

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

**РАМШ ВАСИЛЬ ЮРІЙОВИЧ**

УДК 631.361

**ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОМБІНОВАНОГО  
ОЧИСНИКА ВОРОХУ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

05.05.11 – машини і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

ТЕРНОПІЛЬ  
2012

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у відокремленому підрозділі Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут» Кабінету Міністрів України, м. Бережани

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент  
**Барановський Віктор Миколайович**,  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
доцент кафедри технології і обладнання зварювального виробництва

**Офіційні опоненти:**

заслужений винахідник України,  
доктор технічних наук, професор  
**Гевко Роман Богданович**,  
Тернопільський національний економічний університет,  
декан факультету аграрної економіки і менеджменту,  
завідувач кафедри інженерного менеджменту

кандидат технічних наук, доцент  
**Онищенко Володимир Борисович**,  
Національний університет біоресурсів і природокористування України,  
доцент кафедри інженерного забезпечення рослинництва ім. П. Василенка

Захист відбудеться “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2012 року о “ \_\_\_\_ ” годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 58.052.02 в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, аудиторія 79.

З дисертаційною роботою можна ознайомитись у бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розіслано “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2012 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради, к.т.н., доцент

П.В. Попович

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Збільшення обсягів виробництва коренеплодів цукрових буряків пояснюється значним попитом продукції переробки цукрової сировини, який визначається необхідністю забезпечення кормової бази тваринництва України та реалізацією цукру за її межами.

Головною тенденцією розроблення сучасних коренезбиральних машин (КМ) є підвищення показників якості процесу збирання, які визначають технічний рівень збиральної техніки, розвиток і виробництво якої в Україні за останні роки практично припинився.

Основною причиною зниження ефективності виробництва коренеплодів є недосконалість техніки для збирання та невідповідність показників якості цукросировини вимогам, які висуває Держстандарт України.

Одним із резервів підвищення якості цукросировини є поліпшення технологічного процесу очищення вороху шляхом застосування комбінованих очисників, які поєднують у собі систему поперечних шнеків, над якими встановлено очисний вал із пружними елементами. Це дозволить інтенсифікувати процес відокремлення домішок від коренеплодів за рахунок використання додаткового ефекту взаємодії очисних пружних елементів з поверхнею тіла коренеплодів.

Тому розроблення активних робочих органів комбінованих очисників вороху та дослідження впливу їх основних параметрів для поліпшення показників якості роботи КМ є актуальним народногосподарським завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Розроблення конструкції комбінованого очисника та обґрунтування параметрів робочих органів були проведені відповідно до наукової тематики ВП НУБіПУ «Бережанський агротехнічний інститут» за темою «Комплексна механізація виробничих процесів в АПК», № держреєстрації 0108U008826. Робота є складовою вирішення проблеми з розроблення та впровадження машин для збирання коренеплодів у рамках цільової комплексної державної науково-технічної програми «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі» на 2006-2010 рр., затвердженої Міністерством освіти і науки України.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є підвищення показників якості очищення коренеплодів цукрових буряків шляхом удосконалення конструкції та вибору раціональних параметрів комбінованого очисника.

Для досягнення мети поставлено такі завдання:

- на основі проведеного аналізу технологічних процесів відокремлення домішок від коренеплодів розробити конструктивно-технологічну схему комбінованого очисника;

- теоретично обґрунтувати основні параметри комбінованого очисника на основі розроблення та порівняльного аналізу математичних моделей, які характеризують взаємозв'язок секундної подачі викопаного вороху цукрових буряків і необхідної пропускної здатності та продуктивності жолоба робочих русел очисника;

- розробити математичну модель функціональної залежності коефіцієнта кінематичної взаємодії коренеплодів із рифом шнека від параметрів процесу;
- експериментально підтвердити адекватність розроблених математичних моделей;
- провести експериментальні дослідження ефективності процесу відокремлення налиплого ґрунту на поверхні тіла коренеплодів цукрових буряків комбінованим очисником;
- провести польові порівняльні дослідження показників якості роботи удосконаленої та базової КМ і визначити економічну ефективність її застосування.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес відокремлення домішок від коренеплодів комбінованим очисником, викопаний ворох коренеплодів.

**Предмет дослідження** – конструктивно-кінематичні параметри та показники якості роботи комбінованого очисника.

**Методи дослідження.** Теоретичні дослідження базувалися на механіко-математичному моделюванні процесу відокремлення домішок від коренеплодів із використанням основних положень теоретичної механіки, вищої математики, теорії машин і механізмів. Експериментальні дослідження комбінованого очисника проводились у лабораторних і польових умовах згідно з методикою математичного планування та реалізації багатofакторних експериментів і проведення випробувань. Розрахунки теоретичного аналізу та статистична обробка експериментальних даних проводилися з використанням прикладних програм для ПК.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Обґрунтовано технологічний процес відокремлення домішок від коренеплодів цукрових буряків і основні конструктивно-кінематичні параметри комбінованого очисника. На цій підставі вперше отримано:

- математичні моделі, які характеризують взаємозв'язок секундної подачі викопаного вороху та пропускної здатності комбінованого очисника з необхідною розрахунковою продуктивністю жолоба робочих русел залежно від умов роботи КМ, розмірних параметрів коренеплодів і конструктивних параметрів копача та комбінованого очисника;
- математичну модель, яка характеризує зміну коефіцієнта кінематичної взаємодії коренеплодів з рифом шнека залежно від параметрів процесу;
- рівняння для визначення мінімальної і максимальної частоти обертання шнека та продуктивності жолоба залежно від параметрів очисника.
- емпіричні рівняння регресії, які характеризують:
- ефективність процесу відокремлення налиплого ґрунту з поверхні тіла коренеплодів конкретизованої маси від діаметра й частоти обертання шнека та пружних очисних елементів;
- зміну продуктивності комбінованого очисника залежно від умов роботи КМ і параметрів жолоба робочих русел очисника;
- загальну кількість домішок, масу налиплого ґрунту, загальну кількість рослинних домішок і загальні пошкодження коренеплодів від швидкості руху КМ, частоти обертання шнека та пружних очисних елементів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновано і експериментально обґрунтовано удосконалену конструкцію комбінованого очисника та визначено його основні раціональні конструктивно-кінематичні параметри. Запропоновано рекомендації для вибору раціональних параметрів комбінованого очисника та його застосування. Результати агротехнічної оцінки модернізованої МКП-4 та базової КМ підтвердили технологічну ефективність роботи очисника у виробничих умовах. Конструктивна новизна технічного рішення захищена 3 патентами України №№ 46919, 46920, 46925 на винаходи. Результати досліджень прийняті ВАТ «БОРЕКС» (м. Бородянка, Київської обл.) для розроблення та вдосконалення існуючих КМ.

**Особистий внесок здобувача.** Основні теоретичні та експериментальні дослідження за темою дисертації здобувач виконав особисто, постановку завдань, аналіз і трактування отриманих результатів виконано спільно з науковим керівником. У технічних рішеннях частка всіх співавторів однакова. Особиста участь здобувача: запропоновано конструктивну схему комбінованого очисника [2, 6, 8, 9, 10]; отримано математичні моделі, які характеризують взаємозв'язок секундної подачі викопаного вороху та пропускної здатності комбінованого очисника з необхідною розрахунковою продуктивністю жолоба робочих русел [3, 4, 14, 11, 12]; отримано математичну модель, яка характеризує зміну коефіцієнта кінематичної взаємодії коренеплодів з рифом шнека [1, 13]; отримано рівняння для визначення мінімальної і максимальної частоти обертання шнека та продуктивності очисника [1, 5, 13, 14]; отримано регресійні залежності зміни: маси налиплого ґрунту з поверхні тіла коренеплодів конкретизованої маси від параметрів процесу; продуктивності комбінованого очисника залежно від умов роботи КМ і параметрів жолоба робочих русел очисника; загальної кількості домішок, маси налиплого ґрунту, загальних пошкоджень коренеплодів від швидкості руху КМ, частоти обертання шнека та пружних очисних елементів [6, 7, 13].

**Апробація роботи.** Основні положення і результати досліджень доповідалися та отримали позитивну оцінку на 9-ій міжн. наук.-практ. конф., присвяченій пам'яті акад. Петра Василенка, (м. Львів, ЛНАУ, 2008 р.); на міжн. наук.-техн. конф. «Прогресивні технології і обладнання в машино- і приладобудуванні» (м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011 р.); на першій наук.-техн. конф. ф-ту переробн. і харч. виробн. (м. Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011 р.); на десятій міжн. наук.-метод. конф. «Інноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин» (м. Харків, ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2012 р.); на III міжн. нак. конф. «Земля України – потенціал енергетичної та екологічної безпеки держави» (м. Вінниця, ВНАУ, 2012 р.).

**Публікації.** Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 14 наукових працях, із них – 9 статей у фахових виданнях ВАК України, 3 патенти України на винаходи та 2 тези конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків і пропозицій, списку використаної літератури зі 153 найменувань й 42 додатків. Основну частину виконано на 164 сторінках, де міститься 61 рисунок і 8 таблиць. Загальний обсяг роботи складає 237 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання, об'єкт і предмет досліджень, методи досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У першому розділі «Аналіз технологічних процесів сепарації та конструктивних схем очисників вороху цукрових буряків» проведено аналіз технологій очищення вороху від домішок, конструкції очисників, а також обґрунтовано вибір робочого органу для проведення досліджень.

Теоретичному та експериментальному дослідженню процесів сепарації вороху коренеплодів із визначенням параметрів робочих органів очисників присвячені праці відомих учених Булгакова В.М., Василенка П.М., Гевка Б.М., Гевка Р.Б., Погорілого Л.В., Рогатинського Р.М., Савича П.В., Татянка М.В., Хелемендика М.М, Шабельника Б.П., науковців Аванесова Ю.Б., Барановського В.М., Влас Н.Є., Гандзюка О.М., Гурченка О.П., Дубчак Н.А., Данильченка М.Г., Козіброди Я.І., Онищенко В.Б., Паньків М.Р., Русанова І.І., Смакоуза Г.М. та ін.

Проведений аналіз роботи відомих конструкцій очисників показав, що наявна сукупність недоліків їх роботи (незадовільне відокремлення домішок від коренеплодів і особливо налиплого ґрунту, їх пошкодження, динамічні навантаження на опори очисних валів тощо) значно обмежують їх застосування для очищення вороху коренеплодів. Найбільш перспективним напрямком є використання комбінованих очисників, які забезпечать одночасне відокремлення від коренеплодів вільного та налиплого ґрунту, рослинних домішок, мінімальні пошкодження коренеплодів у важких умовах збирання.

Тому в основу роботи покладено дослідження потенційних можливостей і обґрунтування раціональних параметрів комбінованого очисника (рис. 1), який являє собою транспортер 1, гірку 2 та встановлений у просторі жолоба 8 горизонтальний очисний вал 9, на барабані 10 якого закріплено пружні очисні елементи 11, що набрані з пучків ворсу 12. Жолоб утворено правою 3 та лівою 4 системами шнеків 5 круглого перерізу, осі 6 обертання яких розміщено на нижній вітці еліпса 7.

У другому розділі «Теоретичні дослідження технологічного процесу роботи комбінованого очисника вороху коренеплодів» теоретично обґрунтовано параметри жолоба шляхом дослідження взаємозв'язку секундної подачі вороху до очисника та його пропускної здатності й продуктивності роботи, а також кінематичного аналізу процесу взаємодії коренеплодів з рифом шнека.

На першому етапі, обґрунтування раціональних типів очисників вороху коренеплодів і структури компоновальних схем КМ може бути виконано на

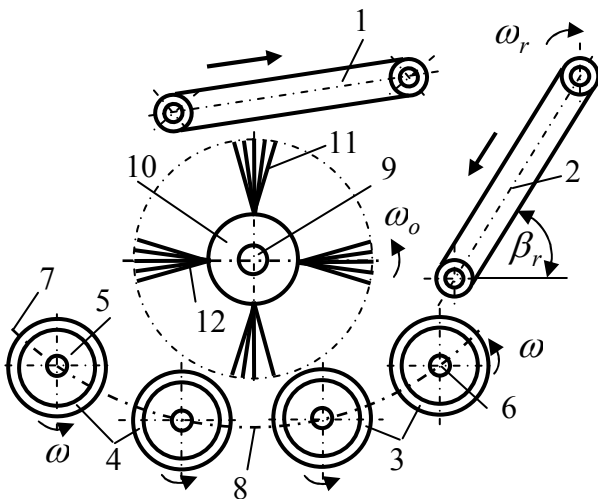


Рис. 1. Конструктивна схема комбінованого очисника

основі моделювання накладеної умови, що пропускна здатність робочих органів очисника за час  $t$  має дорівнювати, або бути більшою за загальну секундну подачу вороху  $W_{ck}$ , який викопується копачами та в подальшому надходить до очисника із попередніх транспортних систем КМ, або

$$dW_o / dt \geq dW_c / dt = (dW_{ck} / dt) \lambda, \text{ або } W_o \geq W_c \geq W_{ck} \lambda, \quad (1)$$

де  $W_o$  – пропускна здатність очисника, кг/с;  $W_c$  – секундна подача вороху, який надходить до очисника, кг/с;  $\lambda$  – коефіцієнт сепарації домішок до очисника.

Для розрахунку  $W_c$ , який надходить з  $n_k$ -их рядків, розглянуто еквівалентну схему викопування коренеплодів, основні аспекти формалізації якого були такі: поверхні робочих органів вібраційного копача являють собою два тригранних клини, які переміщуються у вертикальній площині, паралельній напрямку руху КМ; формалізоване тіло коренеплодів має форму конуса, а його головка – форму півсфери.

Загальна подача вороху, який надходить до робочих органів очисника

$$\frac{dW_c}{dt} = \sum_{i=1}^n \frac{dW_{1i}}{dt} k_k + \sum_{i=1}^n \frac{dW_{2i}}{dt} \lambda_p \lambda_2 + \sum_{i=1}^n \frac{dW_{3i}}{dt} \lambda_p \lambda_3, \quad (2)$$

де  $\sum_{i=1}^n \frac{dW_{1i}}{dt}$ ,  $\sum_{i=1}^n \frac{dW_{2i}}{dt}$ ,  $\sum_{i=1}^n \frac{dW_{3i}}{dt}$  – загальна секундна подача коренеплодів, ґрунтових і рослинних домішок з  $n_k$ -их рядків, кг/с;  $k_k$ ,  $\lambda_p$ ,  $\lambda_p$  – відповідно загальний коефіцієнт втрат коренеплодів, сепарації ґрунту та вільних рослинних домішок з  $n_k$ -х рядків.

Підставивши початкові умови у рівняння (2), отримано математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок зміни  $W_c$  до шнеків очисника залежно від конструктивних параметрів копача, агрофізичних параметрів коренеплодів і умов роботи КМ

$$\frac{dW_c}{dt} = n_k \lambda \frac{dS_k}{dt} \left\{ \frac{\pi}{12} \left( \frac{\Theta_{V_k} \rho_1 k_k}{\lambda} - \Theta_{V_{k_n}} \rho_2 \lambda_p \right) + \right. \\ \left. + \Omega_{VF} \left[ h \rho_2 \lambda_p \left( 1 - \frac{htg\beta}{\Omega_{VF}} \right) + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right] \right\}, \quad (3)$$

де  $D_{1k}^2 N_1 (L_{1k} + 0,5 D_{1k}) + D_{2k}^2 N_2 (L_{2k} + 0,5 D_{k_2}) + \dots + D_{uk}^2 N_u (L_{uk} + 0,5 D_{uk}) = \Theta_{V_k}$ ;

$D_{1k}^2 N_1 (L_{1k} - 0,5 D_{1k}) + D_{2k}^2 N_2 (L_{2k} - 0,5 D_{k_2}) + \dots + D_{uk}^2 N_u (L_{uk} - 0,5 D_{uk}) = \Theta_{V_{k_n}}$ ;

$b + 2htg\beta = \Omega_{VF}$ ;  $S_k$  – шлях який проходить копач за 1 с, м;  $\lambda$  – коефіцієнт сепарації домішок на шляху їх переміщення до шнеків очисника;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – питома маса коренеплодів і ґрунту, кг/м<sup>3</sup>;  $h$  – глибина ходу копачів, м;  $b$  – передній розхил носків лемешів копача на рівні поверхні ґрунту, м;  $\beta$  – кут нахилу бокової площини лемеша до вертикальної площини, паралельної напрямку швидкості руху копача, град.;  $U_g$  – урожайність гички, кг/м<sup>2</sup>.

Після спрощення задачі та прийнявши в (3), що:  $N_1 + N_2 + \dots + N_u = N$ , де  $N$  – усереднена кількість коренеплодів на 1 п.м;  $D_{1k} = D_{2k} = \dots = D_{uk} = D_k$ , де  $D_k$  – усереднений діаметр головки коренеплодів, м;  $L_{1k} + 0,5D_{1k} = L_{2k} + 0,5D_{2k} = \dots = L_{uk} + 0,5D_{uk} = h + D_k$ , де  $L_k$  – загальна довжина коренеплодів, м;  $L_{1k} - 0,5D_{1k} = L_{2k} - 0,5D_{2k} = \dots = L_{uk} - 0,5D_{uk} = h$ ;  $b = a + 2l \sin \alpha$ , де  $a$  – задній розхил лемешів, м;  $l$  – довжина леза лемеша, м;  $\alpha$  – половина кута розхилу носків лемешів, град., отримано:

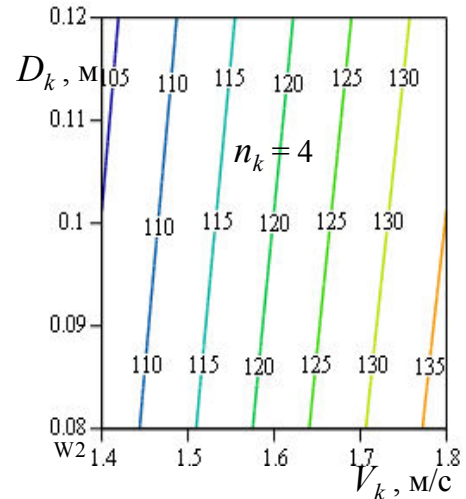


Рис. 2. Залежність  $W_c = f(V_k, D_k)$

$$W_c = n_k \lambda_p \lambda \rho_2 V_k \left\{ \frac{\pi}{12} D_k^2 N \left( \frac{\rho_1 k_k (h + D_k)}{\lambda_p \lambda \rho_2} - 1 \right) + [a + 2(l \sin \alpha + htg\beta)] \times \right. \\ \left. \times \left[ h \left( 1 - \frac{htg\beta}{[a + 2(l \sin \alpha + htg\beta)]} \right) + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right] \right\}. \quad (4)$$

Встановлено, що зі збільшенням швидкості руху копача  $V_k$  від 1,4 до 1,8 (м/с) при збиранні коренеплодів  $D_k = 0,12$  м,  $W_c$  зростає приблизно в 1,3 раза (рис. 2), а зі збільшенням  $n_k$  від 2-х до 6-ти – приблизно в 3 рази. Залежно від збільшення  $D_k$  у межах 0,08...0,12 (м) зростає в середньому на 3...4 кг/с.

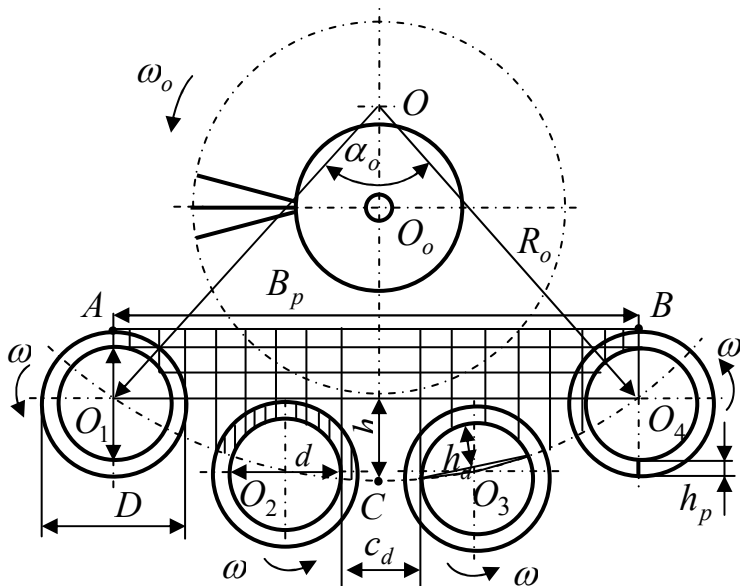


Рис. 3. Схема до розрахунку параметрів жолоба

Обґрунтування параметрів, утвореного шнеками жолоба очисника (рис. 3), проведено шляхом аналізу руху вороху в жолобі. Взаємозв'язок між параметрами шнека і жолоба визначено на основі аналізу пропускної здатності  $W_o$  або продуктивності  $Q_o$  очисника

$$W_o = Q_o \geq \lambda_o \frac{W_c F_n \rho_1 \varphi_k}{B_p q}, \quad (5)$$

де  $\lambda_o$ ,  $\varphi_k$  – коефіцієнт сепарації домішок і заповнення жолоба;  $F_n$ ,  $B_p$  – площа прохідного перерізу, (м<sup>2</sup>) і ширина жолоба.

Після визначення  $F_n$  та враховуючи (4), отримано математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок пропускної здатності  $W_o$  очисника та секундної подачі вороху  $W_c$ , або зміну  $W_o$  залежно від умов і швидкості руху КМ, параметрів копача і жолоба очисника та характеристик коренеплодів



$$W_o \geq n_k \lambda_p \lambda \rho_2 V_k \left\{ \frac{\pi}{12} D_k^2 N \left( \frac{\rho_1 k_k (h + D_k)}{\lambda_p \lambda \rho_2} - 1 \right) + [a + 2(l \sin \alpha + htg \beta)] \times \right. \\ \left. \times \left[ h \left( 1 - \frac{htg \beta}{[a + 2(l \sin \alpha + htg \beta)]} \right) \right] + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right\} \times \\ \times \frac{\lambda_o \rho_1 \varphi_k}{2q \sqrt{2h_o R_o - h_o^2}} \left\{ D \sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5 d^2 \sum_{i=1}^n \arccos \left( \frac{2h_{d_i}}{d} - 1 \right) + R_o^2 Z \right] \right\} \quad (6)$$

де  $D$  – зовнішній діаметр шнека, м;  $d$  – діаметр труби вала шнека, м;  $h_o$  – висота сегмента  $O_1 O_4 C O_1$ , м;  $R_o$  – радіус дуги  $ACD$ , м;  $\alpha_o$  – центральний кут, який стягує дугу  $ACD$ , град.;  $q$  – маса вороху, розміщеного в один шар, кг/м<sup>2</sup>;

$$Z = \left[ \arccos \left( \frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_c^2}{4R_o^2} \right) \right] - \frac{\pi}{180} \sin \left[ \arccos \left( \frac{(R_o - 2h_o)^2 - 2h_o^2}{4R_o^2} \right) \right]. \quad (7)$$

Дана математична модель регламентує технологічну працездатність роботи комбінованого очисника або забезпечення умови  $W_o \geq W_c$ , яку виражено через коефіцієнт технологічної працездатності очисника  $\eta_o \leq 1$

$$\eta_o = \frac{W_c}{W_o} = \frac{2q \sqrt{2h_o R_o - h_o^2}}{\lambda_o \rho_1 \varphi_k \left\{ D \sqrt{2h_o R_o - h_o^2} - \frac{\pi}{360} \left[ 0,5 d^2 \sum_{i=1}^n \arccos \left( \frac{2h_{d_i}}{d} - 1 \right) + 0,5 R_o^2 Z \right] \right\}} \leq 1. \quad (8)$$

Умова  $\eta_o \leq 1$  забезпечується для зміни  $D$  у межах  $0,18 \leq D \leq 0,25$  (м) і відповідних межах зміни  $0,75 \leq \varphi_k \leq 1,0$  та значеннях  $\lambda_o = 0,5$  і  $q = 25$  кг/м<sup>2</sup>. Зміна  $\eta_o$  залежно від  $\varphi_k$  та  $\lambda_o$  має характер зворотної функції, а умова  $\eta_o \leq 1$  забезпечується при  $\lambda_o \geq 0,5$  для  $D \geq 0,19$  м. Залежно від зміни  $q$  умова критерію  $\eta_o \leq 1$  виконується для  $0,15 \leq D \leq 0,25$  (м) та відповідних значень  $15 \leq q \leq 23$  (кг/м<sup>2</sup>), рис. 4.

Враховуючи (1) та (6), отримано математичну модель, яка характеризує взаємозв'язок секундної подачі викопаного вороху до комбінованого очисника, або зміни пропускної здатності очисника з необхідною продуктивністю жолоба робочих русел залежно від параметрів копача та очисника, агротехнічних характеристик коренеплодів і умов роботи КМ

$$\frac{dQ_o}{dt} - \frac{dW_c}{dt} = 0,125 \varphi_k T k_V \rho_1 k (D^2 - d^2) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) - \\ - n_k \lambda_p \lambda \rho_2 \left( \frac{dS}{dt} \right) \left\{ \frac{\pi}{12} D_k^2 N \left( \frac{\rho_1 k_k (h + D_k)}{\lambda_p \lambda \rho_2} - 1 \right) + [a + 2(l \sin \alpha + htg \beta)] \times \right. \\ \left. \times \left[ h \left( 1 - \frac{htg \beta}{[a + 2(l \sin \alpha + htg \beta)]} \right) \right] + 0,1 \left[ (U_g + 1) \lambda_p + \frac{0,08 U_g}{\lambda} \right] \right\} \geq 0 \quad (9)$$

де  $T$  – крок шнека, м;  $k_V$  – коефіцієнт, який враховує зниження швидкості осевого переміщення вороху відносно теоретичної;  $\omega$  – кутова швидкість шнека (рад/с);  $\varphi$  – кут повороту шнека (рад).

Тоді мінімальна межа кутової швидкості шнека  $d\varphi_{min}/dt$ , яка забезпечує необхідну продуктивність жолоба робочих русел очисника згідно з (9) визначається за залежністю

$$\frac{d\varphi_{min}}{dt} \geq \frac{4W_c}{\pi D \varphi_k k_V k \rho_1 \operatorname{tg}(45^\circ - 0,5\alpha_k) (D^2 - d^2)}, \quad (10)$$

де  $k$  – кількість робочих русел жолоба;  $\alpha_k$  – кут тертя ковзання матеріалу по поверхні рифа шнека, град.

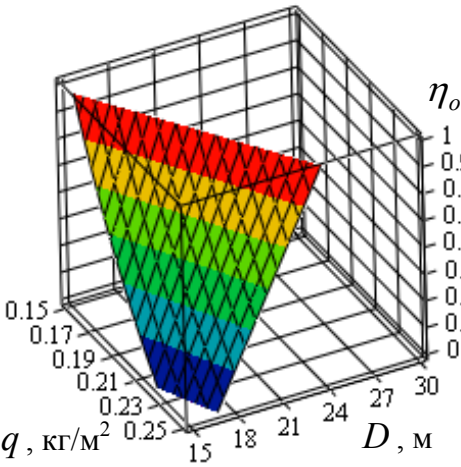


Рис. 4. Поверхня залежності  $\eta_0 = f(D, q) \leq 1$

Основні значення мінімальної частоти обертання шнека  $n_{min}$  знаходяться в межах  $n_{min} = 130 \dots 450$  об/хв (рис. 5) залежно від зміни секундної подачі  $W_c = 70 \dots 160$  кг/с, а задана пропускна здатність очисника, наприклад,  $W_c = 100$  кг/с забезпечується при значенні  $n_{min} = 195$  об/хв для  $D = 0,22$  м.

На основі аналізу (9) встановлено, що продуктивність  $Q_o$  змінюється в межах  $30 \dots 150$  (кг/с) залежно від коефіцієнта заповнення  $\varphi_k$  та забезпечує мінімальне значення  $W_c = 50$  кг/с при таких параметрах шнека: для  $\varphi_k = 0,5$  при  $D \geq 0,22$  м і  $n \geq 440$  об/хв; для  $\varphi_k = 0,7$  при  $D \geq 0,21$  м і  $n \geq 320$  об/хв; для  $\varphi_k = 1,0$  при  $D \geq 0,19$  м і  $n \geq 210$  об/хв. (рис. 6).

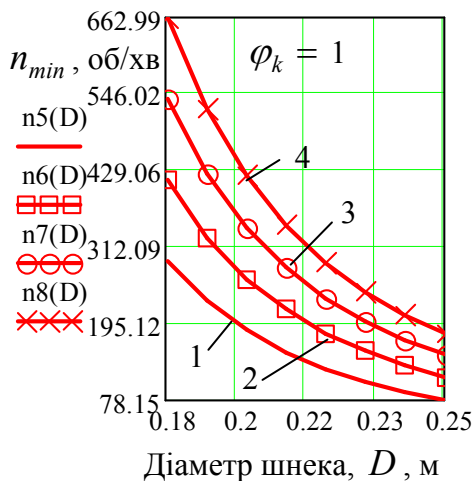


Рис. 5. Залежність  $n_{min} = f(D)$ :  
1, 2, 3, 4 – при  $W_c = 70; 100; 130; 160$  (кг/с)

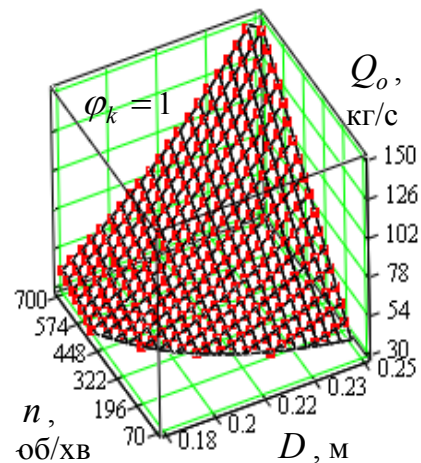


Рис. 6. Поверхня залежності  $Q_o = f(D, n) \geq 30$  кг/с

Процес сепарації викопаного вороху характеризується основними критеріями: ступенем відокремлення домішок від коренеплодів і їх пошкодженнями. Для оцінки ступеня пошкоджень коренеплодів, що виникають у процесі їх взаємодії з рифом шнека, вводимо коефіцієнт кінематичної взаємодії

коренеплоду  $K_{jV} = [V_{kmax}] / \sum_{i=1}^u V_{pi} \geq 1$ , де  $[V_{kmax}]$ ,  $\sum_{i=1}^u V_{pi}$  – максимально допустима та результуюча швидкість співудару коренеплоду з рифом, м/с.

Після контакту коренеплоду з гіркою розглянули два випадки його подальшого руху: коренеплід відбивається від поверхні гірки з початковою швидкістю  $V_n$  та перебуває у вільному польоті (*I* випадок) або скочується по полотну гірки з початковою швидкістю  $V_n = 0$  (*II* випадок) до його контакту з рифом шнека в точці  $O_1$  зі швидкістю центра мас, відповідно  $V_{1ck}$  і  $V_{2ck}$ .

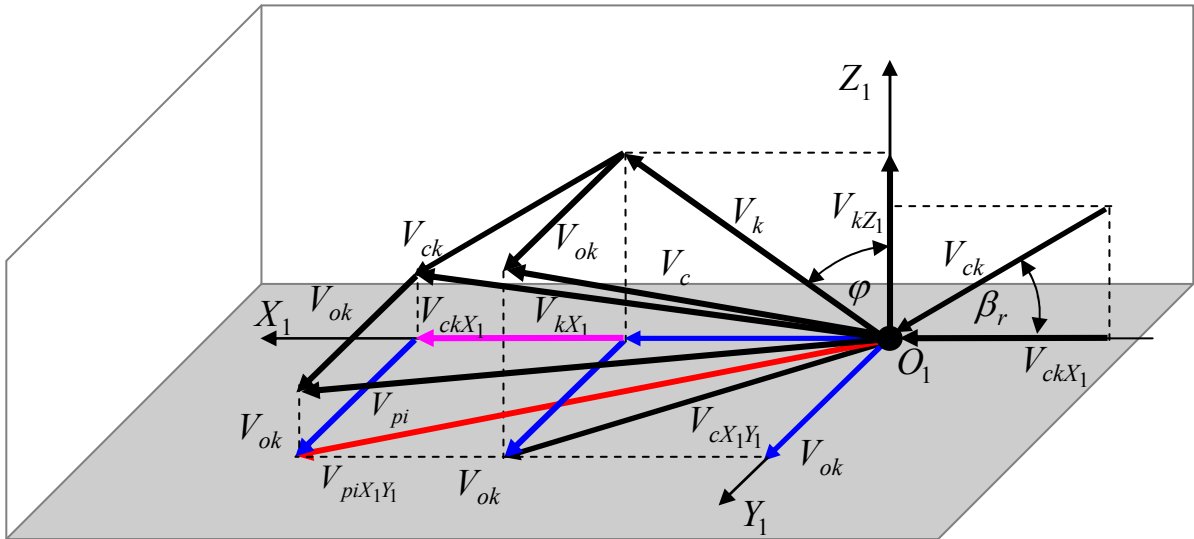


Рис. 7. План швидкостей косого співудару коренеплоду з рифом шнека

Для визначення результуючої швидкості співудару для двох випадків розглянуто розрахункові схеми та план швидкостей співудару коренеплоду з рифом шнека (рис. 7).

Після визначення скалярних значень  $V_{1ck}$  і  $V_{2ck}$ , результуючої швидкості співудару коренеплоду  $\sum_{i=1}^u \vec{V}_{1piX1Y1}$  і  $\sum_{i=1}^u \vec{V}_{2piX1Y1}$  з рифом шнека в горизонтальній площині  $O_1X_1Y_1$  отримано математичні моделі, які характеризують зміну  $K_{jV} \geq 1$  залежно від параметрів очисника для *I* і *II* випадків

$$K_{2V} = \frac{1}{[V_{kmax}]} \sqrt{\left[ 0,5(D + D_k) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) \sin\varphi + \cos\beta_r \sqrt{\left\{ \left[ \Omega - \Delta_k + 0,5D_r \frac{d\varphi_r}{dt} \cos\beta_r \right]^2 + \Delta_k^2 \right\} \times \frac{2 \sin 2\varepsilon}{\sin\beta_r} + \Theta_k^2 - 0,25D_r^2 \left( \frac{d\varphi_r}{dt} \right)^2} \right]^2 + 0,25D^2 \operatorname{tg}^2 \beta_n k_V^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2} \geq 1; \quad (11)$$

$$K_{IV} = \frac{1}{[V_{kmax}]} \sqrt{\left[ 0,5(D+D_k) \left( \frac{d\varphi}{dt} \right) \sin\varphi + \sqrt{\left[ \Omega - \Delta_k + 0,5D_r \frac{d\varphi_r}{dt} \cos\beta_r \right]^2 + \Delta_k^2} \right]^2 + 0,25D^2 \operatorname{tg}^2 \beta_n k_v^2 \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2} \geq 1, \quad (12)$$

де  $D_k$  – діаметр коренеплоду, м;  $\Omega = k_\varepsilon V_\varepsilon \cos(\varepsilon - \beta_r) \sin\beta_r - V_\varepsilon \sin(\varepsilon - \beta_r) \cos\beta_r$ ;  $\beta_r$  – кут установлення гірки відносно горизонтальної площини  $O_1X_1Y_1$ , град;  $\Delta_k = 0,5\Delta\omega_k D_k \cos\beta_r$ ;  $\Theta_k = 0,25\omega_k^2 D_k^2 \cos^2\beta_r$ ;  $k_\varepsilon$  – коефіцієнт відновлення;  $V_\varepsilon$  – середня швидкість руху коренеплоду в момент контакту з гіркою, м/с;  $\varepsilon$  – кут нахилу  $V_\varepsilon$  до площини гірки, град;  $\omega_k$  – кутова швидкість коренеплоду, рад/с;  $D_r$  – діаметр барабана приводного вала гірки, м;  $\varphi_r$  – кут повороту барабана приводного вала гірки, град.;  $\beta_n$  – кут підйому гвинтової лінії шнека, град.

Аналіз графічних залежностей показує, що критерій оптимізації  $K_{jV} \geq 1$  забезпечується при співвідношеннях параметрів очисника: для I і II випадків у межах зміни  $0,18 \leq D \leq 0,25$  (м) основний діапазон зміни  $\omega$  становить  $34 \leq \omega \leq 42$  (рад/с), або  $325 \leq n \leq 400$  (об/хв) та  $44 \leq \omega \leq 55$  (рад/с), або  $420 \leq n \leq 525$  (об/хв) відповідно, рис. 8.

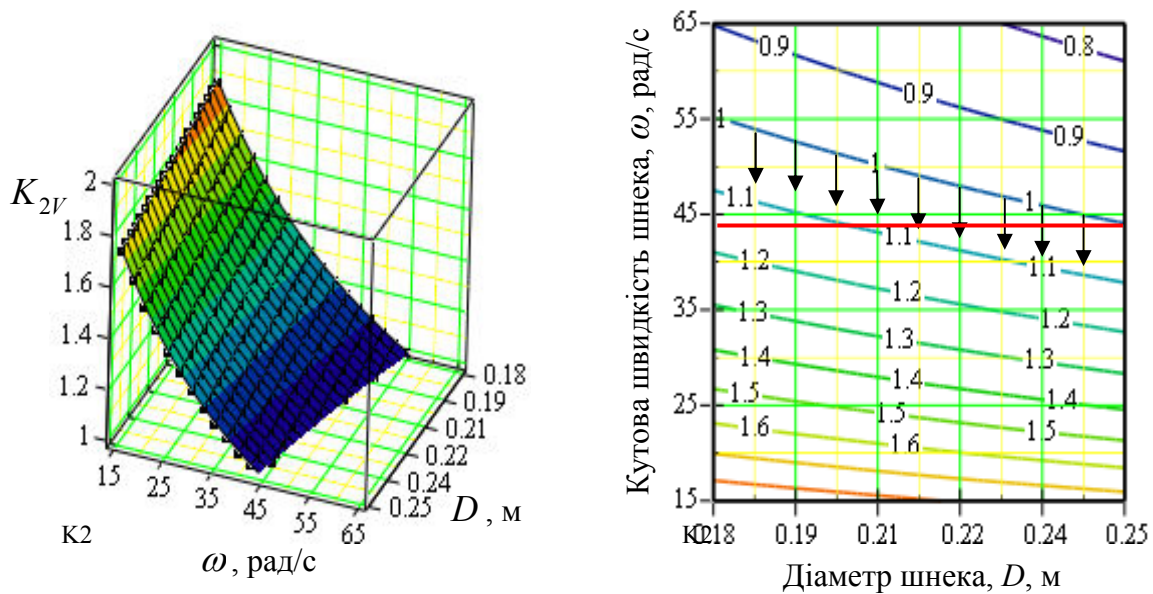


Рис. 8. Поверхня та її двомірний переріз залежності  $K_{2V}$  як функціонала  $K_{2V} = f(D, \omega) \geq 1$

На основі цього можна констатувати, що скочування коренеплодів по робочій гілці є раціональним порівняно з I випадком, коли коренеплоди відбиваються від робочої гілки і перебувають у вільному польоті до моменту контакту з рифом шнека. При цьому  $n$ , яка забезпечує умову  $K_{jV} \geq 1$ , у II випадку може бути більшою в 1,3 раза порівняно з I випадком, що дозволяє з більшою ймовірністю коригувати забезпечення необхідної пропускну здатності, або продуктивності очисника. При  $n > 400$  і  $n > 525$  (об/хв) пошкодження коренеплодів будуть перевищувати межі згідно з агротехнічними вимогами.

Визначення верхньої межі частоти обертання шнека розглянули з умови пошкодження коренеплодів, які не перевищують межу, встановлену згідно з агротехнічними вимогами до КМ і виникають унаслідок їх контакту з рифом шнека в *I* ( $n_{1max}$ ) та *II* ( $n_{2max}$ ) випадках.

Записавши умову

$$\left( \sqrt{(V_k \sin\varphi + V_{1ck} \cos\beta_r)^2 + V_{ok}^2} \right)^2 \leq [V_{kmax}^2]; \left( \sqrt{(V_k \sin\varphi + V_{2ck} \cos\beta_r)^2 + V_{ok}^2} \right)^2 \leq [V_{kmax}^2] \quad (13)$$

або

$$\left. \begin{aligned} & \left( 0,5(D + D_k) \frac{d\varphi}{dt} \sin\varphi + V_{1ck} \cos\beta_r \right)^2 + \frac{T^2 k_V^2}{4\pi^2} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - [V_{kmax}^2] \leq 0; \\ & \left( 0,5(D + D_k) \frac{d\varphi}{dt} \sin\varphi + V_{2ck} \cos\beta_r \right)^2 + \frac{T^2 k_V^2}{4\pi^2} \left( \frac{d\varphi}{dt} \right)^2 - [V_{kmax}^2] \leq 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

і підставивши максимальні значення  $V_{1ckX_{1max}} = 1,8$  м/с і  $V_{2ckX_{1max}} = 1,2$  м/с згідно з проведеним аналізом їх зміни у (13) та внаслідок розв'язку системи рівнянь (14), отримано залежність для визначення верхньої межі частоти обертання шнека з умови пошкодження коренеплодів у *I* ( $n_{1max}$ ) та *II* ( $n_{2max}$ ) випадках

$$\left. \begin{aligned} n_{1max} &= \frac{30}{\pi^2 (D + D_k)^2 \sin^2 \varphi + T^2 k_V^2} \left( \begin{aligned} & -3,6\pi[(D + D_k)\sin\varphi + 1] + \\ & \sqrt{\pi^2 (D + D_k) \sin\varphi \times} \\ & \times [3,24 + 41,8(D + D_k)\sin\varphi + T^2 k_V^2] \end{aligned} \right); \\ n_{2max} &= \frac{30}{\pi^2 (D + D_k)^2 \sin^2 \varphi + T^2 k_V^2} \left( \begin{aligned} & -2,4\pi[(D + D_k)\sin\varphi + 1] + \\ & \sqrt{\pi^2 (D + D_k) \sin\varphi \times} \\ & \times [5,76 + 49(D + D_k)\sin\varphi + T^2 k_V^2] \end{aligned} \right) \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Встановлено, що верхня межа частоти обертання шнека знаходиться в межах  $n_{1max} = 230 \dots 385$  (об/хв),  $n_{2max} = 410 \dots 560$  (об/хв). Зміна  $n_{1max}$  і  $n_{2max}$  залежно від кроку шнека  $T$  має незначний характер – при збільшенні кроку  $T$  від 0,2 до 0,4 (м)  $n_{1max}$  і  $n_{2max}$  збільшується в середньому на 30 об/хв.

**У третьому розділі** «Програма та методика проведення експериментальних досліджень» наведено програму експериментальних досліджень, опис лабораторно-польових установок і модернізованої КМ, стандартні та розроблені методики проведення, обробки і аналізу результатів експериментів.

Програма експериментальних досліджень передбачала проведення лабораторно-польових досліджень ефективності процесу відокремлення налиплого ґрунту на бічній поверхні коренеплодів залежно від параметрів шнека та очисного вала очисника; визначення агротехнічних показників якості роботи комбінованого очисника вороху коренеплодів у польових умовах із використанням модернізованої КМ МКП-4 залежно від параметрів процесу та показників ефективності використання удосконаленої КМ МКП-4 і базової машини на основі проведення порівняльних досліджень.



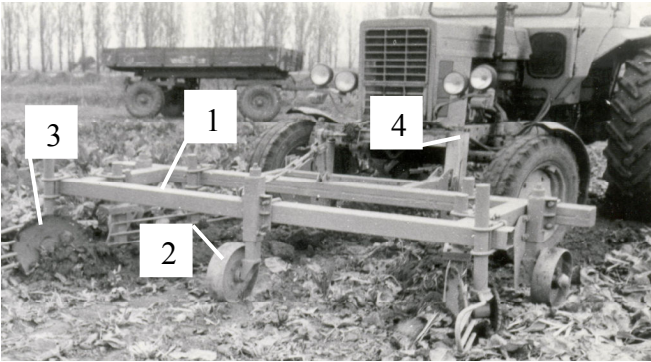


Рис. 9. Загальний вигляд польової установки в роботі

на опорні колеса 2 та за допомогою снічі 4 змонтована на передніх лонжеронах трактора МТЗ-80.

Лабораторно-польові експериментальні дослідження очисника вороху проведено з використанням розробленої лабораторної установки (рис. 10) та модернізованої на базі нього (рис. 11) серійної КМ МКП-4.

Структурну модель очисної системи з позиції системного аналізу представлено у вигляді кібернетичного поняття “чорного ящика”, або технологічної моделі “вхід-вихід”, а її дослідження реалізовано на основі загальновідомої методики планування багатofакторних експериментів.

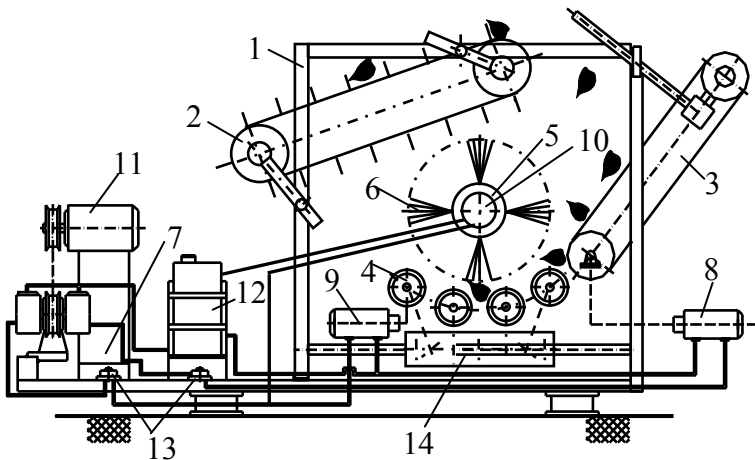


Рис. 10. Конструктивна схема лабораторної установки

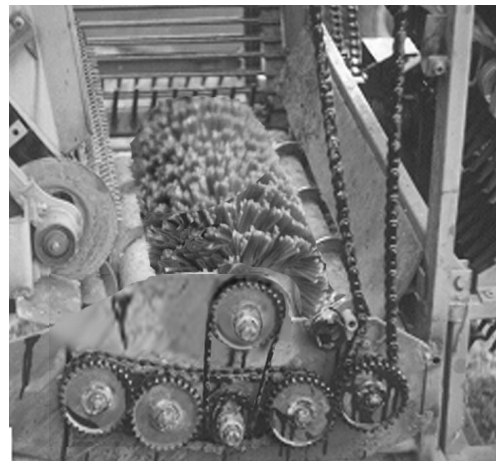


Рис. 11. Загальний вигляд комбінованого очисника

Основні вузли установки: транспортер 2 (рис. 10), гірка 3, дві пари поздовжніх шнеків 4, очисний вал 5 з очисними елементами 6, гідронасосна станція 7, які змонтовано на рамі 1. Дві пари шнеків встановлено консольно з можливістю регулювання радіуса дуги, на якій розташовано осі обертання шнеків шляхом переміщення установчої боковини 14. Регулювання частоти обертання шнеків і очисного вала відбувалося за рахунок надходження робочої рідини з масляного бака 12 до гідромоторів 8, 10 із дроселів 13.

Удосконалення базової КМ МКП-4 полягало у наступному: існуючий поперечний прутковий транспортер, який переміщував ворох, що надходив із гірки на вивантажувальний транспортер було демонтовано, а на його місце встановлено комбінований очисник вороху (рис. 11).

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень комбінованого очисника вороху коренеплодів» наведено результати лабораторно-польових і порівняльних досліджень згідно з прийнятою програмою.

Масу налиплого ґрунту на коренеплодах після їх очищення очисником без дії приводного вала та з ним, відповідно, як функціоналів  $m_{1n}^g = f(n, D)$ ,  $m_{2n}^g = f(n, D, n_o)$  (у грамах, г) і  $m_{1n}^v = f(n, D)$ ,  $m_{2n}^v = f(n, D, n_o)$  (у відсотках відносно чистої маси коренеплодів, %) визначено для трьох груп коренеплодів, чиста маса яких знаходиться в діапазоні від...до:  $m_k = 0,5...0,7$ ;  $m_k = 0,7...0,9$ ;  $m_k = 0,9...1,2$  (кг).

Апроксимуючу функцію  $m_{in}^j$ , адекватність якої перевіряли за  $F$ -критерієм Фішера, знаходили у вигляді математичної моделі логарифмічної залежності. Після оцінки статистичної значущості коефіцієнтів за  $t$ -критерієм Ст'юдента, отримано рівняння регресії зміни  $m_{in}^j$  від частоти обертання  $n$  та діаметра  $D$  шнека, частоти обертання очисного вала  $n_o$  у натуральних величинах у межах зміни факторів  $150 \leq n \leq 650$  (об/хв);  $0,18 \leq D \leq 0,24$  (м);  $60 \leq n_o \leq 160$  (об/хв):

- без очисного вала в г і %:

$$\left. \begin{aligned} m_{1n}^{0,7g} &= 18,95 - 3,26 \ln(n) - 21,21 \ln(D); & m_{1n}^{0,7v} &= 3,32 - 0,51 \ln(n) - 3,3 \ln(D); \\ m_{1n}^{0,9g} &= 26,15 - 4,67 \ln(n) - 24,71 \ln(D); & m_{1n}^{0,9v} &= 5,16 - 0,63 \ln(n) - 3,11 \ln(D); \\ m_{1n}^{1,2g} &= 56,67 - 5,84 \ln(n) - 14,05 \ln(D) & m_{1n}^{1,2v} &= 9,49 - 0,98 \ln(n) - 2,35 \ln(D) \end{aligned} \right\}; \quad (16)$$

- з очисним валом у г:

$$\left. \begin{aligned} m_{2n}^{0,7g} &= 81,04 - 0,59 \ln(n) - 11,3 \ln(D) - 17,4 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{0,9g} &= 111,38 - 1,22 \ln(n) - 24,07 \ln(D) - 25,24 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{1,2g} &= 97,93 - 1,74 \ln(n) - 23,77 \ln(D) - 20,57 \ln(n_o) \end{aligned} \right\}; \quad (17)$$

- з очисним валом у %:

$$\left. \begin{aligned} m_{2n}^{0,7v} &= 15,27 - 0,18 \ln(n) - 2,24 \ln(D) - 3,19 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{0,9v} &= 14,05 - 0,14 \ln(n) - 2,91 \ln(D) - 3,17 \ln(n_o); \\ m_{2n}^{1,2v} &= 9,52 - 0,17 \ln(n) - 2,18 \ln(D) - 1,96 \ln(n_o) \end{aligned} \right\}. \quad (18)$$

На основі досліджень встановлено, що суттєве зростання відокремлення  $m_{in}^j$  для всіх діапазонів  $m_k$  відбувається при збільшенні  $n$  від 150 до 450 об/хв (рис. 12),  $D$  від 0,18 до 0,21 м і  $n_o$  від 60 до 110 об/хв. Залежно від збільшення  $n_o$  у межах від 60 до 160 (об/хв) кількість налиплого ґрунту  $m_{2n}^{0,7g}$ ,  $m_{2n}^{0,9g}$  і  $m_{1n}^{1,2g}$  зменшується приблизно в 2,5...3 рази порівняно з відповідними показниками  $m_{1n}^{0,7g}$ ,  $m_{1n}^{0,9g}$  і  $m_{1n}^{1,2g}$ , отриманими при проведенні експериментів без застосування очисних елементів як при визначенні  $m_{in}^j$  у г, так і в %.

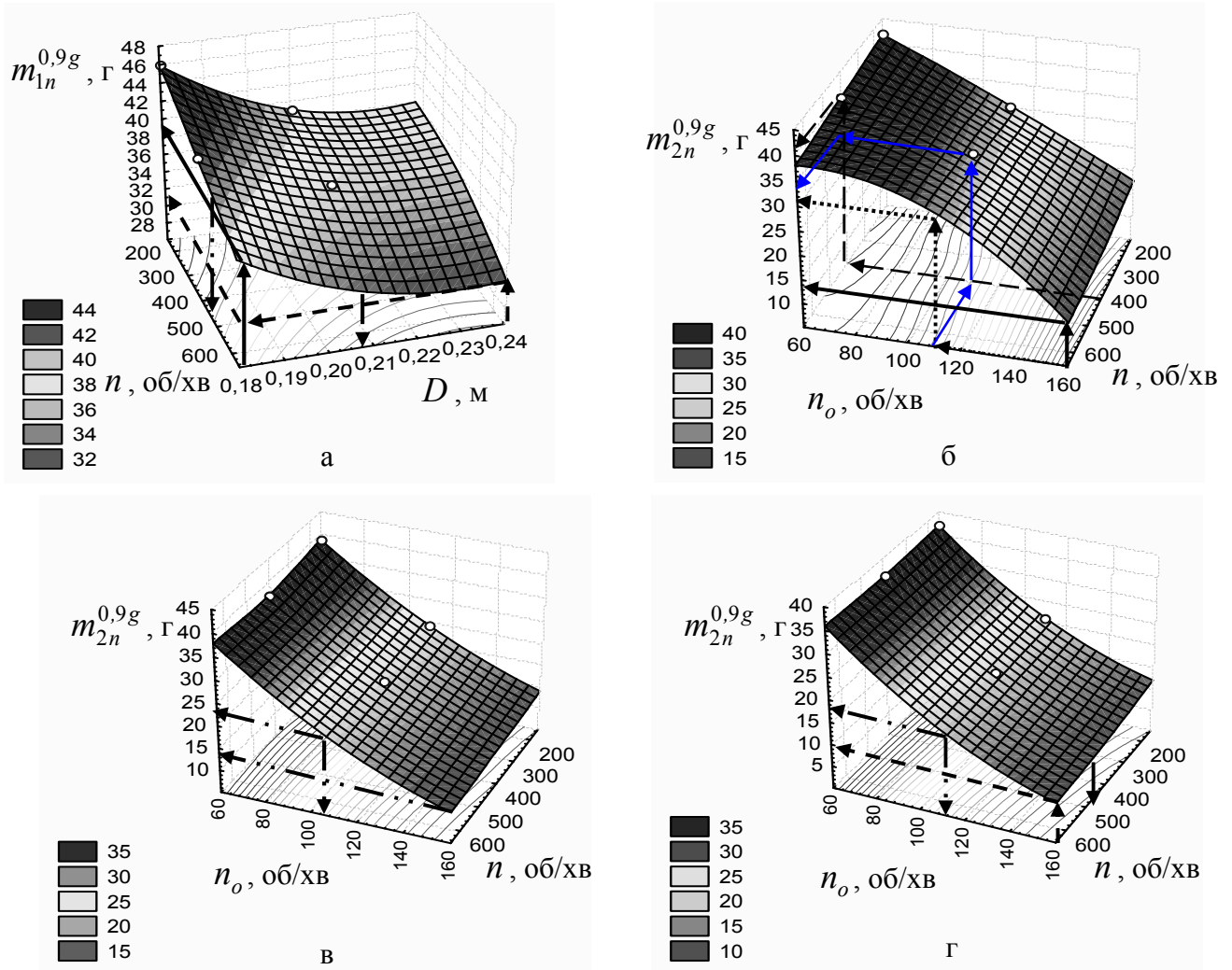


Рис. 12. Поверхня відгуку зміни  $m_{in}^j$  (г) на коренеплодах для  $m_k = 0,7 \dots 0,9$  (кг) від параметрів очисника:

а – без очисного вала як функціонал  $m_{1n}^{0,9g} = f(n, D)$ ;

б, в, г – з очисним валом як функціонал  $m_{2n}^{0,9g} = f(n, D, n_o)$  відповідно для  $D = 0,18; 0,21; 0,24$  (м)

Межі зміни частоти обертання шнека  $n$  жолоба очисника під час дослідження продуктивності очисника  $Q_o^e$  встановлювали на рівні 400 та 600 об/хв згідно з результатами дослідження мінімальної й максимальної нижньої  $n_{min}$  та верхньої  $n_{max}$  межі.

Отримано рівняння регресії зміни  $Q_o^e$  від швидкості руху КМ  $V_k$ , діаметра  $D$  і частоти обертання  $n$  шнека за результатами проведених ПФЕ  $2^4$  у натуральних величинах:

$$Q_o^e = -144 + 65V_k + 317,7D + 0,08n. \quad (19)$$

Встановлено, що зміна  $Q_o^e$  має прямолінійний характер – зі збільшенням факторів  $V_k$ ,  $D$  і  $n$  значення продуктивності збільшується в середньому від 40 до 75 (кг/с). Розбіжність значень, отриманих теоретично та експериментально, знаходиться від 8,0 до 15,0 %, а в деяких випадках до 25 % (рис. 13).



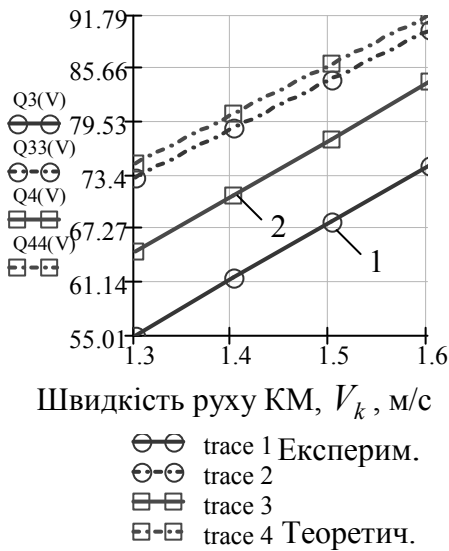


Рис. 13. Залежність зміни  $Q_0$  від  $V_k$ : 1, 2 – для  $D = 0,21; 0,24$  (м)

На основі цього можна констатувати, що перша складова різниці теоретичної моделі (9) у загальному в повній мірі описує реальний процес зміни продуктивності. Для більш точних розрахунків необхідні ретельніші і повні дослідження на основі введення інтегральних коефіцієнтів заповнення  $\varphi_k$  простору робочого жолоба та коефіцієнта кількості робочих русел  $k$ .

У першому випадку це дозволить збалансувати зміну  $\varphi_k$  за непостійної (змінної в часі) секундної подачі  $W_c$  вороху до очисника за рахунок дестабілізованого технологічного процесу викопування коренеплодів, наприклад непостійних  $V_k$  і глибини руху копача, вологості ґрунту, урожайності ділянки поля тощо.

У другому випадку інтегрований коефіцієнт  $k$  дозволить точніше встановлювати його пріоритетне значення та різницю впливу загального балансу тих відмінностей, які розрізняють процес транспортування шнековими механізмами дрібних сипких матеріалів і доволі крупних коренеплодів.

Апроксимуючу функцію загального забруднення вороху домішками  $z_d$ , рослинними домішками  $z_p$ , загального пошкодження коренеплодів  $P_k$  і маси налиплого ґрунту на коренеплодах  $z_n$ , або функціоналів  $z_{1d}; z_{1p}; z_{1n}; P_k = f(V_k, D, n)$  і  $z_{2d}; z_{2p}; z_{2n}; P_{2k} = f(V_k, D, n, n_o)$  без дії очисного вала та з ним знаходили у вигляді математичної моделі лінійної функції.

Після перевірок адекватності вибраної математичної моделі та значущості визначених коефіцієнтів отримано кінцеві рівняння регресії  $z_d, z_p, z_n, P_k$  (%) у натуральних величинах:

$$\left. \begin{aligned} z_{1d} &= 8,83 + 0,67V_k - 0,0005n; & z_{2d} &= 15,77 + 0,96V_k - 3,75D + 0,0004n - 0,77n_o; \\ z_{1p} &= -0,82 + 0,67V_k + 6,67D + 0,02n; & z_{2p} &= -0,05 + 0,67V_k + 5D + 0,001n - 0,006n_o; \\ z_{1n} &= 4,73 + 0,67V_k - 0,0005n; & z_{2n} &= 10,34 + 0,5V_k - 3,33D + 0,0005n - 0,06n_o; \\ P_{1,k} &= P_{2,k} = 4,74 + 1,33V_k + 6,67D + 0,003n \end{aligned} \right\} (20)$$

Встановлено, що зниження показників  $z_{2d}, z_{2p}, z_{2n}$  відносно аналогічних значень  $z_{1d}, z_{1p}, z_{1n}$  є такими: загальні домішки  $z_{2d}$  зменшуються в середньому в 1,8 раза; налиплий ґрунту на коренеплодах – в 2,0 раза; рослинні домішки – в 1,2 раза, а пошкодження коренеплодів ідентичні для обох випадків.

У результаті польових порівняльних досліджень встановлено, що загальна кількість домішок у воросі зібраних коренеплодів цукрових буряків зменшується приблизно в 1,7 раза – від 8,8 % у серійної КМ до 5,2 % у вдосконаленої КМ, а кількість налиплого ґрунту на коренеплодах зменшується майже у 2 рази, що

відбувається за рахунок додаткової інтенсифікації процесу відокремлення домішок від коренеплодів пружними очисними елементами комбінованого очисника. Загальна кількість рослинних домішок та вільного ґрунту зменшуються майже в 1,2 і 2,6 рази порівняно з показниками серійної машини, що досягається за рахунок пригальмовування компонентів вороху над шнеками пружними очисними елементами та збільшення часу їх знаходження в жолобі русла комбінованого очисника. Показники втрат і пошкодження коренеплодів однакові.

У п'ятому розділі «Економічна ефективність застосування комбінованого очисника» наведено перспективні напрямки розвитку робочих органів для очищення вороху, рекомендовані параметри комбінованого очисника для виробництва та визначено економічну ефективність його застосування. Розрахований економічний ефект, який досягнуто за рахунок зменшення витрат на перевезення чистішого вороху коренеплодів, складає 84,6 грн. на 1 га.

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. У дисертаційній роботі вперше вирішено наукове завдання підвищення показників якості очищення цукрових буряків від домішок шляхом розроблення та обґрунтування параметрів комбінованого очисника. Підвищення показників якості роботи очисників досягнуто за рахунок інтенсифікації динамічної дії на компоненти вороху очисних елементів комбінованого очисника із його обґрунтованими раціональними параметрами.

2. Уперше розроблено детерміновані математичні моделі, які описують взаємозв'язок секундної подачі вороху та необхідної пропускної здатності комбінованого очисника залежно від параметрів копача, очисника та коренеплодів і умов роботи КМ, які зростають прямо пропорційно швидкості руху копача та кількості рядків і знаходяться в межах 70...160 кг/с при зміні швидкості руху машини 1,4...1,8 (м/с), кількості рядків 4, 6 і коефіцієнта сепарації викопаного вороху на шляху його переміщення до очисника  $\lambda = 0,5$ .

3. Працездатність роботи очисника характеризується коефіцієнтом технологічної працездатності за умови  $\eta_o \leq 1$  та виконується у межах зміни коефіцієнта заповнення простору жолоба очисника  $0,75 \leq \varphi_k \leq 1,0$ , питомої маси вороху  $15 \leq q \leq 23$  (кг/м<sup>2</sup>), коефіцієнта сепарації домішок очисником  $\lambda_o \geq 0,5$  для діаметра шнека  $D \geq 0,19$  м. Зміна мінімальної частоти обертання шнека  $n_{min}$  залежно від пропускної здатності має прямо пропорційний характер, а основні значення  $n_{min}$  знаходяться в межах 150...500 об/хв для відповідної зміни секундної подачі 70...160 кг/с.

4. Розрахункова продуктивність комбінованого очисника вороху коренеплодів, що знаходиться у межах 50...150 (кг/с) залежно від коефіцієнта заповнення простору жолоба очисника  $\varphi_k$ , регламентована його пропускною здатністю та забезпечується при значеннях діаметра шнека  $D \geq 0,22$  м, частоти обертання шнека  $n \geq 440$  об/хв і коефіцієнта заповнення  $\varphi_k = 0,5$ .

5. Уперше розроблено математичні моделі, які характеризують зміну коефіцієнта кінематичної взаємодії центра мас коренеплоду  $K_{jv}$  із рифом шнека залежно від параметрів очисника. При цьому скочування коренеплодів по робочій гілці гірки є раціональнішим порівняно з їх вільним польотом до моменту контакту з рифом шнека. Водночас частота обертання шнека  $n$ , яка забезпечує умову  $K_{jv} \geq 1$ , може бути більшою в 1,3 раза порівняно з другим випадком, і при  $n > 350$  об/хв і  $n > 560$  об/хв пошкодження коренеплодів перевищують межі згідно з агротехнічними вимогами до КМ.

6. На підставі експериментальних досліджень встановлено, що суттєве зростання відокремлення маси налиплого ґрунту від коренеплодів відбувається при збільшенні частоти обертання шнека від 150 до 450 об/хв, діаметра шнека від 0,18 до 0,21 м і частоти обертання очисного вала  $n_o$  від 60 до 110 об/хв. Залежно від збільшення  $n_o$  кількість налиплого ґрунту зменшується приблизно в 2,5...3 рази.

7. Доведено, що зміна продуктивності очисника знаходиться в межах 40...75 (кг/с), при цьому розбіжність значень, отриманих теоретично й експериментально, знаходиться у межах 8...15 %. Можна констатувати, що загальна теоретична модель у загальному в повній мірі описує реальний процес зміни продуктивності.

8. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень рекомендовані такі основні раціональні параметри комбінованого очисника: діаметр шнека – 0,22...0,24 (м); частота обертання шнека – 440...500 (об/хв); частота обертання очисного вала – 100...110 (об/хв); крок шнека – 0,35 м.

9. На підставі проведених порівняльних досліджень удосконаленої та серійної КМ встановлено, що застосування очисного вала призводить до зменшення загальної забрудненості вороху домішками в середньому в 1,8 раза; налиплого ґрунту на коренеплодах – в 2 рази; рослинних домішок – 1,2 раза.

Застосування комбінованого очисника найраціональніше в умовах надмірної вологості ґрунту, в яких показники якості роботи серійних машин не задовільні. Загальний економічний ефект за рік експлуатації КМ становить 22850,1 грн, або 84,6 грн на 1 га.

Результати досліджень прийняті ВАТ «БОРЕКС» для розроблення та вдосконалення існуючих КМ. Конструктивна новизна технічного рішення підтверджена 3 патентами України на винаходи.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Рамш В.Ю. Аналіз взаємодії коренеплоду з рифом шнека / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Науковий вісник НУБіПУ. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К. : НУБіПУ, 2010. – Вип. 144. – Част. 5. – С. 157–163.

2. Аналіз тенденцій розвитку робочих органів для сепарації вороху коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків, Г.А. Герасимчук // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2011. – Вип. 31. – С. 298–305.

3. Технологічний розрахунок подачі вороху до очисника / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.І. Підгурський, М.Р. Паньків // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2011. – № 9. – С. 54–61.

4. Обґрунтування конструктивних параметрів жолоба очисника коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.І. Підгурський, М.Р. Паньків // Науковий вісник НУБіПУ.– К. : НУБіПУ, 2012. – Вип. 170. – Част. 1. – С. 219–226.

5. Обґрунтування коефіцієнта технологічної працездатності комбінованого очисника / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.І. Підгурський, М.Р. Паньків // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – № 10. – Т. 2 (59). – С. 69–75.

6. Методика та результати експериментальних досліджень комбінованого очисника вороху коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М. Р. Паньків, Г.А. Герасимчук // Наукові нотатки. – Луцьк: ЛДТУ, 2011. – Вип. 35. – С. 146–152.

7. Рамш В.Ю. Результати експериментальних досліджень показників якості роботи очисника / В.Ю.Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Зб. наук. праць Вінницького націон. аграр. ун-ту. Серія: Технічні науки. – Вінниця : ВНАУ, 2012. – Вип. 11. – Т. 2 (66). – С. 255–259.

#### *Патенти*

8. Пат. № 46920, Україна. МПК А 01D 33/08. Комбінований очисник вороху коренеплодів / Паньків М.Р., Барановський В.М., Дубчак Н.А., Рамш В.Ю.; заявник і патентовласник Тернопільський державн. технічн. університет ім. І. Пулюя. – № u200907498 ; заявл. 17.07.09 ; опубл. 11.01.10. Бюл. № 1.

9. Пат. № 46919, Україна. МПК А 01D 33/08. Очисна система вороху коренеплодів / Паньків М.Р., Барановський В.М., Постол О.М., Рамш В.Ю.; заявник і патентовласник Тернопільський державн. технічн. університет ім. І. Пулюя. – № u200907496 ; заявл. 17.07.09 ; опубл. 11.01.10. Бюл. № 1.

10. Пат. № 71157, Україна. МПК А 01D 33/08. Комбінований очисник вороху коренеплодів / Кравченко І.Є., Барановський В.М., Підгурський М.І., Рамш В.Ю., Труханська О.О.; заявник і патентовласник Вінницький націон. аграрн. університет. – № u201113320 ; заявл. 14.11.11 ; опубл. 11.07.12. Бюл. № 13.

#### *Матеріали і тези конференцій*

11. Барановський В.М. Оптимізаційні математичні моделі процесу викопування вороху коренеплодів пасивним сферичним диском / В.М. Барановський, В.Ю. Рамш // До 130 річчя факультету механіки та енергетики : зб. наук. праць за матеріалами ІХ міжнар. наук.-практ. конф., присвяченої пам'яті акад. Петра Василенка, 17-18 жовтня 2008 р. / М-во аграрної політики України, Львівський націон. аграр. у-т. // Вісник ЛНТУ : агроінженерні дослідження. – Львів: Львів. нац. аграр. у-т, 2008. – № 12. – Т.2. – С. 337–346.

12. Рамш В.Ю. Теоретичні дослідження загальної секундної подачі вороху коренеплодів вібраційним копачем / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський //

Прогресивні матеріали та технології в машинобудуванні, будівництві та транспорті : міжн. наук.-техн. конф., 16 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 70–71.

13. Рамш В.Ю. Коефіцієнт кінематичної взаємодії коренеплоду з рифом шнека / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський // Перша міжн. наук.-техн. конф. ф-ту переробних і харчових виробництв, 19 травня 2011 р. : тези доп. – Тернопіль: ТНТУ, 2011. – С. 38.

14. Рамш В.Ю. Дослідження продуктивності комбінованого очисника вороху коренеплодів / В.Ю. Рамш, В.М. Барановський, М.Р. Паньків // Зб. наук. праць за матеріалами десятої міжнар. наук.-метод. конф. «Іноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин», присвяченої 20-річчю навч.-наук. ін-ту (факульт.) технічного сервісу, 22-23 березня 2012 р. / М-во аграр. політики та продовольства України, Харківський націон. техн. у-т. с.г. ім. П. Василенка // Вісник Харківського національного технічного університету ім. П. Василенка. – Харків : ХНТУСГ, 2012. – Вип. 121. – С. 102–109.

### АНОТАЦІЯ

**Рамш В.Ю.** Обґрунтування параметрів комбінованого очисника вороху цукрових буряків. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2012.

У дисертації висвітлено вирішення наукового завдання підвищення показників якості збирання цукрових буряків шляхом обґрунтування параметрів комбінованого очисника, виконаного у вигляді транспортера, гірки та встановленого у просторі жолоба, утвореного правою та лівою системами шнеків круглого перерізу, осі обертання яких розміщено на нижній вітці еліпса, горизонтального очисного вала, на барабані якого закріплено пружні очисні елементи, які набрані з пучків ворсу. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано основні раціональні параметри комбінованого очисника. Результати досліджень використовують проектно-конструкторські організації в процесі удосконалення існуючих і розроблення нових КМ.

**Ключові слова:** очисник вороху, коренеплоди, маса налиплого ґрунту, очисний вал, шнек, продуктивність, швидкість співудару, коефіцієнт кінематичної взаємодії, діаметр шнека, частота обертання шнека.

### АННОТАЦИЯ

**Рамш В.Ю.** Обоснование параметров комбинированного очистителя вороха сахарной свеклы. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2012.

В диссертации на основании совокупности обобщенных результатов решена актуальная научная задача повышения показателей качества работы

корнеуборочных машин путем обоснования параметров и режимов работы комбинированной очистительной системы.

Повышение показателей качества работы очистителя достигнуто за счет интенсификации динамического воздействия на компоненты вороха очистительных элементов очистителя с его обоснованными параметрами.

На основании проведенных аналитических исследований построены математические модели, которые устанавливают взаимосвязь секундной подачи вороха с необходимой пропускной способностью, или производительностью очистителя в зависимости от параметров процесса. Определена зависимость изменения коэффициента технологической работоспособности очистителя от его основных параметров.

Получены зависимости, которые описывают процесс кинематического контакта корнеплодов с рифом шнека, а также определяют нижний и верхний пределы его частоты вращения с условий обеспечения необходимой производительности очистителя та минимальных повреждений корнеплодов.

За результатами экспериментальных исследований получены уравнения регрессии, которые описывают: характер изменения массы налипшей почвы на корнеплодах в зависимости от их массы и параметров очистителя; зависимость изменения общей засоренности вороха примесями, свободной почвой и растительными примесями; общих повреждений корнеплодов.

Определены основные показатели качества работы усовершенствованной корнеуборочной машины, при этом количество примесей в ворохе уменьшается в среднем в 1,8 раза. Конструктивная новизна разработок защищена тремя патентами Украины на изобретения.

**Ключевые слова:** очиститель вороха, корнеплоды, масса налипшей почвы, очистительный вал, шнек, производительность, скорость соударения, коэффициент кинематического взаимодействия, диаметр шнека, частота вращения шнека.

## ANNOTATION

**Ramsh V.Y.** Interpretation of parameters of the sugar beet piles combined cleaner. – Manuscript.

The dissertation is submitted for the scientific degree Candidate of Sciences (Engineering) in specialism 05.05.11 – machines and means of agricultural production mechanization. – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University, Ternopil, 2012.

Solving of the scientific problem of raising the sugar beet harvesting quality factors by interpretation of the combined cleaner parameters constructed as a transporter and a hill mounted in the chute space, created by the left and right screw system of the round cross section is presented in the dissertation. Its rotation axes are located on the lower branch of the ellipse, horizontal cleaning shaft on the drum of which cleaning elements collected from the beams are fixed. Basing on the carried out theoretical and experimental investigations the main rational parameters of the combined cleaner are interpreted. The results of investigations are applied by the design-and-engineering institutions while improving available and new developed Sugar Beet Harvestings.

**Key words:** pile cleaner, roots, sticker soil mass, cleaning shaft, screw, productivity, the speed of co-impact, kinematic interaction factor, screw diameter, screw rotation frequency, quality factors.

**Підписано до друку 23.11.2012**  
**Папір ксероксний. Times New Roman**  
**Обл.вид.арк. 0,9**  
**Наклад 130 прим. Зам. № 2014**

**Видавництво Тернопільського національного  
технічного університету імені Івана Пулюя**

**вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001**