

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

**Міленін Андрій Миколайович**

УДК 629.017

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ ПРИ  
ЗБИРАННІ КОРЕНЕПЛОДІВ ЦУКРОВОГО БУРЯКА**

05.05.11 - Машини і засоби механізації сільськогосподарського ви-  
робництва

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків-2007

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства аграрної політики України.

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент

**Бойко Микола Федорович,**

Національний аграрний університет, доцент кафедри сільськогосподарських машин.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор

**Полянський Олександр Сергійович,**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування і ремонту машин;

кандидат технічних наук, доцент

**Мандрика Володимир Ростиславович,**

Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри автомобіле- і тракторобудування.

**Провідна установа:** Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти та науки України, кафедра сільськогосподарського машинобудування, м.Кіровоград.

Захист відбудеться 1 березня 2007 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: **61002, м.Харків, вул. Артема, 44.**

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного технічного університета імені Петра Василенка за адресою: 61002, м.Харків, вул. Артема, 44.

Автореферат розісланий “29” січня 2007 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д.64.832.01

докт. техн. наук, професор

О.Д. Черенков

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Виробництво цукру в Україні є одним з напрямків розвитку агропромислового комплексу держави. В розв'язанні даної проблеми вирішальне місце відводиться створенню високоефективних бурякозбиральних комплексів, що включають коренезбиральні машини і тракторні агрегати. Енергозбереження тракторних агрегатів, що рухаються синхронно з коренезбиральною машиною при завантаженні коренеплодів цукрового буряка, дозволить забезпечити економію палива на 13...15% в цьому технологічному процесі.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконана відповідно Державної програми “Виробництво технологічних комплексів машин і обладнання для агропромислового комплексу на період 1998-2005 років”, розробленої відповідно до постанови Кабінету міністрів України від 1.12.1997 р. №1341; “Комплексної програми розвитку сільського господарства Харківської області у 2001-2005 роках та на період до 2010 року”; комплексної теми наукових досліджень у співробітництві з ВАТ “Харківський тракторний завод” “Розробка заходів, направлених на модернізацію та обґрунтування раціональних конструкційних параметрів сільськогосподарських тракторів” згідно договорів №70/219 від 28.07.2003 р. та №70/276 від 2.09.2004р. Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка і була складовою частиною науково-дослідної держбюджетної теми (ДР № 01.04U004492) “Створення гнучких технологічних процесів механізованих робіт виробництва продукції рослинництва”, яка виконувалась згідно завдання Міністерства аграрної політики України.

Здобувачем при виконанні Державних і регіональних програм розв'язувались питання енергозбереження засобів механізації обробітку просапних культур.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є зниження енерговитрат тракторними агрегатами в технологічному процесі збирання коренеплодів цукрового буряка.

Для досягнення поставленої мети визначені такі завдання дослідження:

- обґрунтувати модель заповнення кузова причепа тракторного агрегату коренеплодами цукрового буряка при завантаженні транспортером бурякозбирального комбайна;
- проаналізувати вплив на керованість тракторного агрегату перерозподілу навантажень по осях трактора;

- оцінити тягово-зчіпні властивості трактора, у тому числі при підвищеній вологості ґрунту, при заповненні коренеплодами цукрового буряка кузова напівпричепа;
- обґрунтувати режими роботи трактора по мінімуму витрати палива при синхронному русі з бурякозбиральним комбайном;
- оцінити навантаженість елементів трансмісії трактора при перевезенні коренеплодів цукрового буряка;
- виконати лабораторно-польові випробування бурякозбирального комплексу (тракторний агрегат, бурякозбиральний комбайн) за визначенням енерговитрат тракторного агрегату при заповненні коренеплодами цукрового буряка кузова напівпричепа.

*Предмет дослідження:* визначення шляхів зниження енерговитрат при синхронній роботі тракторного агрегату з бурякозбиральним комбайном.

*Об'єкт дослідження:* процес збирання коренеплодів цукрового буряка при синхронному русі тракторного агрегату і бурякозбирального комбайна.

*Методи дослідження.* В роботі використовуються аналітичні, числові і експериментальні методи досліджень, що базуються на використанні основних положень землеробської механіки, математичного моделювання, теорії руху колісних машин і застосуванні сучасних вимірювальних систем контрольованих параметрів. Розрахунок і обробка результатів експерименту проводилася засобами Matlab 6.0, Maple 6.0.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в запропонованому підході до оцінки енергозбереження тракторного агрегату при синхронному русі з бурякозбиральним комбайном.

Вперше:

- обґрунтована закономірність зміни тягового ККД трактора при безперервному завантаженні коренеплодів цукрового буряка в кузов причепа (напівпричепа) транспортером бурякозбирального комбайна, яка дозволяє рекомендувати оптимальне завантаження трактора від причепа (напівпричепа);
- запропонована математична модель енерговитрат тракторного агрегату при синхронному русі з бурякозбиральним комбайном, яка дозволяє обґрунтувати режим роботи двигуна трактора на частковому швидкісному режимі та отримати 13...15% економії палива;
- експериментально визначені негативні моменти, що крутять, в елементах трансмісії тракторів серії ХТЗ-150К при агрегуванні із за-

вантаженими причепами 1ПТС-9+3ПТС-12, що приводить до підвищених динамічних навантажень тракторного агрегату.

Вдосконалені і отримали подальший розвиток:

- теорія управління трактором, яка відрізняється від відомих тим, що дозволяє оцінити керованість тракторного агрегату при перерозподілі вертикальних навантажень по осях;
- теорія тягово-зчіпних властивостей трактора, яка розвинута у напрямі визначення по критерію енергозбереження основних параметрів тракторних агрегатів при роботі в умовах підвищеної вологості ґрунту.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в:

- реалізації наукових результатів по енергозбереженню нових і модернізованих тракторів виробництва ВАТ “Харківський тракторний завод”;
- обґрунтуванні режимів роботи тракторів загального призначення, реалізованих в “Технологічних картах на вирощування сільськогосподарських культур”, розроблених у Харківському національному технічному університеті сільськогосподарства імені Петра Василенка і рекомендованих Головним управлінням агропромислового розвитку Харківської обласної державної адміністрації для використання в агрофірмах.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення і результати дисертаційної роботи отримані самостійно, зокрема:

- сформульовані критерії оцінки енергозбереження тракторних агрегатів при перевезенні вантажів [1, 2, 3, 4] і обґрунтований енергетичний підхід до оцінки пневматичної гальмівної системи тракторного агрегату [5, 6, 8];
- запропонований критерій оцінки керованості тракторного агрегату при нерівномірному розподілі навантажень по осях трактора [9];
- доведена наявність негативних моментів в елементах трансмісії тракторів при агрегуванні із завантаженими причепами [7];
- обґрунтована модель заповнення коренеплодами цукрового буряка кузова причепа (напівпричепа) при синхронному русі тракторного агрегату з бурякозбиральним комбайном [10] і доведений взаємозв'язок тягово-зчіпних властивостей і енерговитрат тракторного агрегату при завантаженні коренеплодів цукрового буряка [11].

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались на міжнародних науково-практичних конференціях (МНПК) “Namulce Pojazdow Drogowych” (Польща, м. Лодзь, 2001), “Нові технології в машиноприладобудуванні” (м. Севастополь, Сев-

ГТУ, 2001), “Перспективні напрями розвитку конструкції автомобіля” (м. Харків, ХНАДУ, 2001г.), “Технічний прогрес у рослинництві” (м. Харків, ХДТУСГ, 2001р.), “Технічний прогрес у АПК” (м. Харків, ХНТУСГ, 2005р), а також на МНПК ХНТУСГ і ХНАДУ в 2001-2006р.

**Публікації.** Результати дисертаційної роботи опубліковано в 11 наукових статтях в спеціальних виданнях, у тому числі 3 - самостійно.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 123 найменувань та 3 додатка. Обсяг роботи становить 188 сторінок, на 142 з них викладено текст роботи, список використаних джерел на 11 сторінках, додатки на 35 сторінках. Робота містить 22 таблиці і 57 ілюстрацій.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** розкрита сутність і стан наукової проблеми, обґрунтована актуальність теми, її цінність, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульована мета і основні завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

**В першому розділі** виконаний аналіз особливостей технології збирання коренеплодів цукрового буряка, відображені основні експлуатаційні показники тракторного агрегату і досліджені його енерговитрати при зміні режимів роботи.

Дослідженнями експлуатаційних властивостей тракторних і автомобільних потягів займалися Артем'єв П.П., Вонг Дж., Гоберман В.А., Закін Я.Х., Міркітанов В.И., Міронюк С.К., Шалягін В.М., Фаробін Я.Е. В даних дослідженнях розглянуті транспортні засоби з причепами і напівпричепами при перевезенні вантажів постійної маси.

В процесі навантаження коренеплодів цукрового буряка бурякозбиральний комбайн і транспортний засіб рухаються паралельним курсом. Для синхронізації швидкості і наряду руху бурякозбирального комплексу тракторист впливає на важелі управління, здійснюючи переміщення машини праворуч і ліворуч щодо свого курсу, а також збільшуючи або зменшуючи швидкість руху. В цей час відбувається безперервна зміна ваги коренеплодів в кузові причепа (напівпричепа), що впливає на маневреність і на тягово-зчіпні показники тракторного агрегату.

Дослідженням маневреності тракторних агрегатів займалися такі автори як Бобошко А.А., Волков В.П., Гуськов В.В., Закін Я.Х., Мартинюк А.А., Подрігало М.А., Фаробін Я.Е. і інші.

Тягово-зчіпні і енергетичні властивості тракторного агрегату при перевезенні вантажів змінної маси, що характерно для технології збирання коренеплодів цукрового буряка, не вивчені. Це і визначило мету і задачі дослідження.

**У другому розділі** були досліджені тягово-зчіпні властивості і керованість тракторного агрегату при завантаженні коренеплодів цукрового буряка.

Процес завантаження кузова тракторного агрегату (рис. 1) можна представити у вигляді сукупності послідовних рухів вивантажної частини вивантажувального транспортера 3 бурякозбирального комбайна 1 при синхронному русі з тракторним агрегатом 2.

Рис. 1. Бурякозбиральний комплекс: 1-бурякозбиральний комбайн; 2-тракторний агрегат; 3 – секції вивантажувального транспортера; 4 – гідроциліндри; 5 – датчик висоти

Бурякозбиральний комплекс рухається паралельним курсом. Для автоматичного регулювання висоти гори коренеплодів цукрового буряка на кінцевій секції транспортера 3 розташований датчик відстані 5, який виміряє висоту  $H$  розташування транспортера щодо дна кузова або поверхні коренеплодів, які знаходяться в кузові тракторного агрегату. Промінь датчика висоти 5 сканує в горизонтальній площині згідно із законом  $\xi(t)$ , виміряє висоту приросту  $h$  гори коренеплодів і формує сигнал на взаємне розташування секцій вивантажувального транспортера 3.

Процес заповнення кузова прийнятий двофазним: перша фаза – утворення гори коренеплодів цукрового буряка у вигляді клинової піраміди з прямокутною основою і з паралельним подовжній осі кузова гребенем постійної довжини; друга фаза – нарощування піраміди, основа якої співпадає з дном кузова, до її граничної висоти (рис. 2).

Рис. 2. Модель гори коренеплодів в кузові транспортного засобу: а – фази завантаження кузова; б – гора коренеплодів;  $\alpha_k$  - кут природного укосу коренеплодів;  $a_k$ ,  $b_k$  - довжина і ширина кузова;  $c_k$  - висота бортів кузова;  $h_{Iк}$ ,  $h_{IIк}$  - висота гори коренеплодів в 1-й і 2-й фазах завантаження;  $l_k$  - довжина гребеня піраміди

Для даної моделі заповнення кузова тракторного агрегату коренеплодами цукрового буряка обґрунтована закономірність швидкості зміни висоти гори  $h$  від врожайності і довжини гону

$$\frac{dh}{dt} = \frac{ql_k \operatorname{tg} \alpha_k}{\gamma \sqrt{3V(l_k^3 \operatorname{tg} \alpha_k - 12V)}} \sin \left[ \frac{1}{3} \arccos \left( \frac{24V}{l_k^3 \operatorname{tg} \alpha_k} - 1 \right) \right]; \quad (1)$$

$$P = \frac{3}{8} V \operatorname{tg}^2 \alpha_k - \frac{1}{64} l_k^3 \operatorname{tg}^3 \alpha_k; \quad (2)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{q}{ab\gamma}, \quad (3)$$

де  $V$  - об'єм клиновидної піраміди;  $\gamma$  - щільність вороху коренеплодів цукрового буряка,  $\text{кг/м}^3$ ;  $q$  - подача коренеплодів вивантажувальним транспортером,  $\text{кг/с}$ .

При розрахунку зміни маси коренеплодів цукрового буряка в кузові тракторного агрегату від врожайності (табл. 1) прийнята секундна подача вивантажувальним транспортером комбайна КС 6Б-02, яка дорівнює  $10-15 \text{ кг/с}$ , а щільність гори коренеплодів цукрового буряка  $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 1

Зміна маси коренеплодів в кузові причепа від часу роботи вивантажувального транспортера комбайна КС 6Б-02 при різній врожайності цукрового буряка (швидкість руху  $1,75 \text{ м/с}$ )

Врожайність, $\text{кг/га}$	Заповнення кузова (кг) при довжині гону, м			
	$L = 250$	$L = 500$	$L = 750$	$L = 1000$
20000	1350	2700	4050	5400
30000	2025	4050	6075	8100
40000	2700	5400	8100	9800
50000	3375	6750	10125	13500

При завантаженні коренеплодів цукрового буряка в кузов причіпної ланки маса тракторного агрегату безперервно збільшується, що приводить до зміни тягово-зчіпних властивостей трактора і до перерозподілу навантажень між осями. Це істотно впливає на тягово-зчіпні властивості трактора, особливо при русі на ґрунтах підвищеної воло-



гості. Для даних умов роботи бурякозбирального комплексу довантаження провідних коліс трактора від причепа дозволяє підвищити вантажопідйомність агрегату при збиранні цукрового буряка (табл. 2, 3).

У формулах табл. 2 прийняті наступні позначення:  $P_{кр}$  - сила тяги на крію трактора;  $V_0$  - дійсна швидкість тракторного агрегату;  $N_{ен}$  - номінальна ефективна потужність двигуна;  $m_T$ ,  $m_{II}$  - експлуатаційна маса, відповідно трактора і причепа;  $\eta_3$  - коефіцієнт завантаження двигуна по потужності;  $\eta_{mp}$  - ККД трансмісії;  $\lambda_z = P_z/m_T g$  - коефіцієнт нормального довантаження трактора від причепа;  $P_z$  - нормальне довантаження трактора від причепа;  $\lambda_T = \frac{m_{ам}}{m_T}$ ;  $\lambda_{II} = \frac{m_{ан}}{m_T}$  - коефіцієнти

Таблиця 2

Розрахункові формули для визначення основних параметрів тракторних агрегатів (ТА) при роботі на ґрунтах підвищеної вологості

Параметр	Варіант ТА	Розрахункові формули	
		По двигуну	По зчепленню
Тяга на крію трактора	I	$P_{кр} = \frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.p} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T$	$P_{кр} = m_T g (\lambda_T \varphi_{км} - \psi_T)$
	II	$P_{кр} = \frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T - m_T g \lambda_z f_T$	$P_{кр} = m_T g [\lambda_T \varphi_{км} (1 + \lambda_n) - \psi_T] - m_T g \lambda_n f_T$
Вантажопідйомність ТА	I	$m_{зп} = \frac{\frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T}{K_{II} g \psi_{II}}$	$m_{зп} = \frac{m_T (\lambda_T \varphi_{км} - \psi_T)}{K_{II} \psi_{II}}$
	II	$m_{зп} = \frac{\frac{N_{ен}}{V_0} \eta_3 \eta_{mp.m} (1 - \delta_T) - m_T g \psi_T}{K_{II} g \psi_T}$	$m_{зп} = \frac{m_T [\lambda_T \varphi_{км} (1 + \lambda_z) - \psi_T]}{K_{II} \psi_{II}}$

Позначено: I – ТА без довантаження провідних коліс трактора; II – ТА з довантаженням провідних коліс трактора.

активної (зчіпної) маси, відповідно, трактора і причепа;  $\varphi_{кт}$ ,  $\varphi_{кп}$  - коефіцієнт дотичної сили тяги провідних коліс, відповідно трактора і причепа;  $f_T$ ,  $f_{п}$  - коефіцієнти опору кочення, відповідно трактора і причепа;  $\psi_T$ ,  $\psi_{п}$  - сумарний коефіцієнт опору руху (коченню і підйому), відповідно, трактора і причепа;  $K_{п} = m_{п}/m_T$  - коефіцієнт експлуатаційної маси причепа.

Таблиця 3

Вантажопідйомність тракторного агрегату ХТЗ-16331+ОЗТП-8573 при збиранні коренеплодів цукрового буряка (вологість ґрунту >30%)

Параметри	Числові значення	
	Рівномірний розподіл в кузові коренеплодів	2/3 маси коренеплодів спереду кузова
Вантажопідйомність, кг		
- по двигуну	12060	21060
- по зчепленню	7350	10350
Робоча швидкість, м/с	1,75	1,75

Аналіз даної таблиці показує, що при підвищеній вологості ґрунту вантажопідйомність тракторного агрегату при збиранні коренеплодів цукрового буряка визначається тяговими властивостями трактора по зчепленню коліс з ґрунтом. При вологості ґрунту понад 30 % вантажопідйомність тракторного агрегату ХТЗ-16331+ОЗТП-8573 по двигуну не забезпечується зчіпними властивостями трактора без довантаження провідних коліс на 30 %, з довантаженням – на 15 %, тобто довантаження провідних коліс забезпечує підвищення вантажопідйомності тракторного агрегату при збиранні цукрового буряка на 15%.

Підвищення вантажопідйомності тракторного агрегату від довантаження провідних коліс трактора від напівнавісного причепа типу ОЗТП-8573 пояснюється підвищенням сили тяги  $P_{кр}$  на крюку і тягового ККД  $\eta_T$  трактора, визначуваних по формулах:

$$P_{кр} = \frac{G_T [A_1(\varphi_n - f_n) + A_2(\varphi_3 - f_3)]}{A_3 + h(\varphi_n - \varphi_3)}, \quad (4)$$

$$\eta_T = \frac{(Z_1 + Z_2)D_2B}{M_\delta}, \quad (5)$$

де -  $\varphi_n, \varphi_3, f_n, f_3$  - коефіцієнти зчеплення і опору кочення відповідно передніх і задніх коліс;  $G_T = m_T g$ ,  $Z_1 = A_1(\varphi_n - f_n)$ ;  $Z_2 = A_3(\varphi_3 - f_3)$ ,  $A_1 = l_2 - f_3 r_3$ ;  $A_2 = L_T - l_2 - f_n r_n$ ;  $A_3 = L_T - h_{кр}(f_n - f_3) + f_n r_n - f_3 r_3$ ,  $m_T$  - маса трактора;  $L_T$  - подовжня база трактора;  $h_{кр}$  - висота крюка трактора;  $l_2$  - відстань від центру мас трактора до задньої осі;  $r_n, r_3$  - радіуси коліс трактора,  $M_\delta$  - крутний момент на валу двигуна.

По залежностям (4) і (5) побудована універсальна характеристика тягового ККД  $\eta_T$  трактора (рис. 3).

Рис. 3. Універсальна характеристика тягового ККД ( $\eta_T$ ) трактора ХТЗ-16331 від довантаження  $G_{кр}$  від напівпричепи

Аналіз універсальної характеристики тягового ККД тракторного агрегату у складі трактора ХТЗ-16331 і напівпричепи ОЗТП-8573 показує, що  $\eta_{max} \approx 0,7$  даного агрегату досягається при довантаженні опорно-тягового крюка трактора  $G_{кр}$  від напівпричепи в межах 14...18кН і коефіцієнтах використання зчіпної ваги переднього  $\varphi_n = 0,4...0,65$  і заднього  $\varphi_3 = 0,52...0,65$  мостів.

Таким чином, тракторний агрегат при безперервному завантаженні коренеплодів цукрового буряка в кузов напівпричепи транспортером бурякозбирального комбайна матиме максимальний тяговий ККД при  $0,9 G_{крmax}$ , тобто при деякому недовантаженні трактора від напівпричепи.

Перерозподіл навантажень по осях трактора від змінної маси вантажу напівпричепи істотно впливає на керованість трактора, яку запропоновано оцінювати по коефіцієнту керованості  $K_{упр}$ :

$$K_{y_{np}} = \frac{a_m}{b_m} \sqrt{\frac{G_m \frac{b_m}{L_m} + G_{np} \left[ \frac{b_{np}}{L_{np}} \cdot \frac{c_{kp}}{L_m} - \frac{1 - \frac{b_{np}}{L_{np}}}{1 + f \frac{h_{np}}{L_{np}}} \left( 1 - \frac{c_{kp}}{L_{np}} \right) f \frac{h_{kp}}{L_m} \right]}{G_m \frac{a_m}{L_m} + G_{np} \left[ \frac{b_{np}}{L_{np}} \left( 1 - \frac{c_{kp}}{L_m} \right) + \frac{1 - \frac{b_{np}}{L_{np}}}{1 + f \frac{h_{np}}{L_{np}}} \left( 1 - \frac{c_{kp}}{L_{np}} \right) f \frac{h_{kp}}{L_m} \right]}} \geq 1, \quad (6)$$

де  $h_{np}$  - висота центру мас напівпричепа;  $b_m, b_{np}$  - відстані від задніх осей до проєкцій центрів мас трактора і напівпричепа на горизонтальну площину,  $a_m = L_m - b_m$ ;  $G_m$ ;  $G_{np}$  - маса трактора і причепа з вантажем;  $c_{kp}, h_{kp}$  - координати точки шарнірного з'єднання трактора і напівпричепа,  $f$  - коефіцієнт опору коченню коліс.

Керованість тракторного агрегату ХТЗ-16331+ОЗТП-8573 зберігається при  $K_{y_{np}} \geq 1$ .

**В третьому розділі** обґрунтовані нові закономірності зміни енергетичних і навантажувальних параметрів тракторного агрегату при несталих режимах роботи, характерних для технологічного процесу збирання цукрового буряка.

Рух тракторного агрегату при завантаженні причепа (напівпричепа) транспортером бурякозбирального комбайна коренеплодами цукрового буряка здійснюється на малих швидкостях ( $V \leq 2,0$  м/с). При русі на низьких передачах на колесах трактора реалізується тягова сила, що перевищує сили опору руху. Це приводить до розгону тракторного агрегату, для запобігання якого водій загальмовує трактор, що забезпечує синхронність руху з бурякозбиральним комбайном. В цьому випадку процес руху тракторного агрегату під завантаженням коренеплодами цукрового буряка представляється таким, що складається з сукупності малих циклів "розгін - сталий рух - гальмування". Загальний час руху агрегату визначається по залежності

$$T = \sum_{i=1}^n (T_{P_i} + T_{T_i}) = \frac{G_{np}}{\Pi}, \quad (7)$$

де  $T_{P_i}$  - час розгону машини в  $i$ -му циклі, с;  $T_{T_i}$  - час гальмування машини в  $i$ -му циклі, с;  $n$  - число циклів за час руху при одному по-

вному завантаженні тракторного агрегату;  $\Pi$  - продуктивність комбайна, кг/с.

Для трактора ХТЗ-150К-09 з напівнавісним причепом ОЗТП-8573 при навантаженні коренеплодів цукрового буряка найбільш ефективна робота дизеля ЯМЗ-236Д-3 на знижених частотах обертання колінчастого валу (рис. 4).

Рис. 4. Часткова регуляторна характеристика дизеля ЯМЗ-236Д-3 ( $N_e = 121,3$  кВт (165 к.с.)  $n = 1700$  хв<sup>-1</sup>) трактора ХТЗ-150К-09 з напівнавісним причепом ОЗТП-8573:  $N_e$ ,  $P_e$ ,  $g_e$ ,  $g_{ec}$ ,  $n$ ,  $K_\phi$  - відповідно номінальна потужність, ефективний тиск, питома і середньозважена питома витрата палива при номінальній потужності, частота обертання колінчастого валу двигуна, коефіцієнт завантаження двигуна; вантаж: а-2500 кг; б-5000 кг; в-7500 кг; г-10000 кг

Аналіз часткової характеристики дизеля ЯМЗ-236Д-3 показує, що при регулюванні дизеля на режим роботи  $n = 1700$  хв<sup>-1</sup> достатньо потужності дизеля 122 кВт (165,9 к.с.) для роботи трактора ХТЗ-150К-09 з максимальним вантажем (10000 кг) коренеплодів цукрового буряка в причепі. При цьому середньозважена питома витрата палива під час заповнення кузова напівпричепа коренеплодами цукрового буряка буде  $g_{ec} = 238,0$  г/кВт·год (175 г/к.с.:год), що менше на 12%, порівняно з показниками роботи двигуна на основній регуляторній характеристиці (2100 хв<sup>-1</sup>).

Найбільші втрати енергії при несталому режимі руху тракторного агрегату при завантаженні коренеплодів цукрового буряка відзначені

при гальмуванні трактора. Середня потужність тертя, що реалізована в гальмах в  $i$ -му циклі і яка характеризує втрати енергії, дорівнює

$$N_{mpi} = \left( \frac{G_{Псн}}{g} + \Pi t \right) \frac{\frac{V_1 + V_2}{2}}{\frac{K_{сцi}}{V_1 - V_2} T_p + 1}, \quad (8)$$

де  $G_{Псн}$  - експлуатаційна вага тракторного агрегату, Н;  $V_1$ ;  $V_2$  - максимальна і мінімальна швидкості руху тракторного агрегату відповідно;  $T_p$  - час розгону агрегату;  $\Pi$  - продуктивність комбайна, кг/с;  $t$  - час руху агрегату (від початку завантаження), с;  $K_{сцi}$  - коефіцієнт використання зчіпної ваги трактора в  $i$ -му циклі.

Для оцінки витрат енергії на гальмування тракторного агрегату введено поняття енергетичної передавальної функції гальмівної системи, що є відношенням зміни повної (суми кінетичної і потенційної) енергії трактора до енергії, що витрачається на управління гальмівною системою:

$$F = \frac{\Delta E}{A_{ymp}} = \frac{m \Delta V^2 \left( \frac{V_1}{\Delta V} - 0,5 \right)}{A_{np} + 0,25 m^2 K_{сц}^2 \varphi^2 g^2 \sum_{i=1}^n \frac{\beta_{P_i}^2}{K_i^2 C_{Пi}}}, \quad (9)$$

де  $m$  - загальна маса колісного агрегату;  $\Delta V$  - зміна лінійної швидкості руху;  $A_{np}$  - робота, яка здійснюється приводом для створення приводного зусилля;  $C_{Пi}$  - приводне зусилля на вхідній ланці гальмівного механізму  $i$ -ї осі;  $K_{сц}$  - коефіцієнт використання зчіпної ваги при гальмуванні  $K_{сц} \leq 1$ ;  $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;  $\beta_{P_i}$  - частка гальмівної сили, що доводиться на  $i$ -у вісь.

Робота включення  $A_{вкл}$  барабанного гальмівного механізму тракторів серії ХТЗ-150К, ХТЗ-160 і ХТЗ-170 залежить як від величини гальмівного моменту  $M_T$ , так і від величини зносу гальмівних накладок. З підвищенням необхідного гальмівного моменту  $M_T$  тракторного агрегату, залежного від маси коренеплодів цукрового буряка в кузові причепа (напівпричепа), робота  $A_{вкл}$  включення гальмівного механізму істотно підвищується. Наприклад, для тракторного агрегату у складі трактора ХТЗ-150К-09 і напівнавісного причепа ОЗПІ-8573 з вантажем коренеплодів цукрового буряка в 5000 кг при швидкості руху

4,7 м/с (17,0 км/год) робота вмикання гальмівного механізму  $A_{\text{вкл}}=300$  Дж  $M_T=1200$  Н·м; при буксированні причепа з вантажем 10000 кг маємо  $A_{\text{вкл}}=600$  Дж,  $M_T=1900$  Н·м. Таким чином, з підвищенням ваги вантажу, що перевозиться від 5000 кг до 10000 кг тракторним агрегатом ХТЗ-150К-09+ОЗТП-8573 при зростанні максимального гальмівного моменту в 1,5 рази робота вмикання гальмівного механізму збільшується в 2 рази. При цьому для зношених фрикційних накладок робота вмикання гальмівного механізму в порівнянні з новими накладками зростає на 25...30%.

При зміні швидкості руху тракторного агрегату шляхом перемикання передач трактора енерговитрати оцінені по підвищенню температури гідропідтискових муфт коробки перемикання передач з перемиканням без розриву потоку потужності тракторів серії ХТЗ-150К-09 і ХТЗ-160, що знаходиться в межах 2...8°C на одне включення. Даний параметр залишається стабільним при різній масі коренеплодів в кузові причепа тракторного агрегату.

Зміна швидкості руху тракторного агрегату при завантаженні коренеплодів цукрового буряка вивантажувальним транспортером бурякозбирального комбайна може бути як у бік збільшення (накид навантаження), так і у бік зменшення (скидання навантаження). Теоретично і експериментально доведено, що несталый характер навантаження тракторного агрегату при перемиканні передач приводить до негативних навантажень трансмісії трактора.

Теоретично і експериментально доведено, що при зменшенні швидкості руху трактора ХТЗ-150К-09 із завантаженими причепами типу ІПТС-9, ЗПТС-12 можливі негативні моменти деталей трансмісії, що характеризуються коефіцієнтом динамічності  $K_d = M_{\text{max}}/M_{\text{cp}} = -2,34$ , де  $M_{\text{max}}$ ,  $M_{\text{cp}}$  - крутні моменти відповідно максимальний і середній.

При роботі двигуна на часткових режимах навантаженість деталей трансмісії трактори нижче на 2,0...3,0% порівняно з роботою двигуна на номінальних обертах.

**В четвертому розділі** приведена програма, методика і результати експериментальних досліджень. Програма робіт передбачала виконання лабораторних робіт з метою оцінки витрати палива двигуном при роботі на номінальному і частковому режимах роботи, формуванню гори коренеплодів цукрового буряка в кузові причепа (напівпричепа) при завантаженні вивантажувальним транспортером бурякозбирального комбайна, керованості трактора при змінній масі напівпричепа і режимів навантажень трансмісії трактора при зміні швидкості

руху тракторного агрегату. Програма польових випробувань передбачала виконання робіт по енергозбереженню тракторного агрегату при синхронному русі з бурякозбиральним комбайном.

За об'єкт випробування прийняті трактори ХТЗ-150К-09, ХТЗ-16331 з напівнавісним причепом ОЗТП-8573, бурякозбиральний комбайн КС-6Б.

При експериментальних дослідженнях для виміру витрати палива двигуном; температурних режимів гідропідтискових муфт і гальм; крутних моментів, що передаються валами, застосовані датчики, апаратура і прилади, які широко використовуються при випробуваннях сільськогосподарської техніки.

Для оцінки висоти гори коренеплодів цукрового буряка в кузові причепа застосований реохордний датчик лінійних переміщень 303-00-000, закріплений на кінці вивантажувального транспортера бурякозбирального комбайна (рис. 5).

Рис. 5. Установка датчиків виміру висоти 1 гори коренеплодів цукрового буряка в кузові причепа

Аналіз матеріалів за оцінкою висоти гори коренеплодів в кузові тракторного причепа при навантаженні транспортером бурякозбирального комбайна показав, що висота гори і розподіл коренеплодів в кузові причепа істотно залежить від втрат коренеплодів при завантаженні (табл. 4).

Таблиця 4

Втрати маси (%) коренеплодів цукрового буряка при їх вивантаженні транспортером бурякозбирального комбайна в тракторний причеп

Середній діаметр коренеплодів, мм	Середня маса коренеплодів, г	Висота вивантаження, м			
		2,0	1,5	1,0	0,5
130	1400	4,0	3,0	1,7	0,5
110	930	3,0	2,0	1,2	0,3
90	590	1,9	1,3	0,8	0,3
70	340	1,2	0,8	0,4	0,2
50	150	0,6	0,4	0,2	0

Примітка: В таблиці наведено середнє арифметичне значення втрат маси коренеплодів за результатами триразової повторності досвіду.

Енерговитрати тракторного агрегату при навантаженні в кузов причепа коренеплодів цукрового буряка оцінені за багатопараметровою тяговою характеристикою (рис. 6).



Рис. 6. Багатопараметрова тягова характеристика трактора

ХТЗ-150К-09 на третій передачі першого діапазону (довантаження заднього моста – 2000 кг, агрофон – ґрунтова дорога, вологість ґрунту – 25-27%):  $n$  - частота обертання колінчастого валу,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $g_{кр}$  - питома витрата палива двигуном  $\text{г/кВт}\cdot\text{год}$ ;  $V$  - швидкість руху трактора,  $\text{м/с}$ ;  $P_{кр}$  - сила тяги на крюку,  $\text{кН}$ ;  $N_{кр}$  - тягова потужність,  $\text{кВт}$

На рис. 6 позначено лініями:

- товстими – залежність швидкості руху  $V$  від тягового зусилля трактора при роботі дизеля на повношвидкісному режимі ( $n = 2100 \text{ хв}^{-1}$ );
- тонкими – залежність швидкості руху  $V$  від тягового зусилля  $P_{кр}$  трактора при роботі дизеля на часткових швидкісних режимах (відповідна частота обертання колінчастого валу дизеля позначена над кожною лінією);
- товстими, попарно затемненими – лінії рівної питомої витрати  $g_{кр}$  палива.

При агрегуванні трактора ХТЗ-150К-09 із завантаженим напівнавісним причепом ОЗП-8573 при збиранні коренеплодів цукрового буряка тяговий опір знаходиться в межах 26,0...26,5  $\text{кН}$  при швидкості руху агрегату 2,5...2,6  $\text{м/с}$ . Даний навантажений і швидкісний режим роботи тракторного агрегату може бути забезпечений на другій і третій передачах першого діапазону трактора при оборотах колінчастого валу дизеля відповідно 2112  $\text{хв}^{-1}$  і 1750  $\text{хв}^{-1}$  (точка А на рис. 6).

В першому випадку питома витрата палива буде 404  $\text{г/кВт}\cdot\text{год}$ , в другому – 345  $\text{г/кВт}\cdot\text{год}$ , тобто при роботі дизеля на частковому режимі забезпечується економія палива на 14,6%.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел по енерговитратах тракторних агрегатів показав, що проблема їх енергозбереження при збиранні коренеплодів цукрового буряка не розглядалася. Це визначило необхідність виконання теоретичних і експериментальних досліджень з підвищення тягово-зчіпних і енергетичних показників тракторних агрегатів у складі бурякозбирального комплексу.

2. При завантаженні коренеплодів цукрового буряка вивантажува- льним транспортером бурякозбирального комбайна в кузові причепа (напівпричепа) і маневруванні тракторного агрегату утворюються нерівності коренеплодів, які представляють собою тіла, що близькі по формі до конусів. Перерозподіл вертикальних навантажень по осях трактора складає в цьому випадку 25...35% порівняно з номі- нальним значенням.
3. При агрегуванні трактора з напівприцепом і безперервному за- вантаженні в кузов коренеплодів цукрового буряка керованість тра- кторного агрегату забезпечується при рівності горизонтальних ко- ординат кріплення напівпричепа і центру мас трактора.
4. Тракторний агрегат при безперервному завантаженні коренеплодів цукрового буряка в кузов напівпричепа транспортером бурякозби- рального комбайна має максимальний тяговий ККД при ступені за- вантаження трактора, яка дорівнює 0,9.
5. Енерговитрати тракторного агрегату при завантаженні коренепло- дів цукрового буряка обумовлені в основному необхідністю зміни його швидкості для забезпечення синхронності руху з бурякозбира- льним комбайном.

Підвищення температури гідропідтискних муфт коробок передач з перемиканням без розриву потоку потужності тракторів серії ХТЗ-150К-09 і ХТЗ-160, яке характеризує втрати енергії на переми- канні передач, знаходиться в межах 2...8°С на одне включення. Да- ний параметр залишається стабільним при різній масі коренеплодів.

З підвищенням маси вантажу, що перевозиться, до 10000 кг тракто- рним агрегатом ХТЗ-150К-09+ОЗТП-8573 і при зростанні максима- льного гальмівного моменту в 1,5 рази робота включення гальмів- ного механізму збільшується в 2 рази. При цьому для зношених фрикційних накладок робота включення гальмівного механізму по- рівняно з новими накладками зростає на 25...30%.

6. При завантаженні коренеплодів цукрового буряка в причіп тракто- рного агрегату ХТЗ-150К-09+ОЗТП-8573 рекомендується режим роботи дизеля ЯМЗ-236Д-3 на частковій регуляторній характе- ристиці ( $n = 1700 \text{ хв}^{-1}$ ), при якому забезпечується на 13...15% зниження витрати палива порівняно з режимом роботи на основній регулятор- ній характеристиці ( $n = 2100 \text{ хв}^{-1}$ ).

При перевезенні коренеплодів цукрового буряка трактором ХТЗ-150К-09 причепами ОЗТП-8573, 1ПТС-9+3ПТС-12 при змен- шенні швидкості руху в деталях трансмісії відзначені негативні мо- менти, що крутять, з коефіцієнтом динамічності  $K_0 = -2,34$ .

При роботі двигуна на часткових режимах навантаженість деталей трансмісії трактора нижче на 2...3% порівняно з роботою двигуна на номінальних обертах колінчастого валу.

7. За результатами виконаної роботи обґрунтовані рекомендації по енергозбереженню тракторних агрегатів при збиранні коренеплодів цукрового буряка. Теоретичні розробки і результати експериментальних досліджень передані у відділ Головного конструктора ВАТ “Харківський тракторний завод” для використання при модернізації і розробки нових моделей тракторів, а також запропоновані рекомендації є складовою частиною “Технологічних карт на вирощування сільськогосподарських культур”, розроблених в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка і рекомендовані Головним управлінням агропромислового розвитку Харківської обласної державної адміністрації для використання в агрофірмах.

### **СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Подригало М.А., Волков В.П., Миленин А.Н. Оценка энергопреобразующих свойств тормозных систем колесных машин//Вісник ХДТУСГ. Механізація сільського господарства.- Харків: ХДТУСГ, 2000.-вип. 1, С.31-38. (Здобувач запропонував використовувати енергетичну передавальну функцію).
2. Подригало М.А., Волков В.П., Миленин А.Н. Оценка температурного режима тормозных механизмов колесных машин при единичном торможении// Автомобильный транспорт.-Харьков: ХНАДУ, 2001.- Вып. 7 и 8, С.78-81. (Здобувач виконував розрахунки по визначенню температурного режиму гальмівного механізму колісного трактора при одиничному гальмуванні).
3. Подригало М.А., Миленин А.Н. Определение рациональных скоростей движения тракторных поездов на транспортных работах// Вісник ХДТУСГ. Механізація сільського господарства.- Харків: ХДТУСГ, 2001.-Вип. 7, С.43-48. (Здобувачем запропонований критерій по обґрунтуванню раціональних швидкостей руху тракторних потягів).
4. Волков В.П., Миленин А.Н. Определение рациональных скоростей движения и грузоподъемности тракторного поезда по энергетическому критерию//Тракторная энергетика в растениеводстве.- Харьков: ХГТУСХ, 2001.-Вып. 4, С. 67-71. (Здобувачем обґрунтована

умова мінімальної втрати енергії при гальмуванні тракторного потягу).

5. Миленин А.Н. Энергетический подход к оценке разделения контуров тормозного привода колесных тракторов//Вестник СевГТУ. Автоматизация процессов и управление.- Севастополь: Сев. нац. техн. ун-т., 2002.- Вып. 36,С.222-225.
6. Лебедев А.Т., Миленин А.Н. Энергетическая оценка пневматической тормозной системы тракторного поезда // Тракторная энергетика в растениеводстве.-Харьков:ХГТУСХ, 2002.-вып.5, С. 281-286. (Здобувачем обгрунтована математична модель пневмоприводу гальмівної системи трактора).
7. Миленин А.Н. Нагруженность элементов трансмиссии на транспортных работах при изменении скорости движения // Вісник ХГТУСГ. Підвищення надійності відновлюємих деталей машин.- Харків: ХДТУСГ, 2003.- Вип. 17, С.123-129.
8. Волков В.П., Миленин А.Н., Байцур М.В. Определение работы, выполняемой при включении барабанных тормозных механизмов //Вестник ХНАДУ.-Харьков: ХНАДУ, 2004.- Вып. 23, С.36-38. (Здобувачем обгрунтована методика розрахунку).
9. Бойко М.Ф., Міленін А.М. Оцінка керованості трактора з причепом при роботі з бурякозбиральним комбайном//Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка.- Харків: ХДТУСГ, 2005.-Вип. 41, С.29-37. (Здобувачем обгрунтована умова збереження керованості трактора з причепом).
10. Поляшенко С.А., Миленин А.Н. Модель заполнения кузова транспортного средства корнеклубнеплодами в технологическом процессе погрузки// Праці Таврійської державної агротехнічної академії. Мелітополь: Тавр. держ. агротехн. акад., 2005.-Вип. 27, С. 117-126.(Здобувачем обгрунтована математична модель заповнення кузова при випадковій швидкості подачі коренеплодів).
11. Миленин А.Н. Тяговые свойства и энергозатраты тракторо-транспортного агрегата при погрузке и перевозке корнеплодов сахарной свеклы// Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка.-Харків: ХНТУСГ, 2006.- Вип.44, том 1.-С.117-120.

## АНОТАЦІЇ

Міленін А.М. Енергозбереження тракторних агрегатів при збиранні коренеплодів цукрового буряка. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – Машини і засоби механізації сільсь-

когосподарського виробництва. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенко. Харків, 2007.

Дисертація присвячена вирішенню проблеми енергозбереження тракторних агрегатів на базі тракторів загального призначення при збиранні коренеплодів цукрового буряка. В роботі розглянуті основні положення теорії трактора у напрямі змінної маси, характерної для безперервного навантаження коренеплодів цукрового буряка в кузов причепа (напівпричепа) транспортером бурякозбирального комбайна. Запропонована математична модель енерговитрат тракторного агрегату при синхронному русі з бурякозбиральним комбайном, що дозволяє обґрунтувати режим роботи двигуна трактора на частковому швидкісному режимі і отримати економію палива на 13...15%.

Результати досліджень впроваджені на ВАТ “Харківський тракторний завод” і при розробці технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур.

Ключові слова: тракторний агрегат, цукровий буряк, збирання, енергозбереження.

Миленин А.Н. Энергосбережение тракторных агрегатов при уборке корнеплодов сахарной свеклы. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук из специальности 05.05.11 – Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени. Петра Василенко. Харьков, 2007.

Диссертация посвящена решению проблемы энергосбережения тракторных агрегатов на базе тракторов общего назначения при уборке корнеплодов сахарной свеклы. В работе развиты основные положения теории трактора в направлении переменной массы, характерной для непрерывной погрузки корнеплодов сахарной свеклы в кузов прицепа (полуприцепа) транспортером свеклоуборочного комбайна. Предложена математическая модель энергозатрат тракторного агрегата при синхронном движении со свеклоуборочным комбайном, позволяющая обосновать режим работы двигателя трактора на частичном скоростном режиме и получить экономию топлива на 13...15%.

Тракторный агрегат при непрерывной погрузке корнеплодов сахарной свеклы в кузов полуприцепа транспортером свеклоуборочного комбайна имеет максимальный тяговый КПД при недогрузке трактора от полуприцепа на 0,9 от максимально допустимой нагрузки. Энерго-

затраты тракторного агрегата при погрузке корнеплодов сахарной свеклы обусловлены в основном необходимостью изменения его скорости для обеспечения синхронности движения со свеклоуборочным комбайном.

Повышение температуры гидроподжимных муфт коробок передач с переключением без разрыва потока мощности тракторов серии ХТЗ-150К и ХТЗ-160, характеризующее потери энергии на переключении передач, находится в пределах 2...8°С на одно включение. Данный параметр остается стабильным при различной массе корнеплодов.

С повышением массы перевозимого груза до 10000 кг тракторным агрегатом ХТЗ-150К-09+ОЗТП-8573 при возрастании максимального тормозного момента в 1,5 раза работа включения тормозного механизма увеличивается в 2 раза. При этом для изношенных фрикционных накладок работа включения тормозного механизма в сравнении с новыми накладками возрастает на 25...30%.

При перевозке корнеплодов сахарной свеклы трактором ХТЗ-150К-09 прицепами ОЗТП-8573, 1ПТС-9+3ПТС-12 при уменьшении скорости движения в деталях трансмиссии отмечены отрицательные моменты с коэффициентом динамичности  $K_o = -2,34$ .

При работе двигателя на частичных режимах нагруженность деталей трансмиссии трактора ниже на 2...3% в сравнении с работой двигателя на номинальных оборотах коленчатого вала.

Результаты исследований внедрены на ОАО “Харьковский тракторный завод” и при разработке технологических карт выращивания сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: тракторный агрегат, сахарная свекла, уборка, энергосбережение.

Milenin A. Energy economy of tractor aggregates at picking up of root crops of sugar beet. – Manuscript.

Dissertation for the Candidate of technical science degree. Speciality 05.05.11 – Machines and means of farm production mechanization. –Kharkov National technical university of agriculture the name of Petro Vasilenko. Kharkov, 2007.

Dissertation is devoted problem decision of energy economy of tractor aggregates on the base of tractors of the common setting at cleaning up of root crops of sugar beet. In work basic positions of theory of tractor in the direction of variable mass characteristic for the continuous loading of root crops of sugar beet in the basket of trailer (semitrailer) by the conveyer of

beet peaking combine are developed. The mathematical model of energy expenditures of tractor aggregate at synchronous motion with a beet peaking combine is offered, allowing to ground the mode of operations of engine of tractor on the partial speed mode and get the economy of fuel on 13...15%.

The results of researches are inculcated on Kharkov tractor factory and at development of technological cards of growing of agricultural cultures.

Keywords: tractor aggregate, sugar beet, cleaning up, energy economy.