

## АГРОІНЖЕНЕРІЯ

УДК 632.935

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.83-94](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.83-94)

**В.В. Онопа**, інженер, **Д.Ю. Артеменко**, доц., канд. техн. наук, **О.А. Кислун**, доц., канд. техн. наук, **В.А. Онопа**, доц., канд. техн. наук

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна  
e-mail: artemenkodyu@kntu.kr.ua*

## Математична модель верхнього робочого елемента механічно-пневматичного збирача комах-шкідників пасльонових культур

В роботі наведені результати пошукових теоретичних досліджень конструктивних особливостей верхнього робочого елемента пристрою для механічно-пневматичного збирання комах-шкідників пасльонових культур. Під час аналізу наукових джерел було встановлено, що комахи-шкідники значною мірою призводять до серйозних втрат у світовому виробництві сільськогосподарської продукції. Пестицидний обробіток є основним методом боротьби з ними, проте така практика призводить до забруднення навколишнього середовища, загрози здоров'ю людини та підвищення ризику захворювань. У зв'язку з цим велика увага приділяється розробці екологічно безпечних методів боротьби. Виявлено, що одним з найбільш ефективних методів є фізичне збирання комах-шкідників пристроями різної дії. Тому подальша розробка нових конструкцій пристроїв для виконання процесу збирання комах-шкідників є актуальною задачею. З цією метою був запропонований новий пристрій для збирання комах-шкідників, призначений для ефективного збирання шкідників пасльонових культур за допомогою механічно-пневматичного методу. Теоретично обґрунтована конструкція верхнього робочого елемента пристрою для збирання комах-шкідників і встановлено, що кут атаки робочої поверхні пристрою лежить в межах від 10 до 60°. Ефективність запропонованої конструкції нового пристрою забезпечується підвищеним впливом механічної дії на рослину пасльонових культур без її ушкодження і виключенням втримання шкідника на всіх рівнях по висоті рослини, максимальним збиранням шкідників за один прохід пристрою.

**комахи-шкідники сільськогосподарських культур, збирання шкідників, пристрій для збирання, дезинсектор, захист рослин**

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день комахи-шкідники сільськогосподарських культур залишаються однією з найважливіших проблем у світовому сільському господарстві. Згідно з повідомленням Продовольчої та сільськогосподарської організації (ФАО), шкідники щорічно призводять до втрат від 20 до 40 відсотків виробництва сільськогосподарських культур [1]. Економічний збиток від розповсюдження комах-шкідників оцінюється приблизно у 220 мільярдів доларів США на рік, а втрати від інвазивних видів комах складають близько 70 мільярдів доларів США щорічно [1]. У зв'язку з цим сільськогосподарське виробництво використовує широкий арсенал пестицидів для підвищення врожайності, якості і тривалості зберігання культур. Тому постійне зростання населення та швидка урбанізація призводять до збільшення використання таких хімікатів, що в свою чергу веде до забруднення навколишнього середовища та загрози здоров'ю людини. Безперервне застосування пестицидів може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям людини: рак, генетичні та респіраторні захворювання, а також може вплинути на розвиток плоду [2]. Отже, у сільському господарстві дуже важливо

впроваджувати передові технічні рішення для раннього виявлення комах-шкідників, запобіганню надмірному використанню пестицидів та використанню екологічно чистих методів боротьби з ними.

Екологічний захист рослин став необхідністю у сучасному світі, а використання машин для фізичного збору комах-шкідників відображає прагнення до створення екологічно чистої продукції рослинництва. Ці технології вже знайомі світовій практиці [3-5], але для досягнення оптимальних результатів потрібно постійно вдосконалювати агрегати та регулювати режими їх роботи. Проблема зниження врожайності пасльонових культур викликана шкідливим впливом колорадських жуків, а низькі показники урожайності цих культур свідчать про необхідність застосування хімічних засобів захисту для збільшення виробництва. Проте використання пестицидів, навіть найбільш безпечних, призводить до забруднення продукції та довкілля залишками хімічних речовин та їх похідних, які можуть бути навіть більш токсичними, ніж самі засоби захисту.

Тому використання дезинсекторів різного типу дії у вирощуванні пасльонових культур стає актуальним напрямком для отримання продукції високої якості, включаючи продукти для дієтичного харчування дітей, та сприятиме зменшенню використання пестицидів і їх негативного впливу на навколишнє середовище.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** На сьогоднішньому етапі розвитку сільського господарства по всьому світі спостерігається зростання заходів, спрямованих на виробництво екологічно чистої та здорової сільськогосподарської продукції, з виключенням використання хімічних засобів. Одним з основних методів контролю за шкідниками для умов екологічно чистого виробництва є безпосередній їх збір [6] за допомогою механізованих засобів [7], таких як механічні і пневматичні пристрої, з подальшим їх знищенням [8].

Дослідження Вінсента С. [9], проведені у лабораторних умовах з личинками і дорослими особами померклого рослинного клопа, показали, що пневматичний метод збору таких шкідників вже на першому проході призводить до значного зменшення їх чисельності, досягаючи ефективності на рівні 65%, а при повторних проходах якість збору може сягати навіть 85%. З'ясувалось, що якість збирання личинок виявилась вищою порівняно з дорослими комахами, але при зсуванні дорослих особин з місця збирання поліпшується на 20%. Отже, автор роботи рекомендує включати елементи струшування в конструкції збиральних пристроїв, щоб збільшити ефективність збору шкідників, перешкоджаючи їхньому польоту з рослини до поверхні ґрунту.

Робота [10], вказує на необхідність комплексного підходу до збору комах-шкідників. Розглядається розроблена пневматична машина на базі колісного трактора, яка була випробувана у боротьбі з колорадським жуком та померклим рослинним клопом на посадках картоплі і полуничних культурах. Отримані результати показали, що цей метод боротьби дозволяє ефективно знищувати шкідників на різних стадіях їхнього розвитку і може бути застосований для інших сільськогосподарських культур.

У роботі [11], Гуцол Т. вказує на те, що використання пневматичних систем для боротьби зі шкідниками має численні переваги. Це не лише ефективний і економічно вигідний метод обробки, але і метод, що сприяє екологічному вирощуванню сільськогосподарських культур, покращує умови праці механізаторів та допомагає зменшити використання пестицидів, це також має позитивний вплив на ґрунтове середовище. Пропонується використання пневматичної установки для збору комах-шкідників пасльонових культур, а також обґрунтовуються основні технологічні параметри її робочої частини. Автор зробив висновок про те, що використання купольних конструкцій робочих елементів таких машин є доречним і перспективним.

В іншому дослідженні [12], автори аргументовано пропонують конструкцію пневмодезинсектора для збирання комах-шкідників пасльонових культур. Вони пропонують використання робочої камери збирача з щілинами по всій внутрішній поверхні, який має підковоподібну форму, завдяки повітряним потокам з обох боків камери забезпечується збір шкідників. Після аналізу роботи пристрою було визначено, що пневматичний спосіб збору комах-шкідників є перспективним і може забезпечити високі результати у боротьбі зі шкідниками пасльонових культур.

Колектив авторів в роботі [13] провів теоретичне обґрунтування зони дії пневматичного пристрою для збирання комах-шкідників пасльонових культур. Проведений ними аналіз існуючих пристроїв для збирання шкідників показав, що жодна з наявних конструкцій не може повністю задовольнити вимоги щодо мінімального травмування рослин і максимальної ефективності збору шкідників. У зв'язку з цим була розроблена і запропонована нова конструкція пристрою, яка дозволяє якісно збирати шкідників пасльонових культур, уникаючи пошкодження рослин.

В подальшому в [14] розглянуто класифікацію методів боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур і проведено аналіз цих методів. Висновок зроблено на користь фізико-механічного пневматичного методу, який вважається найбільш ефективним на сучасному етапі розробки методів захисту сільськогосподарських рослин від комах-шкідників.

Проведений аналіз конструкцій і досліджень машин для збирання комах-шкідників показав, що в останні роки найчастіше використовуються машини з пневматичною системою збирання, але оскільки в багатьох конструкціях присутні додаткові елементи для примусового струшування комах-шкідників можна стверджувати, що в значній мірі можна перенести основну дію пристрою для збирання на механічну дію на шкідника, а збір і знищення покласти на пневматичну систему. Оскільки використання самих пневматичних систем як з одним напрямом потоку так із двома різними напрямками не в повній мірі можуть задовольнити збір комах-шкідників різного віку за рахунок їх різних аеродинамічних характеристик, а також при дії повітряних потоків частина шкідників падає на поверхню ґрунту, після чого повертається на рослини. Тому потрібно робити наступні проходи, що може негативно впливати на цілісність самих рослин пасльонових культур. Перспективним напрямом для розробки збирачів комах-шкідників може бути механічно пневматичний збирач, який механічно збирає шкідників, а пневматично їх транспортує в зону знищення.

**Постановка завдання.** Мета роботи: теоретичне обґрунтування конструктивних особливостей верхнього робочого елемента поверхні пристрою для механічно-пневматичного збору комах-шкідників.

Для досягнення мети, вирішували наступні задачі:

- провести аналіз сучасних конструкцій збирачів комах-шкідників з метою визначення їх переваг і недоліків при виконанні процесу збирання;
- розробити математичну модель процесу роботи одного із робочих елементів запропонованого збирача комах-шкідників та встановити теоретично його параметри які впливають на процес збирання.

**Викладення основного матеріалу.** На основі проведених експериментальних досліджень, спираючись на раніше проведені роботи [3-5,15-17] визначені основні недоліки збиральних пристроїв пневматичного типу для боротьби зі шкідниками. Оскільки більшість конструкцій таких пристроїв мають всмоктувальні щілини то нерівномірний розподіл повітряного потоку в них приводить до неефективного збирання з поверхні рослин шкідників сільськогосподарських культур. Іншим і головним недоліком таких пристроїв є формування декількох потоків які взаємодіючи

утворюють наступний технологічний процес - при здуванні шкідників потоком нагнітання вони рухаючись до поверхні ґрунту не встигають всі потрапляти в потоки всмоктування, а більш молоді особи які можуть триматись більш сильно за поверхню листя зовсім не здуваються і залишаються на місці, а це приводить до потреби повторних проходів агрегату і зниження якості обробки. Тому робота над проведенням удосконалення пристроїв для збирання шкідників є актуальною.

Для усунення виявлених недоліків існуючих пристроїв нами запропонована удосконалена конструкція пристрою для збирання комах-шкідників який виконаний трирівневим з робочими елементами на кожному рівні, на верхньому рівні робочий елемент виконаний у вигляді ступеневої поверхні в повздовжньому напрямі з плавними переходами, на середньому рівні робочий елемент виконаний масивом гнучких конічних стрижнів розміщених з перекриттям в вертикальній площині, на нижньому рівні робочий елемент виконаний у вигляді похилого лотка, передня частина якого виконана клиновою, а середня і задня ступінчастою з плавними переходами, сам лоток має висоту, що дорівнює висоті четвертої частини висоти самого пристрою.

На рис. 1 наведено схему удосконаленого пристрою для збирання комах-шкідників. Запропонований пристрій для збирання шкідників складається із рамки корпусу 1, верхнього робочого елемента 2, середнього робочого елемента 3, нижнього робочого елемента 4, збиральної щілини лотка 5, збірної камери 6.

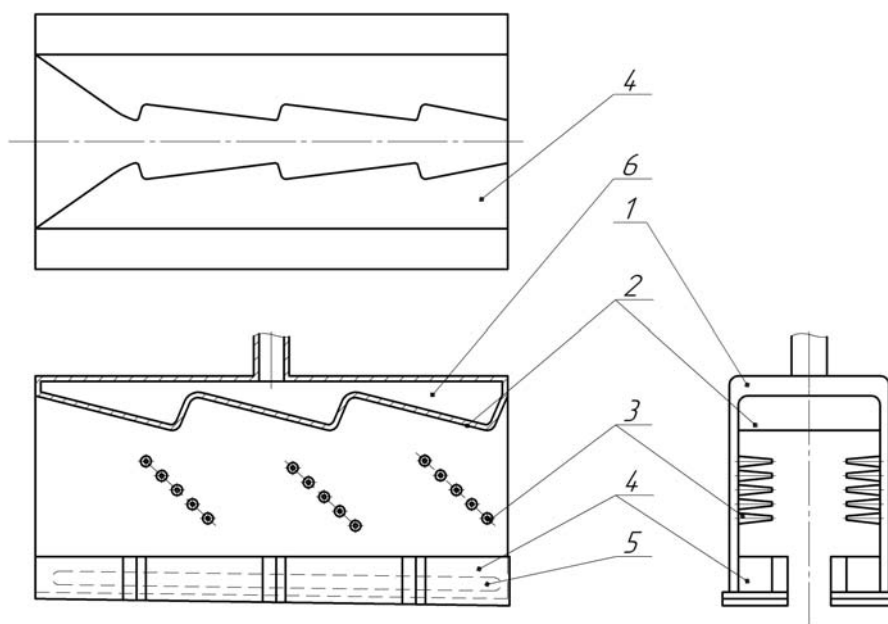


Рисунок 1 – Схематичне зображення механічно-пневматичного пристрою для збирання комах-шкідників  
Джерело: розроблено авторами

Працює запропонований пристрій для збирання шкідників наступним чином. Під час руху пристрою в рядку рослини потрапляючи в передню його частину стискаються в нижній частині клиновою поверхнею робочого елемента 4 в горизонтальній площині, в той же час під дією верхнього робочого елемента 2 рослини нагинаються в вертикальній площині по напрямку руху викликаючи напруження стебла самої рослини. Після потраплення верхньої і нижньої частини стебла в переходи робочих поверхонь елементів 2 і 4 відбувається зняття напружень стебла рослини за рахунок чого відбувається ефект струшування, в результаті чого шкідники падають з поверхні рослини в збиральний лоток робочого елемента 4. Розміщені після кожної ступені робочих елементів 2 і 4, гнучкі конічні доочищувачі середнього робочого

елементу 3 виконують збиття з листової поверхні стебел шкідників які втрималась після кожної ступені робочих елементів 2 і 4. Через щілину 5 в нижній частині лотка робочого елементу 4 пристрою за рахунок повітряного потоку всмоктування через забірну камеру 6 рамки зібрані шкідники транспортуються в місце знищення.

Всі три робочі елементи пристрою відіграють комплексний вплив на процес збирання шкідників, але в даній роботі нами буде розглянутий лише один верхній робочий елемент. Оскільки верхній робочий елемент пристрою для збирання комах шкідників здійснює визначальну роль у формуванні напруження стебла рослини яке дає можливість виконати струшувальну дію по відношенню до шкідника, то необхідно розглянути задачу дії поверхні робочого елемента на стебло рослини пасльонових культур.

Під час руху верхнього робочого елемента пристрою зі швидкістю  $V$  його робоча поверхня здійснює вплив на верхню частину стебла виконуючи його нахил у вертикальній площині. Після проходження по робочій поверхні стебло в точці сходу відновлює своє вертикальне положення здійснюючи вплив на шкідників, що знаходяться на поверхні листового покриву рослини. В момент сходу рослини з робочої поверхні пристрою на стеблину діють наступні сили:  $N$  - нормальна реакція стебла на дію робочого елемента;  $F_{mp}$  - сила тертя взаємодіючих поверхонь;  $F_n$  - сила нахилу стебла від дії поверхні робочого елемента;  $F_o$  - сила опору яка виникає у стеблі при дії поверхні робочого елемента.

Для визначення впливу геометричних параметрів поверхні робочого елемента пристрою нами була розроблена розрахункова схема рис. 2.

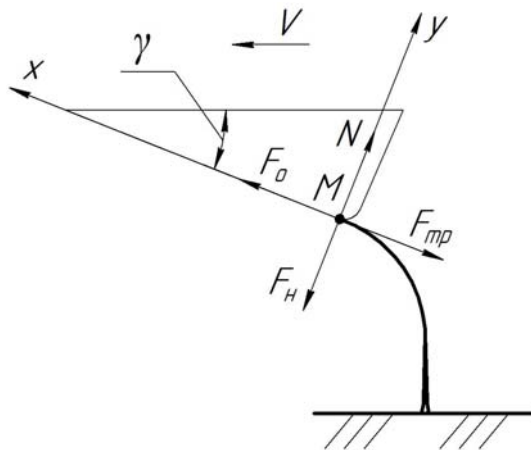


Рисунок 2 – Схема сил, діючих на стебло, від дії робочої поверхні пристрою для збирання шкідників

Джерело: розроблено авторами

Відомо [18], що сила тертя має залежність:

$$F_{mp} = f \cdot N, \quad (1)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя поверхні робочого елемента пристрою із стеблом;

$N$  - нормальна реакція стебла на дію поверхні робочого елемента.

Сила тертя  $F_{mp}$  направлена в інший бік від вектора швидкості руху поверхні робочого елемента пристрою.

Складемо диференціальне рівняння руху стеблини по поверхні робочого елемента пристрою у векторній формі з врахуванням складеної схеми сил (рис. 2):

$$m\vec{a} = \vec{F}_o + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_n, \quad (2)$$

де  $\vec{a}$  - абсолютне прискорення руху поверхні робочого елемента пристрою по поверхні стебла,  $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$ ;

$m$  - маса стебла яка контактує з поверхнею робочого елемента пристрою.

Тоді:

$$m \cdot (\vec{a}_n + \vec{a}_\tau) = \vec{F}_o + \vec{N} + \vec{F}_{mp} + \vec{F}_n. \quad (3)$$

Спроєктуємо отримане рівняння на осі системи координат:

$$\begin{cases} m \cdot (a_{\tau x} - a_{nx}) = F_o - F_{mp}; \\ m \cdot (a_{\tau y} - a_{ny}) = N - F_n. \end{cases} \quad (4)$$

Оскільки швидкість руху робочої поверхні елемента пристрою постійна  $V = const$ , то і  $V_x = const$ ,  $V_y = const$ , тоді:

$$\begin{aligned} a_{\tau x} &= \frac{dV_x}{dt} = 0; \\ a_{\tau y} &= \frac{dV_y}{dt} = 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким чином:

$$\begin{cases} -m \cdot a_{nx} = F_o - F_{mp}; \\ -m \cdot a_{ny} = N - F_n. \end{cases}$$

$$\begin{cases} F_o = F_{mp} - m \cdot a_{nx}; \\ N = F_n - m \cdot a_{ny}. \end{cases}$$

Звідки:

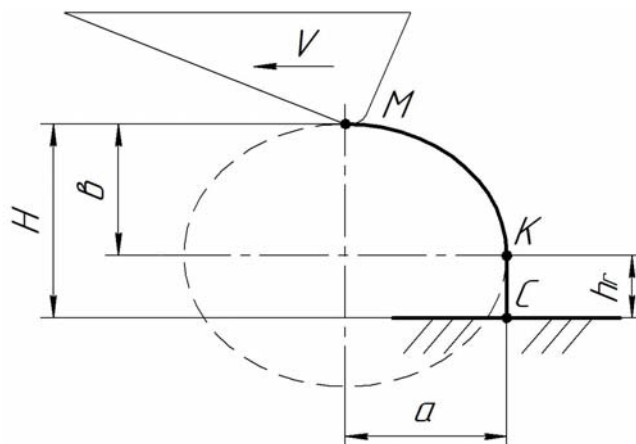
$$F_o = f \cdot (F_n - m \cdot a_{ny}) - m \cdot a_{nx} = f \cdot \left( F_n - m \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \cos \alpha \right) - m \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \sin \alpha, \quad (6)$$

де  $R$  – радіус згину стебла рослини від дії поверхні робочого елемента пристрою для збирання комах-шкідників;

$\alpha$  – кут між радіусом кривизни і віссю у вибраної системи координат.

Для визначення проекції  $a_{\tau x}$ ,  $a_{\tau y}$  необхідно дослідити форму згину стебла та визначити радіус та центр кривизни стебла в точці сходу з поверхні робочого елемента пристрою.

Після проведення установчого експерименту було встановлено, що форма стебла під дією поверхні робочого елемента пристрою для збирання може розглядатись у вигляді частини дуги поверхні еліпса, що дає можливість скласти розрахункову схему рис. 3.



МК – частина дуги еліпса, по якій відбувається згин стебла; КС – прикоренева частина стебла (частина, яка залишається рівною навіть під дією поверхні робочого елемента пристрою за рахунок більшої товщини стебла); Н – висота знаходження поверхні робочого елемента пристрою;  $a$  – відстань, на яку відгинається стебло (велика піввісь еліпса);  $b$  – мала піввісь еліпса

Рисунок 3 – Схема згину стебла від дії робочої поверхні пристрою для збирання

Джерело: розроблено авторами

Залежність для визначення радіуса  $R$  кривизни матиме загальний вигляд:

$$R = \frac{(1 + (y')^2)^{\frac{3}{2}}}{|y''|}. \quad (7)$$

Координати центра кривизни визначаємо за виразами:

$$x_0 = x - \frac{y' \cdot (1 + (y')^2)}{y''}; \quad (8)$$

$$y_0 = y + \frac{y' \cdot 1 + (y')^2}{y''}. \quad (9)$$

Для опису геометричних параметрів згину стебла пов'язуємо його з самою довжиною, тоді теоретична довжина згину буде:

$$l_T = \int_0^T \sqrt{(x'(\theta))^2 + (y'(\theta))^2} d\theta, \quad (10)$$

де  $x(\theta)$  та  $y(\theta)$  - рівняння згину стебла які задані параметрично;

$\theta$  - параметр через який задаються параметричні рівняння згину стебла.

Оскільки для точного аналітичного розрахунку дуги еліпса не має то для інженерного розрахунку можемо використати наближений або числовий розрахунок.

Запишемо рівняння дуги еліпса між сусідніми вершинами через піввісі  $a, b$  (рис. 3):

$$L = \left( a^{\frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}} + b^{\frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}}} \right)^{\frac{\ln \pi}{\ln 2}}; \quad (11)$$

$$a = \left( l_T^2 - b^2 \right)^{\frac{\ln \frac{\pi}{2}}{\ln 2}} \quad (12)$$

Радіус кривизни, що направлений до центра еліпса дорівнює:

$$R = \frac{a^2}{b} \quad (13)$$

Тоді сила опору визначиться як:

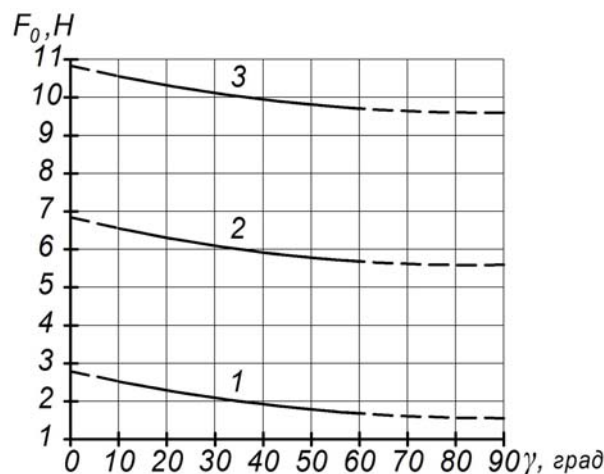
$$\begin{aligned} F_o &= f \cdot \left( F_n - m \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \cos \gamma \right) - m \cdot \frac{V^2}{R} \cdot \sin \gamma = \\ &= f \cdot F_n - \frac{mV^2}{a^2} \cdot (f \cdot \cos \gamma + \sin \gamma) = \\ &= f \cdot F_n - \frac{mV^2 \cdot (f \cdot \cos \gamma + \sin \gamma) \cdot (H - h_r)}{\left( (l - h_r)^{\frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}}} - (H - h_r)^{\frac{\ln 2}{\ln \frac{\pi}{2}}} \right)^{\frac{2 \ln \frac{\pi}{2}}{\ln 2}}}, \end{aligned} \quad (14)$$

де  $l$  - реальна довжина стебла;

$\gamma$  - кут атаки робочої поверхні пристрою;

$h$  - висота по якій відбувається згин стебла від дії поверхні робочого елемента пристрою для збирання шкідників.

Підставляючи значення величин складових у рівняння (14), можемо отримати графічну залежність величини сили  $F_o$  від кута  $\gamma$ :

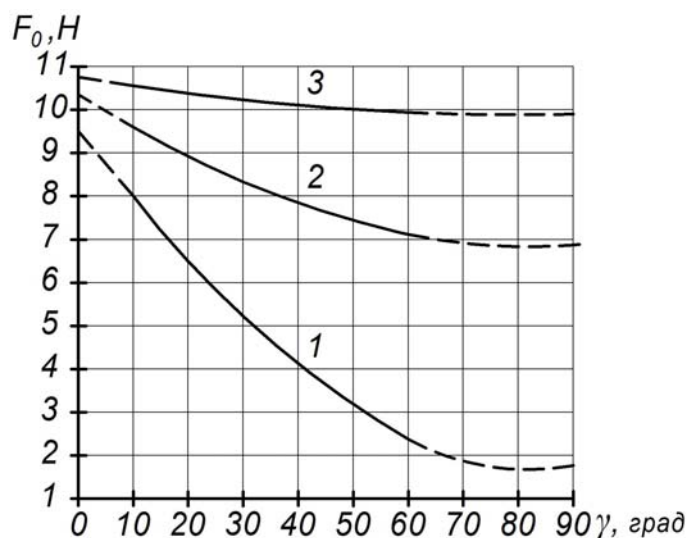


1 -  $F_n = 20H$ ; 2 -  $F_n = 40H$ ; 3 -  $F_n = 60H$

Рисунок 4 – Графічна залежність зміни сили опору від кута нахилу поверхні робочого елемента пристрою

Джерело: розроблено авторами





1 -  $V = 0,5 м/с$  ; 2 -  $V = 1 м/с$  ; 3 -  $V = 1,5 м/с$

Рисунок 5 – Графічна залежність зміни сили опору від кута нахилу поверхні робочого елемента пристрою

Джерело: розроблено авторами

В результаті проведених досліджень теоретично встановлено, що на всіх швидкостях руху пристрою для збирання комах-шкідників раціональний кут атаки робочої поверхні пристрою  $\gamma$  знаходиться в межах від 10 до 60°. Також в подальшому необхідно розглянути дію інших робочих елементів на рослини пасльонових культур, а для визначення раціональних значень конструктивних параметрів удосконаленого пристрою для збирання комах-шкідників потрібні додаткові експериментальні дослідження за допомогою імітаційного моделювання та методів планування експерименту.

#### Висновки.

1. Аналіз літературних джерел дав можливість встановити, що комахи-шкідники значною мірою призводять до серйозних втрат у світовому виробництві сільськогосподарської продукції. Пестицидний обробіток є основним методом боротьби з ними, проте така практика призводить до забруднення навколишнього середовища, загрози здоров'ю людини та підвищення ризику захворювань. У зв'язку з цим велика увага приділяється розробці екологічно безпечних методів боротьби. Одним з найбільш ефективних методів є фізичне збирання комах-шкідників пристроями різної дії.

2. Запропонована математична модель верхнього робочого елемента пристрою для збирання комах-шкідників, який призначений для ефективного збирання шкідників пасльонових культур за допомогою механічно-пневматичного методу.

3. Теоретично обґрунтовано, що кут атаки робочої поверхні пристрою лежить в межах від 10 до 60°.

4. З теоретичної точки зору показано, що робота пристрою забезпечується підвищеним впливом механічної дії на рослину пасльонових культур без її ушкодження і виключенням втримання шкідника на всіх рівнях по висоті рослини, максимальним збиранням шкідників за один прохід пристрою.

## Список літератури

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. 2020. URL: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/> (дата звернення 02.04.2024)
2. Narendaran S.T., Meyyanathan S.N., Babu B.. Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. *Food Research International*. 2020. P. 133.
3. Gucol T., Bendera I., Nowak J. Zbieracz stonki. *Rolniczy Przegląd Techniczny*. 2005. №5 (75). P. 14.
4. Хелемендик М.М., Шеремета Р.С. Агрегат для збирання і знищення шкідників сільськогосподарських рослин. *Сільськогосподарські машини*. 2000. Вип. 6. С. 185-190.
5. Онопа В.А., Петренко М.М. Збирання шкідників сільськогосподарських культур за допомогою пневмодезинсектора. *Збірник наукових праць НАУ. Механізація сільськогосподарського виробництва*. 1999. т. 8. С. 166-168.
6. Vincent C., Chagnon R. Vacuuming tarnished plant bug on strawberry: a bench study of operational parameters versus insect behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2003. 97(3). P. 347–354.
7. Effects of airflow velocity and travel speed on the removal of Colorado potato beetles from potato plants / Lacasse B. et. al. *Canadian Agricultural Engineering*. 1998. Vol. 40, Issue 4. P. 265–272.
8. Khelifi, M., Laguë C., Lacasse B. Pneumatic control of insects in plant protection. *Physical control methods in plant protection*. 2001. P. 261–269.
9. Mohammadali Haddad Derafshi. Design and Construction of a Pneumatic-thermal Machine for Controlling Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). *Journal of Applied Sciences*. 2006. Vol. 6, No 4. P. 919–925.
10. Charles Vincent & Gilles Boiteau. Pneumatic Control of Agricultural Insect Pests. *Physical Control Methods in Plant Protection*. 2001. P 270–281.
11. Taras Gucol, Ivan Bendera, Janusz Nowak. Grounding the parameters of the pneumatic device for pests collecting. *ТЕКА Ком. Mot. Energ. Roln*. 2007. 7А. 35–40.
12. Онопа В.А., Артеменко Д.Ю., Ліва Є.Г. Розробка та обґрунтування конструкції пневмодезинсектора для збирання шкідників пасльонових культур. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції*, 5-6 лист. 2015 р. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 22-23.
13. В.А. Онопа, Д.Ю. Артеменко, Р.В. Бакал. Теоретичне обґрунтування зони дії пристрою для збирання шкідників пасльонових культур. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2018. №10(51). С. 19-23.
14. В. Онопа. Перспективні методи боротьби з шкідниками картоплі (пасльонових культур). *Наука–виробництво*. 2021. С. 4-6.
15. Бендера І. М., Гуцол Т. Д. Збирання колорадських жуків пневмомеханічними засобами. *Зб. наук. пр. ПДАТА*. 2002. Вип.10. С. 238-240.
16. Гуцол Т.Д., Бендера І.М., Бичинський С.О. Обґрунтування форми забірної камери пневмомеханічного пристрою. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2005. №28. С. 70-75.
17. Онопа В.А., Артеменко Д.Ю.. Результати експериментальних досліджень пневматичного збирання шкідників сільськогосподарських культур. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2022. Вип. 52. С. 32-40.
18. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т.1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. К.: Техніка, 2006. 532 с.

## References

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2020). New standards to curb the global spread of plant pests and diseases. Retrieved from: <http://www.fao.org/news/story/en/item/1187738/icode/>
2. Narendaran, S.T., Meyyanathan, S.N. & Babu, B. (2020). Review of pesticide residue analysis in fruits and vegetables. Pre-treatment, extraction and detection techniques. *Food Research International*. P. 133.
3. Gucol, T., Bendera, I., Nowak J. (2005). Zbieracz stonki. *Rolniczy Przegląd Techniczny*. №5 (75). P. 14 [in Polish].
4. Khelemendyk, M.M. & Sheremeta, R.S. (2000). Ahrehat dlia zbyrannia i znyschennia shkidnykiv sil'skohospodars'kykh roslyn [Unit for collecting and destroying pests of agricultural plants] *Sil'skohospodars'ki mashyny – Agricultural machinery*, 6, 185-190 [in Ukrainian].
5. Onopa, V.A. & Petrenko, M.M. (1999) Zbyrannia shkidnykiv sil'skohospodars'kykh kul'tur za dopomohoiu pnevmodezynsektora [Collection of pests of agricultural crops with the help of a pneumodisinfector]. *Zbirnyk naukovykh prats' NAU. Mekhanizatsiia sil'skohospodars'koho*

- vyrobnytstva – Collection. scientific works of NAU. Mechanization of agricultural production*, 8, 166–168 [in Ukrainian].
6. Vincent, C. & Chagnon, R. (2000). Vacuuming tarnished plant bug on strawberry: a bench study of operational parameters versus insect behavior. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 2003. 97(3). 347–354.
  7. Effects of airflow velocity and travel speed on the removal of Colorado potato beetles from potato plants / Lacasse B. et. al. *Canadian Agricultural Engineering*. 1998. Vol. 40, Issue 4. P. 265–272.
  8. Khelifi, M., Laguë, C. & Lacasse B. (2001). Pneumatic control of insects in plant protection. *Physical control methods in plant protection*. P. 261–269.
  9. Mohammadali Haddad Derafshi (2006). Design and Construction of a Pneumatic-thermal Machine for Controlling Colorado Potato Beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). *Journal of Applied Sciences*. Vol. 6, No 4. P. 919–925.
  10. Charles, Vincent & Gilles, Boiteau. (2001). Pneumatic Control of Agricultural Insect Pests. *Physical Control Methods in Plant Protection*. P. 270–281.
  11. Taras Gucol, Ivan Bendera & Janusz Nowak. Grounding the parameters of the pneumatic device for pests collecting. *TEKA Kom. Mot. Energ. Roln*. 2007. 7A. 35–40.
  12. Onopa, V.A., Artemenko, D.Yu. & Liva Ye.H. (2015). Rozrobka ta obgruntuvannya konstruksii pnevmodezynsektora dlia zbyrannya shkidnykiv pasl'onovykh kul'tur [Development and substantiation of the construction of a pneumodisinfector for collecting pests of nightshade crops]. Problems of design, production and operation of agricultural machinery: *X Mizhnarodna naukovo-praktychnakonferentsiia (5-6 lyst. 2015 r.) – X International scientific and practical conference (pp. 22-23)*. Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
  13. Onopa, V.A., Artemenko, D.Yu. & Bakal, R.V. (2018). Teoretychne obgruntuvannya zony dii prystroiu dlia zbyrannya shkidnykiv pasl'onovykh kul'tur. [Theoretical substantiation of the area operation of the device for collecting pests of nightshade crops]. *Scientific Journal «ScienceRise»*, 10(51), 19-23 [in Ukrainian].
  14. Onopa, V. (2021). Perspektyvni metody borot'by z shkidnykamy kartopli (pasl'onovykh kul'tur). [Promising methods of pest control potatoes (solanaceous crops)]. *Nauka-vyrobnytstvu – Science-production*, 4-6. [in Ukrainian].
  15. Bendera, I. M. & Hutsol, T. D. (2002). Zbyrannya kolorads'kykh zhukiv pnevmomekhanichnymy zasobamy [Collection of Colorado beetles by pneumatic means]. *Zb. nauk. pr. PDATA – Coll. of science Ave. PDATA*, 10, 238-240 [in Ukrainian].
  16. Hutsol, T.D., Bendera, I.M. & Bychyns'kyj, S.O. (2005). Obgruntuvannya formy zabirnoi kamery pnevmomekhanichnoho prystroiu [Justification of the shape of the intake chamber of the pneumomechanical]. *Ahrarnyj visnyk Prychornomor'ia – Agrarian Bulletin of the Black Sea Region*, 28, 70-75 [in Ukrainian].
  17. Onopa, V.A., & Artemenko, D.Yu. (2022). Rezul'taty eksperymental'nykh doslidzhen' pnevmatychnoho zbyrannya shkidnykiv sil'skohospodars'kykh kul'tur [Results of experimental studies of pneumatic harvesting of pests of agricultural crops]. *Konstruiuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia sil'skohospodars'kykh mashyn – Design, production and operation of agricultural machines*, 52, 32-40 [in Ukrainian].
  18. Kucheruk, I.M., Horbachuk, I.T. & Lutsyk, P.P. (2006). Zahal'nyj kurs fizyky [General course of physics]. *Mekhanika. Molekuliarna fizyka i termodynamika* [Mechanics. Molecular physics and thermodynamics]. (Vol. 1). K.: Tekhnika [in Ukrainian].

**Volodymyr Onopa**, engineer, **Dmytro Artemenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleh Kyslun**, Assoc. Prof., PhD tech. Sci, **Volodymyr Onopa**, Assoc. Prof., PhD tech. sci.  
*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Mathematical model of the upper working element of the mechanical-pneumatic collector of insect pests of nightshade crops**

The paper presents the results of exploratory theoretical studies of the design features of the upper working element of the device for the mechanical-pneumatic collection of insect pests of nightshade crops. During the analysis of scientific sources, it was established that insect pests to a large extent lead to serious losses in the world production of agricultural products. Pesticide treatment is the main method of combating them, but this practice leads to environmental pollution, threats to human health and increased risk of diseases. In this regard, great attention is paid to the development of ecologically safe methods of control. It was found that one of the most effective methods is the physical collection of insect pests with devices of various effects. Therefore, the further development of new designs of devices for carrying out the process of collecting insect pests is an urgent task.

On the basis of the conducted experimental studies and relying on the previously conducted works, the main shortcomings of the pneumatic-type collection devices for pest control were determined. Since most designs of such devices have suction slits, the uneven distribution of air flow in them leads to inefficient collection of pests of agricultural crops from the surface of plants. Another and the main disadvantage of such devices is the formation of several streams that interact to form the following technological process - when pests are blown away by the injection stream, they move to the surface of the soil and do not have time to fall into the suction streams, and younger individuals that can hold on to the surface of the leaves are not blown away at all and remain in place, and this leads to the need for repeated passes of the unit and a decrease in the quality of processing.

For this purpose, a new device for collecting insect pests was proposed, designed for effective collection of pests of nightshade crops using a mechanical-pneumatic method. The design of the upper working element of the device for collecting pest insects was theoretically substantiated and it was established that the angle of attack of the working surface of the device lies in the range from 10 to 60°. The effectiveness of the proposed design of the new device is ensured by the increased effect of mechanical action on the plant of nightshade crops without its damage and the exclusion of pest retention at all levels along the height of the plant, the maximum collection of pests in one pass of the device.

**insect pests of agricultural crops, pest collection, collection device, exterminator, plant protection**

*Одержано (Received) 29.01.2024*

*Прорецензовано (Received) 29.02.2024*

*Прийнято до друку (Received) 25.03.2024*

**UDC 631.363.2**

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9\(40\).1.94-104](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.9(40).1.94-104)

**Elchyn Aliiev**, Prof. of the Department of Technical Systems Engineering, DSc., Senior Researcher, **Oleksandr Kobets**, Assos. Prof. of the Department of Tractors and Agricultural Machinery, PhD tech. sci., **Mykola Linko**, Holder of the third (educational and scientific) level of higher education

*Dnipro State Agrarian and Economic University, Dnipro, Ukraine*

*e-mail: aliev@meta.ua*

## Physico-mathematical model of the process of compression of compound feed components into expanders

The purpose of the experimental study is to verify the accuracy of conclusions drawn from theoretical research by substantiating experimentally the main parameters and operating modes of the feed compaction process. To compare the results of numerical modeling and laboratory experiments, a program was developed in the Wolfram programming language, which allows linking the technological parameters of the expansion process ( $W$ ,  $T$ ) with the physical and mechanical properties of the compound feeds mixture ( $E_p$ ,  $\mu_p$ ,  $W_p$ ). For rational technological parameters ( $D_\mu = 0.5$  mm,  $W = 20.7$  %,  $T = 137.0$  °C), we have the following physical and mechanical properties:  $E_p = 22.3$  MPa,  $\mu_p = 0.31$ ,  $W_p = 0.49$  N/m. In this case,  $S_{\Delta P} = 0.772$  MPa,  $\Psi = 1.519$ ,  $h_a = 13.2$  mm. Comparisons of dependencies  $S_{\Delta P}^E(D_\mu)$  and  $S_{\Delta P}^T(D_\mu)$ ,  $\Psi^E(D_\mu)$  and  $\Psi^T(D_\mu)$ ,  $h_a^E(D_\mu)$  and  $h_a^T(D_\mu)$  will be conducted under the condition of rational technological parameters, and a sufficiently high Pearson correlation coefficient (0.94–0.99) has been established.

**feed, pressing, compression, numerical modeling, laboratory research, mixing, pressure, parameters, physical and mechanical properties, efficiency**

**Problem setting.** One of the problems encountered during the transportation of bulk feeds is the loss of uniformity due to component segregation. This issue has been addressed in Europe since the early 1980s through pelletizing or extrusion, where the homogeneity of the