обробки інформації по спеціальній програмі, складеній окремо для кожної самохідної збиральної машини, формує сигнали i та i_0 , які поступають на входи виконавчого механізму зміни робочої швидкості ЕМ та зупинки комбайна ВМЗ.

Виконавчий механізм сигналами J та J_0 діє на орган управління робочою швидкістю комбайна ОУШ або на орган зупинки комбайна ОЗК, які в свою чергу змінюють швидкість руху агрегата на ΔV або зупиняють його.

Контроль роботи основних робочих органів і двигуна комбайна здійснюється за допомогою безконтактних вимірвальних перетворювачів індукційного типу.

Оптимальний режим роботи двигуна комбайна обирається з урахуванням його номінальної частоти обертання $n_{ном}$ при середньому квадратичному відхиленні розподілу завантаження σ , яке не допускає перевантаження більше 3 %.

Виконавчий механізм (рис. 3) електричного типу призначений для зміни робочої швидкості комбайна за сигналом програмного блока. Він встановлюється біля насоса об'ємної гідропередачі ходової частини комбайна і діє безпосередньо на важіль управління насосом. При цьому повністю зберігається механічна передача від педалі управління швидкістю в кабіні комбайна до важеля насоса.

При включенні електродвигуна корпус його гальмується, що виключає передачу обертання вала електродвигуна в бік органа ручного управління і впливу люфта в з'єднаннях механічної передачі.

Перехід в режим ручного управління здійснюється автоматично при натисканні на кнопочний вимикач, який знаходиться безпосеред-

ньо під педалью управління робочою швидкістю комбайна. Це спрощує управління комбайном при виникненні аварійної чи іншої екстремальної ситуації.

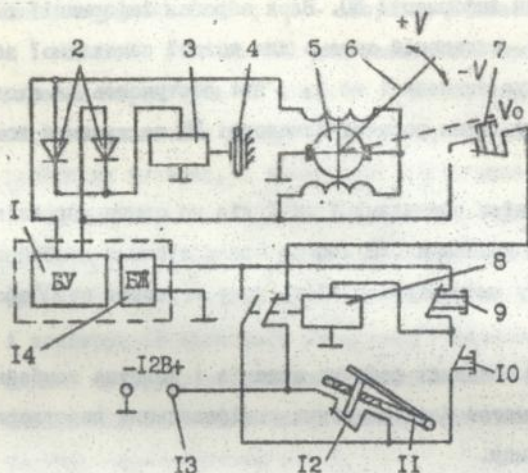


Рис. 3. Схема управління виконавчим механізмом пристрою оптимізації завантаження:

- I - блок управління;
- 2 - комутувчі діоди;
- 3 - електромагніт;
- 4 - гальмо корпуса електродвигуна;
- 5 - електродвигун;
- 6 - важіль; 7 - шляховий вимикач;
- 8 - реле; 9 - кнопка вимикання;
- 10 - кнопка вимикання режиму управління;
- II - педаль управління завантаженням;

12 - кінцевий вимикач; 13 - бортове електроживлення комбайна;
14 - блок живлення пристроїв управління завантаженням.

У третьому розділі "Лабораторні і лабораторно-польові дослідження експериментальних пристроїв оптимізації завантаження" викладені програма і методика проведення лабораторних і лабораторно-польових досліджень і їх результати.

Лабораторні дослідження розроблених вузлів пристроїв проводились на спеціальних стендах. Електрична частина досліджувалась на стенді обладнаному електронними приладами, які дозволяли реєструвати вхідні та вихідні параметри, імітувати завантаження двигуна і робочих органів. Вибір і дослідження вимірювальних перетворювачів проводились на гальмовому стенді, який дозволяв змінювати завантаження приводу робочих органів.

Для проведення у великих обсягах досліджень використовувався спеціально розроблений та виготовлений вимірювально-реєструючий комплекс (рис. 4), за допомогою якого проводилась безперервна реєстрація протягом необмеженого часу рядів розподілу вхідних і вихідних параметрів пристрою, що досліджувався, з урахуванням їх випадкового характеру. При цьому контролювалась експлуатаційна потужність двигуна комбайна, робоча швидкість, кількість перевантажень трьох основних робочих органів, завантаження загального привода робочих органів, витрата пального і час проведення дослідів. Вимірювання експлуатаційної потужності двигуна проводилось побічним методом по його частоті обертання. Перехід від частоти обертання до ефективної потужності здійснювався за характеристикю $N = f(n)$, знятою при гальмуванні двигуна. Кількість перевантажень робочого органа визначалась по кількості падінь обертів нижче 90 % від номінального значення.

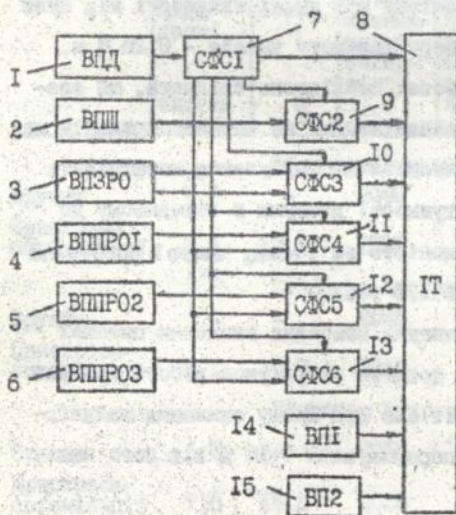


Рис. 4. Функціональна схема вимірювально-реєструючого комплексу:

1, 2, 3 - вимірювальні перетворювачі завантаження двигуна, робочої швидкості комбайна та завантаження робочого органа відповідно;

4, 5, 6 - вимірювальні перетворювачі перевантаження робочих органів;

7, 9, 10, 11, 12, 13 - схеми формування сигналів вимірювальних перетворювачів;

8 - інформаційне табло;

14, 15 - витратоміри пального.

Одержана інформація виводилась на інформаційне табло, яке складається з набору електромеханічних лічильників. Їх покази фік-

сувались за допомогою фотоапарата.

По одержаних при проведенні досліджень результатах будувались багатокутники розподілу випадкових величин, що вивчались, і визначались всі основні параметри їх розподілу, а також проводилась оцінка якості роботи комбайна з пристроєм оптимізації завантаження і при ручному управлінні.

Розрахунковим шляхом і за результатами лабораторних досліджень встановлені можливі діапазони змін і значення основних параметрів пристроїв оптимізації завантаження. Потім вони були уточнені при проведенні лабораторно-польових досліджень: діапазон зони нечутливості схеми порівняння відносно частоти обертання двигуна склав 15 хв^{-1} , тривалість імпульсів сигналів, які порівнювались - 0,02 с, час циклу вимірювання режимів роботи комбайна - 1 с, тривалість імпульсу, який управляє виконавчим механізмом - 0,6 с, кут повороту важеля виконавчого механізму при зміні швидкості від нуля до максимальної - 30° , момент опору повороту важеля - 0,25 Н.м.

Результати лабораторно-польових досліджень свідчать, що застосування пристроїв оптимізації завантаження на коренезбиральній машині РКМ-6 дозволяє підвищити математичне очікування коефіцієнта використання експлуатаційної потужності двигуна в середньому до 91 %, при цьому зростає продуктивність за годину чистої роботи на 15 %, зникають втрати врожаю в 1,5 рази.

У випадку недовантаження двигуна комбайна зниження питомої витрати пального на 7,3 % можна досягти за рахунок роботи двигуна на частковому швидкісному режимі. Але при цьому зниження швидкісного режиму двигуна не повинне перевищувати 7-10 % від його номінального значення.

У четвертому розділі "Експлуатаційні випробування пристроїв оптимізації завантаження" приведено програму й методику експлуатаційних випробувань з використанням розробленої й виготовленої ви-

мірально-реєстраційної апаратури, а також результати експлуатаційних випробувань кукурудоззбирального комбайна КСКУ-6 і коренезбиральної машини РІМ-6, обладнаних мікропроцесорними системами САКАР-КСКУ і САКАР-РІМ. Експлуатаційні випробування проводились в господарствах Херсонської, Харківської і Київської областей в агротехнічні строки збирання цукрових буряків та кукурудзи на зерно і силос при участі Південно-Української МВС та УкрДВТ.

Результати експлуатаційних випробувань приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зведені основні вірогідно-статистичні показники роботи кукурудоззбирального комбайна КСКУ-6 та коренезбиральної машини РІМ-6

Спосіб управління завантаженням	Математичне очікування робочої швидкості, км/год	Підвищення робочої швидкості, %	Статистичні характеристики частоти обертання колінчастого вала двигуна, хв ⁻¹		Вірогідність переваження двигуна, %	Питома витрата пального, кг/га	Зниження питомої витрати пального, %
			математичне очікування	середньоквадратичне відхилення			
Збирання кукурудзи на зерно							
Вручну	7,0	-	2040	14,3	1,5	10,73	-
Пристроєм оптимізації	8,3	17,6	2031	13,6	5,4	10,16	5,3
Збирання кукурудзи на силос							
Вручну	6,4	-	2046	20,3	6,0	12,10	-
Пристроєм оптимізації	7,1	10,7	2041	17,8	3,2	10,60	12,2
Збирання цукрових буряків							
Вручну	6,3	-	2055	13,9	-	17,70	-
Пристроєм оптимізації	7,5	19,0	2028	12,7	4,5	15,67	12,9

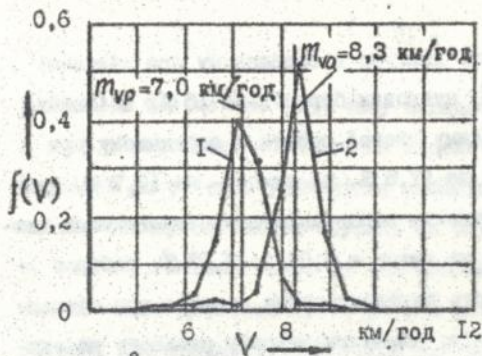
Отримані результати свідчать, що застосування на комбайні КСКУ-6 пристрою оптимізації завантаження САКАР-КСКУ дозволяє під-

видити математичне очікування робочої швидкості комбайна при збиранні кукурудзи на зерно в середньому на 17,6 %, на силос - на 10,7 %, що дає зростання продуктивності за годину чистої роботи на ту ж величину; знизити питому витрату пального при збиранні кукурудзи на зерно в середньому на 5,3 %, на силос - на 12,2 %; підвищити завантаження приводного механізму робочих органів при збиранні кукурудзи на зерно на 15 %. Застосування пристрою оптимізації завантаження на коренезбиральній машині РКМ-6 (САКАР-РКМ) дозволяє підвищити продуктивність за годину чистої роботи в середньому на 19 %; знизити питому витрату пального в середньому на 12,9 %, кількість перевантажень копачів на 100 м шляху з 5,1 до 0,4, тобто в 12 разів; підвищити використання експлуатаційної потужності двигуна в середньому на 16 %.

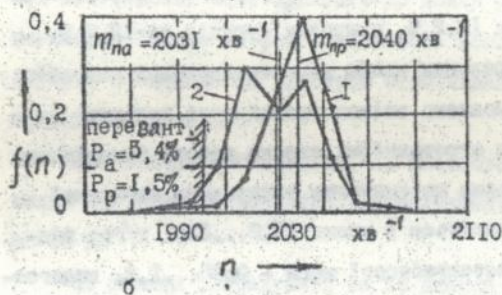
На рис.5 для прикладу наведені порівняльні характеристики роботи кукурудзозбирального комбайна при збиранні кукурудзи на зерно. Показані тут багатокутники розподілу завантаження двигуна і робочої швидкості побудовані по рядах розподілень, зафіксованих розробленим вимірально-реєструючим комплексом.

У п'ятому розділі "Впровадження і апробація результатів досліджень, економічна ефективність" представлені матеріали впровадження результатів досліджень.

Річний економічний ефект в цінах 1990 р. складає: на комбайні КСКУ-6 - до 720 крб., на коренезбиральній машині РКМ-6 - до 504 крб. при терміні окупності для КСКУ-6 - до 3 років, для РКМ-6 - до 2,5 років.



а



б

Рис. 5. Порівняльні характеристики роботи кукуруддозбирального комбайна КСКУ-6:

- а - розподіл робочої швидкості;
- б - розподіл швидкісного режиму двигуна;
- І - управління завантаженням вручну;
- 2 - управління з використанням пристрою оптимізації.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Підвищення ефективності технологічних процесів збирання кукурудзи та цукрових буряків самохідними машинами може бути досягнуто при оптимізації режимів їх роботи за допомогою розроблених пристроїв управління завантаженням. При застосуванні таких пристроїв досягається підвищення коефіцієнта використання експлуатаційної потужності двигуна, що забезпечує відповідне зростання продуктивності комбайна, зменшення вірогідності перевантаження та забивання робочих органів, а також зниження питомої витрати пального та втрат урожаю.

2. Використання розроблених за результатами досліджень пристроїв оптимізації завантаження самохідних кукуруддозбирального комбайна КСКУ-6 та коренезбиральної машини РКМ-6 дозволило, зокрема, за даними УкрЦВТ і Південно-Української МНС, підвищити використан-

ня експлуатаційної потужності двигуна в середньому при збиранні кукурудзи на зерно на 8,3 %, цукрових буряків-на 16 %; збільшити продуктивність машини за годину чистої роботи в середньому при збиранні кукурудзи на зерно на 17,6 %, на силос - на 10,7 %, цукрових буряків - на 19 %; зменшити вірогідність перевантаження двигуна при збиранні кукурудзи на силос з 6,04 до 3,17 %, тобто в 1,9 рази; знизити вірогідність перевантаження копачів при збиранні цукрових буряків в 12 разів; зменшити витрату пального на одиницю продукції в середньому при збиранні кукурудзи на зерно та силос відповідно на 5,3 % та 12,2 %, цукрових буряків на-12,9 %.

3. Процес роботи збиральних машин характеризується нестабільним навантаженням, що обумовлено зміною урожайності культур по довжині гону. Наприклад, в агротехнічні строки роботи самохідного кукурудоззбирального комбайна математичне очікування загальної врожайності кукурудзи коливається в межах 15,8...23,1 т/га, відношення маси качанів до листостеблової маси - 0,95...1,2, вологості зерна - 24,2...39,7 %, листостеблової маси - 27,1...75,4 %.

4. Дослідженнями впливу урожайності кукурудзи на роботу самохідного комбайна КСКУ-6 встановлено:

математичне очікування робочої швидкості на довжині гону при ручному управлінні може змінюватись від 3,82 до 6,14 км/год. При цьому математичне очікування перевантаження двигуна складає 15 %, а в окремих випадках сягає 50 %;

при сталій робочій швидкості 4,19 км/год математичне очікування використання експлуатаційної потужності двигуна складає 66 %. При цьому на завантаження двигуна менше 50 % припадає 30 % загального часу роботи, а на завантаження - 100 % - 5 %;

при сталій робочій швидкості 6,05 км/год математичне очікування використання експлуатаційної потужності двигуна складає 85,8 %. При цьому на завантаження більше 100 % припадає 20 % часу

роботи, в той же час 40 % часу складає завантаження менше 80 %.

5. Розроблена математична модель самохідного збирального комбайна як об'єкта управління завантаженням дозволяє проводити аналіз впливу зовнішніх збурень на його характеристики як динамічну систему. Встановлено, що для комбайна типу КСКУ-6 частота власних коливань дорівнює $4...8 \text{ с}^{-1}$. В той же час частота зовнішніх збурень при швидкості 6,0...8,0 км/год складає $3,8...7,0 \text{ с}^{-1}$. Такий збіг частот може привести до появи резонансних коливань, що негативно вплине на роботоздатність комбайна. Це явище може бути усунуто за допомогою пристрою стабілізації завантаження робочих органів та двигуна.

Теоретично встановлено, що застосування такого пристрою дозволяє підвищити використання експлуатаційної потужності двигуна на 16 %.

6. Шляхом розрахунків та за даними лабораторних досліджень встановлені діапазони змін і значення основних параметрів пристрою оптимізації завантаження комбайна КСКУ-6. Так, довжина імпульсу управління виконавчим механізмом повинна бути в межах 0,5...2,0 с, довжина імпульсів, які надходять на схеми порівняння - 0,02 с; час циклу виміру режимів роботи комбайна - 1, 2, 3 або 4 с; кут повороту важеля виконавчого механізму при зміні швидкості від нульового значення до максимального - 30° ; момент опору переміщення важеля управління виконавчим механізмом при роботі гідросистеми - 0,25 Н.м; зусилля навантажувальних пружин при вимірах моменту опору приводу жатки - 660 Н, подрібнювача - 122,6 Н, качаноочишувача - 260 Н.

7. В результаті лабораторно-польових досліджень уточнені параметри пристрою оптимізації завантаження: діапазон зони нечутливості схеми порівняння відносно частоти обертання двигуна - 15 хв^{-1} ; тривалість імпульсу сигнала, що управляє виконавчим механізмом -

0,6 с; час циклу виміру режимів роботи комбайна - 1 с.

8. Застосування пристрою оптимізації завантаження на кукурудзозбиральному комбайні КСКУ-6 та коренезбиральній машині РКМ-6 забезпечує річний економічний ефект в цінах 1990 року відповідно до 720 крб. та до 504 крб. на 1 машину за сезон.

Строк окупності пристрою для КСКУ-6 складає до 3,0 років, для РКМ-6 - до 2,5 років.

9. За результатами досліджень розроблені та затверджені в МСГ СРСР Вихідні вимоги на створення системи автоматичного контролю та управління режимами роботи самохідного кукурудзозбирального комбайна КСКУ-6 (Р-32/8) та коренезбиральної машини РКМ-6 (Р-53/27). На їх основі Болгаро-Радянським МНВО "Агрпроавтоматика" за участю ІМЕСГ були розроблені та виготовлені дослідні зразки цих систем: САКАР-КСКУ та САКАР-РКМ. Вони пройшли приймальні випробування на УкрЦВТ та Південно-Українській МВС і були рекомендовані до впровадження у виробництво.

Одержані результати досліджень та експлуатаційних випробувань цих зразків дозволили розробити та затвердити в МСГ України Вихідні вимоги на вдосконалену автоматичну систему контролю та управління режимами роботи кукурудзо- та бурякозбиральних машин (Рішення від 23 квітня 1993 року). Всі матеріали розробок були передані НВО "Славутич" Мінмашпрому України і використані при створенні дослідного зразка системи.

10. Подальші ЦДР по вдосконаленню систем оптимізації завантаження самохідних збиральних машин слід проводити в напрямку створення вихідних передумов для розробки адаптивних автоматичних систем, що забезпечать вибір програм управління завантаженнями настроювань в залежності від стиглості рослин, фракційного складу маси, погодних умов, макрорельєфу поля, а також технічного стану машини.

Основні положення дисертаційної роботи викладені в таких працях:

1. Борошок Л.А., Лободко М.М., Мельніченко Д.Г. Автоматичний контроль завантаження робочих органів картоплезбирального комбайна // Механізація та електрифікація сільського господарства: Респ.міжвід.темат.зб. - "Урожай", 1984. - Вип.59. - с. 75-79 /рос.мов./.

2. Борошок Л.А., Лободко М.М. Автоматична система підтримання оптимального навантаження самохідного бурякозбирального комбайна // Тези доп.наук. - тех. конф. "Основні напрямки розвитку техніки для вирощування цукрових буряків та кукурудзи по індустріальних технологіях в світлі Продовольчої програми СРСР" /Харків, 24-26 червня 1986 р./ /УкрНДІСГОМ. - Харків, 1986. - с.80 /рос. мов./.

3. Борошок Л.А., Лободко М.М. Методика та технічні засоби для неперервної реєстрації при польових дослідженнях випадкових в вирогідно-статистичному відношенні величин // Механізація та електрифікація сільського господарства: Респ. міжвід.темат. зб. - К : "Урожай", 1990. - Вип. 71. - с.19-25 /рос.мов./.

4. Мікропроцесорний прилад для багатогодинних випробувань мобільних агрегатів / В.Г. Мироненко, М.М.Лободко, О.Д.Пенцак, С.І. Судак // Енергозберігаючі технології та технічні засоби для виробництва сільськогосподарської продукції: Тези доп.наук. - тех.конф. /Глеваха, 16-18 листопада 1993 р./ /УАН. Інститут механізації та електрифікації сільського господарства. - Глеваха, 1993. - с.142.

5. А.с. № 826577 /СРСР/, МКИ А 01 Д 41/12. Пристрій для управління навантаженням збиральної машини / Л.А.Борошок, Г.Н. Глузбанд, М.М.Лободко та ін. - заявл. 3.05.77 № 2483918/30-15 /рос.мов./

6. А.с. № 1193710 /СРСР/, МКИ С 08 В 23/00. Сигналізатор перевантаження робочих органів машини / Л.А.Борошок, Л.І.Гром-Мазничевський, М.М.Лободко - заявл. 28.05.84 № 3745927/24-24 - опубл. в Б.И., 1985, № 43 /рос.мов./.

7. А.с. № 1364254 /СРСР/, МКИ А 01 Д 41/12. Пристрій для управління завантаженням самохідної збиральної машини / Д.А.Борисов, М.М.Лободко - заявл. 18.03.86 № 4039439/30-15 -опубл. в В.И., 1988, № 12 /рос.мрв/.

Lobodko N. Elaboration of methods and facilities of optimisation conditions of operation self-propelled corn-and beet-harvest machines.

Manuscript.

Thesis for competition of scientific degree of Candidate of Technical Sciences by speciality 05.20.01 - Mechanisation of agricultural production. National Agrarian University, Kiev, 1996.

4 scientific works and 3 certificates of authorship are being defended. The subject-matter of ones is theoretical and experimental investigations of optimisation conditions of operation self-propelled corn-and beet-harvest machines. On the basis of these investigations it was determined the necessity of managing by the load of self-propelled combines in the unstable conditions of operation and the type and constructive-technological schemes of the operating apparatus.

The results of investigations have been used by designing-constructive organisations under the development of the system of operation by self-propelled harvest machines.

Лободко Н.Н. Разработка методов и средств оптимизации режимов работы самоходных кукурузо- и свеклоуборочных машин.

Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.01 - "Механизация сельскохозяйственного производства". Национальный аграрный университет, Киев, 1996.

Защищается 4 научные работы и 3 авторских свидетельства, которые содержат теоретические и экспериментальные исследования по оптимизации режимов работы самоходных кукурузо- и свеклоуборочных машин. Обоснована необходимость управления загрузкой самоходных комбайнов в нестабильных условиях эксплуатации, тип и конструктивно-технологические схемы управляющего устройства. Полученные результаты использованы проектно-конструкторскими организациями при разработке системы управления самоходными уборочными машинами.

Ключевы слова.

кукурузосебиральний комбайн, коренаробиральна машина, умови роботи, нестабільність, режим роботи, оптимізація, пристрій для управління завантаженням, виконавчий механізм, економічне використання.

AB.34.497

AB 34.497