

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**ГУЦОЛ ТАРАС ДМИТРОВИЧ**

УДК 631.348

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ  
МЕХАНІЧНОГО ЗБИРАННЯ КОМАХ-ШКІДНИКІВ ПРОСАПНИХ  
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР**

05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Львів – 2007

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана в Подільському державному аграрно-технічному університеті Міністерства аграрної політики України

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент  
**Бендера Іван Миколайович,**  
Подільський державний аграрно-технічний університет, директор інституту механізації і електрифікації сільського господарства.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Булгаков Володимир Михайлович,**  
Національний аграрний університет, завідувач кафедри механіки і теорії механізмів і машин;

кандидат фізико-математичних наук, доцент  
**Ніщенко Іван Олексійович,**  
Львівський державний аграрний університет, доцент кафедри механіки, переробки та зберігання сільськогосподарської продукції.

**Провідна установа:** Харківський Національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, кафедра сільськогосподарських машин, Міністерство аграрної політики України, м. Харків.

Захист відбудеться 30.03.2007 року о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 36.814.03 у Львівському державному аграрному університеті за адресою 80381, Львівська область, Жовківський район, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, корпус факультету механізації сільського господарства, аудиторія 34 М.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного аграрного університету за адресою: 80381, Львівська область, Жовківський район, м. Дубляни, вул. Володимира Великого, 1, головний корпус.

Автореферат розісланий 28.02.2007 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Ковалишин С.Й.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним із важливих технологічних заходів в аграрному виробництві є догляд за сільськогосподарськими культурами, зокрема боротьба з комахами-шкідниками. Застосування хімічних методів боротьби, не дивлячись на їх ефективність, призводить до шкідливих та часто незворотних екологічних наслідків. При масовому довгостроковому використанні отрутохімікатів йде процес мутації рослин, самих комах-шкідників, а саме головне, що негативні риси проявлятимуться на наступних поколіннях людей.

Найбільш гостро це питання стоїть при догляді за картоплею, кущ якої можна вважати найбільш насиченим листовою поверхнею. Основним шкідником насаджень картоплі є колорадський жук, характеристики якого розглядаються як максимальні серед масових комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур.

Перспективним вирішенням цього питання є використання механічних способів для боротьби з комахами-шкідниками та створення відповідних машин.

У зв'язку з цим розроблення і дослідження пристрою для механічного збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур є актуальним науково-прикладним завданням.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові дослідження виконувались відповідно до науково-практичної задачі із розроблення та впровадження пристрою для збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур в рамках цільової комплексної програми „Національна програма розробки і виробництва технологічних комплексів машин і обладнання сільського господарства, харчової та переробної промисловості”, затвердженої Кабінетом Міністрів України 7 березня 1996 року, а також як складова науково-дослідної роботи на 2005-2006 рр. Подільського державного аграрно-технічного університету „Розробка енергозаощаджуючих та екологічно безпечних технологій відтворення родючих ґрунтів, підвищення урожайності сільськогосподарських культур та якості продукції для південно-західних частин Лісостепу України (номер державної реєстрації 0106U000992).

**Мета роботи і задачі досліджень.** *Мета роботи* – забезпечення механічного збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур на основі розроблення та обґрунтування параметрів і режимів роботи пневмомеханічного пристрою завдяки дослідженню комбінованого збирального процесу.

Відповідно до поставленої мети необхідно було розв'язати такі *задачі*:

- обґрунтувати зміст та структуру множини технологічних операцій комбінованого процесу збирання комах-шкідників та розробити технологічну схему пневмомеханічного пристрою;
- теоретично дослідити механізовані операції комбінованого процесу збирання комах-шкідників, обґрунтувати головні конструктивно-технологічні параметри та режими роботи складових пневмомеханічного пристрою;

- розробити програму та методику експериментальних досліджень, виготовити лабораторні установки, виконати експерименти та обґрунтувати аеродинамічні характеристики комах-шкідників і залежності показників якості збирання від окремих головних параметрів та режимів роботи пневмомеханічного пристрою;

- виготовити експериментальний зразок пристрою, обґрунтувати план виробничого експерименту, виконати багатофакторний експеримент, встановити залежність коефіцієнтів збирання комах-шкідників та пошкодження рослин від сукупності головних параметрів і режимів роботи пристрою – величин розрідження та нагнітання повітря, швидкості руху агрегату, а також обґрунтувати їх раціональні значення;

- впровадити результати досліджень у виробництво та визначити техніко-економічні і енергетичні показники ефективності використання пневмомеханічного пристрою.

*Об'єкт дослідження* – комбінований процес збирання комах-шкідників та пневмомеханічний пристрій для його реалізації.

*Предмет дослідження* – залежність показників якості збирання комах-шкідників та коефіцієнта пошкодження рослин від параметрів та режимів роботи пневмомеханічного пристрою.

*Методи дослідження* – теоретичне вивчення процесу взаємодії направляючих та стрічкового доочишувача пневмомеханічного пристрою проводились з використанням положень теоретичної механіки. Дослідження формування струменю повітря нагнітальними насадками, а також процесу всмоктування та транспортування комах-шкідників проводились з використанням теорій газових струменів і пневмотранспорту. Лабораторні дослідження виконувались на стандартних і спеціально виготовлених установках з використанням цифрової фототехніки. Експерименти виконувались в польових умовах на розробленій експериментальній установці з використанням сучасних методів планування багатофакторного експерименту. Їх результати опрацьовувались на ПЕОМ за допомогою стандартних, а також спеціально розроблених прикладних програм.

**Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:**

– вперше:

- обґрунтовано комбінований процес пневмомеханічного збирання комах-шкідників та розроблено технологічну схему пристрою для його реалізації;

- обґрунтовано раціональні параметри робочих органів та режими роботи пневмомеханічного пристрою;

– отримали подальший розвиток теоретичні основи пневмомеханічного збирання комах-шкідників.

Новизну технічних рішень підтверджено трьома деклараційними патентами України на винахід (№ 61250А, № 54939А, № 8746А).

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано екологічно безпечний спосіб боротьби з комахами-шкідниками, який базується на застосуванні пневмомеханічних засобів. Визначено раціональні параметри робочих органів та режими роботи пневмомеханічного пристрою, що дає змогу досягнути високого коефіцієнта збирання (92...95%) за незначного пошкодження кущів картоплі (3...5%).

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблена конструкторська документація на виготовлення пневмомеханічного пристрою, доведена економічна ефективність його застосування. Результати досліджень використані для розробки нової сільськогосподарської техніки у ВАТ “Кам’янець-Подільськсільмаш” (Україна), SIA „BaltTehnika” (Латвія).

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати за темою дисертаційної роботи отримані автором особисто. В працях, опублікованих у співавторстві, ним зроблено аналіз пневмомеханічних способів збирання комах-шкідників [1], обґрунтовано форму робочої камери пневмомеханічного пристрою [2], обґрунтовано параметри робочих органів та режими роботи пневмомеханічного пристрою [7], досліджено формування струменю повітря нагнітальною насадкою пневмомеханічного пристрою [8]. У технічних рішеннях, які захищені деклараційними патентами України [11, 12, 13], частка авторів однакова.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення виконаних теоретичних і експериментальних досліджень доповідались і отримали позитивну оцінку на: наукових конференціях професорсько-викладацького складу Подільського державного аграрно-технічного університету (м. Кам’янець-Подільський, 2002-2006 рр.), Міжнародній науковій конференції „Актуальні проблеми аграрного виробництва: теорія дослідження, практика” (м. Дубляни, 2002 р.), II Міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки” (м. Харків, 2003 р.), II Міжнародній науковій конференції „Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів” (м. Донецьк, 2003 р.), Міжнародній науково-практичній конференції „Екологічна безпека об’єктів господарської діяльності” (м. Миколаїв, 2004 р.), V Міжнародній науково-практичній конференції „Сучасні проблеми землеробської механіки (м. Вінниця, 2004 р.), V Міжнародній науково-технічній конференції „Механізація і енергетика сільського господарства” MOTROL`2005 (м. Одеса, 2005 р.), Міжнародній науково-практичній конференції „Актуальні проблеми виробництва та якості продукції в аграрному секторі України” (м. Київ, 2005 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції „Технічний прогрес у сільськогосподарському виробництві” (сmt. Глеваха, 2005 р.), Міжнародній конференції „Інженерні науки – розвитку села” (Латвія, м. Єлгава, 2006 р.), Всеукраїнській науковій конференції студентів, магістрів та аспірантів „Ринкова трансформація економіки: стан, проблеми, перспективи” (м. Харків, 2003 р.), Міжнародному симпозиумі „Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки” (м. Суми, 2003 р.), IV міжвузівській науковій

конференції „Сучасна аграрна наука: напрямки досліджень, стан і перспективи” (м. Вінниця, 2004 р.), Міжнародному науковому семінарі „Farm machinery manage in sustainable agriculture” (Польща, Люблін, 2006 р.).

Робота нагороджена медаллю Міністерства Російської Федерації за результатами відкритого конкурсу „Прикладные разработки в области инженерных наук”, який проходив на базі Московського державного технічного університету ім. Баумана (Російська Федерація, Москва, 2003 р.).

**Публікації.** Результати наукових досліджень викладені в 13 друкованих працях, з них 4 – у фахових збірниках наукових праць, 4 – у закордонних виданнях, 3 – деклараційних патентах України, 2 – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, п’яти розділів, висновків і пропозицій, списку використаних літературних джерел із 120 найменувань та 30 додатків. Основна частина викладена на 177 сторінках тексту, містить 22 таблиці і 54 рисунки. Повний обсяг роботи становить 211 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність, подано загальну характеристику дисертаційної роботи та основні положення, які виносяться на захист. Сформульовано мету, задачі, об’єкт і предмет досліджень, відзначено зв’язок роботи з науковими програмами, зазначено новизну отриманих результатів та їх практичне значення.

У першому розділі „**Огляд науково-технічної літератури з питань механізації боротьби з комахами-шкідниками сільськогосподарських культур**” проаналізовано класифікацію методів та засобів боротьби з ними, в результаті чого виявлено, що екологічно безпечнішими та економічно доцільнішими є методи, які реалізуються за допомогою механічного струшування шкідників з рослин, пневматичного всмоктування їх потоком повітря з наступним знищенням.

Розробкою конструкцій пристроїв для механізованої боротьби із комахами-шкідниками займались Н.І. Афанасенко, В.Р. Зернов, А.Ш. Хамраєв, Ю.П. Тихонов, Г.І. Носков, І.М. Бендера, М.І. Самокиш, М.М. Волошин, В.А. Онопа, М.М. Петренко та ін.

Теоретичні засади створення подібних пристроїв та обґрунтування їх параметрів, а саме, основи руху частинок по поверхнях робочих органів сільськогосподарських машин, робота пневмотранспортуючих систем викладені в працях А.М. Панченка, В.М. Булгакова, І.В. Головача, В.С. Ганопенка, В.А. Батлук, А.М. Дзядзио, А.С. Кеммера, Л.Г. Мещішеної, А.А. Шрайбера, В.П. Милютина, В.П. Яценка. Проте вони не враховують специфіки збирання комах-шкідників, особливо просапних сільськогосподарських культур.

Аналіз пневматичного методу збирання комах-шкідників та їх личинок засвідчив, що його застосування дасть змогу виключити хімічну обробку рослин, одержувати екологічно чисті продукти, знизити затрати на вирощування сільськогосподарських культур, а також зменшити захворюваність робітників, зайнятих на хімічній обробці рослин. Крім цього, можна досягти збільшення строку зберігання одержаної продукції за рахунок відсутності в ній хімікатів.

У зв'язку з цим постало питання обґрунтування комбінованого технологічного процесу збирання комах-шкідників, розроблення технологічної схеми пневмомеханічного пристрою, дослідження процесу його роботи, обґрунтування раціональних параметрів та режимів роботи, виготовлення та експериментальне дослідження конструкції з метою забезпечення ефективного механічного збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур.

У другому розділі **„Теоретичні дослідження параметрів та режимів роботи пневмомеханічного пристрою”** обґрунтовано множини та послідовності виконання операцій комбінованого процесу збирання комах-шкідників, що включає: орієнтування-звуження рослини та подання її в робочу камеру; розширення-обдування рослини повітряним потоком знизу-вгору; всмоктування шкідників повітряним потоком у верхній частині робочої камери; доочищення рослини від шкідників стрічковим доочищувачем; транспортування комах-шкідників; знищення. Це дало змогу обґрунтувати технологічну схему пневмо-механічного пристрою, яка враховує біологічні особливості рослин.

Пневмомеханічний при-стрій (рис. 1) включає П-подібну раму 5, на якій змонтовані робочі камери 6. Вздовж нижніх країв робочих камер встановлені V-подібні лотки-кишені, односторонні 7 по краях несучої рами, а двосторонні 8 – всередині.

До кожної з кишень підведені всмоктувальні патрубки 9, що розташовані у верхніх частинах робочих камер і з'єднані між собою за допомогою колекторного 1 та центрального трубопроводу 2. Кожна робоча камера 6 у передній частині має засоби обдування, виконані у вигляді нагнітальних патрубків 10 з насадками 11. У задній частині робочої камери встановлено стрічковий доочищувач 14 (рис. 2), а в передній – направляючі пристрою 12 та копії 13.

Під час руху пристрою рослини орієнтуються та звужуються його направляючими в робочу камеру для збирання комах. Коли рослини проходять передню частину робочої камери, відбувається раптове розширення кущів з одночасною дією на них потоку повітря, направленою насадками знизу-вгору. Частково здуті комахи потрапляють в лотки-кишені, звідки за допомогою патрубків транспортуються в центральний всмоктувальний трубопровід. Під час руху над кущем центральної частини робочої камери проходить процес всмоктування, завдяки якому забезпечується знімання комах-шкідників у верхній частині рослини та направлення їх в всмоктувальний вертикальний трубопровід. На виході куща рослини з робочої камери відбувається механічне до струшування

шкідників стрічковим доочищувачем. Процес нагнітання повітря та всмоктування проходить за рахунок вентилятора.

З метою забезпечення протікання технологічного процесу орієнтування-звуження досліджено меха-нічну взаємодію направ-ляючих пневмомеханічного пристрою, в результаті чого обґрунтовано їх раціональні параметри: діапазон зміни кута розкриття –  $60...95^0$ , висота – 0,7 м та ширина – 0,3 м.

Для зниження витрат повітря на виконання технологічної операції всмоктування шкідників розглянуто характер зміни форми куща під дією повітряного потоку (рис. 3), що дало змогу обґрунтувати раціональну форму робочої камери – еліпс, яка визначається рівнянням:

$$\frac{x^2}{(R_2 + R_0 + \Delta R)^2} + \frac{z^2}{(R_2 - R_0 + \Delta R)^2} = 1, \quad (1)$$

де  $\Delta R$  – вільний простір, який необхідний для пролітання комахи, м;  $R_0$  – деформація куща під дією повітряного потоку, м;  $R_2$  – радіус „спокійного куща”, м.

Проаналізовані випадки розташування комах на листовій поверхні рослини дали змогу сформулювати умови відривання шкідника від рослини:

$$\frac{\rho v^2}{2} S > G_k + P_k, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – швидкість повітряного потоку, м/с;  $S$  – площа поперечного перетину комахи,  $\text{м}^2$ ;  $G_k$  – вага комахи, Н;  $P_k$  – сила відриву комахи від листової поверхні, Н.

На основі теоретичного дослідження формування струменю повітря нагнітальною насадкою побудована номограма для визначення параметрів нагнітального контуру пневмомеханічного пристрою залежно від заданих умов, обґрунтовано випадок застосування зовнішньої циліндричної насадки, яка відрізняється від інших тим, що дозволяє сформувати струмінь з порівняно короткою початковою ділянкою та кутом розширення  $2\alpha = 27...29^\circ$ .

Для забезпечення непошкодження крони куща під час руху стрічки доочищувача складено еквівалентну схему силової взаємодії поверхні куща та стрічки при переміщенні останньої за рахунок поступального руху агрегату вздовж рядка (рис. 4). Рівняння руху стрічки по поверхні куща у векторній формі, з урахуванням приведеної схеми сил, має вигляд:

$$m \bar{a} = \bar{N} + \bar{T} + \bar{F}_{TP} + \bar{G}_c, \quad (3)$$

де  $m$  – маса стрічки, кг;  $\bar{a}$  – прискорення руху стрічки по поверхні куща,  $\text{м/с}^2$ ;  $\bar{N}$  – нормальна реакція поверхні куща рослини, Н;  $\bar{T}$  – сила зчісування стебел і листків рослини, Н;  $\bar{F}_{TP}$  – сила тертя стрічки по поверхні куща, Н;  $\bar{G}_c$  – вага стрічки, Н.

Силу зчісування знайдено з умов непошкодження стебел та листків рослини при необхідній деформації згину стрічки і куща, тобто за достатньої сили притискання  $\bar{Q} \approx \bar{N}$ :



$$T = fG \cos \alpha + \frac{fmv_c^2}{r_k} + G \sin \alpha, \quad (4)$$

де  $r_k$  – радіус кривизни умовної осі зігнутого стрічки, м;  $v_c$  – швидкість руху стрічки, м/с;  $f$  – коефіцієнт тертя стрічки по поверхні куща рослини.

Графічна інтерпретація залежності (4) наведена на рис. 5. Встановлено, що з умови непошкодження рослини, за використання приведених матеріалів слід забезпечити товщину стрічок відповідно з полістиролу  $b_{E1} = 1,7$  мм, каучуку  $b_{E2} = 2,6$  мм та гуми  $b_{E3} = 3,1$  мм.

Трубопроводи пристрою мають вертикальні, похилі і горизонтальні ділянки, на яких розглянуто процес транспортування комах-шкідників. Поведінка окремих частинок в потоці транспортуючого повітря значною мірою залежить від їх основних фізико-механічних характеристик, до яких відносяться: форма, розмір  $d_q$ , густина  $\rho_q$ , об'єм  $V_q$ , маса  $m_q$ , коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_f$  або площа  $S_p$ . На комаху, яка відірвалася від рослини, діють сила ваги  $F_g$ , сила опору повітря  $F_T$ , лобовий опір  $F$  (рис. 6).

Виходячи з вище перерахованого, траєкторії руху комах описано наступними рівняннями:

$$\begin{aligned} \frac{du_q}{d\tau} &= \frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} \cdot (v_r - u_q) - g, \\ \frac{dv_q}{d\tau} &= -\frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} v_q, \\ dx/d\tau &= u_q, \quad dy/d\tau = v_q, \end{aligned}$$

де  $v_r$  – швидкість повітряного потоку, м/с;  $u_q$ ,  $v_q$  – поздовжня і поперечна складові швидкості комах, м/с.

На тіло, яке рухається в газовому середовищі і обертається, діє сила Магнуса  $F_M$ , спрямована до тієї сторони тіла, де напрям руху і обтікання співпадають. Оскільки це питання в літературі детально не розглядається, була необхідність теоретичного та експериментального дослідження зазначеного явища. Вивчення впливу ефекту Магнуса дало змогу врахувати загальні втрати напору, які зазвичай визначались за допомогою коефіцієнта запасу. Якщо використовувати традиційну методику розрахунку пневмосистеми, необхідно зазначити, що швидкість та розрідження у всмоктувальній магістралі виходять занадто великими, що не задовольняє умови непошкодження рослин. Не враховуючи цей запас, цілком ймовірно, що буде забивання всмоктувального тракту. Реальні втрати напору обумовлені переважно ударами комах до стінок труби, а їх інтенсивність залежить від ефекту Магнуса, який обумовлює траєкторію руху комах в магістралі. У вибраній системі координат проекції сили Магнуса на осі розраховано за формулами:

$$F_{Mx} = Av_q; \quad F_{My} = A(v_r - u_q),$$

де  $A = 0,125 C_M d_q^3 \rho \omega$ .

Зважаючи на викладене, рівняння (5), (6) з урахуванням сили Магнуса набувають вигляду:

$$\frac{du_q}{d\tau} = \frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} \cdot (v_r - u_q) + \frac{3C_M \rho \omega v_q}{4\pi\rho_q} - g, \quad (9)$$

$$\frac{dv_q}{d\tau} = -\frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} \cdot v_q + \frac{3C_M \rho \omega (v_r - u_q)}{4\pi\rho_q}. \quad (10)$$

Графічні інтерпретації залежностей (5)-(10) наведені на рисунку 7.

а

б

Рис. 7. Траєкторії руху комах з врахуванням (а) і без врахування (б) сили Магнуса: 1 –  $\rho_q = 1100$  кг/м<sup>3</sup>; 2 –  $\rho_q = 2100$  кг/м<sup>3</sup>.

Траєкторії руху комах в горизонтальних повітропроводах описуються рівняннями вигляду:

$$\frac{du_q}{d\tau} = \frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} (v_r - u_q) + \frac{3C_M \rho \omega v_q}{4\pi\rho_q}, \quad (11)$$

$$\frac{dv_q}{d\tau} = -\frac{3C_f \rho}{4\rho_q d_q} \sqrt{v_q^2 + (v_r - u_q)^2} \cdot v_q + \frac{3C_M \rho \omega (v_r - u_q)}{4\pi\rho_q} - g. \quad (12)$$

Графічна інтерпретація рівнянь (11), (12) наведена на рисунку 8.

Рис. 8. Траєкторії руху комах густиною  $\rho_q = 1100$  кг/м<sup>3</sup> у горизонтальному каналі з врахуванням сили Магнуса при  $v_r = 20$  м/с (суцільні лінії) і  $v_r = 25$  м/с (штрихова лінія): 1 –  $d_q = 0,003$  м; 2 –  $d_q = 0,007$  м.

Рівняння руху частинок в похилому повітропроводі:

$$\frac{du_{\text{ч}}}{d\tau} = \frac{3C_f \rho}{4\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}} \sqrt{v_{\text{ч}}^2 + (v_{\text{г}} - u_{\text{ч}})^2} (v_{\text{г}} - u_{\text{ч}}) + \frac{3C_{\text{м}} \rho \omega v_{\text{ч}}}{4\pi \rho_{\text{ч}}} - g \sin \alpha, \quad (13)$$

$$\frac{dv_{\text{ч}}}{d\tau} = -\frac{3C_f \rho}{4\rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}} \sqrt{v_{\text{ч}}^2 + (v_{\text{г}} - u_{\text{ч}})^2} \cdot v_{\text{ч}} + \frac{3C_{\text{м}} \rho \omega (v_{\text{г}} - u_{\text{ч}})}{4\pi \rho_{\text{ч}}} - g \cos \alpha. \quad (14)$$

Результати досліджень дозволяють описати рух частинок у вертикальному каналі, визначити їх поздовжню і поперечну швидкості, пояснити зіткнення зі стінками каналу, розрахувати мінімальну швидкість  $u_{\text{гmin}}$  повітряного потоку, необхідну для їх стабільного транспортування.

Важливою характеристикою під час розрахунків пневмотранспортних установок є втрати тиску на тертя частинки об стінку транспортуючого каналу. Перепади тиску, обумовлені взаємодією комах зі стінкою, зазвичай знаходяться за відомою формулою Гастерштадта, в яку входить коефіцієнт Гастерштадта. У літературі немає даних про його величину. Для комах цей коефіцієнт знайдений на базі аналітичного опису процесу пневмотранспорту:

$$K = \frac{1,65 D \rho v_{\text{кр}}^2}{\lambda u_{\text{г}} (v_{\text{г}} - v_{\text{кр}}) \rho_{\text{ч}} d_{\text{ч}}}, \quad (15)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт тертя повітря з стінкою повітропроводу;  $v_{\text{кр}}$  – критична швидкість комах, м/с;  $D$  – діаметр повітропроводу, м.

У третьому розділі „Програма та методика лабораторно-польових досліджень” розроблено програму і методику проведення експериментів, які включають комплекс лабораторно-польових досліджень з визначення якісних та енергетичних показників роботи пристрою. Для підтвердження результатів теоретичних досліджень, проведення основних дослідів розроблено і виготовлено лабораторні та польова експериментальні установки. Для проведення основних дослідів використано експериментальну установку із набором змінних деталей, комплектом вимірювальних пристроїв, лабораторних стендів та фотоцифрового обладнання.

Лабораторно-польова установка складається із наступних елементів: пневмозабірника 1, всмоктувального 2 та нагнітального 3 повітропроводів, вентилятора 4, трактора 6 (рис. 9).

Експериментальні дослідження полягали в обґрунтуванні плану виробничого експерименту, виконанні багатофакторного експерименту, встановленні залежності коефіцієнтів збирання комах-шкідників і пошкодження рослини від величини розрідження повітря  $P_p$ , величини нагнітання  $P_n$ , швидкості руху агрегату  $V_a$ , кута розкриття направляючих  $\alpha$ , висоти розташування пневмозабірника  $h$ , а також встановленні їх раціональних значень. З метою перевірки роботи експериментального зразка, відповідно до існуючих методик, були проведені польові випробування.

З метою скорочення загального об’єму дослідів проведено відсіюючий експеримент, в якому дається груба, наближена оцінка впливу факторів.

Після вибору основних факторів за планом повнофакторного експерименту (ПФЕ) 2<sup>n</sup> проведено

досліди з вивчення їх впливу на коефіцієнт збирання комах-шкідників та коефіцієнт пошкодження рослин.

У четвертому розділі „**Результати експериментальних досліджень**” наведено результати лабораторно-польових досліджень, які дали змогу визначити основні аеродинамічні характеристики колорадського жука: критична швидкість  $v_{кр} = 8,02$  м/с, коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_f = 0,516$ .

Для уможливлення аналітичного розрахунку пневмосистеми необхідно було визначити величину коефіцієнтів відновлення швидкості комах після зіткнення зі стінками трубопроводу.

Експериментально встановлено, що для колорадського жука середнє значення висоти підйому складає  $H_{ср} = 5,2$  мм, що відповідає коефіцієнту нормального відновлення швидкості  $k_n = 0,1$ .

Вимірювання величини  $k_\tau$  пов'язане з труднощами, які обумовлені тим, що для її знаходження потрібно мати набір експериментальних траєкторій частинок до і після зіткнення зі стінкою. Отримати чіткі траєкторії руху комах не вдалося. У зв'язку з цим величина  $k_\tau$  вибиралася виходячи з припущень, що поверхня комах не є абсолютно гладенькою чи абсолютно шорсткою, тому вважали, що  $k_\tau \approx 0$ .

У результаті теоретичного аналізу і пошукового відсіюючого експерименту визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості збирання комах: величина розрідження  $P_p$ , величина нагнітання  $P_n$ , швидкість руху агрегату  $V_a$ .

Згідно програми і методики досліджень виконано повний факторний експеримент. У результаті опрацювань даних були отримані рівняння регресії:

для коефіцієнта збирання комах-шкідників:

$$K_z = 2896 + 19,680P_p + 6,385P_n + 302,950V_a - 0,003P_p^2 - 0,002P_n^2 - 32,105V_a^2 + 0,0022938P_pP_n - 1,1074P_pV_a - 0,26010P_nV_a \quad (16)$$

для коефіцієнта пошкодження рослин:

$$K_{II} = 15522 - 4,788P_p - 34,118P_n - 2638,200V_a + 0,009P_p^2 + 0,009P_n^2 + 173,930V_a^2 - 0,005P_pP_n - 0,703P_pV_a + 2,3761P_nV_a \quad (17)$$

Одержані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакета MATCAD.

У результаті опрацювання експериментальних даних обґрунтовано раціональні значення наступних режимів роботи пневмомеханічного пристрою: величина розрідження  $P_p = 2300...2740$  Па, величина нагнітання  $P_n = 1350...1750$  Па, швидкість руху агрегату  $V_a = 6,8...9,7$  км/год, за яких

забезпечується максимальне значення коефіцієнта збирання комах  $K_z = 95\%$  та мінімальне допустиме значення коефіцієнта пошкодження  $K_n = 5\%$ .

У п'ятому розділі „Техніко-економічні та енергетичні показники пневмомеханічного пристрою” проведено економічне та енергетичне оцінювання ефективності використання пневмомеханічного пристрою. Отримані результати переконують, що під час впровадження його в практику можливе вирішення екологічної проблеми догляду за рослинами із зменшенням енергетичних витрат на 6145,7 МДж в рік на один пристрій. Проаналізовані шкідливі наслідки від технологічних операцій свідчать, що сумарний енергетичний еквівалент обприскування становить  $E^{\text{ш}} = 259,69$  МДж/га, що на 207,86 МДж/га більше в порівнянні з пневмомеханічним пристроєм. Очікуваний річний економічний ефект, за нормативного річного завантаження, становить 103,08 грн./га або 15,673 тис. грн. на рік, додатковий прибуток від реалізації екологічної чистої продукції 3,990 тис. грн./га. Результати досліджень використані для розробки нової сільськогосподарської техніки у ВАТ “Кам’янець-Подільськсільмаш” (Україна) та SIA „BaltTechnika” (Латвія).

### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. У дисертаційній роботі наведене теоретичне узагальнення і технічне вирішення науково-прикладної задачі механічного збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур на основі реалізації комбінованого процесу за допомогою пневмомеханічного пристрою з обґрунтованими параметрами та режимами роботи.

У результаті огляду методів та засобів боротьби з комахами-шкідниками встановлено, що застосування пневмомеханічного способу збирання комах-шкідників та їх личинок, за певних умов, дає змогу відмовитися від хімічної обробки рослин, одержувати екологічно чисті продукти, знизити затрати на вирощування сільськогосподарських культур за рахунок поєднання технологічних операцій захисту рослин з іншими операціями, а також зменшити захворюваність робітників, зайнятих на хімічній обробці сільськогосподарських культур.

На основі аналізу конструкцій різних пристроїв, принципів їх роботи обґрунтовано множини та послідовність виконання технологічних операцій комбінованого процесу збирання комах-шкідників, що включає: орієнтування-звуження куща картоплі та подання його в робочу камеру; розширення-обдування рослини повітряним потоком знизу-вгору; всмоктування шкідників повітряним потоком у верхній частині робочої камери; доочищення куща рослини від шкідників стрічковим доочищувачем; транспортування комах-шкідників; знищення. Це дало змогу обґрунтувати технологічну схему пневмомеханічного пристрою (див. рис. 1), для якого ідентифіковано головні параметри і режими роботи.

2. Геометричне дослідження взаємодії направляючих пневмомеханічного пристрою з кущем картоплі дало змогу обґрунтувати раціональні значення таких його параметрів: висота – 0,7 м, ширина – 0,3 м, кут розкриття направляючих –  $60...95^{\circ}$ .

3. У результаті дослідження процесу деформації куща рослини під дією повітряного потоку обґрунтовано раціональну форму робочої камери пневмомеханічного пристрою – еліпс, велика і мала осі якого становлять відповідно 0,7 м та 0,6 м.

4. Аналіз різних випадків розташування комах на кущі картоплі дав можливість визначити умову відривання комах-шкідників та непошкодження рослини, що уможливило обґрунтувати величину нагнітання повітря 1300 Па та параметрів насадки: кута встановлення –  $60...70^{\circ}$ , діаметра сопла – 0,04 м.

5. У результаті розкриття процесу силової взаємодії стрічки з поверхнею куща складено еквівалентну схему (див. рис. 4), одержано залежність для визначення сили зчісування, на основі якої встановлено раціональні параметри стрічкового доочищувача: ширина стрічки – 0,05 м, товщина – 0,03 м, довжина – 0,5 м, матеріал стрічки – гума.

6. Теоретичними дослідженнями процесу транспортування комах-шкідників у горизонтальних, вертикальних і похилих ділянках повітропроводу встановлено, що їхній рух описується рівняннями (5)-(14), а мінімальна швидкість повітряного потоку, яка забезпечує роботу пристрою, повинна бути не меншою 20 м/с. На основі аналізу траєкторій руху комах в пневмоканалах пристрою отримано залежність коефіцієнта Гастерштадта від параметрів і режимів роботи пневмосистеми (15).

7. Розроблена програма і методика експериментальних досліджень включає лабораторне визначення фізико-механічних характеристик комах-шкідників, пошукові відсіюючі експерименти, повний факторний експеримент, які разом з теоретичними дослідженнями уможливають комплексне обґрунтування параметрів та режимів роботи пневмомеханічного пристрою.

8. Експериментально встановлено аеродинамічні характеристики колорадських жуків, а саме, критичну швидкість  $v_{кр} = 8,02$  м/с, коефіцієнт аеродинамічного опору  $C_f = 0,516$ . Також визначено фактори, які найбільше впливають на показники якості роботи пневмомеханічного пристрою: величина розрідження  $P_p$ , величина нагнітання  $P_n$  та швидкість руху агрегату  $V_a$ . Виконання повного факторного експерименту дало змогу отримати аналітичні залежності показників якості роботи пневмомеханічного пристрою (16), (17) від вказаних факторів.

9. У результаті опрацювання експериментальних даних обґрунтовані раціональні значення наступних режимів роботи пневмомеханічного пристрою: величина розрідження  $P_p = 2300...2740$  Па, величина нагнітання  $P_n = 1350...1750$  Па, швидкість руху агрегату  $V_a = 6,8...9,7$  км/год, за яких забезпечується максимальне значення коефіцієнта збирання комах  $K_z = 95\%$  та мінімальне допустиме значення коефіцієнта пошкодження  $K_n = 5\%$ .

10. Проведене економічне оцінювання ефективності використання пневмомеханічного пристрою встановило, що економічний ефект складає 103,08 грн./га, або 15,673 тис. грн. на рік. Проаналізовані шкідливі наслідки від технологічних операцій свідчать, що їх сумарний енергетичний еквівалент обприскування становить  $E^m = 259,69$  МДж/га, що на 207,86 МДж/га більше в порівнянні з пневмомеханічним пристроєм.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бендера І.М., **Гуцол Т.Д.** Збирання колорадських жуків пневмомеханічними засобами // Збірник наукових праць Подільської ДАТА. Випуск 10. – Кам'янець-Подільський: ПДАТА, 2002. – С. 238-240. (Автором виконано аналіз пневмомеханічних способів збирання комах-шкідників)

2. **Гуцол Т.Д.**, Бендера І.М., Бичинський С.О. Обґрунтування форми забірної камери пневмомеханічного пристрою // „Аграрний вісник Причорномор'я” збірник наукових праць Одеського ДАУ. – Одеса: ОДАУ, 2005. – №28. – С. 70-75. (Автором обґрунтовано раціональну форму робочої камери пневмомеханічного пристрою)

3. **Гуцол Т.Д.** Результати дослідження аеродинамічних властивостей комах-шкідників як об'єктів пневмомеханічного збирання // Збірник наукових праць Подільського ДАТУ, Випуск 13. – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2005. – С. 238-240.

4. **Гуцол Т.Д.** Динамічні властивості листяної поверхні рослини в робочій камері пневмомеханічного пристрою для збирання комах-шкідників // Вісник Львівського державного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. – Львів: ЛДАУ, 2006. – №10. – С. 297-301.

5. **Gucol T.**, Bendera I., Nowak J. Zbieracz stonki // Rolniczy Przegląd Techniczny. – 2005. – №5 (75). – Р. 14. (Польща) (Автором обґрунтовано спосіб агрегування пневмомеханічного пристрою з енергетичним засобом)

6. **Gucol T.**, Bendera I., Nowak J. Mechaniczne niszczenie stonki ziemniaczanej // Ziemniak Polski. – 2006. – №4 (XVI). – Р. 30-33. (Польща) (Автором виконано опрацювання результатів експериментальних досліджень)

7. **Gutsol Taras**, Bendera Iwan. Grounding the parameters of pneumatic device for pests collecting // Proceedings of 5<sup>th</sup> International Scientific Conference. – Jelgava: Latvia University of Agriculture, 2006. – Р. 34-37. (Латвія) (Автором обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи пневмомеханічного пристрою)

8. **Гуцол Т.Д.**, Бендера И.Н. Исследование формирования воздушной струи наполняющей насадки пневмомеханического устройства для сбора насекомых-вредителей // Научно-технический журнал Агропанорама. – 2006. – №3 (55). – С. 14-15. (Білорусь) (Автором досліджено формування струменю повітря нагнітальною насадкою пневмомеханічного пристрою)

9. **Гуцол Т.Д.**, Бендера І.М., Кучер В.В. Маркетинговий аналіз виробництва пневмомеханічного пристрою для збирання колорадських жуків // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції „Ринкова трансформація економіки: стан, проблеми, перспективи”. – Харків: ХДУСГ, 2003. – Том 2. – С. 38-40. (Автором визначено показники економічної ефективності впровадження пневмомеханічного пристрою у виробництво)

10. **Гуцол Т.Д.** Екологічно чиста технологія догляду за рослинами // Збірник доповідей. – Донецьк: ДонНТУ, ДонНУ, 2003. – Том 1. – С. 194.

11. Пат. 54939 А Україна, МКИ 7 А 01 М17/00. Пристрій для оперативного визначення кількості та маси зібраних колорадських жуків / Бендера І.М., Фірман Ю.П., **Гуцол Т.Д.** (Україна). – №2002054308; Заявлено 27.05.2002 р.; Опубл. 17.03.2003. Бюл. № 3. – 2 с. (Автором запропоновано спосіб оперативного визначення кількості та маси зібраних комах-шкідників)

12. Пат. 61250 А Україна, МКИ 7А01М5/08. Пневматичний пристрій для збирання комах-шкідників / **Гуцол Т.Д.**, Бендера І.М., Корольчук П.С. (Україна). – №2002118924; Заявлено 11.11.2002 р.; Опубл. 17.11.2003. Бюл. № 11. – 2 с. (Автором запропонована форма робочої камери пневмомеханічного пристрою)

13. Пат. 8746 А Україна, МКИ 7А01В71/00. Пневматичний пристрій для збирання комах-шкідників / **Гуцол Т.Д.**, Бендера І.М., Гуменюк О.О., Лазарчук С.С. (Україна). – №200501550; Заявлено 21.02.2005 р.; Опубл. 15.08.2005. Бюл. № 8. – 2 с. (Автором запропоновано обладнати пневмомеханічний пристрій стрічковим доочищувачем)

## АНОТАЦІЯ

**Гуцол Т.Д. Обґрунтування параметрів та режимів роботи механічного пристрою для збирання комах-шкідників просапних сільськогосподарських культур.** – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Львівський державний аграрний університет, Львів, 2007.

Дисертаційна робота присвячена питанням розробки і обґрунтуванню параметрів та режимів роботи механічного пристрою для збирання комах-шкідників. Запропоновано екологічно безпечний спосіб боротьби з комахами-шкідниками, який базується на застосуванні пневмомеханічних засобів. Обґрунтовано множини та послідовності технологічних операцій комбінованого процесу. Теоретично встановлено взаємозв'язок головних параметрів пневмомеханічного пристрою з якісними та енергетичними показниками, обґрунтовано робочі елементи, форму робочої камери.

Досліджена динаміка листової поверхні рослини та комахи-шкідника в робочій камері пневмомеханічного пристрою, що дає змогу сформулювати умову непошкодження рослини при



робочому процесі, умову знімання комахи з листової поверхні. Приведено теоретичні дослідження формування струменю повітря нагнітальною насадкою. Досліджено процес транспортування комах-шкідників на горизонтальних, вертикальних і похилих ділянках повітропроводу. Визначено раціональні значення параметрів та режимів роботи пневмомеханічного пристрою.

Проведено економічне та енергетичне оцінювання ефективності використання пневмомеханічного пристрою, проаналізовано шкідливі наслідки від технологічних операцій. Результати досліджень використані для розробки нової сільськогосподарської техніки у ВАТ “Кам’янець-Подільськсільмаш” (Україна) та SIA „BaltTehnika” (Латвія).

Ключові слова: комаха-шкідник, листова поверхня, робоча камера, всмоктування, нагнітання, пневмомеханічний пристрій.

### АННОТАЦИЯ

**Гуцол Т.Д. Обоснование параметров и режимов работы устройства для механического сбора насекомых-вредителей пропашных сельскохозяйственных культур.** – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Львовский государственный аграрный университет, 2007.

Диссертационная работа посвящена вопросам разработки и обоснованию параметров и режимов работы устройства для сбора насекомых-вредителей. Предложено экологически безопасный способ борьбы с насекомыми-вредителями, который базируется на применении пневмомеханических средств. Анализ пневмомеханического метода сбора насекомых-вредителей показал, что применение соответствующего метода может позволить отказаться от химической обработки растений и получать экологически чистые продукты, снизить затраты на выращивание сельхозпродуктов, а также сократить заболеваемость рабочих, занятых на химической обработке растений.

Обоснованы количество и последовательность технологических операций комбинированного процесса сбора насекомых-вредителей: ориентация-сужение растения с подачей в рабочую камеру; расширение-обдув; всасывание насекомых воздушным потоком в верхней части рабочей камеры; доочищение; транспортирование; уничтожение.

Теоретически установлена взаимосвязь конструктивно-технологических параметров пневмомеханического устройства с качественными и энергетическими показателями, обосновано рабочие элементы и форма рабочей камеры с учетом физико-биологических характеристик структуры растения.

Исследована динамика поверхности листьев растения, насекомого-вредителя в рабочей камере пневмомеханического устройства, что даёт возможность создать условия неповреждения растения в рабочем процессе и снятия насекомого с поверхности листов растения.

Приведены теоретические исследования формирования струи воздуха нагнетательной насадки в рабочей камере устройства. Раскрыто процесс силового взаимодействия ленты с поверхностью куста, составлено эквивалентную схему, получено зависимость силы счесывания, по которой обосновано параметры ленточного доочистителя.

Исследован процесс транспортировки насекомых-вредителей на горизонтальных, вертикальных и наклонных участках воздухопровода. Изучены траектории движения насекомых-вредителей на выше указанных участках. Определены рациональные значения параметров и режимов работы пневмомеханического устройства.

Разработанная методика экспериментальных исследований включает: лабораторное определение физико-механических характеристик насекомых-вредителей, отсеивающие эксперименты и полный факторный эксперимент для установления зависимости качественных и энергетических показателей работы пневмомеханического устройства.

Проведена экономическая и энергетическая оценка эффективности использования пневмомеханического устройства. Сделан анализ вредных последствий технологических операций. Результаты исследований использованы для разработки новой сельскохозяйственной техники в ОАО “Кам’янець-Подільськсільмаш” (Украина) и SIA „BaltTehnika” (Латвия).

Ключевые слова: насекомое-вредитель, поверхность листа, рабочая камера, всасывание, нагнетание, пневмомеханическое устройство.

## ANNOTATION

**Gutsol T.D. Grounding parameters and modes of operations of mechanical device for collecting pests of agricultural crops. – Manuscript.**

Thesis for candidate degree by speciality 05.05.11 – machines and facilities of mechanization of agricultural production. – Lviv State Agrarian University, Lviv, 2007.

The dissertation is devoted to the questions of development and grounding the parameters and modes of operations of device for collecting pests. The system of pneumomechanic devise for ecologically clean plants care was revealed in the thesis. Some of the main constructive parameters of the pneumatic device for pests collecting have been grounded.

A great number and sequence of technological operations of the combined process of pest collection is grounded. The author theoretically proved the connection of structurally-technological parameters of pneumomechanic device with both quality and power indexes. The contents of workings elements and the form of working chamber were opened in the thesis taking into account biological descriptions of plant

structure. The dynamics of leaves surface and pests in the working chamber of pneumomechanic device is explored. That enables to create the conditions of plant undamage in a working process and removal of insect from the surface of leaves. Theoretical researches of forming the stream of air in the forcing attachment of the working chamber of device were held.

The economic and power evaluation of efficiency of the use of pneumomechanic device is conducted. The analysis of harmful consequences of technological operations is done.

Key words: pest, surface of sheet, working chamber, suction, festering, pneumomechanic device.

