

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

БОГОМОЛОВ ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ


УДК 631.362

ДИСЕРТАЦІЯ
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО
СЕПАРАТОРА ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ

Спеціальність: 05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.


_____ О.О.Богомолів

Науковий керівник – **Брагінець Микола Володимирович**,
доктор технічних наук, професор.

ХАРКІВ-2020

АНОТАЦІЯ

Богомолів О.О. Обґрунтування параметрів багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва (технічні науки). Луганський національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України. Харків, 2020.

Експериментальні дослідження проводились на кафедрі «Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка на сумішах насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків засміченістю від 9,8 до 20,1 % та відходах насіння ріпаку після очищення вихідних сумішей на пневмо-решітних сепараторах типу ОВС-25.

В дисертації вирішено наукове завдання спрямоване на підвищення ефективності технологічного процесу сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків та використання його на корм тваринам і птиці та посів.

В роботі виконано аналіз сучасного стану технологічного процесу та обладнання для сепарації насіння ріпаку, та встановлено, що застосовані способи очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків не забезпечують достатньої якості сепарації. Найбільші труднощі викликає відділення насіння підмаренника чіпкого, пікульника, круглеця метельчатого, курячого проса, горця, мишію та склероцій білої гнилі. Повторні пропуски насіння крізь повітре-решітно-трієрні машини призводять до збільшення енергоємності процесів очищення. У спеціальних очисних машин – пневмостолів, падді-машин, віброфрікційних машин процеси сепарації також є найбільш енергоємними.

Проаналізовано дослідження фізико-механічних властивостей, способи сепарації насіння ріпаку та встановлено, що найбільші відмінності серед

фізико-механічних властивостей насіння ріпаку і домішків спостерігаються в їхній пружності, тому сепарацію насінневих сумішей ріпаку та домішків слід здійснювати за допомогою удару по відбивнім поверхням з послідуочим поділом компонентів за відмінністю в траєкторіях їх руху, причому найбільша ефективність досягається шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора і більш спрямованою зміною, за рахунок цього, траєкторій руху частинок з різною пружністю в робочому органі сепаратора. Однак, недостатня вивченість закономірностей сепарації насіння за пружними властивостями стримує можливості вдосконалювання робочих органів пристрою, який дозволив би підвищити якість виконання процесу.

Проведено аналіз теоретичних досліджень процесу взаємодії зерна з ударними поверхнями що сепарують, в якому доведено, що сучасні методи визначення пружних властивостей насіння є непрямими і недостатньо точними оскільки на пружні характеристики насіння істотно впливає їхня форма та коефіцієнт миттєвого тертя під час удару.

Розроблені інноваційні методи та обладнання для визначення фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків, а саме прилади для визначення коефіцієнтів тертя, граничних кутів підйому та траєкторій руху по вібраційним фрикційним поверхням, а також запропоновано новий спосіб визначення ефективного модуля пружності матеріалу зернівки кулястої форми, що ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності.

Встановлені закономірності основних характеристик удару при вертикальному падінні тіла на пружний півпростір, в яких урахування сили гравітації при невеликих швидкостях удару, суттєво збільшує розрахункові величини для важких тіл порівняно до тих, що дає класична теорія. Але для таких малих тіл до яких відносяться насіння ріпаку урахуванням сили тяжіння під час удару можна знехтувати, тому що збільшення сили удару не перевищує 0,0005 %.

Теоретичними дослідженнями встановлено, що в залежності від маси тіла, яке вдаряє по задемпфованій неколивальній системі, після удару вона може переходити в осцилятор або залишатись неколивальною. Тіла малої маси якими є зерно не можуть перетворити її в осцилятор і система залишається неколивальною.

Аналіз теоретичних досліджень віброударного та ударного переміщень частинок в робочому органі сепаратора показав, що більшістю дослідників розглядаються питання віброударного руху частинок у вигляді матеріальної точки або тіла та ударної взаємодії таких частинок з горизонтальною або похилою площиною. Питання моделювання процесу сепарації насіння на гравітаційних ударних похилих в поздовжньо-поперечному напрямку поверхнях не розглядались.

В роботі виконано моделювання процесу багаторазового зіткнення частинки ідеалізованої у вигляді матеріальної точки між похилими в поздовжньо-поперечному напрямку ударними поверхнями багатоярусного ударного сепаратора.

Встановленні закономірності руху частинки ідеалізованої в вигляді матеріальної точки між похилими в поздовжньо-поперечному напрямку деками багатоярусного ударного сепаратора, а саме імпульсу удару, кути нахилу вектора та модуля швидкості та тривалості руху насіння між деками від кута нахилу дек. Силовий імпульс при ударі об першу деку зі збільшенням кута нахилу збільшується і при 45° починає зменшуватись, а силовий імпульс при ударі об другу деку зі збільшенням кута нахилу постійно зменшується і в межах $30^\circ \dots 32^\circ$ вони однакові. Силовий імпульс при ударі на 2 і 3 деках зі збільшенням кута нахилу спочатку збільшується, а зменшення починається з 35° та 45° співвідносно для удару об другу і третю деку. Тривалість руху насіння зі збільшенням кута нахилу зменшується. По осі x ця залежність є експоненціальною, а по осі y прямопропорційною. По осі y зменшення її незначне і в межах $30^\circ \dots 50^\circ$ їх величини майже однакові для другої і для третьої декі, і знаходяться в межах $0,15 \dots 0,2$ с.

Найбільш сприятливі значення кутів нахилу для продуктивності знаходяться в межах 30° ... 50° .

Теоретично встановлена залежність продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насінини ріпаку та кутів нахилу дек, яка для насіння ріпаку коливається в межах від 8 до 30 кг/год. для одного модуля сепаратора, що відрізняється від експериментальних досліджень в межах 15 %.

Запропонована програма експериментальних досліджень була спрямована на розв'язок завдань вивчення фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та домішків, швидкості насіння в момент удару, впливу модуля пружності відбивної поверхні на коефіцієнт відновлення швидкості під час удару, перевірки співвідношення теоретичних досліджень до експериментальних та обґрунтування параметрів багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку.

Проведені експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей досліджуваних сумішей насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків на основі яких встановлено, що найбільшої ефективності процесу сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків можна досягти при сепарації насіння за відмінностями в пружних властивостях, яке здійснюється на ударних поверхнях що сепарують. Встановлена залежність коефіцієнта відновлення швидкості при ударі насіння ріпаку від його вологості.

Розроблена матриця ознак подільності та способів сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок, що якнайбільше використовуються на даний час, за допомогою якої проаналізував вихідну суміш на засміченість і залежно від того якими бур'янами та домішками вона засмічена можна вибрати той або інший спосіб та засіб сепарації, а це дозволяє не випробувати їх усі, а значно скоротити час на пошук способу сепарації.

Розроблено конструкцію гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора, в якому шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора за рахунок більш спрямованої зміни траєкторій руху частинок ефективність процесу сепарації значно збільшується. Енергія на процес сепарації в багатоярусному ударному сепараторі не витрачається, процес здійснюється за рахунок сили тяжіння та ударної взаємодії частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора.

Обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок, кількість ярусів – чотири, довжина похилих еквідистантно встановлених поверхонь 1,5 м, відстань між ярусами 0,3 м.

Встановлено, що при сепарації насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі зі збільшенням подачі і засміченості вихід очищеної фракції зменшується при середній вихідній засміченості 15,2 % з 68 % до 42 % відповідно. Вихід очищеної фракції зі збільшення кількості від 1 до 4 ярусів при постійній подачі 90 кг/год і середній засміченості 15,2 % зростає від 17 % до 67 відсотків відповідно.

Вихід очищеної фракції зі зміною подовжнього α та поперечного β кутів нахилу робочих поверхонь має виражені екстремуми і найбільший вихід слід очікувати при β близько 45° , $\alpha = 15...20^\circ$.

Проведені порівняльні виробничі випробування по очищенню насіння ріпаку сепаратором серії «САД» та багатоярусним ударним сепаратором на сумішах з засміченістю 15,2 % та відходах, що спрямовувались на доробку засміченістю 53,9 % довели високу ефективність від впровадження багатоярусного ударного сепаратора.

Обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратору для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Знайдені за допомогою планування багатofакторного експерименту раціональні параметри процесу сепарації дозволили отримати вихід очищеної фракції насіння ріпаку до 67...68 %

при вихідній засміченості 15,2 % та подачі 90 кг/год на один блок є такими:

$$\alpha_c = 15 \pm 2,5^\circ; \beta_c = 45 \pm 2,5^\circ; L_c = 0,3 \pm 0,02 \text{ м.}$$

Використання результатів дослідження можливо при проектуванні ударних сепараторів для очищення насіння ріпаку та інших сільськогосподарських культур у науково-дослідних і конструкторських організаціях.

На основі матеріалів дисертаційної роботи виготовлені дослідні зразки багатоярусного ударного сепаратора, який використовується для очищення кормового насінного матеріалу ріпаку від важковідокремлюваних домішок в лініях післязбиральної обробки і при приготуванні кормових сумішей. Результати наукових досліджень впроваджені у виробництво в фермерських господарствах «Калина», «Істок», «Віктор» Вовчанського району Харківської області, «Ока», «ІВО» Дворічанського району Харківської області та навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка, що підтверджено актами впровадження.

Ключові слова: сепарація, ріпак, фізико-механічні властивості, ударний сепаратор, модуль пружності, коефіцієнт тертя, коефіцієнт відновлення, переміщення, раціональні параметри.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Богомолов О.В. Дослідження фізико-механічних властивостей насінні ріпаку та домішок / О.В. Богомолов, М.В. Брагінець, О.О. Богомолов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2015. – Вип. № 166. – С. 235–240.

2. Богомолов О.О. До питання сепарації насіння ріпаку / О.О. Богомолов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2016. – Вип. № 179. – С. 59–63.

3. Богомолов О.В. Питання розвитку зернопереробної галузі агропромислового комплексу України. / О.В. Богомолов, М.В. Брагінець, О.О. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Х.: – 2017. – № 2(1). – С. 8–11.

4. Богомолов О.О. Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей. / О.О. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Х.: – 2017. – № 2(1). – С. 47–51.

5. Богомолов А.В.К разработке энергоэффективного способа сепарации частиц на профилях наименьшего сопротивления / А.В. Богомолов, Н.В. Брагінец, А.А. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв. – Х.: – 2016. – № 2. – С. 55–61.

6. Богомолов А.В.К разработке сепаратора сыпучих смесей с профилями наименьшего сопротивления / А.В. Богомолов, М.В. Сергиенко, И.О. Бабаев, Н.В. Брагінец, А.А. Богомолов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2016. – Вип. № 179. – С. 5–10.

7. Ольшанський В.П. Про перетворення ударом задемпфованої механічної системи в осцилятор / В.П. Ольшанський, О.В. Богомолов, О.О. Богомолов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2018. – Вип.

№ 194. – С. 18–31.

8. Ольшанський В.П. Про взаємодію важкого твердого тіла з пружним півпростором. / В.П. Ольшанський, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2018. – Вип. № 194. – С. 38–46.

9. Богомолів О.В. До питання сепарації зернових сумішей за сукупністю пружних та аеродинамічних властивостей / О.В. Богомолів, О.І. Завгородній, В.П. Ольшанський, О.О. Богомолів // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2019. – Вип. № 207. – С. 5–12.

10. Богомолів О.В. Удосконалення конструкції гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора / О.В. Богомолів, М.В. Брагінець, А.Р. Мазунов, Е.М. Науменко, О.О. Богомолів, В.П. Богомолів // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: – 2019. – Вип. № 207. – С. 75–81.

11. Oscillations with positional friction under mechanicals hock / Vasyl Olshansky, Oleksii Bogomolov, Oleksii Bogomolov, Viktor Irklienko, Lilia Kys-Korkyshenko // Тека. A QUARTER JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY. – 2019, Vol. 19, № 1, P. 49-58.

12. Богомолів О.О. Сепарація насіння ріпаку / О.О. Богомолів // Техніка та енергетика. Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва. – Київ.: 2020. – Вип. 11. № 2 – С. 145-150.

13. Брагінець М.В. Використання ріпаку на корм тваринам та птиці та його очищення. / М.В. Брагінець, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів / Іноваційне технічне забезпечення галузі тваринництва: Вісник ХНТУСГ. – Х.: 2020. Вип. 209. – с. 141.

14. Брагінець М.В. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії. / М.В. Брагінець, В.Т. Дмитрів, В.С. Хмельовський, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів // Техніка та енергетика. Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва. – Київ.: 2020. – Вип. 11. № 2 – С. 157-164.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

15. Богомолів О.В. Енергозберігаючий процес сепарації насіння ріпаку / О.В. Богомолів, М.В. Брагінець, О.О. Богомолів // Матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності». – Харків – Мелітополь – Кирилівка, Україна. – 2019. – С. 17–19.

16. Богомолів О.О. Очищення насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі / О.О. Богомолів, І.О. Бабаєв, В.О. Яковенко, М.В. Брагінець // Матеріали XV-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі». – Харків, ХНТУСГ. – 2019. – С. 35–36.

17. Богомолів О.О. Очищення насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі / М.В. Брагінець, О.О. Богомолів // Матеріали XVI-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі». – Харків, ХНТУСГ. – 2020. – С. 35–36.

Матеріали, які додатково відображають наукові матеріали дисертації:

18. A.P.Palii, Y.S.Ulko, O.O.Bogomolov, L.V.Kis-Korkishchenko, M.D.Kambur, A.A.Zamaziy, N.M.Brit, I.M.Boiko, I.V.Grebnova, Y.O.Kovalchuk, A.P.Paliy. Species composition of microbiota of cows udder and raw milk quality at mastitis. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020, 10(3), doi: 10. 15421/2020.

19. Богомолів О.В. Підвищення ефективності роботи зернових норій / О.В. Богомолів, І.М. Лук'янов, Л.В. Кісь, О.О. Богомолів // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність». – Харків, ХДУХТ. – 2018. С. 309–310.

20. Богомолів О.О. Про перетворення ударом задемпфованої механічної системи в осцилятор / О.О. Богомолів, Д.Ю. Тімченко, І.Ю. Ткаченко, В.П. Ольшанський. // Матеріали XV-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі». – Харків, ХНТУСГ. – 2019. – С. 37.

ABSTRACT

Bohomolov O. Substantiation of parameters of multilevel impact separator for rapeseed separation. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the candidate of technical sciences on a specialty 05.05.11 – cars and means of mechanization of agricultural production (technical sciences). Luhansk National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Kharkiv, 2020.

Experimental studies were conducted at the Department of "Equipment and Engineering of Processing and Food Production" of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture on mixtures of rapeseed and difficult-to-separate impurities with contamination from 9,8 to 20,1 % and waste of rapeseed after purification of initial mixtures – sieve separators like OVS-25.

The dissertation solves the scientific task aimed at increasing the efficiency of the technological process of separation of rapeseed from difficult-to-separate impurities and its use for animal and poultry feed and sowing.

The analysis of the current state of the technological process and equipment for separation of rapeseed is performed, and it is established that the applied methods of purification of rapeseed from difficult-to-separate impurities do not provide sufficient quality of separation. The greatest difficulties are caused by the separation of the seeds of butterbur, sorrel, round panicle, chicken millet, mountain ash, mouse and sclerotia of white rot. Repeated passes of seeds through air-sieve-trier machines lead to increase in energy intensity of cleaning processes. Separation processes are also the most energy-intensive in special cleaning machines – pneumatic tables, paddy machines, vibrofriction machines.

The study of physical and mechanical properties, methods of separation of rapeseed were analyzed that the greatest differences among the physical and mechanical properties of rapeseed and impurities are observed in their elasticity, so the separation of rapeseed mixtures and impurities should be carried out by hitting the reflective surfaces with by the difference in the trajectories of their movement,

and the greatest efficiency is achieved by increasing the number of impact tests of particles of the mixture with the working surfaces of the separator and a more directed change, due to this, the trajectories of particles with different elasticities in the working body of the separator. However, insufficient study of the laws of separation of seeds by elastic properties constrains the possibility of improving the working bodies of the device, which would improve the quality of the process.

The analysis of theoretical researches of process of interaction of grain with shock surfaces separating in which it is proved that modern methods of definition of elastic properties of seeds are indirect and insufficiently exact as elastic characteristics of seeds are essentially influenced by their form and coefficient of instantaneous friction at blow.

Innovative methods and equipment for determining the physical and mechanical properties of rapeseed and difficult-to-separate impurities have been developed, namely devices for determining friction coefficients, lifting angles and trajectories on vibrating friction surfaces, and a new method for determining the effective modulus of elasticity of grain material based on the solution of the contact problem of the theory of elasticity.

The regularities of the main characteristics of the impact when the body falls vertically on an elastic half-space, in which taking into account the force of gravity at low velocities of impact, significantly increases the calculated values for heavy bodies compared to those of classical theory. But for such small bodies, which include rapeseed, taking into account the force of gravity during the impact can be neglected, because the increase in the force of impact does not exceed 0,0005 %.

Theoretical studies have shown that, depending on the mass of the body that strikes the damped non-vibrational system, after the impact it can pass into the oscillator or remain non-vibrational. Low-mass bodies such as grain cannot convert it into an oscillator and the system remains non-oscillating.

Analysis of theoretical studies of vibrational and impact movements of particles in the working body of the separator showed that most researchers consider the vibrational motion of particles in the form of a material point or body

and the impact interaction of such particles with a horizontal or inclined plane. The issues of modeling the process of seed separation on gravitational impact slopes in the longitudinal-transverse direction of the surfaces were not considered.

The simulation of the process of multiple collision of a particle idealized in the form of a material point between inclined in the longitudinal and transverse direction of the impact surfaces of a multilevel impact separator is performed.

Establishing the regularity of particle motion idealized as a material point between inclined in the longitudinal-transverse direction decks of a multilevel impact separator, namely the impact pulse, the angles of the vector and the modulus of velocity and duration of seed movement between the decks from the angle of the deck. The force pulse when hitting the first deck with increasing angle increases and at 45° begins to decrease, and the force pulse when hitting the second deck with increasing angle constantly decreases and within $30^\circ \dots 32^\circ$ they are the same. The force pulse on impact on the 2nd and 3rd decks with an increase in the angle of inclination first increases, and the decrease begins with 35° and 45° , respectively, for the impact on the second and third deck. The duration of seed movement decreases with increasing angle of inclination. On the x-axis this dependence is exponential, and on the y-axis it is directly proportional. Along the axis of its decrease is insignificant and in the range of $30^\circ \dots 50^\circ$ their values are almost the same for the second and for the third pair, and are in the range of $0,15 \dots 0,2$ s.

The most favorable values of the angles of inclination for productivity are in the range of $30^\circ \dots 50^\circ$.

Theoretically, the dependence of the productivity of a multi-level impact separator on the mass of rapeseed and the angles of inclination of the deck, which for rapeseed ranges from 8 to 30 kg/h for one module of the separator, which differs from experimental studies within 15 %.

The proposed program of experimental research was aimed at solving problems of studying the physical and mechanical properties of rapeseed and impurities, seed velocity at the time of impact, the effect of the modulus of

elasticity of the reflective surface on the coefficient of speed recovery during impact, testing the ratio of theoretical to experimental shock separator for separation of rapeseed.

Experimental studies of the physical and mechanical properties of the studied mixtures of rapeseed and difficult-to-separate impurities were carried out. Based on these studies, it was found that the greatest efficiency of the process of separation of rapeseed from difficult-to-separate impurities can be achieved by separating the seeds for differences in elastic properties, which is carried out on the impact surfaces of the separators. The dependence of the recovery rate on the impact of rapeseed on its moisture is established.

A matrix of signs of divisibility and methods of separation of rapeseed from difficult-to-separate impurities has been developed. These features are most widely used today. With the help of the matrix we can choose one or another method and means of separation, and this allows you to not try them all, but significantly reduce the time to find a method of separation.

The design of a gravitational multilevel impact separator has been developed, in which the efficiency of the separation process is significantly increased by increasing the number of impact tests of particles of the mixture with the working surfaces of the separator due to a more directed change of particle trajectories. Energy for the separation process in a multi-level impact separator is not consumed, the process is carried out due to gravity and impact interaction of the particles of the mixture with the working surfaces of the separator.

The design parameters of the gravitational multilevel impact separator for separation of rapeseed from difficult-to-separate impurities are substantiated and determined, the number of tiers is four, the length of inclined equidistantly installed surfaces is 1,5 m, the distance between tiers is 0,3 m.

It was found that when separating rapeseed on a gravity multi-tiered impact separator with increasing feed and clogging, the yield of the purified fraction decreases with an average initial clogging of 15,2 % from 68 % to 42 %,

respectively. The yield of the purified fraction with an increase in the number from 1 to 4 tiers with a constant supply of 90 kg/h and an average contamination of 15,2 % increases from 17 % to 67 percent, respectively.

The yield of the purified fraction with a change in the longitudinal α and transverse β angles of inclination of the working surfaces has pronounced extremes and the highest yield should be expected at β close to 45° , $\alpha = 15 \dots 20^\circ$.

Comparative production tests for cleaning rapeseed with a separator series "SAD" and a multi-level impact separator on mixtures with a contamination of 15,2 % and waste, which were sent for finishing with a contamination of 53,9 % proved high efficiency from the introduction of a multi-level impact separator.

The design parameters of the gravity multilevel impact separator for separation of rapeseed from difficult-to-separate impurities are substantiated and determined. Rational parameters of the separation process found by planning a multifactor experiment allowed to obtain the yield of the purified fraction of rapeseed up to 67...68 % with an initial clogging of 15,2 % and a feed of 90 kg/h per unit are as follows: $\alpha_c = 15 \pm 2,5^\circ$; $\beta_c = 45 \pm 2,5^\circ$; $L_c = 0,3 \pm 0,02$ m.

The using of research results is possible in the design of impact separators for cleaning rapeseed and other crops in research and development organizations.

Based on the materials of the dissertation, prototypes of a multi-tiered impact separator are used, which is used to clean rapeseed fodder seed material from difficult-to-separate impurities in post-harvest processing lines and in the preparation of feed mixtures. The results of scientific research are introduced into production in farms "Kalyna", "Istok", "Victor" of Vovchansky district of Kharkiv region, "Oka", "IVO" of Dvorichansky district of Kharkiv region and the educational process of KNTUA, which is confirmed by the acts of implementation.

Key words: separation, rapeseed, physical and mechanical properties, shock separator, modulus of elasticity, friction coefficient, recovery coefficient, displacement, rational parameters.

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

The list of publications in which the main scientific results of the dissertation are published:

1. Bohomolov O.V. Investigation of physical and mechanical properties of rapeseed and impurities / O.V. Bohomolov, M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2015. – Publication № 166. – P. 235–240.

2. Bohomolov O.O. On the issue of separation of rapeseed / O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2016. – Publication № 179. – P. 59–63.

3. Bohomolov O.V. Issues of development of the grain processing industry of the agro-industrial complex of Ukraine. / O.V. Bohomolov, M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Engineering of processing and food industries. – X.: – 2017. – № 2(1). – P. 8–11.

4. Bohomolov O.O. Analysis of separator designs for separation of difficult-to-separate grain mixtures. / O.O. Bohomolov // Engineering of processing and food industries. – X.: – 2017. – № 2(1). – P. 47–51.

5. Bohomolov O.V. Towards the development of an energy efficient method for separating particles on profiles of least resistance / O.V. Bohomolov, M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Engineering of processing and food industries. – X.: – 2016. – № 2. – P. 55–61.

6. Bohomolov O.V. On the development of a separator for bulk mixtures with profiles of least resistance / O.V. Bohomolov, M.V. Serhyenko, Y.O. Babaev, M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2016. – Publication. № 179. – P. 5–10.

7. Olshanskyi V.P. On the transformation of a shock-damped mechanical system into an oscillator / V.P. Olshanskyi, O.V. Bohomolov, O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and

food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2018. – Publication № 194. – P. 18–31.

8. Olshanskyi V.P. On the interaction of a heavy solid with an elastic half-space. / V.P. Olshanskyi, O.V. Bohomolov, O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2018. – Publication № 194. – P. 38–46.

9. Bohomolov O.V. On the question of separation of grain mixtures by a set of elastic and aerodynamic properties / O.V. Bohomolov, O.I. Zavhorodnii, V.P. Olshanskyi, O.O. Bohomolov // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2019. – Publication № 207. – P. 5–12.

10. Bohomolov O.V. Improving the design of a gravitational multi-level impact separator / O.V. Bohomolov, M.V. Brahinets, A.R. Mazunov, E.M. Naumenko, O.O. Bohomolov, V.P. Bohomolova // Modern directions of technology and mechanization of processes of processing and food production: Bulletin of KNTUA. – X.: – 2019. – Publication № 207. – P. 75–81.

11. Oscillations with positional friction under mechanicals hock / Vasyl Olshansky, Oleksii Bogomolov, Oleksii Bogomolov, Viktor Irklienko, Lilia Kys-Korkyshenko // Teka. A QUARTER JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY. – 2019, Vol. 19, № 1, P. 49-58.

12. Bohomolov O.O. Separation of rapeseed / O.O. Bohomolov // Engineering and energy. Journal of Agricultural Research. – Kiev.:2020. – Publication 11. №2 – P.145-150.

13. Brahinets M.V. Using of rapeseed for animal and poultry feed and its cleaning. / M.V. Brahinets, O.V. Bohomolov, O.O. Bohomolov / Innovative technical support of the livestock industry: Bulletin of KNTUA. – X.: 2020. Publication 209. – P.141.

14. Brahinets M.V. Modeling of rapeseed separation process by shock separator. / M.V. Brahinets, V.T.Dmytriv, V.S.Khmelovskyi, O.V. Bohomolov, O.O. Bohomolov // Engineering and energy. Journal of Agricultural Research. – Kiev.:2020. – Publication 11. №2 – P.157-164.

Papers certifying the approbation of the dissertation materials:

15. Bohomolov O.V. Energy saving process of rapeseed separation / O.V. Bohomolov, M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Proceedings of the third international scientific-practical conference "Innovative aspects of the development of food and hotel industry equipment in modern conditions." – Kharkiv – Melitopol – Kyrylivka, Ukraine. – 2019. – P. 17–19.

16. Bohomolov O.O. Cleaning of rapeseed on a gravity multi-tiered impact separator / O.O. Bohomolov, I.O. Babaiev, V.O. Yakovenko, M.V. Brahinets // Proceedings of the XVI International Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the XXI Century". – Kharkiv, KNTUA. – 2019. – P. 35–36.

17. Bohomolov O.O. Cleaning of rapeseed on a gravity multi-tiered impact separator / M.V. Brahinets, O.O. Bohomolov // Proceedings of the XVI International Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the XXI Century". – Kharkiv, KNTUA. – 2020. – P. 35–36.

Materials that additionally reflect the scientific materials of the dissertation:

18. A.P.Palii, Y.S.Ulko, O.O.Bogomolov, L.V.Kis-Korkishchenko, M.D.Kambur, A.A.Zamaziy, N.M.Brit, I.M.Boiko, I.V.Grebnova, Y.O.Kovalchuk, A.P.Paliy. Species composition of microbiota of cows udder and raw milk quality at mastitis. Ukrainian Journal of Ecology, 2020, 10(3), doi: 10. 15421/2020.

19. Bohomolov O.V. Improving the efficiency of grain burrows / O.V. Bohomolov, I.M. Lukianov, L.V. Kis, O.O. Bohomolov // Abstracts of the international scientific-practical conference "Development of food production, restaurant and hotel industry and trade: problems, prospects, efficiency. – Kharkiv, KSUFT. – 2018. P. 309–310.

20. Bohomolov O.O. On the transformation of a shock-damped mechanical system into an oscillator / O.O. Bohomolov, D.Y. Timchenko, I.Y. Tkachenko, V.P. Olshanskyi. // Proceedings of the XV International Youth Forum "Youth and Agricultural Machinery in the XXI Century". – Kharkiv, KNTUA. – 2019. – P. 37.

ЗМІСТ

ВСТУП	22
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ	28
1.1. Аналіз існуючих технологій та способів очищення насіння	33
1.2. Аналіз досліджень фізико-механічних властивостей насіння ріпаку й бур'янистих рослин	36
1.3. Способи сепарації насіння ріпаку і обладнання для їхнього здійснення	40
1.4. Використання ріпаку на корм в тваринництві	57
1.5. Аналіз теоретичних досліджень процесу взаємодії зерна з ударною поверхнею	62
Висновки за розділом 1	67
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ ЗА ПРУЖНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ	69
2.1. Визначення ефективного модуля пружності матеріалу зернівки кулястої форми	69
2.2. Ударна взаємодія твердого тіла з пружним півпростором	73
2.3. Ударна взаємодія твердого тіла з задемпфованою механічною системою	80
2.4. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі	90
Висновки за розділом 2	106
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА Й МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	108
3.1. Програма експериментальних досліджень	108
3.2. Методика дослідження фізико-механічних властивостей насіння ріпаку, супутніх бур'янів та домішків	109
3.2.1. Дослідження розмірних характеристик, форми та аеродинамічних властивостей	110

	20
3.2.2. Дослідження коефіцієнтів тертя	112
3.2.3. Дослідження граничних кутів підйому насіння по похилій фрикційній вібруючій площині	116
3.2.4. Дослідження траєкторій руху часток по вібраційній фрикційній поверхні	119
3.2.5. Визначення вологості насіння	121
3.2.6. Методика визначення коефіцієнта відновлення швидкості під час удару насін'я ріпаку і бур'янистих рослин	124
3.3. Методика експериментальних досліджень процесу сепарації	129
3.3.1. Методика проведення експериментальних досліджень процесів очищення насіння ріпаку	129
3.3.2. Методика проведення виробничих випробувань	131
3.3.3. Методика визначення показників якості насінневого матеріалу	133
Висновки за розділом 3	135
Розділ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	137
4.1. Дослідження розмірних характеристик	137
4.2. Дослідження аеродинамічних властивостей	139
4.3. Дослідження коефіцієнтів тертя	139
4.4. Дослідження граничних кутів підйому насіння по похилій фрикційній вібруючій площині	141
4.5. Дослідження траєкторій руху часток по вібраційній фрикційній поверхні	142
4.6. Дослідження форми насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок	143
4.7. Дослідження пружних властивостей насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок	145
4.8. Визначення конструктивних параметрів та розробка конструкції багатоярусного ударного сепаратора	149

	21
4.9. Дослідження впливу параметрів сепарації на вихід очищеної фракції	155
4.9.1. Дослідження впливу подачі і засміченості на вихід очищеної фракції	155
4.9.2. Дослідження впливу кількості ярусів і засміченості на вихід очищеної фракції	156
4.9.3. Дослідження впливу кутів нахилу робочих поверхонь і засміченості на вихід очищеної фракції	156
4.9.4. Визначення оптимальних параметрів процесу сепарації	158
Висновки за розділом 4	160
Розділ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ РІПАКУ	162
5.1. Порівняльна оцінка багатоярусного ударного сепаратора та машин серії «САД»	162
5.2. Техніко-економічна ефективність	165
Висновки за розділом 5	179
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	180
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	183
ДОДАТКИ	206

ВСТУП

Актуальність теми. Виробництво насіння ріпаку у світі з кожним роком збільшується. Підвищений інтерес до ріпаку обумовлений гарною пристосованістю цієї культури до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів, прогресивною технологією оброблення і використання на корм тваринам та птиці, збільшенням потреб у виробництві рослинної олії та високобілкових кормів.

Насіння ріпаку є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Воно містить до 40...49 % олії, 21...33 % білку, 6...7 % клітковини. Ріпакова олія належить до групи харчових, використовується в натуральному вигляді, при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній промисловості та інше. Недостатня вивченість питань очищення та сушіння насіння ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні.

Однією з основних проблем підготовки насінневого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин та домішок: пікульника, підмаренника чипкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишію, горця, склероцій білої гнилі. Не вирішеними є питання доочищення фракцій насіння ріпаку після очищення на пневморешітних сепараторах, в яких залишається до 20,1 % засмічувачів та відходів з засміченістю більше 50 %, які проблемно використовувати навіть для переробки на корм тваринам та птиці.

Одним з перспективних способів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих рослин та домішок є сепарація за пружними властивостями. Вона здійснюється шляхом удару насіння по відбивній поверхні й поділу на фракції насіння, що рухаються після відбиття по різних траєкторіях. Недостатня вивченість закономірностей сепарації насіння за пружними властивостями стримує можливості удосконалення робочих органів пристрою, який дозволив би підвищити ефективність

виконання процесу.

Таким чином, удосконалення способу та обладнання для очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин за пружними властивостями, з метою підвищення його ефективності, є актуальним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота проводилась у рамках науково-дослідної роботи кафедри механізації виробничих процесів в АПК Луганського національного аграрного університету відповідно до програм науково-дослідних робіт на 2017-2021 рр. «Розробка перспективних технологій, технологічних процесів і засобів механізації в агропромислових комплексах держави» (державний реєстраційний номер № 0117U005023). Експериментальні дослідження проводились на кафедрі «Обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв» Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка на суміші насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішок засміченістю від 9,8 до 20,1 % та відходах насіння ріпаку після очищення суміші на пневмо-решітних сепараторах типу ОВС-25.

Мета дослідження: підвищення ефективності технологічного процесу сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок за відмінностями у пружних властивостях шляхом обґрунтування та розробки конструкції багатоярусного ударного сепаратора.

Задачі дослідження:

1. Провести аналіз існуючих технологій, технічних систем та способів сепарації насіння ріпаку і використання його як корму для тварин і птиці.
2. Вивчити фізико-механічні властивості насіння ріпаку і бур'янистих домішок за відмінностями у пружних властивостях.
3. Дослідити закономірності процесу сепарації насіння суміші ріпаку за пружними властивостями, провести теоретичні дослідження пружних характеристик насіння ріпаку та розробити аналітично-експериментальний

метод визначення ефективного модуля пружності матеріалів насінин близьких по формі до куль.

4. Розробити математичну модель взаємодії параболоїдних деформівних тіл, до яких можна віднести насіння ріпаку, при їх падінні на ударну поверхню, що сепарує та можливість її переходу в осцилятор.

5. Провести моделювання процесу сепарації насіння ріпаку на похилих в поздовжньо-поперечному напрямку ударних деках багатоярусного ударного сепаратора.

6. Розробити спосіб очищення насіння ріпаку від бур'янистих домішок за пружними властивостями, обґрунтувати конструктивні та технологічні параметри багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку, провести виробничі випробування та визначити його економічну ефективність.

Об'єкт дослідження: процес сепарації за пружними властивостями насінневої суміші ріпаку і важковідокремлюваних бур'янистих рослин та його зв'язок з конструктивними параметрами багатоярусного ударного сепаратора.

Предмет дослідження: встановлення закономірностей взаємодії насіння ріпаку і бур'янів з ударною поверхнею сепаратора і їх наступного руху.

Методи дослідження: сучасні методи з використанням вимірювальних пристроїв, а також теоретичні та розрахунково-експериментальні методи сепарації на базі положень механіки та теорії пружності, методи планування експерименту, оптимізації й статистичного оброблення експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів:

Вперше:

– розроблено аналітично-експериментальний метод визначення ефективного модуля пружності насінин кулястої форми, який ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності;

– отримані залежності для обчислення основних характеристик удару при вертикальному падінні тіла на пружний півпростір з урахуванням дії сил гравітації при невеликих швидкостях удару, за допомогою яких встановлено, що для таких малих тіл до яких відноситься насіння ріпаку урахуванням сил тяжіння під час удару можна знехтувати.

– розроблено математичну модель взаємодії параболоїдних деформованих тіл, до яких можна віднести насіння ріпаку при їх падінні на ударну поверхню, що сепарує та можливість їх переходу в осцилятор. Встановлено, що при реальних масах тіл під час удару в процесі сепарації, та відносно невеликих швидкостях удару задемпфована неколивальна система якою є поверхня, що сепарує залишається неколивальною.

– встановлені закономірності руху частинки ідеалізованої у вигляді матеріальної точки між похилими в поздовжньо-поперечному напрямку деками багатоярусного ударного сепаратора від маси насінин та кутів нахилу дек.

– теоретично встановлена залежність продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насінин ріпаку та кутів нахилу дек.

Отримали подальший розвиток:

– напрям моделювання динаміки удару насінин ріпаку об ударні поверхні, що сепарують при невеликих швидкостях удару.

– встановлені залежності між коефіцієнтом відновлення швидкості під час удару насіння ріпаку, та важковідокремлюваних домішків від їх вологості та висоти падіння на ударну поверхню сепаратора.

Удосконалено:

– спосіб сепарації насіння ріпаку за відмінностями пружних властивостей суміші на багатоярусному ударному сепараторі.

Практичне значення одержаних результатів:

На основі результатів теоретичних та експериментальних досліджень розроблено конструкцію гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора, в якому шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші

з робочими поверхнями сепаратора за рахунок більш спрямованої зміни траєкторій руху частинок ефективність процесу сепарації значно збільшується. Результати наукових досліджень впроваджені у виробництво в фермерських господарствах «Істок», «Віктор», «Калина» Вовчанського району Харківської області.

Обґрунтовані раціональні параметри енергозберігаючого гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для очищення насіння ріпаку від важко відокремлюваних бур'янистих домішок та склероцій білої гнилі за відмінностями у пружних властивостях, результати яких впроваджено у фермерських господарствах «Ока», «ІВО» Дворічанського району Харківської області.

Розроблені та виготовлені спеціальні високопродуктивні прилади для визначення коефіцієнтів тертя, граничних кутів підйому по вібраційній поверхні та пружних властивостей насіння та бур'янів, які впроваджені в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка.

Використання результатів дослідження можливо при проектуванні ударних сепараторів для очищення насіння ріпаку та інших сільськогосподарських культур у науково-дослідних і конструкторських організаціях.

На основі матеріалів дисертаційної роботи виготовлені дослідні зразки багатоярусного ударного сепаратора, які використовуються для очищення насінного матеріалу ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок в лініях післязбиральної обробки для подальшого його використання для посіву, а також приготування комбікормів.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені у роботах [1-20]. У наукових роботах, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: результати огляду і аналіз досліджень, визначено напрям підвищення ефективності процесу сепарації насіння ріпаку та використання на корм в тваринництві [3-6, 10, 15-20].

Результати математичного моделювання визначення ефективного модуля пружності та процесу сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі, обґрунтовані граничні умови, проведено аналіз результатів моделювання [7, 8, 11, 14]; методика і результати проведених експериментів, наведені результати щодо подальшого застосування розробки [1, 9, 13].

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень були представлені на: XVII – XX Міжнародних науково-практичних конференціях в Харківському національному технічному університеті сільського господарств імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв» 25.03.2016р., 7.04.2017р., 19.10.2018р., 8.11.2019р.; науково-практичних конференціях Луганського національного аграрного університету 23.02.2017р., 22.02.2018р., 28.02.2019р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність».- Харків, 19.11.2018 р. Третій міжнародний науково-практичній конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності». – Харків-Мелітополь-Кирилівка.- 5.09.2019р., XV-ому та XVI-ому Міжнародних форумах молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі».- Харків, ХНТУСГ, 5.04.2019р., 26.03.2020р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 20 наукових працях, у тому числі: 12 статтях у спеціалізованих наукових виданнях України і 1 стаття у закордонних виданнях (з них 1 у виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами – [15]), 5 тез у збірниках доповідей наукових конференцій та 2 статті в інших виданнях.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків 20 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 161 сторінок друкованого тексту, містить 56 рисунків та 15 таблиць. Список використаних джерел нараховує 228 найменувань на 23 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ

Ріпак, як олійна культура, класифікується на два ботанічних види сімейства капустяних: ріпак та суріпицю, які однакові за господарським призначенням та цільовим використанням, але розрізняються за морфологічними та біологічними ознаками. У світовій практиці ріпак та суріпицю поєднують під загальною назвою «ріпак».

Виробництво ріпаку, як і його насіння у світі з кожним роком зростає [1-7]. Ріпак відрізняється гарною пристосованістю до помірного клімату, високою продуктивністю сучасних сортів, прогресивною технологією вирощування. Збільшення виробництва ріпаку обумовлено також зростанням потреб у виробництві рослинної олії та високобілкових кормів.

Вирощувати ріпак на території країн СНД почали наприкінці ХІХ століття. Потім, у зв'язку з інтенсивним розвитком виробництва соняшника, посіви під ріпаком були скорочені, а до початку п'ятдесятих років виробництво насіння ріпаку було повністю згорнуте. Важливу роль у цьому зіграло відсутність високопродуктивних сортів та хімічних засобів захисту рослин.

З появою безерукових низькоглюкозинолатних сортів ріпак перетворився в культуру з більшими потенційними можливостями. Особливо важливими є сучасні сорти ріпаку, що містять в олії не більше 3...5 % небажаної ерукової кислоти, а в знежиреному насінні – менш 3 % шкідливих глюकोзинолатів [8, 9].

Насіння ріпаку містить до 40...49 % олії, 21...33 % білку, 6...7 % клітковини [7, 9-11] та є важливим джерелом одержання дешевої рослинної олії та високобілкових кормів. Ріпакова олія належить до групи харчових, вона використовується в натуральному вигляді, при виробництві жирів та маргарину, а також у металургійній, лакофарбовій, миловарній, текстильній

промисловості.

При олійному виробництві безерукових сортів ріпаку залишаються макуха та шрот, які містять велику кількість протеїну, корисну для тварин та птахів. Вихід макухи (шроту) з насіння ріпаку становить 56 % (з насіння соняшнику – 38 %), у якому 38...40 % білку, добре збалансованого за амінокислотним складом [9-11].

Ріпак можна успішно вирощувати для виробництва кормів (зелена маса, сінаж, силос, трав'яне борошно) в різних посівах, у чистому вигляді та у суміші з іншими культурами. За біохімічними якостями ріпак перевершує інші кормові культури. В 1 кг зеленої маси ріпаку міститься значно більше протеїну, ніж у зеленій масі кукурудзи, соняшнику, ячменю, гороху. Протеїну в ріпаковому силосі більше, ніж у кукурудзяному, в 3 рази [9-11].

Рослини озимих форм ріпаку здатні переносити осінні заморозки та продовжувати після них розвиватися з утворенням рясної зеленої маси до морозів. Вони швидко відростають після скошування та забезпечують можливість дву- та трикратного використання. Повної спілості ріпак досягає восени та весною раніше інших кормових культур при високій врожайності та вмісті білків.

Ріпак також є гарною сидеральною культурою. Кожний гектар його зораної біомаси при середніх врожаях еквівалентний внесенню восени 25...27 та навесні 45...55 тон органічних добрив. Внаслідок того, що при сидерації необхідність у навантаженні, транспортуванні та розкиданні добрив відпадає, то вона набагато вигідніше внесення гною та більш економічна обґрунтована. Застосування ріпаку як сидерату може підвищити врожай озимої пшениці на 2,8 ц/га, озимого жита – на 3,5 ц/га, ярового ячменю – на 3,3 ц/га, кукурудзи – на 7,5 ц/га, силосної маси кукурудзи – на 49 %, картоплі – на 50 % і більше [12].

Озимий ріпак представляє великий інтерес як ранній медонос. Велика кількість нектару у квітках та тривале цвітіння (25...30 днів) дозволяє збирати з кожного гектара ріпаку навесні до 90 кг меду [13, 16].

Ріпак є одним з кращих попередників пшениці у сівозмінах. У дослідженнях, проведених у країнах Західної Європи, відзначається підвищення врожайності пшениці, що оброблялась після ріпаку більш, ніж на 20 % [14].

Останнім часом у деяких країнах, у тому числі й в Україні, ведуться наукові дослідження з одержання з насіння ріпаку дешевого замітника дизельного палива. Недостатня вивченість питань очищення та сушіння насіння ріпаку стримують його розповсюдженість в Україні [15].

Підготовка насіннєвого матеріалу ріпаку ведеться спеціалізованими насіннєвими господарствами з дотриманням вимог інтенсивної технології оброблення цієї культури. По посівних якостях насіння ріпаку повинні відповідати вимогам ГОСТ 9824-87 [17]. Їм регламентуються показники чистоти насіння, зміст насіння інших рослин, у тому числі бур'янистих, схожість і вологість насіння.

Як показала практика насінницьких господарств, однією з основних проблем підготовки насіннєвого матеріалу ріпаку є очищення його від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин. Типовою є ситуація, коли, після проходження всього циклу післязбиральної обробки, вихід насіння ріпаку I класу становить 35...40 %, а ще 35...40 % повноцінного насіння, по всіх інших показниках задовольняючих вимогам стандарту, не вдається довести до рівня I класу по змісту насіння бур'янистих рослин. Не вирішеними є питання доочищення фракцій насіння ріпаку після очищення на пневмо-решітних сепараторах, в яких залишається до 20 % засмічувачів та відходів з засміченістю більше 50 %, які проблемно використовувати навіть для переробки на корм тваринам та птиці.

Найбільш перспективним способом очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок є сепарація за пружними властивостями. Вона здійснюється шляхом удару насіння по відбивній поверхні й поділу на фракції насіння, що рухаються після відбиття по різних траєкторіях. Однак, недостатня вивченість закономірностей сепарації насіння

за пружними властивостями стримує можливості розробки нових робочих органів сепараторів для сепарації насіння ріпаку

Тобто питанням удосконалення способів та засобів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янистих рослин за пружними властивостями, з метою підвищення ефективності сепарації на даний час приділяється недостатньо уваги.

В той же час найважливішим фактором від якого в значній мірі залежить врожайність ріпаку є посів високоякісним насінням [18, 19]. Значно знижують врожайність ріпаку бур'янисті рослини. При середній засміченості посівів ріпаку бур'янами врожай насіння зменшується на 3 ц/га [20]. Поряд з іншими методами боротьби з бур'янами, важливе місце займає очищення та сортування насіння [21-23, 209-211, 214-219, 221-225].

При очищенні на повітре-решітних зерноочисних машинах більшість насіння бур'янів та домішок видаляється. Однак видалити з ріпаку насіння таких важковідокремлюваних бур'янів, як пікульника, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, мишію та курячого проса без значних втрат не є можливим. Особливі труднощі становить очищення ріпаку від склероцій білої гнилі, що на існуючих насінноочисних машинах неможливе [6].

У зв'язку з цим можна констатувати, що питання процесу сепарації насіння ріпаку вивчені недостатньо.

Для вивчення можливості сепарації та визначення ознак подільності насіння ріпаку та його важковідокремлюваних бур'янів і домішок насамперед необхідні знання їх фізико-механічних властивостей [24, 25, 26, 226, 227, 228].

Перші дослідження фізико-механічних властивостей насіння ріпаку проводилися С. Пабісом, Е. Біловицькою, П. Гайдаєм [26]. Ними вивчалися такі фізико-механічні властивості насіння ріпаку, як густина та теплопровідність. Значення питомої та абсолютної ваги деяких сортів ріпаку наведені в роботі П.В. Токарева [27], густини та об'ємної маси ріпаку – у роботі М.А. Громова [25]. Основні розмірні характеристики насіння ріпаку наведені в роботах В.Г. Тихонова [28] та інші. У роботі [28-29] наведені

також дані про стан поверхні та форми насіння ярового ріпаку. Коефіцієнти тертя насіння визначалися по гумі, фанері, алюмінію, оцинкованої та незабарвленій жерсті. Відомості про фізико-механічні властивості важквідокремлюваних засмічувачів ріпаку є в роботах [30-32, 34]. У роботах Н.Г. Гладкова [31, 32] наводяться дані про питому вагу, розміри, аеродинамічні властивості, стан поверхні та форми насіння підмаренника чіпкого.

Слід зазначити, що найбільш повно фізико-механічні властивості насіння ріпаку, та його важквідокремлюваних засмічувачів наведені в роботах [6, 47, 48]. Авторами вивчалися розмірні характеристики, густина, аеродинамічні властивості насіння ріпаку та склероцій білої гнилі. На підставі проведених досліджень ними встановлено, що по жодному з досліджуваних ознак розділити їх неможливо. У висновку вони вказують, що для виділення склероцій білої гнилі з насіння ріпаку необхідна спеціальна машина, а це питання вимагає спеціального вивчення.

Відомості про інші важквідокремлювані засмічувачі ріпаку наведені також у роботі [33]. Де відзначається, що для відділення від ріпаку такого насіння бур'янистих рослин, як мишій, гречушка вьюнкова та круглець метельчатий необхідні додаткові пропуски через машини, ознакою подільності яких були б пружність та стан поверхні, хоча значення цих властивостей насіння у роботі не приводяться.

З літературних джерел видно, що фізико-механічні властивості насіння ріпаку, та важквідокремлюваних засмічувачів вивчені недостатньо, тому що в більшості робіт вони визначалися не для знаходження ознак їхньої подільності, а авторами переслідувалась зовсім інша мета. Крім цього, слід зазначити, що найбільш повно вивчено тільки розмірні характеристики та густина насіння ріпаку. Відомості ж про такі фізико-механічні властивості насіння ріпаку, як кут нахилу траєкторій насіння по похилій вібруючій площині та коефіцієнт миттєвого тертя при ударі в літературних джерелах відсутні. Також недостатньо в літературі даних про властивості їх

важкороздільних домішок, зокрема, склероцій білої гнилі.

Форма насіння ріпаку, також як і їх засмічувачів, вивчена недостатньо, тому що визначалася на підставі середніх розмірних характеристик. Однак ця ознака відіграє істотну роль при сепарації насіння за комплексом фізико-механічних властивостей [6, 47], тому доцільно проводити вивчення форми насіння з використанням статистичних методів досліджень.

Також не виявлено в літературних джерелах відомостей і про пружні властивості насіння ріпаку, що отримані інструментальними методами.

1.1. Аналіз існуючих технологій та способів очищення насіння

Свіжезібране біологічно активне насіння ріпаку необхідно очищати в єдиному потоці для запобігання його самозігрівання. Якщо навіть сухе, але засмічене бур'янистими домішками зерно пролежить у купі хоча б добу, вологість його підвищиться на 3...4 %, а схожість знизиться на 5...10 %. Про зниження посівних та товарних якостей насіння при навіть короточасному зігріванні маси говориться в джерелах [1-7, 9-11, 17, 25, 26].

Одержання насіння необхідної якості з мінімальними витратами праці та втратами насіння у відходи можливо тільки при правильному виборі технології і технологічної схеми очищення, що заснована на вивченні фізико-механічних властивостей компонентів даного насіннєвого матеріалу [25-31, 34, 54, 55, 71-81, 84].

Попереднє очищення насіннєвої маси здійснюють пересувними машинами ОВС-25, ОВП-20А, ОС-4,5А або стаціонарними ДО-527 та ЗД-10000.

Всі ці машини необхідно спеціально переобладнати для очищення дрібнонасінневих культур та підібрати відповідні режими роботи. Так, для машини ОС-4,5А для рівномірної подачі маси, за рекомендаціями [20], живильний валик заміняють валиком з гладкими рифлями, що взяті з комплекту для очищення насіння трав. З метою поліпшення якості сепарації

коливання решітного стану знижують з 500 до 325...350 хв⁻¹.

За допомогою машин для попереднього очищення з маси виділяють всі сміттєві домішки та не менше 60 % насіння бур'янистих рослин [47, 62].

Після попереднього очищення насіннєвий матеріал піддають вторинному очищенню на машинах СМ-4, а також "Петкус-Гигант" ДО-531 А, «Петкус-Селектра» ДО-218 з трієрним блоком ДО-533 та інших [82, 86-90].

Якість очищення при цьому залежить від величини та рівномірності подачі насіння у машину, їхньої засміченості та регулювання механізму очищення решіт, швидкості повітряного потоку та правильного підбору решіт.

Комбінацією решіт з різною формою отворів, як правило, досягається необхідна якість очищення залежно від цільового призначення насіння [6, 7, 11, 20, 39-41, 43-48].

Оптимальна продуктивність машини СМ-4 становить залежно від засміченості 300...400 кг/год [23, 47]. При цьому частота коливань повинна дорівнювати 335 хв⁻¹.

Для одержання насіння промислового призначення більш ефективно застосування зерноочисних агрегатів типу ЗАВ-25 з приставкою СП-10А.

Насіння, що пройшло попереднє та вторинне очищення, при необхідності очищають у трієрних циліндрах. Для забезпечення їхньої нормальної роботи необхідно, щоб шар матеріалу вкривав всю довжину циліндра. У машин фірми "Петкус" це досягається за рахунок установки трієрних циліндрів з 1°30' до 0°30' та зниження їх частоти обертання до 25...30 хв⁻¹. Продуктивність одного циліндра дорівнює 95...105 кг/год. [9, 47, 62, 56].

Після вторинного очищення в насіннєвому матеріалі можуть залишатися важкороздільні домішки (проросле або уражене грибковими хворобами насіння культури, насіння бур'янів і т.п.). У цьому випадку насіннєвий матеріал обробляють на спеціальних насіннеочисних машинах.

Коли в насіннєвому матеріалі є велика кількість битого, роздавленого і пророслого насіння, а також якщо є бур'янисті рослини, густина яких істотно відрізняється від густини культури, застосовують очищення на пневматичних сортувальних столах ПСС-2,5 та УПС-5,0.

Для поліпшення роботи пневмостолу ПСС-2,5 був розроблений пристрій для регулювання швидкості повітряного потоку по площі деки [47, 62, 114, 115].

При засміченні насіннєвого матеріалу ріпаку бур'янами, насіння яких мають ворсисту поверхню, застосовують очищення на електромагнітних насіннеочисних машинах ЭМС-1А та К-590А [47, 62, 115].

Від домішок гречушки вьюнкової насіння ріпаку очищають на решетах з трикутними отворами [47, 55]. Для видалення гречушки вьюнкової і насіння неправильної форми застосовують також гвинтові сортувальники типу "Змійка", фрикційні сепаратори ОСГ-0,5 та ОСГ-0,2А, що розділяють за властивостями поверхні та за формою [47, 51, 62].

Слід зазначити, що всі перелічені вище машини не дозволяють довести насіннєвий матеріал ріпаку до необхідних кондицій у випадку його засмічення підмаренником чіпким, круглецьом метельчатим, курячим просом, мишієм або склероціями білої гнилі.

У роботах [86, 114] вказується на можливість відділення підмаренника чіпкого на електромагнітній насіннеочисній машині ЭМС-1А. Однак, при очищенні на даній машині разом з електромагнітним порошком у відходи йде більше 60 % насіння ріпаку.

Великий відсоток відходів становить насіння культури і при обробці на пневматичних столах.

З нових засобів очищення останнім часом набули поширення фотоелектронні сортувальники та насіннеочисні машини, що розділяють за електрофізичними властивостями.

Фотоелектронні сортувальники показали гарні результати при розподілі томатів [39], однак через невелику поділяючу здатність (5...6 мм)

застосування їх для очищення насіння ріпаку через малі розміри насіння поки ще не є можливим.

Очищення ж на насіннеочисних машинах у полі коронного розряду та електростатичному полі поки ще мало вивчені та застосовується в основному при доочищенні насіння трав [40-42]. Яких-небудь відомостей про застосування цього способу на очищенні насіння ріпаку в літературі не виявлено.

У зв'язку з вищевикладеним можна стверджувати, що питання попереднього та вторинного очищення в основному вирішені. Доведення ж властивостей насіння ріпаку до вимог, що до посівного матеріалу, не завжди є можливим, тому що фізико-механічні властивості насіння культури та важквідокремлюваних засмічувачів майже ідентичні. Тому для видалення таких важквідокремлюваних засмічувачів, як підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишія, склероцій білої гнилі необхідно застосовувати пристрої, сепарація на яких відбувається за ознаками які недостатньо вивчені, наприклад пружністю, або не за однією ознакою, а наприклад за сукупністю фізико-механічних властивостей: форма, коефіцієнти тертя та пружність [6, 33]. До таких пристроїв відносять вібраційні машини, які показали високу ефективність розподілу на багатьох дрібнонасінневих культурах [43-49, 57-62, 65-67], а також гравітаційні ударні сепаратори [64-66, 90, 92, 201].

1.2. Аналіз досліджень фізико-механічних властивостей насіння ріпаку й бур'янистих рослин

Основи теорії сепарації зернових сумішей були закладені в нашій країні В.П. Горячкіним [36], М.Н. Летошневим [37], Г.Д. Терсковим [38]. Подальший розвиток вона одержала в роботах В.А. Кубишева [84], Г.Е. Листопада [152], Н.Г. Гладков [32], П.М. Василенко [154], П.М. Заїки [35], та інших учених. На основі теоретичних передумов була розроблена широка

гама насіннєочисних машин, що різняться по призначенню: очищення зернової купи, первинне, вторинне й спеціальне очищення, сортування й калібрування; по способу очищення й використовуваній ознаці подільності: аеродинамічні властивості (критична швидкість, парусність), розміри (довжина, ширина, товщина), щільність, форма й стан поверхні, пружність колір, діелектричні властивості й ін., а також за технологічною схемою й виду сепаруючих робочих органів: решета, трієр, аспіраційний канал і т.д.

Ефективність того або іншого способу спеціального очищення насіння ріпаку залежить від використовуваної ознаки подільності, тобто істотної відмінності тих фізико-механічних властивостей насіння ріпаку й важковідокремлюваних бур'янів, за якими ведеться поділ. Аналіз складу компонентів бур'янистої домішки в насіннєвому матеріалі ріпаку до й після спеціального очищення показує, що найбільші труднощі викликає виділення насіння підмаренника чіпкого (*Galium aparine*), курячого проса (*Echinochloa crus-galli*), мишія сизого (*Sefanio viridis*), пікульника (*Galeopsis tetrahit*), горця вьюнкового (*Polugonum convu lvulus*) і круглеця (*Atriplex calotheca*). Нами був проведений аналіз досліджень фізико-механічних властивостей насіння перерахованих бур'янистих рослин і ріпаку, представлених в роботах [30, 33, 58-66, 114, 115, 171, 184, 200, 201].

а) Розміри й питома вага насіння.

Дані розмірних характеристик і питомої ваги насіння наведено в таблиці 1.1.

Дані таблиці свідчать, що діапазони варіювання товщини й ширини насіння ріпаку і бур'янів практично збігаються, що і є причиною складності їх поділу при основній обробці в решітних машинах. Довжина насіння поділюваних компонентів також близька. Можливе відділення за цією ознакою найбільш довгого насіння курячого проса, мишія, пікульника.

Таблиця 1.1 – Розміри й питома вага насіння

Найменування насіння	Розміри, мм			Питома вага, кг/дм ³
	товщина	ширина	довжина	
Ріпак	1,2...1,7	1,3...1,9	1,5...2,4	1,0...1,3
Пікульник	0,8...1,5	1,3...2,3	1,7...3,6	0,8...1,2
Підмаренник чипкий	1,2...2,4	1,4...2,6	1,6...3,1	0,9...1,2
Круглець метельчатий	1,1...1,6	1,2...1,8	1,5...2,5	0,9...1,3
Куряче просо	1,0...1,8	1,5...2,4	1,9...4,2	0,8...1,4
Мишій	0,9...1,5	1,0...1,8	1,8...4,4	0,7...1,4
Горець	1,2...2,0	1,6...2,1	1,9...2,8	0,9...1,2

По питомій вазі (щільності) відмінності також мінімальні. При поділі за цією ознакою представляється можливим вилучити, разом з найбільш легкими (шуплими, недорозвиненими, ушкодженими) насіннями ріпаку й частину бур'янистих рослин.

б) Аеродинамічні властивості.

Аеродинамічні властивості насіння характеризуються критичною швидкістю $V_{кр}$. Дані про середні значення критичної швидкості насіння і середньоквадратичних відхилень $\sigma_{V_{кр}}$ представлено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Критична швидкість

Найменування насіння	Середнє арифметичне значення ($V_{кр}$), м/с	Середньоквадратичне відхилення $\sigma_{V_{кр}}$, м/с
Ріпак	6,8	1,1
Пікульник	5,0	0,8
Підмаренник чипкий	5,2	0,9
Круглець метельчатий	5,0	1,2
Куряче просо	4,7	1,0
Мишій	5,1	1,2
Горець	5,1	1,2

Ці дані свідчать про можливість часткового поділу насінневої суміші ріпаку й бур'янистих рослин за цією ознакою.

в) Фрикційні властивості.

Середньоарифметичні значення динамічного коефіцієнта тертя f_{cp} і середньоквадратичні відхилення σ_f наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Динамічний коефіцієнт тертя насіння по сталі

Найменування насіння	Середнє арифметичне значення f_{cp}	Середньоквадратичне відхилення σ_f
Ріпак	0,30	0,04
Пікульник	0,32	0,04
Підмаренник чипкий	0,35	0,05
Круглець метельчатий	0,35	0,04
Куряче просо	0,32	0,07
Мишій	0,35	0,05
Горець	0,32	0,04

По фрикційних властивостях поверхні насіння важковідокремлюваних бур'янів можна умовно розділити на три групи:

– близькі по фрикційних властивостях до насіння ріпаку: пікульник, горець;

– з більшими значеннями динамічного коефіцієнта тертя: підмаренник, круглець, мишій;

– насіння із широким діапазоном варіювання фрикційних властивостей. До цієї групи відносяться насіння курячого проса, що пояснюється наявністю в них неміцної шорсткуватої оболонки й глянсовою, гладкою поверхнею самого насіння.

З достатнім ступенем надійності по динамічному коефіцієнту тертя з насінневого матеріалу ріпаку можуть бути виділені лише насіння другої групи.

г) Пружні властивості.

Показник, що характеризує пружні властивості насіння – коефіцієнт відновлення швидкості під час удару K , залежить не тільки від внутрішніх властивостей насіння, але й від зовнішніх факторів: відносної швидкості руху тіл, що співударяються вологості насіння, матеріалу відбивної поверхні.

Насіння ріпаку значно перевершують бур'янисті рослини за середнім значенням коефіцієнта відновлення K_{cp} – таблиця 1.4.

Таблиця 1.4 – Коефіцієнт відновлення швидкості при ударі

Найменування насіння	Середнє арифметичне значення, K_{cp}	Середньоквадратичне відхилення, σ_k
Ріпак	0,59	0,10
Пікульник	0,26	0,11
Підмаренник чипкий	0,23	0,09
Круглець метельчатий	0,19	0,08
Куряче просо	0,25	0,09
Мишій	0,22	0,08
Горець	0,24	0,09

У той же час, висока мінливість цього показника, про яку свідчать значення середньоквадратичного відхилення ($\sigma_k = 0,08...0,11$), приводить як правило до часткового перекриття діапазонів варіювання.

Істотні відмінності в коефіцієнтах відновлення насіння ріпаку й бур'янів дозволяють зробити висновок про перспективність очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок за пружними властивостями.

1.3. Способи сепарації насіння ріпаку і обладнання для їхнього здійснення

Очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок проводиться на останніх етапах післязбиральної обробки – вторинному й спеціальному очищенні. До цього роблять попереднє очищення насінної купи й сушіння насіння до вологості 7...8 %.

Спеціальне очищення насіння ріпаку, призначеного для висіву, роблять у насінницьких господарствах в основному двома способами:

1) поділ по щільності та стану поверхні – на пневматичному сортирувальному столі. Використовуються серійні пневмостоли марок ПСС-2,5; СПС-5. З їхньою допомогою виділяють частину дефектного і некондиційного насіння ріпаку, насіння ряду бур'янистих рослин (ромашка й ін.). Вихід насінневих фракцій досягає на них 50...60 %. Однак, до половини

загального обсягу насіння фракцій не вдається довести до кондиції I класу по змісту насіння бур'янистих рослин;

2) поділ по здатності поверхні насіння утримувати магнітний порошок. Застосовуються електромагнітні насіннеочисні машини ЭМС-ІА, К-590. Ними виділяються насіння, що мають шорсткувату, ворсисту поверхню, у тому числі важковідокремлювані бур'яни – підмареник, мишій, круглець. Недоліком способу є те, що, через забруднення залізним порошком, фракція відходів не може бути використана для переробки.

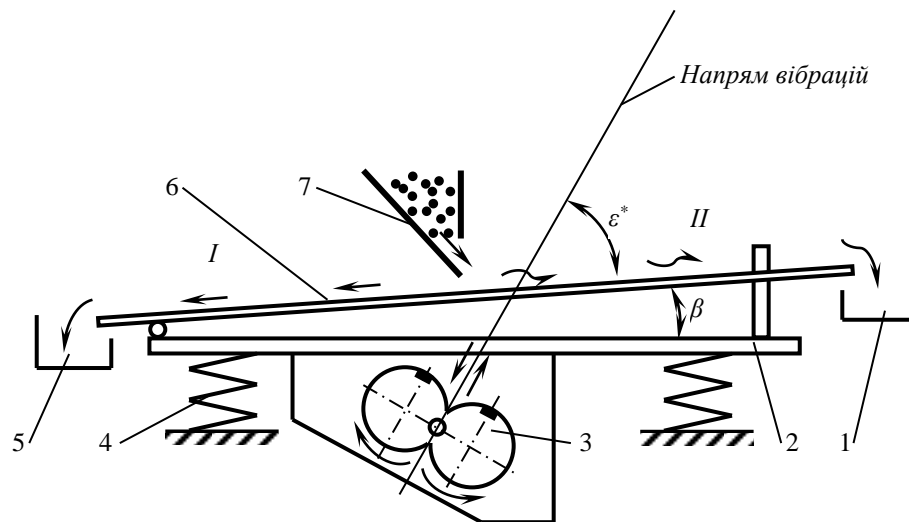
Рядом науково-дослідних закладів ведеться розробка інших способів очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок і обладнання для їх здійснення [9, 11, 95-102]. На наш погляд, не зважаючи на ряд недоліків, заслуговують на увагу два способи очищення, а саме:

а) Перший спосіб реалізовано в насіннеочисній машині, у якій поділ проводиться за властивостями поверхні насіння. З насінневої суміші, що рухається по транспортерній стрічці, за допомогою матер'яної бахромки, що переміщується в поперечному напрямку, "вимітаються" насіння бур'янів з опушеною, шиповатою поверхнею. Як і при віброочищенні, спектр виділених бур'янів обмежений, а продуктивність, через необхідність подачі насіння на транспортерній стрічці в один шар і малої швидкості її руху, невисока.

б) Другий спосіб це спосіб в якому поділ здійснюється за комплексом фізико-механічних властивостей: фрикційним властивостям, пружності та формі насіння. Спосіб здійснюється на віброфрикційних сепараторах, розробка яких ведеться в ХНТУСГ ім. П.Василенка. Під дією спрямованих коливань, створюваних віброзбуджувачем, насіння рухається по похилій неперфорованій поверхні в різних напрямках: нагору – більш щуплі, шорсткуваті й менш пружні; униз – більш пружні, круглі й гладкі насіння. У ході перевірки досягалося виділення найціннішої частини насінневого матеріалу ріпаку з одночасним очищенням від деяких видів насіння важковідокремлюваних бур'янів. Разом з тим, наявність зустрічного руху

компонентів обумовлює невисоку продуктивність обладнання. При цьому не забезпечується виділення всього спектра важковідокремлюваних бур'янистих домішок.

Цей спосіб реалізовано також в сепараторах з подовжнім та подовжно поперечним нахилом робочого органу до обрїю [156]. Схема сепаратора з подовжнім нахилом робочої поверхні представлена на рис. 1.1.



1, 5 – приймачі продуктів поділу; 2 – вібростол; 3 – вібратор; 4 – пружина;
6 – фрикційна поверхня; 7 – пристрій живлення

Рисунок 1.1 – Схема сепаратора з плоскою робочою поверхнею

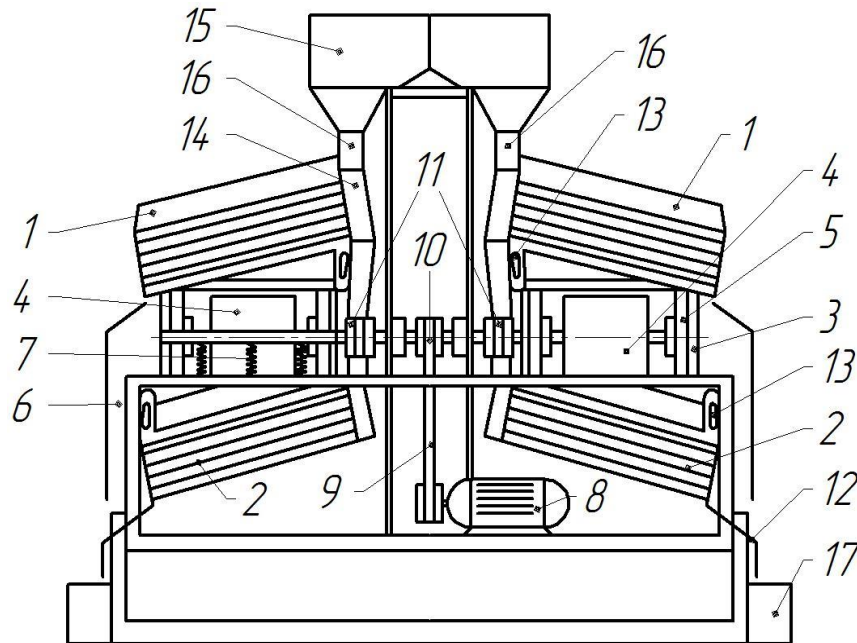
Сепаратор має робочу фрикційну поверхню 6, встановлену на вібростолі 2. Кут нахилу до горизонту β цієї поверхні можна регулювати в поздовжньо-вертикальній площині. До вібростолів 2 жорстко кріплять дебалансний двовальний вібратор спрямованої дії 3. Вібростіл встановлений на циліндричних пружинах 4. Над робочою поверхнею змонтовано пристрій живлення 7. Компоненти суміші переміщуються в приймачі продуктів поділу 1 та 5.

Пружна підвіска у вигляді циліндричних пружин в поєднанні з вібратором направленої дії забезпечує коливання робочої поверхні за прямолінійними траєкторіями, спрямованим під гострим кутом ε^* до цієї поверхні.

Основним недоліком цього сепаратора є невисока продуктивність, яка

обумовлена тим, що суміш для якісного розподілу повинна рухатись робочою поверхнею в один шар. Встановлення невеликої кількості робочих поверхонь приводить до значних конструктивних ускладнень сепаратора та значного росту габаритів.

В сепараторах з подовжньо-поперечним нахилом робочих органів ці недоліки частково усунуто [99]. Конструктивна схема блочно-модульного віброфрікційного сепаратора представлена на рис. 1.2.



- 1, 2 – верхні і нижні блоки сепаруючих поверхонь; 3 – вібростіл; 4 – вібратор;
 5 – шарнірна підвіска; 6 – столик; 7 – пружини; 8 – електродвигун;
 9 – клиноремена передача; 10 – проміжна передача; 11 – пружні муфти; 12,
 13 – механізмом регулюється поздовжнього і поперечного кутів нахилу;
 14 – живильники; 15 – бункер; 16 – патрубки; 17 – приймачі

Рисунок 1.2 – Конструктивна схема блочно-модульного віброфрікційного сепаратора

Сепаратор складається з верхніх 1 та нижніх 2 блоків сепаруючих поверхонь. Верхній і нижній блоки розміщені на вібростолах 3, які приводяться в коливальний рух від віброзбудників 4, закріплених за допомогою шарнірної підвіски 5 до вібростолів.

Вібростоли встановлені на столику 6 за допомогою пружин стиснення 7. Вібратор приводиться в рух від електродвигуна 8 через клиноремінну передачу 9, проміжну передачу 10 і пружні муфти 11. Поздовжній кут нахилу

сепаруючих поверхонь регулюється механізмом 12, поперечний - механізмом 13. Для подачі матеріалу на сепаруючі поверхні призначені живильники 14, з'єднані з завантажувальним бункером 15 гнучкими патрубками 16. Для збору продуктів поділу є приймачі 17.

Сепаратор працює наступним чином. Зернова суміш подається за допомогою живильників на робочі поверхні верхніх і нижніх блоків. Під дією спрямованих коливань, створюваних вібратором, компоненти суміші переміщуються за різними траєкторіями в залежності від фізико-механічних властивостей. Плоскі, шорсткі, менш пружні частки переміщуються в верхні приймачі продуктів поділу, а округлі, гладкі, пружні частинки скочуються в нижні приймачі.

Розглянуті способи мають високу енергоємність очищення насіння ріпаку, яка обумовлена невисокою продуктивністю розробленого обладнання.

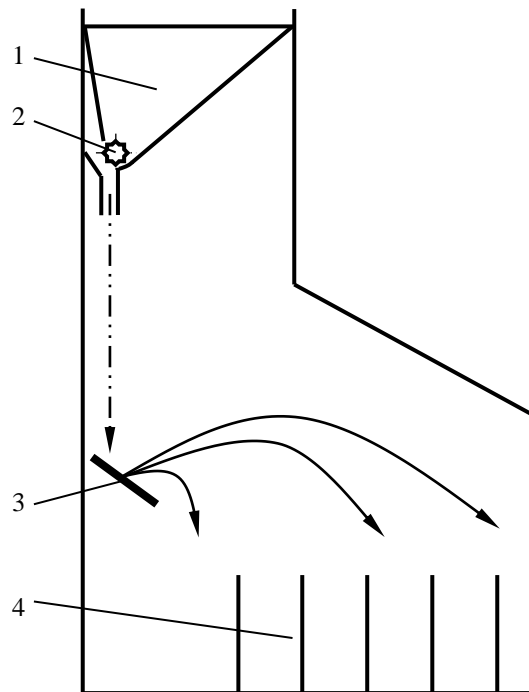
Аналіз фізико-механічних властивостей насіння ріпаку і важковідокремлюваних бур'янів показує, що найбільші відмінності ознак подільності спостерігаються в їхній пружності. Досвід практичного застосування обладнання, в яких використовується ця ознака подільності, також підтверджує перспективність очищення насінневого матеріалу ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок за відмінностями пружних властивостей.

Перші дослідження із сепарації насіння на похилих відбивних поверхнях були проведені наприкінці 40-х років Птіциним С.Д. [65, 66] і Поповим Н.Ф. [87]. Вихідним посиленням роботи була відмінність у пружних властивостях сухого і вологого зерна.

Вирішуючи завдання виділення більш сухих – тобто, що володіють підвищеними посівними якостями насіння, Птіцин С.Д. пропонує робити сортування свіжезбираного зерна за допомогою удару його по площині.

У ході досліджень визначалися показники сепарації зерна при ударі, для чого була використана лабораторна установка (рис. 1.3), що включає бункер 1 для засипання вихідного матеріалу з вигрібним валиком 2, похилу

плиту 3, розташовану під кутом й приймальну камеру 4, розділену на відсіки для фракцій зерна різної вологості.



1 – бункер; 2 – вигрібний валик; 3 – похила плита; 4 – приймальні камери
Рисунок 1.3 – Схема обладнання для сортування зерна ударом

Основну увагу автор приділяє впливу геометричних факторів (висоти розташування бункера, розміру приймальної камери і розташування відсіків) на ефективність сепарації. Однак, експериментальне визначення відповідних залежностей для конкретних матеріалів (насіння гороху, віки, пшениці) здійснювалося без урахування взаємного впливу факторів процесу.

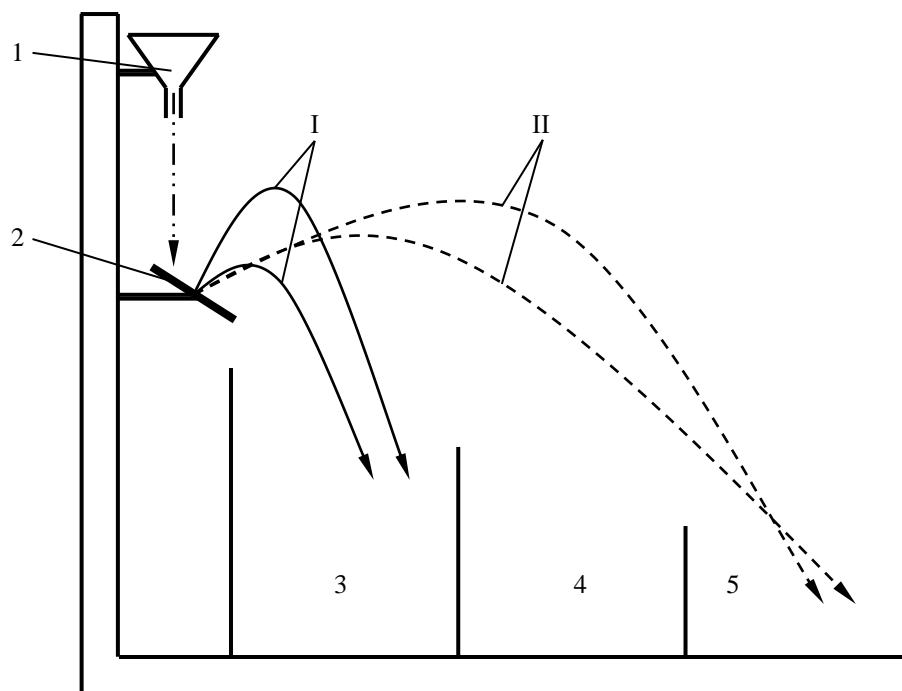
Н.Ф.Попов продовжив дослідження, переносячи їх у виробничі умови. Не обмежуючись насінням сферичної форми (горох), він досліджував можливість практичного застосування сепарації ударом для вирівнювання по вологості насіннєвого матеріалу пшениці, жита і ін. культур. Отримані ним дані свідчили про господарську цінність запропонованого способу підготовки насіннєвого матеріалу.

В 50-х – 60-х роках розробка обладнання для сепарації методом удару була продовжена Бобровим С.Ф. [89], Рябовим П.І. [90], Висоцьким В.К. [91] і ін. Основною тенденцією досліджень залишалось використання відмінності в пружних властивостях для одержання вирівняного по вологості матеріалу.

С.Ф.Бобров, удосконалюючи конструкцію сортувальної установки, вводить до розгляду вертикальну координату кромки перегородок, що розділяє відсіки приймальної камери. Експериментальне визначення траєкторій польоту після удару, проведене ним при різних висотах скидання і кутах нахилу відбивної поверхні, дозволило йому прийти до висновків:

– на характер сепарації значний вплив здійснює кутове розсіювання в горизонтальній і вертикальній площинах, яке зростає з ростом відхилення форми насіння від сферичної;

– оскільки згідно із загальною теорією удару, траєкторії руху часток, відбитих зі швидкостями, однаковими по модулю, але різними за напрямком, зі збільшенням часу польоту зближаються, відсіки приймача слід розташовувати нижче місця удару. Причому по мірі віддалення від місця удару, перегородки слід знижувати уступами (рис. 1.4).



1 – бункер; 2 – похила плита; 3, 4, 5 – відсіки приймача;

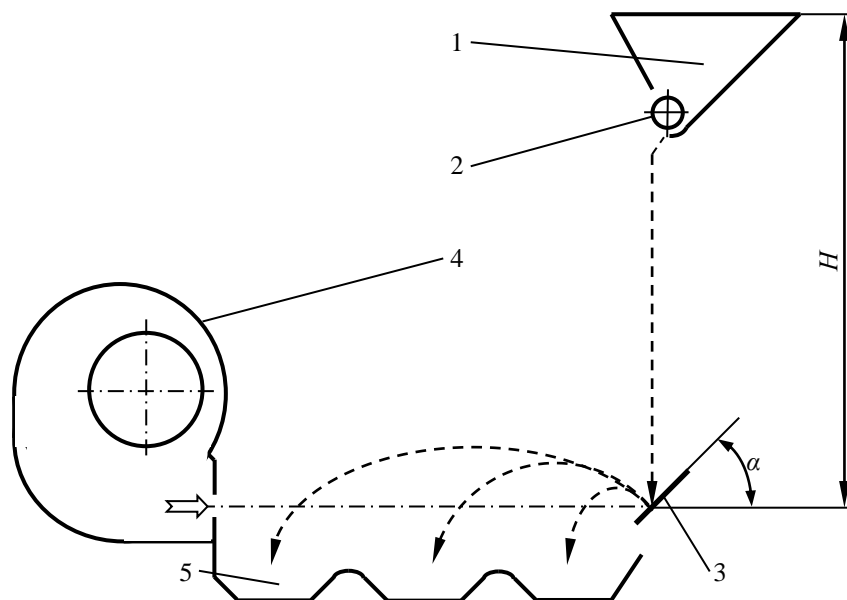
I – траєкторії при $V_1 = 1$ м/с; II – при $V_2 = 2$ м/с

Рисунок 1.4 – Схема установки для сепарації зерна за пружними властивостями із прийомною камерою, що знижується

Подальше вивчення впливу технологічних і конструктивних параметрів установки з похилою відбивною поверхнею проводилося П.І.Рябовим. Порівнюючи криві розподілу довжини горизонтального польоту насіння при

установці прийомної камери на рівні відбивної поверхні і нижче її на 300 мм, автор показав, що зі зниженням класифікатора розподіл зміщується від місця удару, причому поділ насінневої суміші поліпшується. Іншим важливим висновком роботи є висновок про зниження коефіцієнта відновлення K у міру зростання висоти падіння насіння. П.І.Рябов також робить, на основі експерименту, висновок, що варіаційні ряди розподілу K практично не мають змін від того, чи кидалися зерна поодиноці або безперервним потоком, чи перебувало насіння даної культури в суміші з іншим насінням або без сторонніх домішок.

Однак, цей висновок не підкріплюється даними про збереження характеру розподілу при різних рівнях питомої подачі на відбивну поверхню. Вважаючи, що пружні властивості насіння перебувають у кореляційному зв'язку з їхніми аеродинамічними властивостями, автор пропонує використовувати обладнання із зустрічним повітряним потоком, створюваним вентилятором (рис. 1.5). Очищення від вівсюга насіння ячменя, вівса, пшениці показало збільшення ділильної здатності при русі відбитих часток у зустрічному потоці повітря.



1 – бункер; 2 – живильник; 3 – відбивна площина; 4 – вентилятор;
5 – класифікатор. V_B – швидкість повітряного потоку, H – висота падіння,

α – кут нахилу площини

Рисунок 1.5 – Установка для очищення насіння за пружними властивостями і парусності

Однак, даний принцип є застосуємим лише при певному складі зернової суміші. Якщо аеродинамічні властивості компонентів однакові, застосування його веде лише до скорочення довжини польоту насіння, тобто результат виходить зворотним очікуваному. Таким чином, незважаючи на обмеженість області застосування, П.І.Рябовим висувається принципово важлива ідея використання відбивного сепаратора для очищення насіння від бур'янистих домішок.

Ще один напрямок у використанні відбивного сепаратора запропонований Висоцьким В.К. Він перевіряв можливість сортування насіння (на прикладі проса) за крупністю та виповненістю. Насіння, пропущені через обладнання, аналогічне за конструкцією описаною С.Д.Птіциним, були розділені на три фракції: великі, середні й дрібні (щуплі, погано виповнені). Перевірка на врожайність у польових умовах показала, що в порівнянні з несорттованим насінням господарська придатність великої фракції підвищилася на 5 %, собівартість продукції знизилася на 40 % [62].

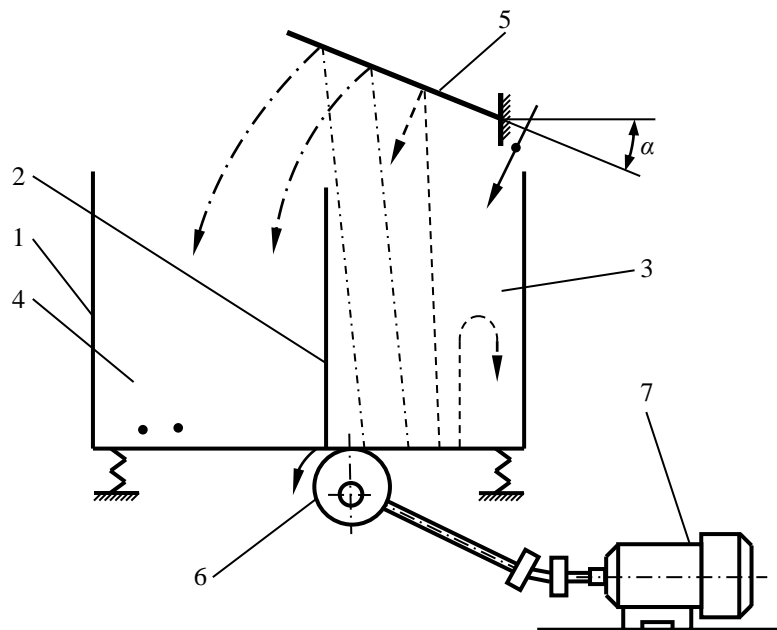
Проведені дослідження дозволили визначити можливі області застосування відбивного сепаратора:

- сортування насінневого матеріалу різної вологості за посівними якостями;
- очищення насіння від бур'янистих домішок;
- калібрування зерен (сортування за крупністю).

Найбільший ефект досягається при обробці насіння, форма яких наближається до сферичної.

Н.І.Філінков [92], досліджуючи сортування насіння гороху і пшениці по вологості, доходить висновку, що ефективність сепарації може бути збільшена за рахунок багаторазового повторення для кожного насіння ударного впливу похилої площини. Із цією метою він пропонує пристрій (рис. 1.6), що представляє собою камеру 1 певної висоти, розділену перегородкою 2. Над верхньою частиною відсіку 3, у якій здійснюється подача матеріалу, встановлена відбивна площина 5, нахилена під кутом α , з

підйомом убік відсіку 4, у який надходять пружні насіння. Камера приводиться в коливальний рух у вертикальній площині за допомогою приводу 6 від електродвигуна 7.



1 – камера; 2 – перегородка; 3, 4 – відсіки; 5 – відбивна площина; 6 – привід;
7 – електродвигун; —●—→ вихідний матеріал; - - - - -→ непружне
насіння; - · - · - · - → пружні насіння

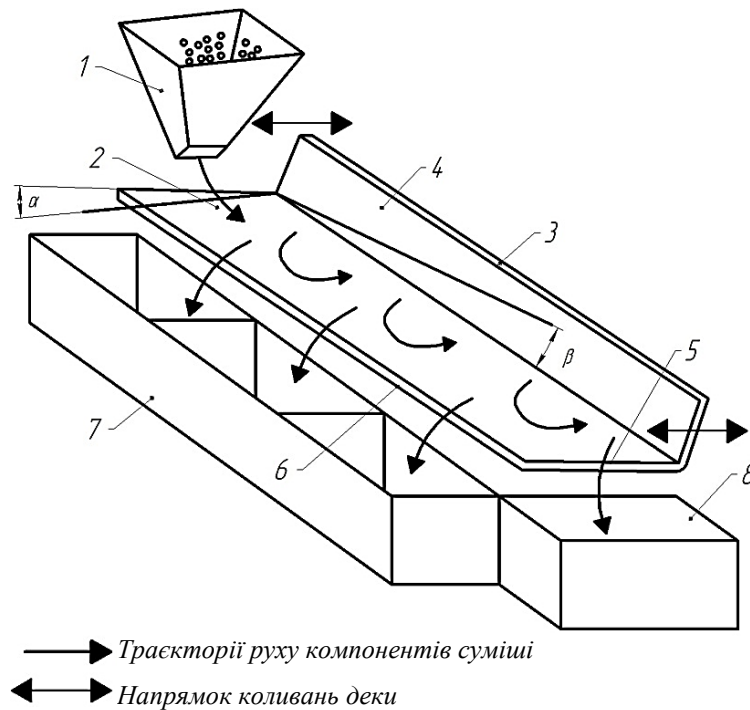
Рисунок 1.6 – Схема обладнання для сепарації насіння за пружністю з віброкамерою

Насіння, що подається у відсік 3, у результаті вертикальної вібрації камери 1 зазнають ударного впливу її дна і, залежно від своєї пружності, або долітають до похилої площини 5 і, відбиваючись від неї, надходять у відсік 4, або знову вертаються на днище відсіку 3.

Процес повторюється багаторазово, що дозволяє зменшити вплив випадкових факторів: взаємного зіткнення насіння, неоднорідності їх пружних властивостей, різноманітності форми. До недоліків обладнання слід віднести проблематичність забезпечення безперервності процесу, тому що при видаленні непружного насіння у процесі сепарації неминуча втрата частини пружного насіння. Таким чином, підвищуючи ефективність сепарації, обладнання вимагає порціонного завантаження вихідного матеріалу і вивантаження непружного компонента.

Більш ефективним методом підвищення ефективності сепарації за

рахунок багаторазового повторення зіткнень частини з робочою поверхнею є метод запропонований в [93]. Принципова схема цього пристрою представлена на рис. 1.7.



1 – завантажувальний пристрій; 2 – дека; 3 – борт; 4 – вертикальна стінка;
 5, 6 – нижня і бічна кромки деки; 7, 8 – збірники продуктів поділу
 Рисунок 1.7 – Принципова схема пристрою для поділу зернових сумішей з пружними властивостям

Пристрій складається з завантажувального пристрою 1, розташованого над найбільш піднесеним кінцем похилої деки 2, що має поздовжній β і поперечний (α) нахил в сторону відбійного борту.

Борт 3 жорстко з'єднаний з декою 2 і встановлений перпендикулярно останньої на його подовжньому краю. Стінка 4 борту 3, звернена до деки, виконана пружною. Уздовж нижнього 5 і протилежного борту 3 бічного 6 крайку деки 2 встановлені збірники 7 і 8 продуктів поділу. Деці 2 повідомляються коливання вібратором у власній площині, перпендикулярній відбійнику борту 3 [88, 89].

Пристрій працює наступним чином.

Зернову суміш завантажувальним пристроєм рівномірно подають на деку 2 і доводять до останньої коливання. За рахунок поперечного нахилу

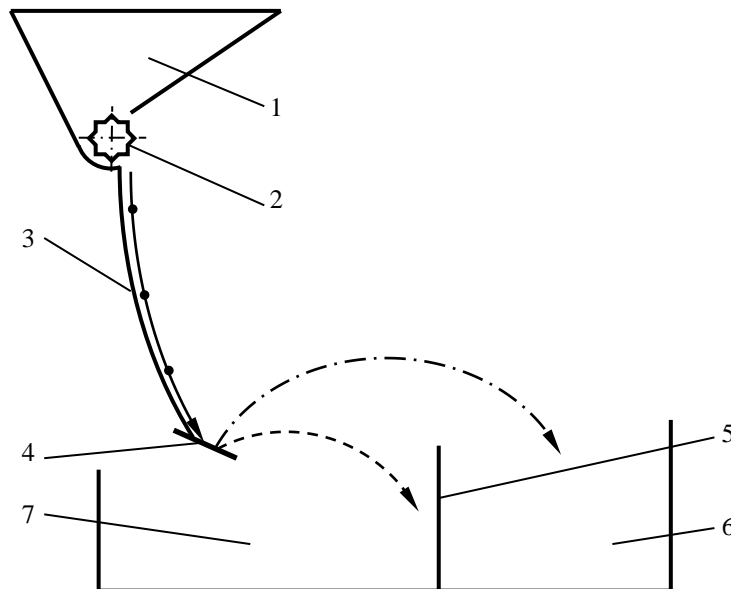
деки α в сторону відбійного борту 3 зерна переміщуються до борту 3 і одночасно за рахунок нахилу деки 2 в поздовжньому напрямку β – уздовж неї. При контакті з пружною стороною 4 відбійного борту 3 зерна отримують удар і відскакують на різні відстані в залежності від пружних властивостей. Пружні зерна відбиваються від борта 3 і потрапляють в збірники 7. Менш пружні частинки, з величиною відскоку менше ширини деки 2, переміщуються уздовж неї і надходять до збірника 8, який розташовано під нижньою кромкою 5, при цьому збільшується якість поділу зернової суміші.

Слід зазначити, що для поділу зернових сумішей з пружними властивостям промисловістю випускається лише одна машина, так звана падді-машина. Хорольський машинобудівний завод виготовив декілька таких сепараторів. Широкого поширення, однак, ці машини не отримали через складність конструкції, недостатньо високу питому продуктивність, велику метало- та енергоємність і ряд інших причин. Спроби розробити пристрої, крім падді-машин, що розділяють зернові суміші за пружними властивостями, винахідниками були представлені в роботах [88-90, 93-95, 111-113]. Однак пристрій, описаний в [93], не знайшов застосування через невисоку якість сепарації, а сепаратори, описані в [88-90], не знайшли поширення через складність конструкції.

Одним з цікавих напрямків збільшення ефективності поділу компонентів – створення спеціальних умов для орієнтації несферичних насіннь у момент удару. С.А. Шукюров [118] пропонує використовувати у відбивному сепараторі напрямну увігнуту площину, по якій насіння скочують від живильного валика до точки удару об відбивну поверхню (рис. 1.8).

Зміст її введення – забезпечити торкання в момент удару еліпсоїдного насіння такою його точкою, яка дає на всьому протязі контакту переміщення з ковзанням, що приводить до збільшення часу контакту й найбільшому падінню швидкості до моменту відриву. Тоді різниця в дальності польоту сферичного і еліпсоїдного насіння стає максимальною. За даними автора, при

виділенні з насіннєвого матеріалу сої недорозвиненого та морозобійного насіння використання прямої поверхні дозволяє збільшити подачу в кілька разів при збереженні ефективності сепарації.



1 – бункер; 2 – живильник; 3 – пряма поверхня; 4 – відбивна поверхня;
5 – ділільник, 6, 7 – відсіки приймача

Рисунок 1.8 – Схема відбивного сепаратора з прямою поверхнею

Зрозуміло, що з економічних міркувань, особливої уваги та вивчення потребують способи та процеси сепарації в яких на самий процес сепарації енергія не витрачається.

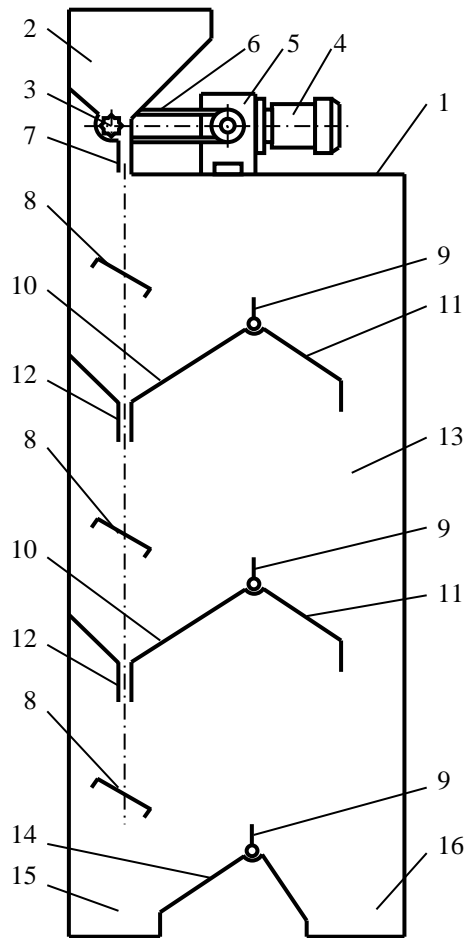
Найбільш простим за конструкцією і не потребуючим енерговитрат на процес сепарації (за винятком підйому насіння на певну висоту) є ударний сепаратор – виконаний як похила площина, об яку вдаряються насіння при падінні і відскакують, при цьому залежно від пружності на певну величину.

Основним недоліком такого пристрою є те, що частки суміші розділяються, випробувавши однократний удар об похилу площину. При однократному ударі часток не кулястої форми (усе насіння є такими) об похилу площину, траєкторії польоту насіння після удару будуть багато в чому залежати від положень частки щодо площини в момент удару, і із цієї причини насіння з різними пружними властивостями можуть попадати в той самий приймач,

Тобто якість поділу суміші при однократному ударі буде

недостатньою. Якщо ж частка буде декілька разів стикатись із площиною, то за рахунок осереднення по поверхні частки точок контакту із площиною при ударах на результат сепарації вплине середнє значення коефіцієнта відновлення швидкості.

Якість сепарації на відбивній площині можна підвищити за рахунок декількох щаблів сепарації. Цей принцип реалізовано в сепараторі представленому на рис. 1.9, що має три ступеня сепарації [201].



- 1 – корпус; 2 – бункер; 3 – живильник; 4 – електродвигун; 5 – редуктор;
 6 – пасова передача; 7 – щілинний отвір; 8 – відбивні поверхні;
 9 – регульовані ділільники; 10, 11, 14 – скатні поверхні; 12 – живильні щілини; 13, 15, 16 – вивантажувальні вікна

Рисунок 1.9 – Схема триступінчастого відбивного сепаратора

Сепаратор складається з корпусу 1 рамного типу, бункера 2, встановленого на корпусі, активного живильника 3 з робочим органом – рифленим валиком, електродвигуна 4, редуктора, 5 і пасової передачі 6. Щілинний отвір 7 живильника встановлено над відбивною поверхнею 8

першого щабля сепарації. Каскад, робочих органів, розміщених усередині корпусу, включає три щаблі сепарації. Кожна із щаблів включає похилу відбивну поверхню 8, регульований ділільник 9, виконаний у вигляді пластини, закріпленої нижньою частиною на осі; і дві скатні поверхні 10 і 11, причому скатна поверхня 10, розташована між відбивною поверхнею та ділільником, і утворює живильну щілину 12 для нижче розташованого щабля, а поверхня 11 закінчується вивантажувальним вікном 13. Скатна поверхня 14 нижнього щабля, що примикає до ділільника з боку відбивної поверхні також закінчується вивантажувальним вікном 15. Вивантажувальне вікно 16 для очищеної фракції розміщено під вікном 13 верхніх щаблів.

Процес очищення насіння ріпаку відбувається в такій послідовності:

Вихідний матеріал засипається в бункер 2, відтіля він за допомогою рифленого валика живильника 3 подається в робочу зону сепаратора. Живильник формує вузький плоский потік часток, що падають під дією сили ваги на похилу відбивну поверхню 8 верхнього щабля, після удару об відбивну поверхню, насіння змінюють швидкість і напрямок польоту. Повноцінні насіння ріпаку, що мають високу пружність, здобувають більш високу швидкість і перелітають через пластину ділільника 9. Ділільник відрегульований таким чином, щоб непружні насіння бур'янистих рослин не могли перелітати його верхню крайку. При цьому частина насіння ріпаку такі не перелітає через крайку ділільника.

Насіння ріпаку, що перелетіли через ділільник, попадають на скатну поверхню 11, по якій надходять у вивантажувальне вікно 13, а потім до вікна 16 виводу очищеної фракції. Насіннєвий матеріал, що не перелетів через крайку ділільника по скатній поверхні 10 надходить до щілинного отвору 12 і через нього падає на відбивну поверхню нижчерозташованого щабля.

На другому й третьому щаблі процес поділу повторюється. Очищені насіння ріпаку надходять у вивантажувальне вікно 16, а непружна фракція – у вивантажувальне вікно 15.

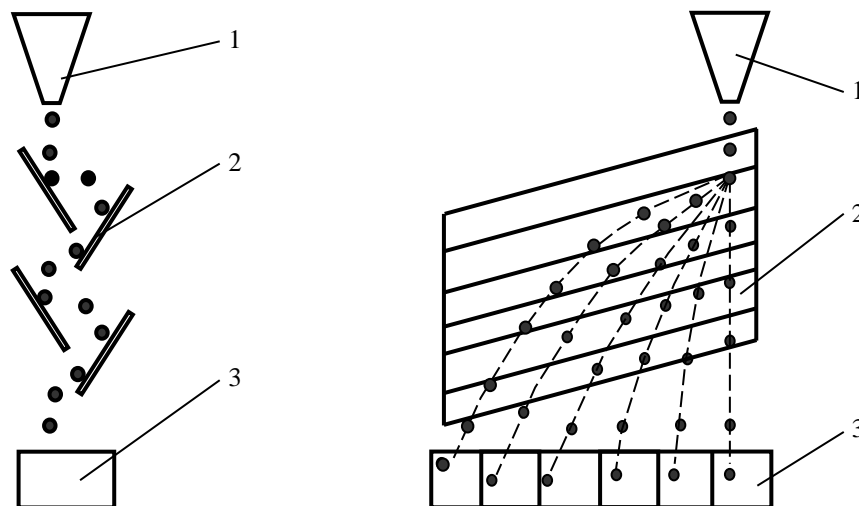
Якість очищеного матеріалу й відсоток виходу очищеної фракції

регулюється поворотом ділільника за допомогою рукояток, виведених на зовнішню бічну поверхню корпусу і шкалою настроювання. Величина подачі регулюється зміною числа обертів рифленого валика.

За рахунок трьохкратного удару якість сепарації підвищується на 12...18 % в залежності від засміченості суміші.

Значно поліпшити якість роботи ударних сепараторів можна шляхом використання багаторазового удару насіння об відбивні поверхні, що сепарують, [93, 95, 117-121]. Багаторазові зіткнення насіння із відбивними поверхнями дозволяють як би осереднити їхні пружні властивості і тим самим точніше розділити суміш за пружними властивостями.

Багатоярусний ударний сепаратор запропоновано в роботі [121]. Принципова схема багатоярусного ударного сепаратора представлена на рис. 1.10.



1 – живильний бункер; 2 – неперфоровані деки; 3 – приймачі

Рисунок 1.10 – Принципова схема багатоярусного ударного сепаратора

Багатоярусний ударний сепаратор складається з одного або декількох модулів залежно від продуктивності. Модуль складається з живильного бункера 1, похилих з поздовжньо-поперечним нахилом неперфорованих дек 2, кожна з яких розташована нижче попередньої від бункера і приймачів продуктів поділу 3.

У цьому пристрої зернова суміш із живильного бункера послідовно надходить на каскад ударних дек. Деки мають поперечний і поздовжній нахили

і розташовані так, що зернова суміш, випробувавши удар об одну, співударяється з нижче розташованою. Чим вище пружність зерна, тим більшу кількість ударів воно випробує в проміжку між поруч розташованими деками, і в результаті переміститься на більшу відстань уздовж поздовжньої осі від місця подачі. Зійшовши з верхньої деки, зерно під дією сили ваги знову набирає необхідну швидкість і вдаряється об деку, розташовану нижче, але вже зі зсувом від місця подачі на відстань, пропорційну, в остаточному підсумку, пружності зерна. Далі процес повторюється і у всіх інших, нижчерозташованих деках.

У нижній частині пристрою розташовані прийомні ємності, і найбільш пружні зерна, в остаточному підсумку, потрапляють у самий далекий від живильного пристрою приймач. Відповідно дроблені, щуплі й найменш пружні будуть потряпляти в ближні від живильника приймачі.

Однак в даному сепараторі кількість ударів часток суміші обмежена кількістю ударних поверхонь, в даному сепараторі їх чотири. Тому бажано розробити сепаратор в якому кількість ударів часток по поверхні що сепарує була б значно більшою.

Таким чином, у результаті багаторічної роботи дослідників і конструкторів були запропоновані різноманітні схеми й принципи пристроїв для сепарації насінневої суміші сільськогосподарських культур за пружністю методом удару по відбивній поверхні. Можна виділити чотири напрямки розробки таких машин:

– відбивні сепаратори, у яких придбання кінетичної енергії насінням до моменту удару відбувається за рахунок падіння під дією сили ваги з певної висоти: до цього типу відносяться більшість описаних вище пристроїв;

– машини з коливальним рухом робочих органів: пристрої з віброкамерою Н.І.Філінкова, віброфрикційні машини, які розроблені ХНТУСГ ім. П.Василенка – у них дека, по якій рухаються насіння, робить коливальні рухи в напрямку нормалі; відбивні столи (падді-машини);

– пристрої, що роблять розгін насінневого матеріалу повітряним потоком.

1.4. Використання ріпаку на корм в тваринництві

Ріпак є цінною олійною та кормовою культурою. Річне виробництво ріпаку в світі становить 50 мільйонів тонн [122-127]. Основні регіони виробництва ріпаку: Європа – 10 млн. тон на рік, Китай, Канада та Індія.

Кількість вирощуваного ріпаку з 1990-х років почала стрімко зростати. Якщо з 1980 року вироблялося близько 0,86 млн. тонн в рік, то з 1992 по 1994 щорічно вироблялося 2,77 млн. тонн.

Будучи джерелом харчової олії та одночасно кормового білка, ріпак займає важливе місце у вирішенні проблем протеїнового харчування тварин і птиці. Ріпаковий шрот і макуха є хорошими постачальниками мінеральних речовин. За вмістом кальцію, фосфору, міді, магнію і марганцю вони перевершують соєвий шрот. Доступність у них кальцію становить – 68 %, фосфору – 75 %, магнію – 62 %, марганцю – 54 %, цинку – 44 % [128-132].

Крім того, ріпаковий шрот містить значну кількість холіну, рибофлавіну, фолієвої кислоти, тіаміну, але менше пантотенової кислоти в порівнянні з соєвим шротом.

У Північнокавказькому НДІ тваринництва встановлено, що згодовування свиням ріпакового шроту замість соняшникового дозволило знизити витрату кормів на 1 кг приросту живої маси до 4,25 кг використання ріпакового шроту для годівлі дойних корів вигідне ще й тому, що він в 2 рази дешевше соєвого [124].

Продуктивність тварин залежить від їх годування та здорового утримання [204].

Для годування тварин використовується і ріпакова макуха в складі комбікормів, яка дозволяє підвищити молочну продуктивність корів та знизити витрати праці на одиницю продукції до 5...14 %

Склад і поживність ріпакової макухи.

Ріпакова макуха містить від 4 до 18 % сирого жиру. Через дуже велику варіабельність даного показника при закупівлі даної сировини дуже важливо знати, крім вмісту в партії сирого протеїну та сирій клітковини, також і вміст

сирого жиру. Якість сирого протеїну відповідає ріпаковому шроту, зміст його становить від 31 до 36 %, в залежності від вмісту сирого жиру (див. таблиця 1.5).

Таблиця 1.5 – Склад і поживність ріпаку, ріпакового шроту, ріпакової макухи. Орієнтовний вміст поживних речовин в насінні ріпаку, ріпаковому шроті та макусі в кг свіжої маси

Показник	Насіння ріпаку	Ріпакова макуха 15% СЖ	Ріпакова макуха 8% СЖ	Ріпаковий шрот з 00-ріпаку	Соєвий шрот
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Суша речовина, г	930,0	910,0	910,0	886,0	870,0
Обмінна енергія свині, МДж	19,08	13,16	11,71	10,23	13,01
Обмінна енергія птиці, МДж	18,00	10,86	8,96	7,67	8,89
Обмінна енергія ВРХ, МДж	15,88	12,89	11,71	10,5	11,97
Чиста енергія лактації, МДж	9,69	7,93	7,16	6,41	7,51
Сирий протеїн, г	210,00	309,40	336,70	349,00	448,00
nXP, г	94,85	149,88	160,31	192,93	269,82
RNB, г	18,42	25,52	28,22	24,97	28,51
UDP, %	20,00	15,00	15,00	35,00	35,00
Лізін, г	11,28	16,43	17,88	18,50	28,72
Метіонін, г	4,33	6,31	6,87	7,08	6,41
Метіонін + цистин, г	9,51	13,86	15,08	15,60	13,40
Треонін, г	8,90	12,96	14,11	14,59	18,28
Триптофан, г	2,63	3,81	4,14	4,29	5,69
Сирий жир, г	400,00	150,15	80,08	17,00	15,00
Полієнова кислота, г	180,40	40,88	40,88	5,15	8,00
Сира клітковина, г	70,00	111,93	122,85	124,00	62,00
БЕВ, г	204,32	268,20	300,05	321,00	283,00
Крохмаль, г	24,40	27,30	27,30	40,00	20,00
Цукор, г	46,97	34,58	40,95	77,00	84,00
Сира зола, г	45,75	70,32	70,32	75,00	62,00
Кальцій, г	3,72	6,1	7,46	6,10	2,70
Фосфор, г	6,40	10,4	11,56	10,50	6,10
Натрій, г	0,18	од	0,46	0,30	0,20
Калій, г	9,15	13,2	13,65	15,00	21,00
Глюкозинолатів, ммоль	макс.25	макс. 15	макс. 15	4,9	–

Популярність ріпакового шроту і макухи в годівлі тварин стала зростати після заборони на використання в годуванні тварин деякої сировини тваринного походження і пов'язаного з цим зростання цін на соєвий шрот.

На відгодівлі биків в раціонах з дуже високою концентрацією енергії соєвий шрот може бути повністю замінений ріпаковим шротом. Але при дуже високих приростах все ж таки не варто замінювати більше ніж 50 %.

Насіння ріпаку містить 40...50 % сирого жиру з високою часткою ненасичених жирних кислот. Через більш високий вміст сирого жиру концентрація енергії в ріпаку вище, ніж у повножирної сої. Ця різниця була б ще більш помітна, якби в насінні ріпаку оболонки не займали близько 18 %, що знижує перетравність органічної маси до 77 % (свині).

Вміст сирого протеїну, який за якістю не досягає рівня соєвого протеїну, становить близько 20 % (див. таблиця 1.5).

Через порівняно високий вміст сирої клітковини і не дуже високої якості білка ріпак використовується переважно в годуванні ВРХ. При цьому при складанні раціону потрібно звертати увагу на вміст сирого жиру, щоб запобігти спаду продуктивності.

Також в годівлі свиней та птиці подрібнене насіння ріпаку можна використовуватися в годуванні. Для свиней на відгодівлі введення насіння ріпаку в комбікорм не повинно перевищувати 10 %, оскільки інакше це призведе до негативних змін якості шпику.

У той же час доктор сільськогосподарських наук А.П. Лазаревич (Інститут сільського господарства Криму НААН) досліджуючи ріпак зробив такі висновки.

В умовах недостатньої якості заготовлених кормів рекомендуємо підвищувати енергетичну і протеїнову цінність раціонів для молочної худоби, додаючи борошно з насіння канолових сортів ріпаку озимого. Установлено, що згодовування коровам у період лактації 1,5 кг такого корму забезпечує підвищення виходу молока з 1 га посіву на 6,1 % порівняно з еквівалентним використанням екструдованої сої [125-130].

За обсягом виробництва, серед олійних культур, ріпак займає п'яте

місце у світі після сої, бавовнику, арахісу і соняшнику. Особливість складу ріпакового шроту і жмиху у тому, що його білок, як і соєвого, близький за складом до білка яєць і коров'ячого молока [131]. Автори публікацій в науково-технічних виданнях показали можливість застосування ріпакового жмиху і шроту певної якості в годівлі сільськогосподарських тварин і птиці [134-138].

Підвищити енергетичну поживність ріпакового шроту можна, якщо при переробці збільшити в ньому вміст залишкового жиру та змішувати з білково-вітамінними добавками. Теоретично доведено що застосування ріпакового жмиху замість соєвого шроту у годівлі бройлерів забезпечувало зниження вартості комбікормів на 7,2...13,6 % [131-133, 140-144].

Жмихи отримують при відтисканні олії на пресах із заздалегідь очищеного, подрібненого і підданого волого-тепловій обробці насіння олійних культур, а шрот – при екстрагуванні жмихів органічними розчинниками. Поживна цінність і хімічний склад продуктів переробки олійного насіння представлено в таблиці 1.6 [133, 136-138].

Таблиця 1.6 – Поживна цінність і хімічний склад комбікормової сировини

Комбікормовасировина	Соняшниковий		Соєвий		Ріпаковий	
	жмих	шрот	жмих	шрот	жмих	Шрот
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Кормові одиниці	1,09	1,04	1,25	1,19	1,1	0,9
Обмінна енергія,	1209	1121	1323	1247	1092	1113
Протеїн, %	37,2	37,8	34,8	36,0	27,7	29,5
Жир,%	7,5	2,0	7,2	1,0	9,0	2,3
Зола, %	7,2	6,8	5,7	6,0	6,2	7,4
Клітковина, %	12,7	14,1	5,3	6,5	13,0	12,0
Мінеральні речовини, г/кг						
Na	0,41	1,82	0,50	183	0,7	1,41
K	9,71	10,5	13,0	2,2	6,0	10,79
P	8,2	8,6	7,0	6,6	5,8	8,74
Ca	3,3	3,35	3,7	6,6	2,6	5,17
Амінокислотний склад,г/кг						
Лізин	13,1	13,8	24,2	27,8	15,8	16,9
Метионін	9,5	10,0	4,9	5,2	3,3	4,2
Дистин	5,9	6,3	5,9	5,7	13,2	15,3
Триптофан	5,5	5,8	5,7	5,7	5,3	6,1

Дані таблиці 1.6 показують що ріпаковий жмих і шрот по поживності практично не чим не відрізняються від соняшникового та соєвого, тому можуть ефективно використовуватись на корм тваринам і птиці.

Тому ріпак як культура потребує гарної підготовки до посіву та використання його насіння та складових до використання на тваринницьких, птахівницьких і інших фермах.

Враховуючи високі ціни на соєві і соняшникові жмих та шрот, а також зростаючий об'єм виробництва насіння ріпаку канолових сортів, вивчення поживної цінності комбікормів з додаванням продуктів переробки насіння ріпаку є актуальним та економічно вигідним для комбікормових підприємств.

Проведено експериментальні дослідження показників якості жмихів і шротів, одержаних в процесі переробки сої, соняшнику і ріпаку. Встановлено, що досліджувані зразки соєвого, соняшникового і ріпакового шротів повністю відповідають нормам згідно ГОСТ [136, 144-150].

Ріпак – широко поширена олійна культура. У насінні цієї культури кількість жиру досягає 40 %. В шроті, що отримується після екстракції олії з ріпакового жмиху, міститься 33...36 % сирого протеїну, амінокислотний склад якого аналогічний іншим видам шротів рослинного походження. За вмістом незамінної амінокислоти – лізину – ріпаковий шрот поступається соєвому, але перевершує соняшниковий [149, 150].

Ріпаковий жмих від шроту відрізняється вищим вмістом жиру (до 10...12 %) і внаслідок цього вищим рівнем обмінної енергії. Жмих, отриманий ріпаку, може бути використаний в раціонах курей в кількості до 7,5 % від маси корму [145].

В теперішній час продукти переробки насіння ріпаку стають одним з основних джерел протеїну в раціонах сільськогосподарських тварин, птиці і в кормах для риб. Цьому сприяє виведення нових сортів ріпаку що містять мінімальну кількість глюकोзинолатів. Біологічна цінність кормів із ріпаку може знижуватися внаслідок наявності глюकोзинолатів, які негативно впливають на метаболізм йоду і смак кормів. Згідно літературних даних

теплова обробка продуктів переробки насіння ріпаку (жмих, шрот) дозволяє суттєво знизити вміст в них глюкозинолатів. На сучасному етапі розвитку тваринництва, зокрема, в галузі вирощування свиней, зусилля спеціалістів спрямовуються на пошуки шляхів найбільш ефективного використання кормів, які за вартістю складають 2/3 затрат на виробництво свинини. Як видно з літературних даних, використання комбікорму з ріпаковим шротом для беконної відгодівлі свиней на заключній стадії відгодівлі може збільшуватися до 25 % (за масою раціону) [134-138].

На рис. 1.11 представлена технологічна схема підготовки кормосумішей з використанням ріпаку, на якій показана перша обробка – очищення ріпаку від домішок.

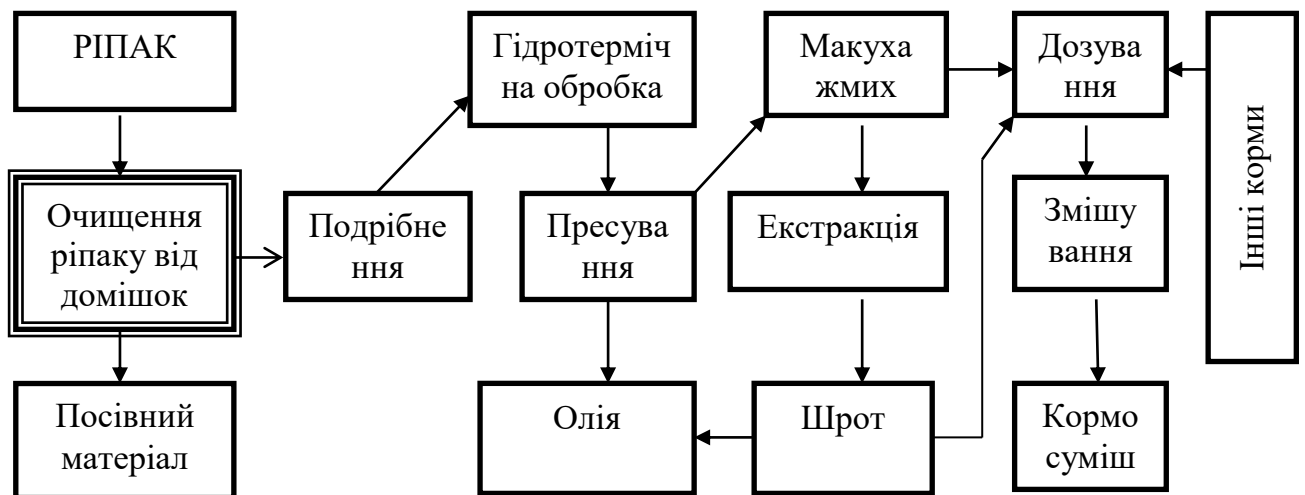


Рисунок 1.11 – Технологічна схема підготовки кормосумішей з використанням ріпаку

Крім того, перед посівом насіння ріпаку також очищають від домішок. Тому дисертаційна робота має універсальне значення і результати роботи можуть бути використані в галузях рослинництва і тваринництва АПК держави.

1.5. Аналіз теоретичних досліджень процесу взаємодії зерна з ударною поверхнею

Для сепарації зернових сумішей в яких процес здійснюється за рахунок удару пружних тіл з поверхнею, що сепарує, використовуються ударні

сепаратори або сепаратори з вібраційними неперфорованими поверхнями. Сепарація зернових сумішей на ударних та вібруючих поверхнях здійснюється якщо траєкторії та швидкості переміщення зерна різні. Найкращий ефект сепарації досягається якщо траєкторії відмінні не тільки за величиною, а і за напрямом. Тобто основною задачею теоретичного дослідження процесу сепарації зернових сумішей є визначення швидкостей та напрямків переміщення компонентів, а також траєкторій їх руху по робочим поверхням сепараторів.

В основу теорії процесу віброударної сепарації покладені закономірності руху переміщення частинки, ідеалізованої у вигляді матеріальної точки. Дослідження такої моделі дозволило розглянути сутність явища віброударної сепарації та визначити ступінь впливу на нього різних факторів.

Однак для більшості важливих задач модель у вигляді матеріальної точки є досить спрощеною. Реальні частинки відрізняються різноманітністю форм та іншими показниками, які характеризують тверде тіло, наприклад, момент інерції, положення центра мас тощо.

Віброударна сепарація таких частинок розглядається як переміщення твердих тіл.

Питанням моделювання технологічних процесів та підвищення ефективності розділення зернових сумішей присвячені роботи багатьох вітчизняних авторів: Н.Н.Блехмана, Г.Ю.Джанелідзе [153], П.М.Заїки [35, 156, 157], М.П.Василенка [154], В.І.Бабицького [174], Я.Г.Пановко [163], А.Е.Кобринського и А.А.Кобринського [50], В.Гольдсмита [159], Д.А.Плиса [179], Я.Г.Пановко [163], Г.Д.Терскова [38], О.І.Завгороднього [169], Ю.А.Манчинського [53], О.В.Богомолова [99, 120], О.В.Козаченка [57], В.В.Бакума [43], М.В.Бакума [74], В.М.Лукьяненко [47], Б.І. Котова [45], Л.Г.Жмая [46], І.Д.Харука [62] та іноземних вчених Al-Sandouk J.M. [210], Gunaji A.S. [214], Zhanfu Li. Xin Tong [216], Mohammad H.A. [217], Mohammad S.E. [218], Hutter K., Rajagopal K.R. [221].

В роботі [153] досліджено режими руху матеріальної точки та знайдено області режимів в яких вони здійснюються. В цій же роботі показано, що віброударне переміщення об'ємних частинок кулеподібної форми на відміну від частинок ідеалізуємих у вигляді точки не може здійснюватися вгору по похилій віброуючій поверхні, такі частинки завжди скочуються вниз.

В монографіях [156] досліджені різні режими руху матеріальної точки стосовно віброударної сепарації зернових сумішей. В роботі [157] розглянуто також просторовий рух матеріальної точки по плоскій віброударній поверхні.

В роботі [44] розглянуті періодичні режими руху частинок у вигляді трикутника, квадрата і оживала при цьому віброударні коливання здійснюються в площині поперечного перерізу цих частинок.

В роботі [53] з метою уточнення впливу геометричних характеристик поперечного перерізу розглянуто рух частинок, форма поперечного перерізу яких може бути апроксимована колом або правильним багатокутником, але центр тяжіння частинки не співпадає з геометричним центром тіла.

В роботі [57] показано дослідження впливу повітряного потоку на процес віброударної сепарації для випадку прямолінійних гармонічних коливань поверхонь. Показано, що враховувати вплив повітряного потоку на процес сепарації доцільно тільки для дрібнозернистих сумішей, наприклад, насіння тютюну та махорки.

В монографії [50] розглянуті одномасові та багатомасові моделі віброударного руху. Дослідження присвячені пошукам періодичного руху вказаних систем. Сформульовані умови періодичності руху, отримані області стійкості періодичних режимів. Показано, що для встановлення режиму, близького до періодичного достатньо відтворити лише кілька коливань системи. Результати, отримані для одно масових систем (наприклад «куля на віброуючій площині», «рух кулі по гармонійному профілю» та інш.), легко інтерпретується для процесу сепарації, якщо рух насіння відбувається у відповідному режимі.

Віброударні одно масові моделі розглядалися також в роботах [106,

212]. Описаний двоударний режим руху часток між двома коливальними поверхнями у разі, коли форми цих поверхонь задаються загальними рівняннями. Результати робіт можна застосувати для дослідження багатьох коливальних систем, якщо ввести в розгляд конкретні рівняння поверхонь.

В роботі [109] досліджено періодичний рух кулі та матеріальної точки по дузі кола і таутохроні (перевернутій циклоїді), які здійснюють гармонійні коливання. Показано існування періодичних режимів руху частинок, які відповідають періоду коливань несучої кривої.

Питання ударної взаємодії частинок як твердих тіл розглядалися у багатьох роботах вітчизняних [162, 163, 170, 174, 175] та іноземних вчених [69, 70, 213, 220]. При цьому удар вважався миттєвим, а зміна нормальної складової швидкості руху визначалась відповідно до гіпотези Ньютона, яка справедлива в досить вузькому діапазоні значень нормальних складових відносних швидкостей центрального спіударіння твердих тіл.

Внаслідок того, що центр мас тіла під час удару не співпадає з точкою приложення імпульсу, а імпульс що діє на тіло під час удару має як нормальну так і дотичну складову воно набуває обертового руху. Тобто коефіцієнт відновлення швидкості під час удару залежить від дотичної та нормальної складових швидкості та форми самого тіла. Тому значення коефіцієнта відновлення швидкості під час удару може бути визначено тільки в результаті проведеного експерименту.

В розглянутих роботах недостатньо повно розглянуті питання залежності критичного кута нахилу ударної поверхні, кута піднесення та траєкторій руху насіння від їхніх пружних властивостей.

Під пружністю насіння, як і інших тіл, розуміють їх властивість відновлювати свою первинну форму. Однак більшістю дослідників [6, 43, 47, 57, 62, 75, 89-92, 118, 201] пружність насіння оцінюється за допомогою коефіцієнта відновлення швидкості при ударі, який визначається, як відношення швидкості насіння після удару до швидкості до удару, або, без урахування опору повітря, як корінь з відношення висоти підскоку насіння до

висоти падіння без початкової швидкості.

В обох випадках метод визначення пружних властивостей насіння є непрямим і недостатньо точним, оскільки на коефіцієнт відновлення швидкості істотно впливає форма насіння, а на дальність відскоку – ще і коефіцієнт миттєвого тертя при ударі. Крім того, пружність насіння істотно впливає на процеси сепарації практично всіх сепаруючих машин, особливо вібраційних, так як вони працюють в динамічному режимі, що допускає безпосередній контакт зерна з вібруючими або ударними деками.

В роботі [99] для оцінки параметрів зіткнення зерна і ударної поверхні був запропонований інструментальний метод визначення коефіцієнта відновлення швидкості при ударі і створена установка для його визначення. Метод полягає в навантаженні-розвантаженні зерна, вимірі при цьому величина стиснення та величини зминання зерна, побудови за цими даними графіка лінеаризованих навантаження-розвантаження і обчисленні коефіцієнта відновлення вирішуючи спільно рівняння регресії навантаження $F = ax_1 + b_1$, ($b = 0$) і рівняння регресії розвантаження $F = ax_2 + b_2$, де a_1 і a_2 коефіцієнти регресії що, мають розмірність жорсткості, F – стискаюча сила; x – деформація, b – відстань по осі ординат від нуля до точки перетину кривою розвантаження.

Недоліком цього методу є необхідність графічних побудов кривих навантаження-розвантаження, їх лінеаризації і отриманні при цьому похибок при визначенні коефіцієнта відновлення швидкості при ударі і оцінки в подальшому можливості сепарації насіння за пружним властивостям.

У всіх згаданих роботах не розглянуті також питання урахування під час удару сили тяжіння падаючого тіла.

Не розглядались також питання можливості переходу задемфованої коливальної системі в осцилятор при механічному ударі падаючим тілом, що добре спостерігається у початковій момент подачі зерна на робочу ударну поверхню сепаратора.

Висновки за розділом 1

Аналіз сучасного стану технічного процесу очистки ріпаку, а насінневого матеріалу так і його використання на корм дозволяє зробити висновки:

1. Застосовані технології і способи очищення насінневого матеріалу ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок не забезпечують високої ефективності сепарації. Найбільші труднощі викликає виділення насіння підмаренника, пікульника, круглеця, курячого проса, горця, мишию, склероцій білої гнилі.

2. Підвищення ефективності процесу сепарації насіння ріпаку за пружними властивостями слід здійснювати шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора і більш спрямованої зміни за рахунок цього траєкторій руху частинок суміші в робочому органі сепаратора.

3. Серед фізико-механічних властивостей насіння ріпаку і важковідокремлюваних бур'янистих рослин найбільші відмінності спостерігаються у їхній пружності.

4. Сепарація насінневої суміші за пружністю здійснюється за допомогою удару по відбивній поверхні і послідуочого поділу компонентів за відмінністю в траєкторіях їх руху. Процес сепарації на відбивних поверхнях вивчений недостатньо, що знижує можливості вдосконалення способу і пристроїв для його здійснення.

5. Віброударної сепарації зернових сумішей в тому числі ударної, присвячена велика кількість робіт. Їх аналіз показує, що в більшості робіт метод визначення пружних властивостей зерна є непрямим і недостатньо точним, незважаючи на те, що в одній з них запропонований і інструментальний метод.

6. У літературних джерелах не розглянуті також питання обліку під час удару сили тяжіння падаючого тіла, а також питання можливості переходу задеміфрованої хитається в осцилятор при механічному ударі падаючим

тілом.

7. Використання в тваринництві жмиху та шроту озимого ріпаку забезпечує підвищення виходу продукції і зниження витрат праці на одиницю продукції до 5...14 %.

Найбільш ефективним напрямком процесу сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків є удосконалення гравітаційних багатоярусних ударних сепараторів.

На основі вищевикладеного визначено наступні задачі досліджень:

1. Провести аналіз існуючих технологій, технічних систем та способів сепарації насіння ріпаку і використання його як корму для тварин і птиці.

2. Вивчити фізико-механічні властивості насіння ріпаку і бур'янистих домішок за відмінностями у пружних властивостях.

3. Дослідити закономірності процесу сепарації насіння суміші ріпаку за пружними властивостями, провести теоретичні дослідження пружних характеристик насіння ріпаку та розробити аналітично-експериментальний метод визначення ефективної пружності матеріалів насінин близьких по формі до куль.

4. Розробити математичну модель взаємодії параболоїдних деформівних тіл, до яких можна віднести насіння ріпаку, при їх падінні на ударну сепаруючу поверхню та можливість її переходу в осцілятор.

5. Провести моделювання процесу сепарації насіння ріпаку на похилих в продольно-поперечному напрямку ударних деках багатоярусного ударного сепаратора.

6. Розробити спосіб очищення насіння ріпаку від бур'янистих домішок за пружними властивостями, обґрунтувати конструктивні та технологічні параметри багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку, провести виробничі випробування та визначити його економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЄВИХ СУМІШЕЙ ЗА ПРУЖНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

2.1. Визначення ефективного модуля пружності матеріалу зернівки кулястої форми

Незважаючи на те, що пружні властивості матеріалу зернівок використовують у багатьох методах їх сепарування на сьогодні обмаль інформації про пружні властивості зернових матеріалів [6, 43-49, 99], бо їх визначення становить певні труднощі. Із-за малих розмірів насіння, традиційні методи, з використанням розривно-стискальних машин, непридатні крім окремих спеціальних методів. Один із них запропоновано в [99]. Тут будемо використовувати інший спосіб, що базується на інших теоретичних засадах.

Метою цього способу є розробка аналітично-експериментального методу визначення ефективного модуля пружності матеріалів зернин, близьких по формі до куль.

Для досягнення поставленої мети будемо використовувати класичний розв'язок контактної задачі теорії пружності про взаємодію кулі з абсолютно жорстким тілом.

Ефективним модулем пружності матеріалу E_e вважаємо характеристику:

$$E_e = \frac{E}{1 - \mu^2},$$

де E , μ – відповідно модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона цього матеріалу.

Розглядаємо статичне вдавлювання вертикальною силою P пружної кулі радіуса R_3 у абсолютно жорсткий півпростір, що має сферичну лунку радіуса R_1 . Тут враховуємо, що модуль пружності зерна значно менший, ніж модуль пружності металу. Схема навантаження показана на рис. 2.1.

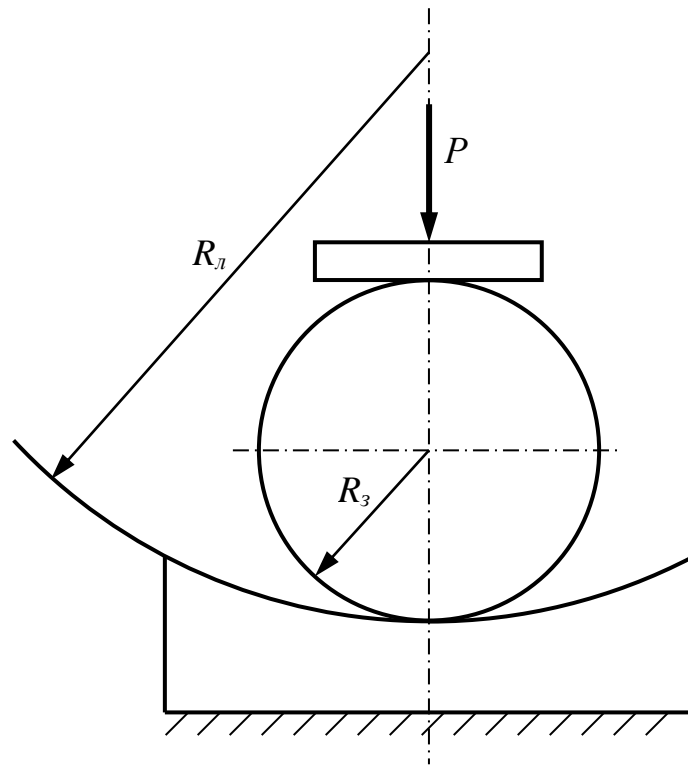


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема стискання зерна

Внаслідок стискання тіл, пофарбована куля залишить в лунці відбиток, який приймаємо за круг радіуса a . Цей радіус області контакту можна обчислити за формулою [158]:

$$a = \left(\frac{3 PR}{4 E_e} \right)^{1/3}, \quad (2.1)$$

де $R = \frac{R_3 R_\lambda}{R_\lambda - R_3}$.

Із (2.1) випливає, що:

$$E_e = \frac{3PR}{4a^3}. \quad (2.2)$$

Формула (2.2) дає можливість обчислити E_e , а потім і модуль Юнга $E = E_e(1 - \mu^2)$, коли відомі P , R , a , μ .

Зазначимо, що результати обчислень E_e по формулі (2.2) чутливі до точності виміру a . Якщо при вимірюванні допущена абсолютна похибка Δa , то абсолютна похибка ΔE_e становить:

$$\Delta E_e = \frac{3PR}{4} \left(\frac{1}{(a + \Delta a)^3} - \frac{1}{a^3} \right) \approx -E_e \frac{3a \cdot \Delta a}{(a + \Delta a)^2}.$$

При цьому відносна похибка визначення E_e дорівнює:

$$\delta = \left| \frac{\Delta E_e}{E_e} \right| 100\% \approx 300 \cdot \frac{a|\Delta a|}{(a + \Delta a)^2} \%, \quad (2.3)$$

Наприклад, якщо $\Delta a = 0,1a$, то згідно з (2.3) $\delta \approx 25\%$.

Отже викладений спосіб потребує високоточного виміру a , що є непростою експериментальною задачею.

Крім розглянутого статичного варіанту можна реалізувати і динамічний варіант визначення E_e . Він полягає у вертикальному скиданні кулястого зерна масою m з висоти h на горизонтальну металеву плиту. Виміру підлягає максимальний радіус кругової площадки r , що утворюється при ударній взаємодії двох тіл r . У відповідності з теорією удару, що запропонована Г.Герцем, цей розмір можна обчислити за формулою [159-162]:

$$r = \left(\frac{15mghR_3^2}{8E_e} \right), \quad (2.4)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Розв'язавши (2.4) відносно E_e , одержуємо:

$$E_e = \frac{15mghR_3^2}{8r^5}. \quad (2.5)$$

Ця формула дає можливість знайти ефективний модуль пружності, коли відомі m , h , R_3 , r .

Як і в статичному способі, точність визначення E_e по формулі (2.5) теж суттєво залежить від точності виміру розміру r . Коли абсолютна похибка заміру дорівнює Δr , то:

$$\Delta E_e = \frac{15mghR_3^2}{8} \left[\frac{1}{(r + \Delta r)^5} - \frac{1}{r^5} \right] \approx E_e \left[-5 \frac{r^3(r + 2\Delta r)\Delta r}{(r + \Delta r)^5} \right].$$

Відносна похибка:

$$\delta \approx 500 \frac{r^3(r + 2\Delta r)|\Delta r|}{(r + \Delta r)^5} \%.$$

Якщо $\Delta r = 0,1r$ то $\delta \approx 38 \%$. Отже динамічний спосіб визначення E_e потребує більш точного виміру розміру області контакту, ніж статичний.

Залежність точності методу від результатів експерименту можна послабити, якщо вимірювати не розмір зони контакту, а абсолютне стискання зерна γ . Його доводиться також вимірювати і в способі, що запропонований в [99]. Якщо проводити стискання зерна двома жорсткими пластинами, як показано на рисунку, то згідно з теорією Г.Герца [159]:

$$\gamma = \gamma_1 + \gamma_2 = \left(\frac{3P}{4E_e} \right)^{2/3} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{R}} + \frac{1}{\sqrt[3]{R_3}} \right).$$

Тоді:

$$E_e = \frac{3P}{4\gamma^{3/2}} \left(\frac{1}{\sqrt[3]{R}} + \frac{1}{\sqrt[3]{R_3}} \right)^{3/2}. \quad (2.6)$$

При абсолютній похибці вимірювання $\Delta\gamma$ маємо:

$$\Delta E_e = E_e \frac{\gamma^{3/2} - (\gamma + \Delta\gamma)^{3/2}}{(\gamma + \Delta\gamma)^{3/2}},$$

а відносна похибка становить:

$$\delta = \left| \frac{\gamma^{3/2} - (\gamma + \Delta\gamma)^{3/2}}{(\gamma + \Delta\gamma)^{3/2}} \right| \cdot 100 \%.$$

Так при $\Delta\gamma = 0,1\gamma$ $\delta \approx 38 \%$, що менше, між у попередніх способах.

Розглянемо приклади використання отриманих вище формул.

Припустимо, що зерно радіуса $R_3 = 0,003$ м статично навантажено силою $P = 10$ Н і при радіусі лунки $R_l = 0,04$ м радіус площадки контакту $a = 5 \cdot 10^{-4}$ м. Для цих числових даних: $R \approx 0,00324$ м. обчислення по формулі (2.2) дає $E_e \approx 1,944 \cdot 10^8$ Па. Якщо при вимірюванні буде допущена похибка $\Delta a = 0,05$ мм, то при $a = 5,5 \cdot 10^{-4}$ м $E_e \approx 1,461 \cdot 10^8$ Па, а при $a = 5,4 \cdot 10^{-4}$ м $E_e \approx 2,449 \cdot 10^8$ Па, тобто маємо суттєву розбіжність результатів. Ця розбіжність буде ще більшою при використанні динамічного способу визначення модуля.

В іншому прикладі приймемо при $R_3 = 0,003$ м; $R_l = 0,04$ м; $P = 2$ Н,

$\gamma = 5,1 \cdot 10^{-5}$ м. Тоді, як і раніше, $R \approx 0,00324$ м. підставивши вказані числа в формулу (2.6), отримуємо $E_e \approx 2,086 \cdot 10^8$ Па. Якщо ж $\gamma = 5,2 \cdot 10^{-5}$ м, то $E_e \approx 2,027 \cdot 10^8$ Па, а при $\gamma = 5,0 \cdot 10^{-5}$ м $E_e \approx 2,149 \cdot 10^8$ Па. Тут зміна значень γ менше впливає на результати обчислень E_e .

Викладений спосіб визначення ефективного модуля пружності матеріалу зернівки кулястої форми ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності. Тому, з метою запобігання пластичних деформацій, в експерименті зерна повинні піддаватись малим навантаженням.

2.2. Ударна взаємодія твердого тіла з пружним півпростором

Задачі ударної взаємодії параболоїдних деформівних тіл до яких можна віднести насіння ріпаку, гороху, сої та інших культур з іншими масивними пружними тілами виникають при дослідженні падіння їх на сепаруючу поверхню. Така ж саме задача виникає при падінні на дно платформи транспортного засобу при збиранні та транспортуванні плодів та овочів деяких сільськогосподарських культур, наприклад яблук, кавунів, динь, капусти та ін. які мають таку форму [99]. Ударна взаємодія плодів, овочів, зерна з іншими твердими тілами призводить до їх травмування, що скорочує термін їх зберігання та придатності для споживання. Тому вивчення динамічних навантажень, яким піддаються насіння плоди та овочі при ударах з невеликими швидкостями зіткнення, становить науково-практичний інтерес.

Для розв'язання цієї задачі можна використовувати класичну теорію удару, запропоновану Герцем, яка дає можливість визначити місцеві деформації та контактні напруження, без урахування хвильових процесів. Ця теорія висвітлена в багатьох публікаціях, зокрема в [162-168]. Але вона не враховує додаткових динамічних навантажень на тіла, спричинених дією ваги падаючого тіла, тобто в ній ідеться про горизонтальний удар. В умовах

вертикального удару з невеликою швидкістю зіткнення доводиться враховувати, також дію ваги тіла, що вдаряє. Тому далі будемо розв'язувати задачу в узагальненій постановці.

Виведення та апробація формул для обчислення основних параметрів ударної взаємодії параболоїдного важкого тіла з іншим пружним тілом великої маси (півпростором) якою є сепаруюча поверхня при вертикальному падінні з малої висоти, має важливе значення при теоретичних дослідженнях стосовно того чи враховувати силу тяжіння під час удару, чи нею можна знехтувати.

Масу тіла, що піддається удару, вважаємо нескінченною його приймаємо за пружний півпростір, утворений горизонтальною площиною. Контактне зближення тіл після зіткнення $x = x(t)$ описуємо диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{x} = mg - \beta x^{3/2}, \quad (2.7)$$

у якому:

$$\beta = \frac{4\sqrt{R_1}}{3Q} \frac{\left(1 + 3\varepsilon^2/8 + 15\varepsilon^4/64\right)^{1/2}}{\left(1 + \varepsilon^2/4 + 9\varepsilon^4/64 + 25\varepsilon^6/256\right)^{3/2}};$$

$$Q = \frac{1 - \mu^2}{E} + \frac{1 - \mu_{II}^2}{E_{II}}; \quad (2.8)$$

$$\varepsilon^2 = \sqrt{\frac{16\left(5 + R_2/R_1\right)^2}{9\left(3 + R_2/R_1\right)^2} + \frac{64\left(1 - R_2/R_1\right)}{3\left(3 + R_2/R_1\right)} - \frac{4\left(5 + R_2/R_1\right)}{3\left(3 + R_2/R_1\right)},}$$

де m – маса тіла, що вдаряє; E , μ – його модуль пружності та коефіцієнт Пуассона; $R_1 \geq R_2$ – головні радіуси кривини поверхні тіла в зоні контакту з півпростором; E_{II} , μ_{II} – модуль пружності та коефіцієнт Пуассона півпростору; g – прискорення вільного падіння; крапка над x означає похідну за часом t .

Формула (2.8) наближена. Вона одержана в результаті заміни повних еліптичних інтегралів першого та другого роду частковими сумами їх

степеневих рядів:

$$K(\varepsilon) \approx \frac{\pi}{2} \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{4} + \frac{9\varepsilon^4}{64} + \frac{25\varepsilon^6}{256} \right); \quad L(\varepsilon) \approx \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon^2}{4} - \frac{3\varepsilon^4}{64} - \frac{5\varepsilon^6}{256} \right).$$

Похибка формули (2.8) при $R_2 \geq 0,5R_1$ знаходиться в межах 5 % і дорівнює нулю, коли $R_2 = R_1$.

Рівняння (2.7) відрізняється від рівняння класичного варіанту теорії пружного удару наявністю додатка mg , що вносить певні зміни у розв'язок, який будемо при початкових умовах:

$$x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = v, \quad (2.9)$$

де v – швидкість зіткнення тіл.

Якщо падіння відбувається з висоти h , то $v = \sqrt{2gh}$.

Для одержання формули швидкості руху, рівняння (2.7) подаємо у вигляді:

$$\dot{x}dx = \left(g - \frac{\beta}{m} x^{3/2} \right) dx. \quad (2.10)$$

Проінтегрувавши (2.10), з урахуванням (2.9), отримуємо:

$$\frac{dx}{dt} = v \sqrt{1 + \frac{2g}{v^2} x - \frac{4}{5} \frac{\beta}{mv^2} x^{5/2}}. \quad (2.11)$$

Звідси впливає рівняння для обчислення максимального зближення тіл γ при ударі:

$$1 + \frac{2g}{v^2} \gamma - \frac{4}{5} \frac{\beta}{mv^2} \gamma^{5/2} = 0. \quad (2.12)$$

Корінь цього трансцендентного рівняння доводиться визначити числовими методами.

Так за ітераційною формулою Ньютона [164]:

$$\gamma_{n+1} = \frac{v^2 + \frac{6}{5} \frac{\beta}{m} \gamma_n^{5/2}}{2 \left(\frac{\beta}{m} \gamma_n^{3/2} - g \right)}, \quad n = 1, 2, \dots \quad (2.13)$$

Умовою використання (2.13) є нерівність:

$$\frac{\beta}{v} \gamma_n^{3/2} - g > 0,$$

тобто корінь рівняння (2.12) має бути простим і додатнім.

За початкове наближення доцільно брати:

$$\gamma_1 = \left(\frac{5m}{4\beta} v^2 \right)^{2/5}. \quad (2.14)$$

Саме таке значення γ дає класична теорія [162, 163].

Замість (2.13) для проведення ітерацій, можна також використовувати рекурентне співвідношення:

$$\gamma_{n+1} = \left[\frac{5m}{4\beta} (v^2 + 2g\gamma_n) \right]^{2/5}, \quad n = 1, 2, \dots, \quad (2.15)$$

яке впливає з (2.11).

При $g = n = 0$ формула (2.15) переходить в (2.14).

Згідно з (2.11), час ударної взаємодії t_y подається інтегралом:

$$t_y = \frac{2}{v} \int_0^\gamma \frac{dx}{\sqrt{1 + \frac{2gx}{v^2} - \frac{4\beta}{5mv^2} x^{5/2}}}. \quad (2.16)$$

Переходом до нової змінної інтегрування $y = x/\gamma$ виразу (2.16) надаємо

вигляд:

$$t_y = \frac{2\gamma}{v} I(\lambda),$$

$$\text{де } I(\lambda) = \int_0^1 \frac{dy}{\sqrt{1 - y^{5/2} + \lambda y(1 - y^{3/2})}}, \quad \lambda = \frac{2g\gamma}{v^2} = \frac{\gamma}{h}.$$

Інтеграл $I(\lambda)$ не виражається в елементарних функціях

Тому для обчислень t_y доводиться використовувати лінійну інтерполяцію та спеціально складену табл. 2.1 $I(\lambda)$.

Значення $I(0) \approx 1,4716$ відповідає класичному варіанту теорії Герца [159].

Таблиця 2.1 – Значення $I(\lambda)$

λ	$I(\lambda)$	λ	$I(\lambda)$	λ	$I(\lambda)$
0	1,4716	0,15	1,4272	0,40	1,3624
0,005	1,4701	0,20	1,4134	0,45	1,3506
0,01	1,4685	0,25	1,4000	0,50	1,3391
0,05	1,4563	0,30	1,3870	0,55	1,3280
0,10	1,4415	0,35	1,3745	0,60	1,3172

Зазначимо, що $I(\lambda)$ це збіжний невласний інтеграл другого роду і при його комп'ютерних обчисленнях треба виділити сингулярність у підінтегральної функції, яку вона має при $y = 1$.

Користуючись (2.16) можна записати інтегральне подання:

$$t_{yn} = \frac{2}{v} \int_0^{\gamma} \frac{dx}{\sqrt{1 + \lambda - \frac{4\beta}{5mv^2} x^{5/2}}} \quad (2.17)$$

для оцінки знизу часу контактної взаємодії t_{yn} .

Інтеграл в (2.17) виражається через відому спеціальну функцію. Щоб одержати цей вираз формулі (2.17) надаємо вигляд:

$$t_{yn} = \sqrt{\frac{5m}{\beta}} \int_0^{\gamma} \frac{dx}{\sqrt{\alpha^{5/2} - x^{5/2}}},$$

$$\text{де } \alpha = \left(\frac{5mv^2(1 + \lambda)}{4\beta} \right)^{2/5}.$$

Далі вводимо допоміжну змінну інтегрування $u = x/\alpha$. Тоді:

$$t_{yn} = \sqrt{\frac{5m}{\beta\sqrt{\alpha}}} \int_0^{\gamma/\alpha} \frac{du}{\sqrt{1 - u^{5/2}}}.$$

Наступним перетворенням: $u^{5/2} = \xi$; $u = \xi^{2/5}$; $\frac{5}{2}u^{3/2}du = d\xi$,

$du = \frac{2}{5}u^{-3/2}d\xi = \frac{2}{5}\xi^{-3/5}d\xi$, одержуємо:

$$t_{yn} = \frac{2\sqrt{m}}{\sqrt{5\beta\sqrt{\alpha}}} \int_0^w \frac{d\xi}{\xi^{3/5}(1-\xi)^{1/2}}, \quad (2.18)$$

де $w = \left(\frac{\gamma}{\alpha}\right)^{5/2}$.

У підсумку (2.18) зводимо до:

$$t_{yn} = \frac{2\sqrt{m}}{\sqrt{5\beta\sqrt{\alpha}}} B_w\left(\frac{2}{5}; \frac{1}{2}\right).$$

Тут $B_w\left(\frac{2}{5}; \frac{1}{2}\right)$ – неповна бета-функція [88, 89].

Якщо не враховувати дію сили ваги, то $\lambda = 0$; $\alpha = \gamma$; $w = 1$; $\beta = \frac{5mv^2}{4\gamma^{5/2}}$;

$\frac{2\sqrt{m}}{\sqrt{5\beta\sqrt{\alpha}}} = \frac{4\gamma}{5v}$. Неповна бета-функція стає повною і виражається через

затабульовані Гама-функції $\Gamma(z)$. Тому:

$$t_{yn} = \frac{4\gamma}{5v} \frac{\Gamma\left(\frac{2}{5}\right)\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{2}{5} + \frac{1}{2}\right)}.$$

Оскільки: $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right) = \sqrt{\pi}$; $\Gamma(0,4) \approx 2,21825$; $\Gamma(0,9) \approx 1,06867$, то:

$$t_{yn} = 1,4716 \frac{2\gamma}{v}.$$

Це значення t_{yn} дорівнює t_y , яке одержали раніше за допомогою таблиці при $\lambda = 0$. У випадку $\lambda = 0$ нижня оцінка дає точне значення t_y , а при інших λ $t_{yn} < t_y$.

Обчисливши γ , далі нескладно знайти максимум сили контактної взаємодії P_{\max} , бо:

$$P_{\max} = \beta\gamma^{3/2}.$$

При цьому максимумами півосей еліптичної області контакту становлять:

$$a_{\max} = \left[\frac{3}{4} Q P_{\max} R_1 \left(1 + \frac{3}{8} \varepsilon^2 + \frac{15}{64} \varepsilon^4 \right) \right]^{1/3}; \quad b_{\max} = a_{\max} \sqrt{1 - \varepsilon^2},$$

а максимальний тиск q_{\max} в центрі цієї області дорівнює:

$$q_{\max} = \frac{3P_{\max}}{2\pi a_{\max} b_{\max}}.$$

Для проведення розрахунків приймаємо вихідні дані найбільш показові для деяких відів овочів, плодів та зерна, наприклад гарбуз, яблуко, насіння ріпаку. Для гарбуза вихідні дані приймаємо: $R_1 = 0,3$ м; $R_2 = 0,174$ м; $m = 12$ кг; $E = 2 \cdot 10^6$ Па; $\mu = 0,5$; $E_n = 5 \cdot 10^8$ Па; $\mu_n = 0,45$; $v = 0,5$ м/с. Для цих даних: $\varepsilon^2 = 0,534$; $Q = 3,766 \cdot 10^{-7}$ Па; $\beta = 1,685 \cdot 10^6$ м^{1/2}/Па. Початкове наближення $\gamma_1 = 0,00548$ м. Ітераціями по формулі (2.13) одержуємо: $\gamma_2 = 0,00662$; $\gamma_3 = 0,00646$; $\gamma_4 = 0,00646$ м. За ітераціями по формулі (2.15) маємо; $\gamma_2 = 0,00633$; $\gamma_3 = 0,00644$; $\gamma_4 = 0,00646$ м. Отже, збіжність ітерацій по формулі (2.13) дещо швидша, ніж по (2.15). Приймавши $\gamma = \gamma_4$, знаходимо, що: $\lambda = 0,5070$; $I(\lambda) = 1,3375$; $t_y = 0,0346$ с; $P_{\max} = 874,880$ Н; $a_{\max} = 0,0455$ м; $b_{\max} = 0,0311$ м; $q_{\max} = 295201$ Па. Якщо проводити розрахунки за класичними варіантом теорії, без урахування ваги падаючого тіла, то одержано: $t_y = 0,0323$ с; $P_{\max} = 683,551$ Н; $a_{\max} = 0,0419$ м; $b_{\max} = 0,0286$ м; $q_{\max} = 272353$ Па. Ці числові результати менші за попередні, причому різниця максимумів зусиль $\Delta P_{\max} = 191,329$ Н, тобто вона суттєво більша ваги тіла, що вдаряє $mg = 117,72$ Н. Це є наслідком нелінійності розглянутої задачі.

Аналогічно виконаємо розрахунки для яблука та ріпаку.

Вихідні данні для яблука з урахуванням дії сили гравітації: $m = 110 \cdot 10^{-3}$ кг; $R = 0,03$ м; $\mu = 0,5$; $E = 2 \cdot 10^6$ Па; $v = 0,5$ м/с. Для цих даних $Q = 0,377 \cdot 10^{-6}$ Па; $\beta = 6,126 \cdot 10^5$ м^{1/2}/Па. Одержуємо $\gamma_1 = 0$; $\gamma_2 = 0,00126$; $\gamma_3 = 0,001306$; $\gamma_4 = 0,001308$; $\gamma_5 = \gamma_4$; $P_{\max} = 28,979$ Н; $a_{\max} = b_{\max} = 0,006264$ м; $q_{\max} = 3526316$ Па. Без урахування сили гравітації отримаємо $\gamma = 0,00126$; $P_{\max} = 27,399$ Н; $a_{\max} = b_{\max} = 0,006148$ м; $q_{\max} = 3460751$ Па.

Вихідні данні для насіння ріпаку з урахуванням дії сили гравітації: $m = 5 \cdot 10^{-6}$ кг; $R = 0,001$ м; $E = 0,61 \cdot 10^9$ Па; $\mu = 0,45$; $v = 0,5$ м/с; $E_n = 5 \cdot 10^8$ Па; $\mu_n = 0,45$. Отже отримуємо $Q = 2,911 \cdot 10^{-9}$ Па; $\beta = 6,126 \cdot 10^5$ м^{1/2}/Па; $\gamma_1 = 0$;

$\gamma_2 = 0,000006504$; $\gamma_3 = 0,000006505$; $\gamma_4 = \gamma_3$; $P_{\max} = 0,240$ Н; $a_{\max} = b_{\max} = 0,0000807$ м;
 $q_{\max} = 175956598$ Па та без урахування сили гравітації: $\gamma = 0,000006504$;
 $P_{\max} = 0,240$ Н; $a_{\max} = b_{\max} = 0,0000807$ м; $q_{\max} = 175956598$ Па.

Тобто отримані дані свідчать, що з урахуванням гравітації максимум обчисленої сили удару для таких тіл як гарбуз збільшується на 28 %, для яблука на 5,77 %, а для насіння ріпаку збільшення сили удару практично дорівнює 0.

Таким чином виведені тут контактні формули узагальнюють класичний варіант теорії Герца і придатні для обчислення основних характеристик удару при вертикальному падінні важкого тіла на пружний півпростір. Урахування дії сили гравітації, при невеликих швидкостях удару, суттєво збільшує розрахункові величини порівняно до тих, що дає класична теорія, для таких важких тіл як, наприклад гарбуз, а для таких тіл до яких відноситься зерно урахуванням сили тяжіння під час удару можна знехтувати.

2.3. Ударна взаємодія твердого тіла з задемпфованою механічною системою

З теорії механічного удару відомо, що короткочасне динамічне навантаження може призвести до великих переміщень і напружень і бути причиною руйнування пружних елементів конструкцій або порушення їх працездатності [159-163, 170]. Тому розрахункам на механічний удар приділяється значна увага в науковій і навчальній літературі [159-163]. Але, незважаючи на суттєві досягнення в цій галузі прикладної механіки, залишається недостатньо вивченою динаміка систем з урахуванням в'язкого тертя, яким часто нехтують з метою спрощення теорії, виходячи з малої тривалості удару. Певним винятком у цьому відношенні є робота [163, 171, 174], де враховують вплив лінійного в'язкого опору на величину переміщень і зусиль, які виникають у коливальній дисипативній системі при імпульсному

навантаженні. Але там йдеться не про механічний удар, а про короткочасне силове імпульсне навантаження осцилятора. На відміну від згаданих публікацій, тут розглядається рух неколивальної суттєво дисипативної системи з в'язким демпфером при механічному ударі падаючим тілом. Показано, що внаслідок непружного удару, за рахунок миттєвого приросту маси, вихідна задемпфована система може набувати коливальні властивості, яких вона не мала до удару.

Отже задача виведення та апробації формул для розрахунку переміщення і внутрішнього зусилля в суттєво дисипативній системі при непружному вертикальному ударі важким твердим тілом в теорії сепарування теж має певний інтерес.

Припускаємо, що аперіодичний рух системи з одним ступенем вільності, внаслідок початкового збурення, описується диференціальним рівнянням:

$$m\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = 0,$$

у якому m – маса тіла, підданого удару, μ – коефіцієнт в'язкості демпфера, c – коефіцієнт жорсткості пружини; $x(t)$ – вертикальне переміщення системи; крапка над x означає похідну за часом t .

Параметри вихідної системи до удару такі, що виконується умова:

$$\mu \geq 2\sqrt{cm} \text{ або } m \leq \frac{\mu^2}{4c}. \quad (2.19)$$

Система, що знаходилась в стані спокою при $x=0$, починає рухатись внаслідок вертикального удару твердим тілом масою m_0 , що вдаряє зі швидкістю v_0 .

При абсолютно непружному ударі маса системи отримує значення $M = m + m_0$ і починає рух зі швидкістю:

$$v = \frac{mv_0}{M}.$$

Рух системи після удару, який вважаємо миттєвим, буде описуватись диференціальним рівнянням:

$$M\ddot{x} + \mu\dot{x} + cx = m_0g, \quad (2.20)$$

де g – прискорення вільного падіння.

Рівняння (2.20) доводиться розв'язувати при початкових умовах:

$$x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = v. \quad (2.21)$$

Внаслідок збільшення маси системи після удару може порушитись умова (2.19). Тому далі розглянемо три варіанти руху системи після удару.

1. Нехай маса тіла, яке вдаряє, m_0 така, що:

$$m_0 > \frac{\mu^2}{4c} - m \quad \text{або} \quad M > \frac{\mu^2}{4c}. \quad (2.22)$$

Тоді виконується нерівність:

$$\left(\frac{\mu}{2M}\right)^2 - \frac{c}{M} < 0$$

і корені характеристичного рівняння:

$$K^2 + \frac{\mu}{M}K + \frac{c}{M} = 0 \quad (2.23)$$

комплексно спряжені.

У цьому випадку розв'язок рівняння (2.20), який задовольняє початковим умовам (2.21), має вигляд:

$$x(t) = x_c + x_c \left[\frac{1}{\omega} \left(\frac{v_0 c}{mg} - \beta \right) \sin(\omega t) - \cos(\omega t) \right] e^{-\beta t}. \quad (2.24)$$

Тут $\beta = \frac{2\mu}{M}$; $\omega = \sqrt{\frac{c}{M} - \beta^2}$; $x_c = \frac{m_0 g}{c}$ – статичне переміщення системи під дією ваги тіла, що вдаряє.

Зміна швидкості руху маси M відбувається за законом:

$$\dot{x}(t) = \frac{cx_c}{Mg} \left[v_0 \cos(\omega t) + \frac{1}{\omega} (g - \beta v_0) \sin(\omega t) \right] e^{-\beta t}. \quad (2.25)$$

Для обчислення внутрішнього зусилля в системі $F(t)$ маємо формулу

$$F(t) = cx(t) + \mu\dot{x}(t) = F_c \left\{ 1 + [A \sin(\omega t) - B \cos(\omega t)] e^{-\beta t} \right\}. \quad (2.26)$$

Тут $A = \frac{1}{\omega} \left[\frac{v_0 c}{Mg} - \beta + \frac{\mu}{Mg} (g - \beta v_0) \right]$; $B = \left(1 - \frac{\mu v_0}{Mg} \right)$; $F_c = cx_c$ – зусилля в пружині, яке

виникає при статичному навантаженні системи вагою $m_0 g$ тіла, що вдаряє.

Як бачимо, після удару переміщення, швидкість і внутрішнє зусилля в системі мають вигляд згасаючих коливань. Отже, вихідна неколивальна дисипативна система стала коливальною внаслідок непружного удару. Умовою такого перетворення є нерівність (2.22).

Дослідження переміщення (2.24) на екстремум дає наступну формулу для обчислення його найбільшого значення:

$$\max x(t) = x(t_*) = x_c \left(1 + e^{-\beta t_*} \sqrt{1 + \frac{cv_0^2}{Mg^2} - \frac{2\beta v_0}{g}} \right). \quad (2.27)$$

Цей екстремум досягається в момент часу:

$$t = t_* = \frac{1}{\omega} (\pi - \alpha), \quad (2.28)$$

$$\text{де } \alpha = \begin{cases} \arctg \frac{\omega v_0}{g - \beta v_0} & \beta v_0 < g \\ \frac{\pi}{2} & \text{при } \beta v_0 = g \\ \pi - \arctg \frac{\omega v_0}{\beta v_0 - g} & \beta v_0 > g \end{cases}$$

Згідно з (2.27) коефіцієнт динамічності $K_d = \frac{x(t_*)}{x_c}$ подається виразом:

$$K_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{cv_0^2}{Mg^2} - 2 \frac{\beta v_0}{g}} \exp \left[-\frac{\beta}{\omega} (\pi - \alpha) \right].$$

При безударному навантаженні, коли $v_0 = 0$; $\alpha = 0$:

$$K_d = 1 + \exp \left(-\frac{\beta \pi}{\omega} \right) < 2,$$

що узгоджується з довідником [106].

Без урахування сили в'язкого опору ($\beta = 0$), формула (2.27) набуває вигляд:

$$x(t_*) = x_c \left(1 + \sqrt{1 + \frac{cv_0^2}{Mg^2}} \right)$$

і співпадає з відомою формулою Кокса [170, 175].

Таким чином, розглянута теорія узагальнює відомі результати, одержані без урахування дії дисипативних сил.

Зазначемо, що найбільші значення переміщення і внутрішнього зусилля досягаються в різні моменти часу. Дослідження виразу (2.26) на екстремум дає формулу:

$$\max F(t) = F(t^*) = F_c \left(1 + \frac{A|\lambda| - B \operatorname{sign}(\lambda)}{\sqrt{1 + \lambda^2}} e^{-\beta t^*} \right). \quad (2.29)$$

$$\text{Тут } \lambda = \frac{A\omega + B\beta}{A\beta - B\omega}; \quad t^* = \frac{1}{\omega} \begin{cases} \operatorname{arctg} \lambda & \text{при } \lambda > 0 \\ \pi + \operatorname{arctg} \lambda & \text{при } \lambda < 0 \end{cases}. \quad (2.30)$$

Час t^* менший, ніж t_* , тобто максимум внутрішнього зусилля досягається раніше, ніж максимум переміщення.

Коефіцієнт динамічності по внутрішньому зусиллю $K_\delta^* = \frac{F(t^*)}{F_c}$ можна обчислити по формулі:

$$K_\delta^* = 1 + \frac{A|\lambda| - B \operatorname{sign}(\lambda)}{\sqrt{1 + \lambda^2}} e^{-\beta t^*}$$

Із фізичних міркувань впливає, що $K_\delta^* \geq K_\delta$. Рівність цих коефіцієнтів маємо, коли $\beta = 0$.

З метою перевірки вірогідності виведених формул розглянено приклад. Для проведення розрахунків приймаємо: $m = 1$ кг, $m_0 = 9$ кг, $c = 4 \cdot 10^3$ Н/м, $\mu = 130$ кг/с; $v_0 = 20/9$ м/с. Цим числовим даним відповідає: $\beta = 6,5$ с⁻¹; $M = 10$ кг; $\omega = \sqrt{357,75}$ с⁻¹; $x_c = 0,02207$ м; $F_c = 88,29$ Н. Подальші розрахунки по формулах (2.27) і (2.28) дають: $\alpha = 1,68061$; $t_* = 0,07724$ с, $\max x(t) = 0,07965$ м. Коефіцієнт динамічності переміщення становить $K_\delta = 3,6091$. За формулами (2.29), (2.30) одержуємо: $A = 4,12223$; $B = -1,94484$; $\lambda = 1,02749$; $t^* = 0,04224$ с; $\max F(t) = 377,4927$ Н. Отже, коефіцієнт динамічності внутрішнього зусилля $K_\delta^* = 4,2756 > K_\delta$.

Графіки $x(t)$ і $F(x)$ у безрозмірній формі подано на рис. 2.2.

Внаслідок припущення про миттєвість удару, функція $f_2(t) = \frac{F(t)}{F_c}$ має розрив першого роду при $x = 0$. Найбільше значення цієї функції перевершує

найбільше значення функції $f_1(t) = \frac{x(t)}{x_c}$. Воно досягається раніше, ніж у функції $f_2(t)$. Обидві функції описують згасаючі коливання і з ростом t прямують до одиниці.

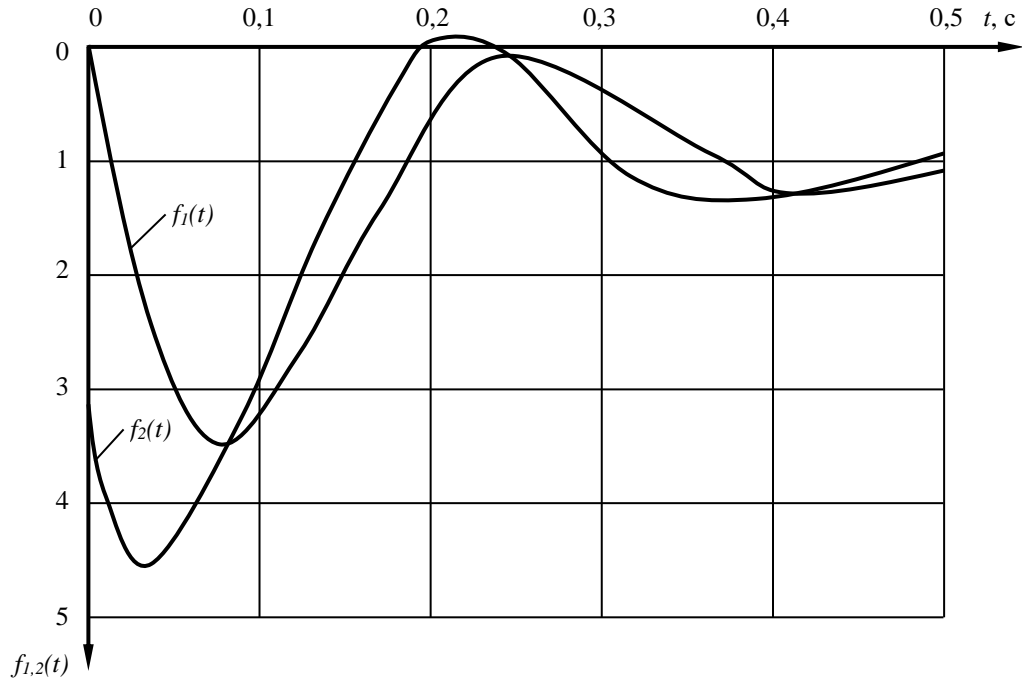


Рисунок 2.2 – Графіки $f_1(t)$ і $f_2(t)$ при $M > \frac{\mu^2}{4c}$

2. Другий варіант руху системи після удару маємо, коли:

$$M < \frac{\mu^2}{4c}.$$

У цьому випадку неколивальна дисипативна система залишається такою і після удару. Обидва некрратні корені рівняння (2.23) дійсні, від'ємні, а розв'язок задачі (2.20), (2.21) має вигляд:

$$x(t) = x_c + \frac{x_c}{K_1 - K_2} \left[\left(K_2 + \frac{v}{x_c} \right) e^{K_1 t} - \left(K_1 + \frac{v}{x_c} \right) e^{K_2 t} \right], \quad (2.31)$$

де $K_{1,2} = -\beta \pm \sqrt{\beta^2 - \frac{c}{M}}$, і описує аперіодичний рух.

У відповідності з (2.31) швидкість руху і внутрішнє зусилля подаються виразами:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= \frac{x_c}{K_1 - K_2} \left[K_1 \left(K_2 + \frac{v}{x_c} \right) e^{K_1 t} - K_2 \left(K_1 + \frac{v}{x_c} \right) e^{K_2 t} \right]; \\ F(t) &= F_c \left(1 + P e^{K_1 t} - Q e^{K_2 t} \right),\end{aligned}\quad (2.32)$$

$$\text{де } P = \frac{1}{K_1 - K_2} \left(K_2 + \frac{v}{x_c} \right) \left(1 + \frac{\mu K_1}{c} \right), \quad Q = \frac{1}{K_1 - K_2} \left(K_1 + \frac{v}{x_c} \right) \left(1 + \frac{\mu K_2}{c} \right).$$

Найбільше значення переміщення має при:

$$t = t_* = \frac{1}{K_1 - K_2} \ln \frac{K_2 (x_c K_1 + v)}{K_1 (x_c K_2 + v)}.\quad (2.33)$$

Воно становить:

$$\max x(t) = x(t_*) = x_c \left[1 - \left(1 + \frac{v}{x_c K_2} \right) \left(\frac{K_2 (x_c K_1 + v)}{K_1 (x_c K_2 + v)} \right)^{\frac{K_1}{K_1 - K_2}} \right].\quad (2.34)$$

Мінімальне значення:

$$F_m = F(t_m) = F_c \left[1 + P \left(1 - \frac{K_1}{K_2} \right) \left(\frac{Q K_2}{P K_1} \right)^{\frac{K_1}{K_1 - K_2}} \right]\quad (2.35)$$

внутрішнє зусилля отримує в момент часу:

$$t = t_m = \frac{1}{K_1 - K_2} \ln \left(\frac{Q K_2}{P K_1} \right).\quad (2.36)$$

Для відносно великих швидкостей удару $F(t)$ найбільше при $t = 0$. Саме про це йдеться в [163, 176-179].

Заслуговує окремої уваги силове безударне навантаження з нульовою початковою швидкістю. У цьому випадку:

$$\begin{aligned}x(t) &= x_c + \frac{x_c}{K_1 - K_2} (K_2 e^{K_1 t} - K_1 e^{K_2 t}); \\ \dot{x}(t) &= \frac{x_c K_1 K_2}{K_1 - K_2} (e^{K_1 t} - e^{K_2 t}); \\ F(t) &= F_c \left[1 + \frac{K_2}{K_1 - K_2} \left(1 + \frac{\mu K_1}{c} \right) e^{K_1 t} - \frac{K_1}{K_1 - K_2} \left(1 + \frac{\mu K_2}{c} \right) e^{K_2 t} \right].\end{aligned}\quad (2.37)$$

Тут $x(t)$ монотонна функція часу. Швидкість $\dot{x}(t)$ має максимум при

$$t = t_e = \frac{1}{K_1 - K_2} \ln \frac{K_2}{K_1}\quad (2.38)$$

і він визначається формулою:

$$\max \dot{x}(t) = x(t_e) = -x_c K_1 \left(\frac{K_2}{K_1} \right)^{\frac{K_1}{K_1 - K_2}}.$$

Зусилля $F(t)$ досягає максимуму при:

$$t = t^* = \frac{1}{K_1 - K_2} \ln \frac{c + \mu K_2}{c + \mu K_1} \quad (2.39)$$

і він становить:

$$\max F(t) = F(t^*) = F_c \left[1 - \left(1 + \frac{\mu K_1}{c} \right) \left(\frac{c + \mu K_2}{c + \mu K_1} \right)^{\frac{K_1}{K_1 - K_2}} \right]. \quad (2.40)$$

З ростом t указані в (2.37) величини мають наступну асимптотичну поведінку: $x(t) \rightarrow x_c$, $\dot{x}(t) \rightarrow 0$, $F(t) \rightarrow F_c$.

Для апробації виведених формул розглянемо числовий приклад. Розрахунки проводимо при: $m = m_0 = 2$ кг; $c = 2 \cdot 10^3$ Н/м, $\mu = 200$ кг/с; $v_0 = 10$ м/с. Для цих вихідних даних: $M = 4$ кг; $v = 5$ м/с; $x_c = 0,00981$ м; $F_c = 19,62$ Н; $K_1 = -13,81966$ с⁻¹; $K_2 = -36,180340$ с⁻¹; $\beta = 25$ с⁻¹. Обчислені по формулам (2.33) і (2.34) величини дорівнюють: $t_* = 0,07865$ с; $\max x(t) = x(t_*) = 0,07865$ м. Розрахунок по формулах (2.35) і (2.36) дає: $\min F(t) = F(t_m) = 3,61630$ Н; $t_m = 0,13119$ с. Безрозмірні значення переміщення і зусилля, до яких призводять формули (2.31) і (2.32) при різних t , записано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення $f_1(t) = \frac{x(t)}{x_c}$ і $f_2(t) = \frac{F(t)}{F_c}$ при $v = 5$ м/с

$t, \text{с}$	$f_1(t)$	$f_2(t)$	$t, \text{с}$	$f_1(t)$	$f_2(t)$
1	2	3	4	5	6
0,000	0,000	50,968	0,18	2,727	0,414
0,005	2,256	41,901	0,20	2,319	0,532
0,01	3,999	34,387	0,22	2,005	0,633
0,02	6,307	23,022	0,24	1,764	0,716
0,03	7,499	15,266	0,26	1,581	0,782
0,04	7,967	10,003	0,28	1,441	0,834
0,05	7,978	6,458	0,32	1,254	0,903
0,06	7,711	4,094	0,34	1,193	0,927

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5	6
t_*	8,017	8,017	0,30	1,335	0,873
0,07	7,286	2,538	0,36	1,146	0,944
0,08	6,783	1,535	0,38	1,111	0,958
0,09	6,250	0,905	0,40	1,084	0,968
0,10	5,722	0,527	0,42	1,064	0,976
0,12	4,744	0,215	0,44	1,048	0,982
t_m	4,263	0,184	0,46	1,037	0,986
0,14	3,919	0,198	0,48	1,028	0,989
0,16	3,252	0,291	0,50	1,021	0,992

Аналіз числових результатів позує, що найбільше значення внутрішнє зусилля $F(t)$ має при $t=0$, що узгоджується з [163]. Коефіцієнт динамічності по переміщенню $K_0 = 8,017$, хоча він значно менший, ніж K_0^* . З ростом t функції $f_1(t)$ і $f_2(t)$ прямують до одиниці.

Розраховані безрозмірні $x(t)$ і $F(t)$ по формулах (2.37), зі збереженням попередніх вихідних даних, але при $v_0 = 0$, записано в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення $f_1(t)$ і $f_2(t)$ при $v_0 = 0$

t, c	$f_1(t)$	$f_2(t)$	t, c	$f_1(t)$	$f_2(t)$
0,000	0,000	0,000	t^*	0,935	1,116
0,005	0,006	0,226	0,09	0,557	1,116
0,01	0,021	0,411	0,10	0,610	1,112
0,02	0,072	0,684	0,12	0,700	1,097
0,03	0,140	0,862	0,14	0,770	1,079
0,04	0,214	0,975	0,16	0,825	1,063
t_e	0,238	1,000	0,18	0,866	1,049
0,05	0,290	1,045	0,20	0,898	1,038
0,06	0,364	1,085	0,30	0,974	1,010
0,07	0,434	1,106	0,40	0,994	1,002
0,08	0,499	1,115	0,50	0,998	1,001

Значення $t_e = 0,04304$ с і відповідні йому $x(t_e)$ і $F(t_e)$ обчислено по формулам (2.37) і (2.38). В таблиці 2.3 також враховано, що, згідно з (2.39) і (2.40), $t^* = 0,08608$ с; $F(t^*) = 21,9008$ Н. Тут при безударному навантаженні миттєво прикладеною силою коефіцієнти динамічності K_0 і K_0^* близькі до

одиниці і виконуються нерівність $K_\delta^* > K_\delta$, бо $K_\delta^* = 1,116$, а $K_\delta = 1$.

3. Третій варіант післяударного руху системи маємо при:

$$M = \frac{\mu^2}{4c}.$$

У цьому випадку формули переміщення, швидкості руху і внутрішнього зусилля можна одержати з (2.24), (2.25) і (2.26) граничним переходом $\omega \rightarrow 0$. Цей перехід дає:

$$\begin{aligned} x(t) &= x_c \left\{ 1 + \left[\left(\frac{v_0 c}{Mg} - \beta \right) t - 1 \right] e^{-\beta t} \right\}; \\ \dot{x}(t) &= \frac{m_0}{M} [v_0 + (g - v_0 \beta) t] e^{-\beta t}; \\ F(t) &= F_c [1 + (St - R) e^{-\beta t}] \end{aligned} \quad (2.41)$$

$$\text{Тут } S = \left(1 - \frac{\beta v_0}{g} \right) \left(\frac{\mu}{M} - \beta \right); \quad R = 1 - \frac{\mu v_0}{Mg}.$$

Маємо аперіодичний рух.

Максимальне значення переміщення:

$$\max x(t) = x(t_*) = x_c \left\{ 1 + \left[\left(\frac{v_0 c}{Mg} - \beta \right) t_* - 1 \right] e^{-\beta t_*} \right\} \quad (2.42)$$

досягається при:

$$t_* = \frac{v_0}{\beta v_0 - g}. \quad (2.43)$$

Мінімум внутрішнє зусилля досягає при:

$$t = t_m = \frac{S + \beta R}{\beta S}. \quad (2.44)$$

Цей мінімум подається виразом:

$$\min F(t) = F(t_m) = F_c \left(1 + \frac{S}{\beta} e^{-\beta t_m} \right). \quad (2.45)$$

Одержані, з використанням формул (2.41), графіки переміщення та внутрішнього зусилля в безрозмірній формі подано на рис. 2.3. Розрахунки проведено при: $c = 2 \cdot 10^3$ Н/м; $m = 3$ кг; $m_0 = 2$ кг; $\mu = 200$ кг/с; $v_0 = 10$ м/с.

Згідно з (2.42) і (2.43), при $t_* = 0,05258$ с переміщення має максимум $x(t_*) = 0,07626$ м. Найбільше значення зусилля припадає на $t = 0$. За

розрахунками по формулах (2.44) і (2.45) внутрішнє зусилля має мінімум при $t_m = 0,15258$ с. Він становить $F(t_m) = 1,63405$ Н. З ростом t відношення $\frac{x(t)}{x_c}$ і $\frac{F(t)}{F_c}$ асимптотично прямують до одиниці.

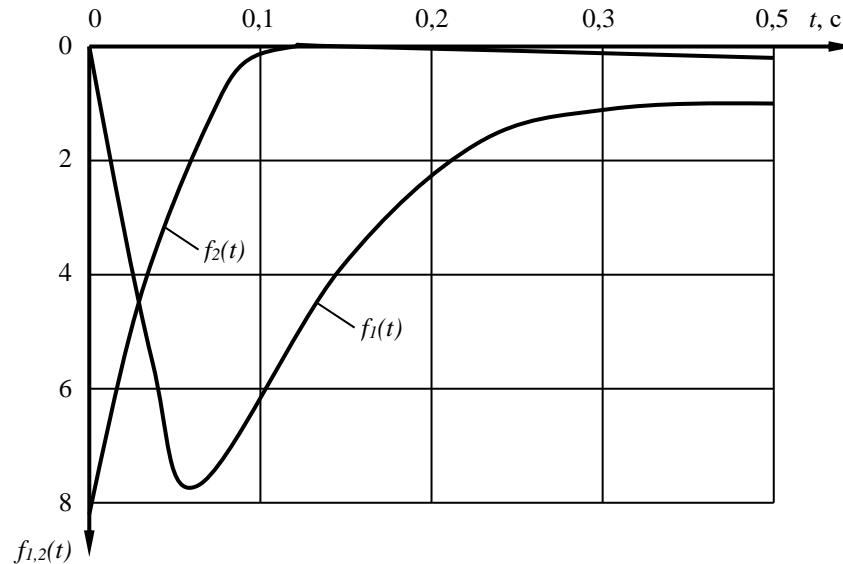


Рисунок 2.3 – Графіки $f_1(t) = \frac{x(t)}{x_c}$ і $f_2(t) = \frac{0,2F(t)}{F_c}$ при $M = \frac{\mu^2}{4c}$

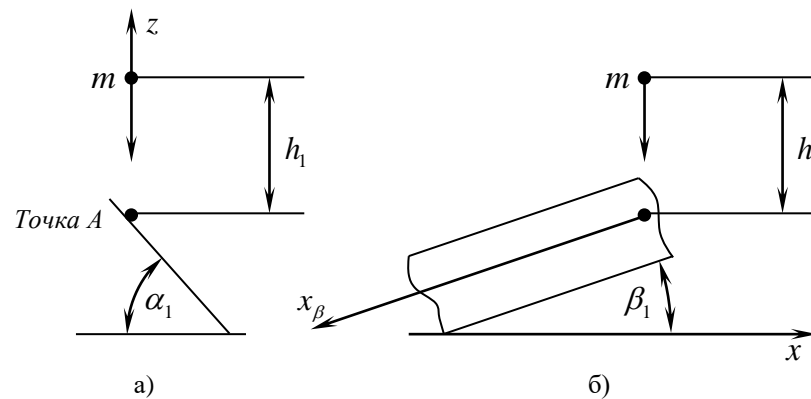
Таким чином в залежності від маси тіла, яке вдаряє по задемпфованій неколивальній системі, після удару вона може переходити в осцилятор або залишатись неколивальною. Незалежно від цього, при відносно великих швидкостях удару, коефіцієнти динамічності значно перевершують дві одиниці, причому коефіцієнт динамічності у внутрішнього зусилля більший, ніж у переміщення. Із одержаних теоретичних результатів, як частинний випадок, впливає відома формула Кокса, яка була покладена в основу технічної теорії удару твердих тіл.

2.4. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі

Дослідження моделі у вигляді матеріальної точки дозволило у багатьох випадках розглянути сутність явища ударної та віброударної сепарації та

визначити ступінь впливу на нього різних факторів. Однак моделювання процесу багаторазового зіткнення частинки ідеалізованої у вигляді матеріальної точки з похилими в подовжньо-поперечному напрямку робочими поверхнями з багаторазовими зіткненнями дослідниками не розглядались. Тому розглянемо моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії з багаторазовими зіткненнями насіння ріпаку ідеалізованого у вигляді матеріальної точки з похилими деками багатоярусного ударного сепаратора [164].

Розглянемо схему роботи одного модулю сепаратора ударної дії (рис. 2.4).



а – вид спереду; б – вид з боку; α_1 – кут нахилу декі у горизонтальній площині; β_1 – кут нахилу декі у повздовжній вісі x до горизонту

Рисунок 2.4 – Схема руху насіння з виходу бункера на деку

Маємо вісі x і z , вісь y в горизонтальній площині перпендикулярна до вісі x . Відзначаємо час t_1 , який пройде насіння масою m_1 до декі:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \text{ с} \quad (2.46)$$

Швидкість в точці A для насіння масою m_1 буде:

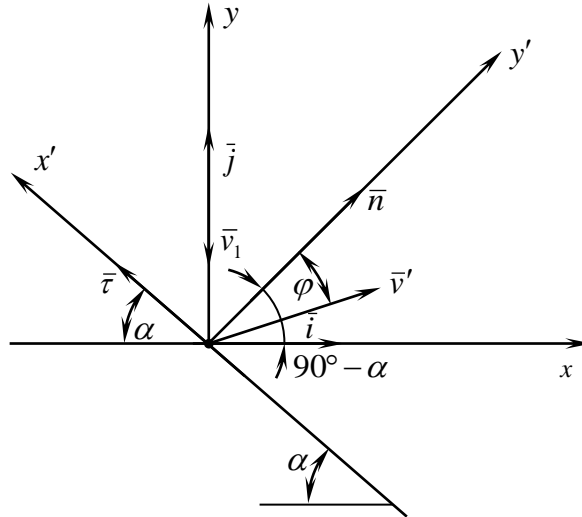
$$v(t) = v_0 + g \cdot t, \quad (2.47)$$

де v_0 – початкова швидкість, $v_0 = 0$.

Враховуючи рівняння (1), отримуємо:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}. \quad (2.48)$$

Залежність (2.48) – швидкість опускання насіння на 1-у деку, і в точці дотикання (A) – швидкість удару.



\bar{n} і \bar{t} – орти координатної системи $Ax'y'$

Рисунок 2.5 – Координатні системи площини у точці удару насіння в деку

Перетворюємо координатну систему з Axy в $Ax'y'$.

$$\begin{cases} \bar{t} = -\cos \alpha \cdot \bar{i} + \sin \alpha \cdot \bar{j}; \\ \bar{n} = \sin \alpha \cdot \bar{i} + \cos \alpha \cdot \bar{j}. \end{cases} \quad (2.49)$$

Формуємо матрицю переходу

$$A = \begin{vmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix} \text{ – матриця переходу від системи } Axy \text{ до системи } Ax'y';$$

$$A^{-1} = \begin{vmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ \sin \alpha & -\cos \alpha \end{vmatrix} \text{ – матриця оберненого переходу від системи } Axy \text{ до}$$

системи $Ax'y'$;

$$\begin{vmatrix} \bar{t} \\ \bar{n} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{i} \\ \bar{j} \end{vmatrix} \text{ – вектори-стовпчики ортів координаційних систем.}$$

У матричній формі система (2.49) рівняння запишеться

$$\begin{vmatrix} \bar{t} \\ \bar{n} \end{vmatrix} = Ax \begin{vmatrix} \bar{i} \\ \bar{j} \end{vmatrix}.$$

Тоді вектор швидкості \bar{v}' частини (зернини) після удару в двох координаційній системі буде

$$\bar{v}' = v'_x \cdot \bar{i} + v'_y \cdot \bar{j} = v'_x \cdot \bar{t} + v'_y \cdot \bar{n},$$

або у вигляді системи рівнянь, прийнявши, що $v'_x = v'_\tau$; $v'_y = v'_n$.

$$\begin{cases} v'_x = \cos \alpha \cdot v'_\tau + \sin \alpha \cdot v'_n; \\ v'_y = \sin \alpha \cdot v'_\tau - \cos \alpha \cdot v'_n. \end{cases}$$

$$\begin{cases} v'_\tau = -\cos \alpha \cdot v'_x + \sin \alpha \cdot v'_y; \\ v'_n = \sin \alpha \cdot v'_x + \cos \alpha \cdot v'_y. \end{cases}$$

У матричній формі

$$\begin{vmatrix} v'_x \\ v'_y \end{vmatrix} = A^{-1}x \begin{vmatrix} v'_\tau \\ v'_n \end{vmatrix}; \quad \begin{vmatrix} v'_\tau \\ v'_n \end{vmatrix} = Ax \begin{vmatrix} v'_x \\ v'_y \end{vmatrix}.$$

Тоді зміна енергії при ударі буде в векторній формі

$$m(\bar{v}'_1 - v_1) = \bar{S}_1.$$

В проекціях на осі координати системи $Ax'y'$ (на дотичну τ і нормаль n)

$$\begin{cases} m(-\bar{v}'_1 \sin \varphi - v_1 \sin \alpha) = 0; \\ m(\bar{v}'_1 \cos \varphi - v_1 \cos \alpha) = \bar{S}_1. \end{cases} \quad (2.50)$$

З першого рівняння системи (2.50) знаходимо:

$$-\bar{v}'_1 \sin \varphi = v_1 \sin \alpha. \quad (2.51)$$

Коефіцієнт відновлення K_v для розрахунку швидкості після удару

$$K_v = -\frac{v'_n}{v_n} = -\frac{v'_1 \cos \varphi}{-v_1 \cos \alpha}.$$

Тоді

$$v'_1 \cos \varphi = K_v v_1 \cos \alpha. \quad (2.52)$$

З рівнянь(2.51) та (2.52) визначаємо модуль швидкості матеріальної точки після удару

$$v'_1 = v_1 \sqrt{\sin^2 \alpha + K_v^2 \cos^2 \alpha}.$$

Кут нахилу вектора швидкості \bar{v}'_1 до нормалі n

$$\varphi = \text{arcctg}(-K_v \cdot \text{ctg} \alpha).$$

З другого рівняння системи (2.50) визначаємо модуль ударного імпульсу

$$S = m \cdot v_1 \cdot \cos \alpha (K_v - 1).$$

Розраховуємо рух насіння, яке відбилося від першої деки і падає на другу деку.

Схема векторів сил і швидкостей буде наступною

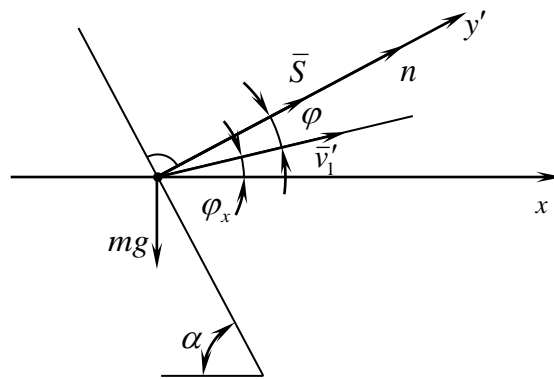


Рисунок 2.6 – Схема напрямку дії сил і векторів швидкостей відбитого насіння у момент відбиття

Враховуючи з рис. 2.5:

$$\begin{cases} v'_t = -v'_1 \cdot \sin \varphi; \\ v'_n = v'_1 \cdot \cos \varphi. \end{cases} \quad (2.53)$$

Тоді після перетворення координат швидкостей отримаємо

$$\begin{cases} v'_{x1} = -v'_1 \sin \varphi \cos \alpha + v'_1 \cos \varphi \sin \alpha; \\ v'_{y1} = -v'_1 \sin \varphi \sin \alpha - v'_1 \cos \varphi \cos \alpha. \end{cases} \quad (2.54)$$

Кут нахилу вектора швидкостей \vec{v}'_1 відносно додаткового напрямку осі буде

$$\begin{aligned} \cos(\varphi_x) &= \cos(v'_1, x) = \frac{v'_{x1}}{v'_1}; \\ \varphi_x &= \arccos(\varphi_x). \end{aligned} \quad (2.55)$$

Складаємо систему рівнянь руху насіння після удару об деку, у проєкціях на осі x і y

$$\begin{cases} m \cdot v'_{x1} = S \cdot \sin \alpha; \\ m \cdot v'_{y1} = S \cdot \cos \alpha - mgt. \end{cases} \quad (2.56)$$

З системи (2.56) визначаємо проєкції швидкостей насіння після удару

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin \alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m} \cos \alpha - gt. \end{cases} \quad (2.57)$$

Початкові умови після ударного руху

$$t=0; x_0=0; y_0=0; \dot{x}_0 = v'_{x1}; \dot{y}_0 = v'_{y1}.$$

Рівняння руху насіння після удару

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin \alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m} \cos \alpha - gt. \end{cases} \quad (2.58)$$

Підставляємо в систему (2.58) вирази системи (2.57)

$$\begin{cases} x = \frac{S}{m} \sin \alpha \cdot t; \\ y = \frac{S}{m} \cos \alpha \cdot t - gt^2 - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (2.59)$$

Знаючи конструкцію сепаратора, то відстань по горизонталі між деками задано – x , по вертикалі – y .

Тоді визначаємо час, по осі $x - t \Rightarrow t_x$, по осі $y - t \Rightarrow t_y$.

З системи рівнянь (2.59) отримаємо:

з першого рівняння

$$t_x = \frac{x \cdot m}{S \cdot \sin \alpha}; \quad (2.60)$$

з другого рівняння

$$t_{y,1,2} = \frac{\frac{S}{m} \cos \alpha \pm \sqrt{\left(\frac{S}{m} \cos \alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (2.61)$$

Умова:

– насіння долетіло до другої декі

$$t_x = t_y = t;$$

– насіння не долетіло до декі

$$t_x > t_y; t = t_y;$$

– не повинна виконуватись умова, коли насіння перелетіло на другу деку

$$t_x < t_y.$$

Прийнявши значення часу t , з системи рівнянь (2.59) визначаємо швидкість в точці удару на другій декі – точка A_2 :

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{S}{m} \sin \alpha = v'_{x1-2}; \\ \frac{dy}{dt} = \frac{S}{m} \cos \alpha - mg - gt = v'_{y1-2}. \end{cases} \quad (2.62)$$

Модуль швидкості у точці падіння буде

$$v'_{1-2} = \sqrt{(v'_{x1-2})^2 + (v'_{y1-2})^2}. \quad (2.63)$$

Розрахуємо кут нахилу вектора швидкості v'_{x1-2} відносно осі x в момент удару в точці A_2 :

$$\cos(\beta_2) = \cos(v'_{1-2,x}) = \frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}}; \quad (2.64)$$

$$\beta_2 = \arccos(v'_{1-2,x}).$$

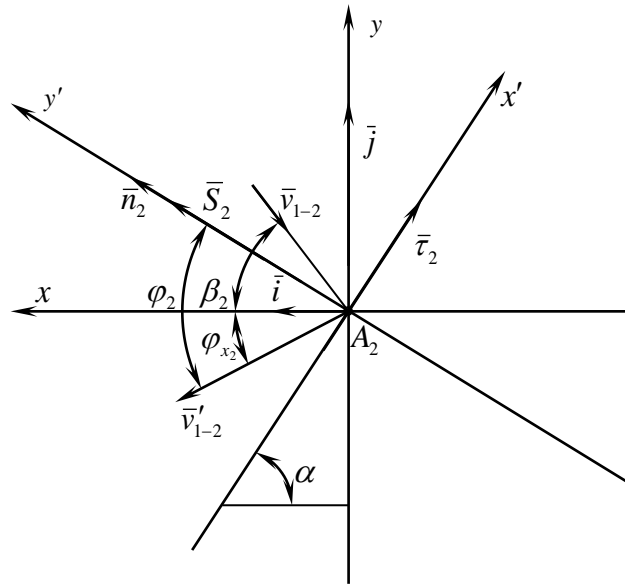


Рисунок 2.7 – Координатні системи площини у точці A_2 удару насіння об другу деку

Перетворимо координатну систему для другої деки

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_2 &= -\bar{i} \cos \alpha + \bar{j} \sin \alpha \\ \bar{n}_2 &= \bar{i} \sin \alpha + \bar{j} \cos \alpha \end{aligned} \quad (2.65)$$

Зміна кількості енергії (імпульс удару) в векторній формі буде мати вигляд

$$m(\bar{v}'_{1-2} - \bar{v}_{1-2}) = \bar{S}_2. \quad (2.66)$$

В проекціях на осі координат системи $A_2x'y'$ (на дотичну $\bar{\tau}_2$ і нормаль \bar{n}_2)

$$\begin{cases} m(v'_{1-2} \sin \varphi_2 + v_{1-2} \cos(180 - (\beta_2 + \alpha))) = 0; \\ m(v'_{1-2} \cos \varphi_2 - v_{1-2} \cos(\beta_2 + \alpha - 90)) = S_2. \end{cases} \quad (2.67)$$

З першого рівняння системи (2.67)

$$v'_{1-2} \sin \varphi_2 = -v_{1-2} \cos(180 - (\beta_2 + \alpha)). \quad (2.68)$$

Коефіцієнт відновлення K_{v_2} для розрахунку швидкості після удару

$$K_{v2} = -\frac{v'_{n2}}{v_{n2}} = -\frac{v'_{1-2} \cos \varphi_2}{-v_{1-2} \cos(\beta_2 + \alpha - 90)};$$

$$v'_{1-2} \cos \varphi_2 = K_{v2} v_{1-2} \cos(\beta_2 + \alpha - 90). \quad (2.69)$$

З рівнянь (2.67) і (2.68) піднявши до квадрату і просумувавши, визначаємо модуль швидкості насіння після удару

$$v'_{1-2} = v_{1-2} \sqrt{(-\cos(\beta_2 + \alpha))^2 + K_{v2}^2 (-\sin(\beta_2 + \alpha))^2}. \quad (2.70)$$

Кут нахилу φ_2 вектора швидкості v'_{1-2} до нормалі n_2 , розділивши залежність (2.68) на (2.69) і провівши спрощення, отримаємо:

$$\varphi_2 = \arctg\left(-\frac{\text{ctg}(\beta_2 + \alpha)}{K_{v2}}\right). \quad (2.71)$$

З другого рівняння системи (2.67) визначаємо модуль ударного імпульсу

$$S_2 = mv_{1-2} \sin(\beta_2 + \alpha)(1 - K_v). \quad (2.72)$$

Розглядаємо рух насіння, яке відбилося від другої деки і падає на третю деку. З рисунку 2.7 визначаємо:

$$\begin{cases} v'_{\tau 2} = v_{1-2} \sin \varphi_2; \\ v'_{n2} = v_{1-2} \cos \varphi_2. \end{cases} \quad (2.73)$$

Тоді за аналогією з формулами (2.54) та згідно рисунку 2.7 записуємо:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = v'_{\tau 2} \cos \alpha + v'_{n2} \sin \alpha; \\ v'_{y1-2} = -v'_{\tau 2} \sin \alpha + v'_{n2} \cos \alpha. \end{cases} \quad (2.74)$$

або враховуючи (2.73) отримуємо:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = v'_{1-2} \sin \varphi_2 \cos \alpha + v'_{1-2} \cos \varphi_2 \sin \alpha; \\ v'_{y1-2} = -v'_{1-2} \sin \varphi_2 \sin \alpha + v'_{1-2} \cos \varphi_2 \cos \alpha. \end{cases} \quad (2.75)$$

Кут між вектором швидкості v'_{1-2} і додатковою віссю x буде становити:

$$\cos(\varphi_{x2}) = \cos(\bar{v}'_{1-2,x}) = \frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}};$$

$$\varphi_{x2} = \arccos\left(\frac{v'_{x1-2}}{v'_{1-2}}\right). \quad (2.76)$$

Складаємо систему рівнянь руху насіння після удару об другу деку в проєкціях на вісі x і y :

$$\begin{cases} mv'_{x1-2} = S_2 \sin \alpha \\ mv'_{y1-2} = S_2 \cos \alpha - mgt_2 \end{cases} \quad (2.77)$$

В системі (2.77) визначаємо проекції швидкості насіння після удару об другу деку:

$$\begin{cases} v'_{x1-2} = \frac{S_2}{m} \sin \alpha \\ v'_{y1-2} = \frac{S_2}{m} \cos \alpha - gt_2 \end{cases} \quad (2.78)$$

Початкові умови після руху, після другого удару об другу деку:

$$\begin{cases} x = v'_{x1-2} \cdot t_2; \\ y = v'_{x1-2} t_2 - \frac{gt_2^2}{2}. \end{cases} \quad (2.79)$$

Підставляємо в систему (2.79) вирази з (2.78)

$$\begin{cases} x = \frac{S_2}{m} \sin \alpha t_2; \\ y = \frac{S_2}{m} \cos \alpha t_2 - gt_2^2 - \frac{gt_2^2}{2}. \end{cases} \quad (2.80)$$

Аналогічно визначаємо час t_2 по осі $x \rightarrow t_2 \Rightarrow t_{2x}$, по осі $y \rightarrow t_2 \Rightarrow t_{2y}$.

З системи (2.80) одержуємо:

$$t_{2x} = \frac{xm}{S_2 \sin \alpha}; \quad (2.81)$$

З другого рівняння системи (34):

$$t_{2y,1-2} = \frac{\frac{S_2}{m} \cos \alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_2}{m} \cos \alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (2.82)$$

Прийнявши значення t після другої дека з системи рівнянь (2.79) визначаємо швидкість у точці удару на третій декі – точка $A3$, насправді це другий удар об першу деку, але зі зміщенням в продольному напрямку, тому для спрощення пояснень будемо триматись цієї термінології, (аналогічно з рисунком 2.7), отримаємо.

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{S_2}{m} \sin \alpha = v_{x2-3}; \\ \frac{dy}{dt} = \frac{S_2}{m} \cos \alpha - 2gt - gt = v_{y2-3}. \end{cases} \quad (2.83)$$

де m – еквівалент сили насіння,

$$m \rightarrow \frac{m}{g} \rightarrow \frac{H \cdot m}{c^2}.$$

Визначивши час t_2 , який визначає момент удару насіння в другу деку, розрахуємо швидкості за рівняннями системи (2.82). Модуль швидкості у

точці падіння (удару) насіння буде

$$v_{2-3} = \sqrt{(v_{x2-3})^2 + (v_{y2-3})^2}. \quad (2.84)$$

Кут нахилу вектора швидкості \bar{v}_{2-3} відносно вісі x в момент удару в точці $A3$ буде згідно рівняння (2.63)

$$\beta_3 = \arccos\left(\frac{v_{x2-3}}{v_{2-3}}\right). \quad (2.85)$$

Зміна кількості енергії (імпульс удару) у векторній формі буде мати вигляд

$$\bar{S}_3 = m(\bar{v}'_{2-3} - v_{2-3}). \quad (2.86)$$

де \bar{v}'_{2-3} – вектор швидкості насіння після удару об третю деку.

Відповідно, модуль швидкості насіння після удару за аналогією залежності (2.69) буде

$$v'_{2-3} = v_{2-3} \sqrt{(-\cos(\beta_3 + \alpha))^2 + K_{v3}^2 (-\sin(\beta_2 + \alpha))^2}. \quad (2.87)$$

Кут нахилу φ_3 вектора швидкості v'_{2-3} до нормалі n_3 , за аналогією залежність (2.71), буде

$$\varphi_3 = \arctg\left(-\frac{\text{ctg}(\beta_3 + \alpha)}{K_{v3}}\right). \quad (2.88)$$

Відповідно модуль ударного імпульсу буде становити:

$$S_3 = mv_{2-3} \sin(\beta_3 + \alpha)(1 - K_{v3}). \quad (2.89)$$

Отже після удару насіння об третю деку, розраховуємо часові і кінематичні параметри руху насіння до опускання на основу, або на наступну деку, якщо вона є.

Алгоритм розрахунку аналогічний попередньому. Кут між вектором швидкості v'_{2-3} і додатковою віссю x :

$$\varphi_{x3} = \arccos\left(\frac{v'_{x2-3}}{v'_{2-3}}\right). \quad (2.90)$$

Проекції вектора модуля швидкості на вісі x і y :

$$\begin{cases} v'_{x2-3} = v'_{2-3} \sin \varphi_3 \cos \alpha + v'_{2-3} \cos \varphi_3 \sin \alpha; \\ v'_{y2-3} = -v'_{2-3} \sin \varphi_3 \sin \alpha + v'_{2-3} \cos \varphi_3 \cos \alpha. \end{cases} \quad (2.91)$$

Визначаємо час t_{3x} по вісі x :

$$t_{3x} = \frac{xm}{S_3 \sin \alpha g},$$

$$t_{3y} = \frac{\frac{S_3 g}{m} \cos \alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_3 y}{m} \cos \alpha\right)^2 - 6gy}}{3g}; \quad (2.92)$$

де m – маса зернини, $\frac{H \cdot c^2}{m}$.

Вже після удару об третю деку процес сепарації буде повторюватись, доки частинка не зійде з робочого органу.

Для наступних дек записуємо залежності:

$$\varphi_{xi} = \arccos\left(\frac{v_{xi}}{v_{i-1}}\right) - \text{до удару об } i\text{-у деку};$$

$$\beta_i = \arccos\left(\frac{v_{xi}}{v_i}\right) - \text{до удару об } i\text{-у деку};$$

$$v_i = v_{i-1} \sqrt{(-\cos(\beta_i + \alpha))^2 + K_{vi}^2 (-\sin(\beta_i + \alpha))^2} - \text{після удару об } i\text{-у деку};$$

$$\varphi_i = \arctg\left(-\frac{\text{ctg}(\beta_i + \alpha)}{K_{vi}}\right) - \text{після удару};$$

$$S_i = mv_i \sin(\beta_i + \alpha)(K_{vi} - 1) - \text{імпульс сили після удару об } i\text{-у деку}.$$

Час проходження насінини після удару об $i-1$ деку до i декі:

$$t_{x,(i+1,i)} = \frac{xm_i}{S_i \sin \alpha};$$

$$t_{y,(i+1,i)} = \frac{\frac{S_i g}{m_i} \cos \alpha \mp \sqrt{\left(\frac{S_i y}{m_i} \cos \alpha\right)^2 - 6gy}}{3g},$$

де i – номер деки;

m_i – маса i -ї насінини, $H \cdot c^2/m$;

g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

y – відстань по вертикалі між деками $i+1$ та i , м;

x – імпульс сили відбитої насінини від декі i , $H \cdot c$.

Загальний час проходження зернини дек буде

$$t_{\text{сум}} = t + t_1 + t_2 + t_3 + t_i, \text{ с} \quad (2.93)$$

де t – тривалість проходження насіння від бункера до першої декі, с;

t_1 – тривалість проходження насіння від першої до другої декі, с;

t_2 – тривалість проходження насіння від другої до третьої деки, с;

t_3 – тривалість проходження насіння від третьої до i -ої деки, с.

t_i – тривалість проходження насіння від i -ої до $i+1$ деки.

Продуктивність сепарації визначаємо за наступною залежністю для насіння m_i маси:

$$Q_{c.m_i} = \frac{m_{i1000} \delta_{m_i}}{t_{\text{сум.}m_i} \cdot 10^3}, \text{ кг/с} \quad (2.94)$$

де m_{i1000} – маса 1000 насіння i -го розмірного ряду, грам (наприклад, $m_1=2,5$;

$m_2=5,0$; $m_3=7,5$);

δ_{m_i} – відсоток фракції заданої маси в 1000 насінні;

$t_{\text{сум.}m_i}$ – сумарний час проходження насіння масою m_i від бункера до останньої деки, с.

Далі за допомогою програми Mathcad були розраховані залежності руху насіння між деками. Залежності модуля швидкості насінин при ударі від їх маси та кута установки деки, які представлені на рис. 2.8. Як видно з рис. 2.8 величина модуля швидкості частинки після удару не залежить від маси насінини і зростає при збільшенні нахилу деки в межах від 10° до 50° . А найбільш сприятливими для сепарації будуть кути нахилу в межах $40^\circ \dots 50^\circ$.

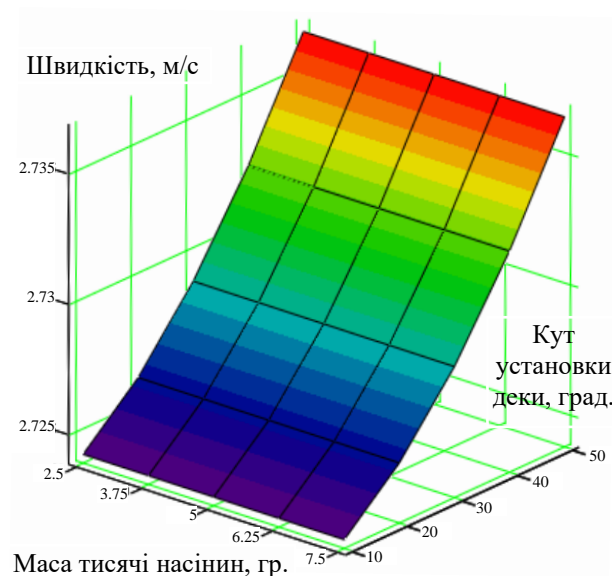


Рисунок 2.8 – Залежність модуля швидкості насінини від її маси і кута установки деки

На рис. 2.9 представлені залежності продуктивності сепарації від маси насінин і кута установки декі. Як видно з рис. 2.9 продуктивність сепарації де що збільшується з підвищенням кута установки декі в межах 10° ... 50° та значно зростає в залежності від маси насінин і коливається від 8 до 30 кг/год. для одного модуля.

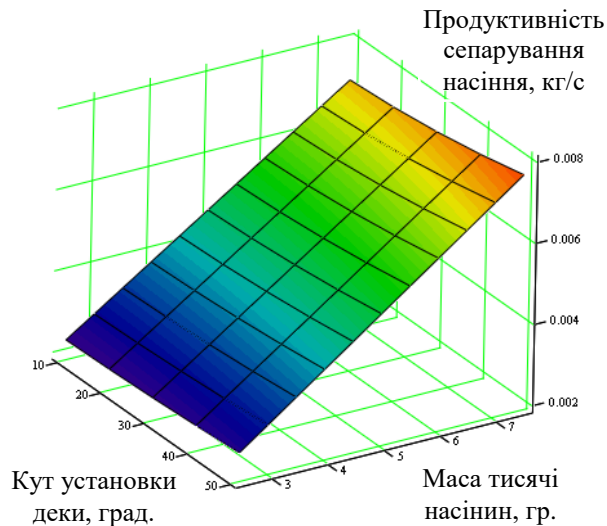
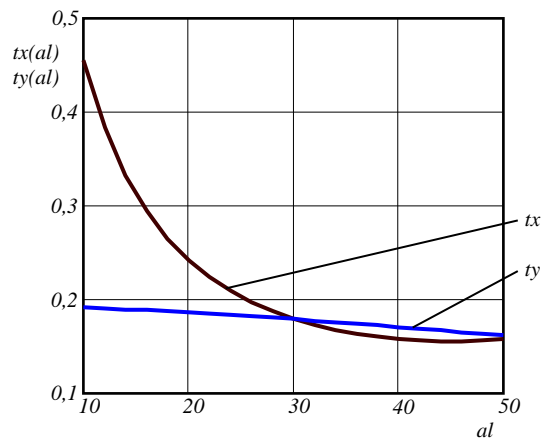


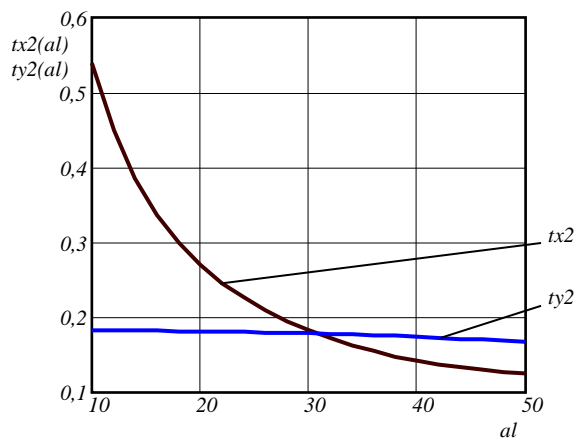
Рисунок 2.9 – Продуктивність сепарації від маси насінини і кута установки декі

На рис. 2.10 та 2.11 представлені залежності тривалості руху насіння між деками від кута їх нахилу. Як видно з рисунків тривалість руху насіння зі збільшенням кута нахилу зменшується. По осі x ця залежність є експоненціальною, а по осі y прямо пропорційною. По осі z зменшення її незначне і в межах 30° ... 50° їх величини майже однакові для другої і для третьої декі, і знаходяться в межах 0,15...0,2 с. Тобто з точки зору продуктивності сепаратора оптимальне значення кутів нахилу знаходиться в межах 30° ... 50° .



al – кут встановлення нахилу декі 1-ої, град.; tx , ty – час проходження насінини по осях x і y , с

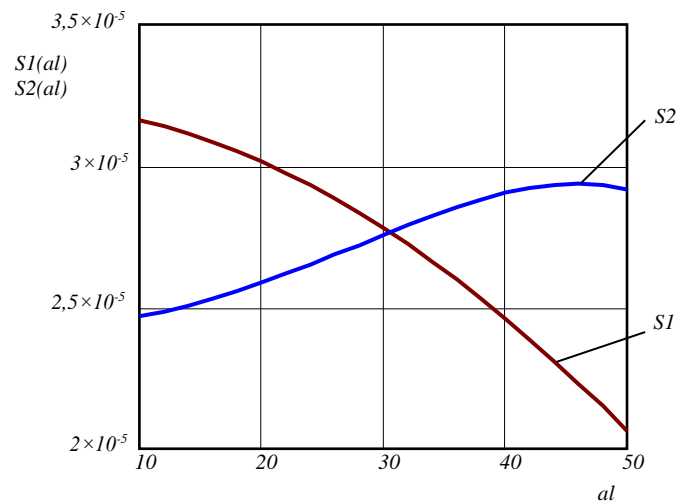
Рисунок 2.10 – Залежність тривалості руху насінини від 1-ої до 2-ої декі від її кута нахилу



al – кут встановлення нахилу декі 2-ої, град.; tx , ty – час проходження насінини по осях x і y , с

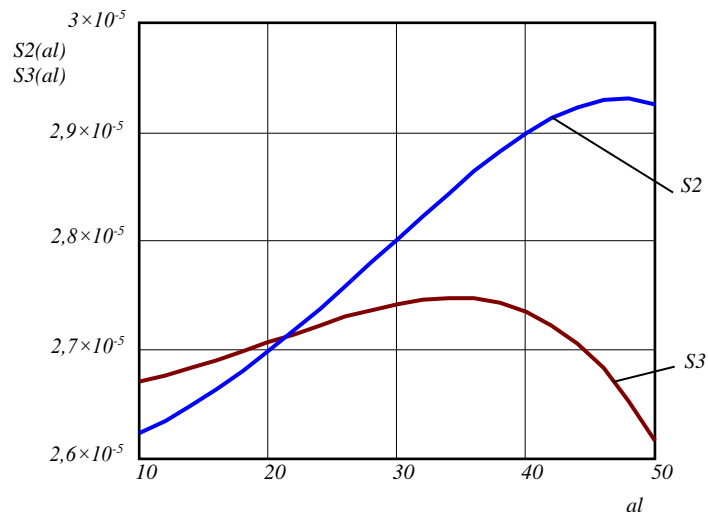
Рисунок 2.11 – Залежність тривалості руху насінини від 2-ої до 3-ої декі від її кута нахилу

Залежності імпульсу удару насінини представлені на рис. 2.12 та 2.13. Силовий імпульс при ударі об першу деку зі збільшенням кута нахилу збільшується і при 45° починає зменшуватись, а силовий імпульс при ударі об другу деку зі збільшенням кута нахилу постійно зменшується і в межах $30^\circ \dots 32^\circ$ ці криві перехрещуються. Силовий імпульс при ударі на 2 і 3 деках зі збільшенням кута нахилу спочатку збільшується а потім зменшується, криві перехрещуються в районі 22° , а зменшення починається з 35° , 45° співвідносно для удару об другу і третю деку.



al – кут нахилу дек, град.; $S1$ – силовий імпульс для насінини при ударі об 1-у деку, Н·с; $S2$ – силовий імпульс для насінини при ударі об 2-у деку, Н·с

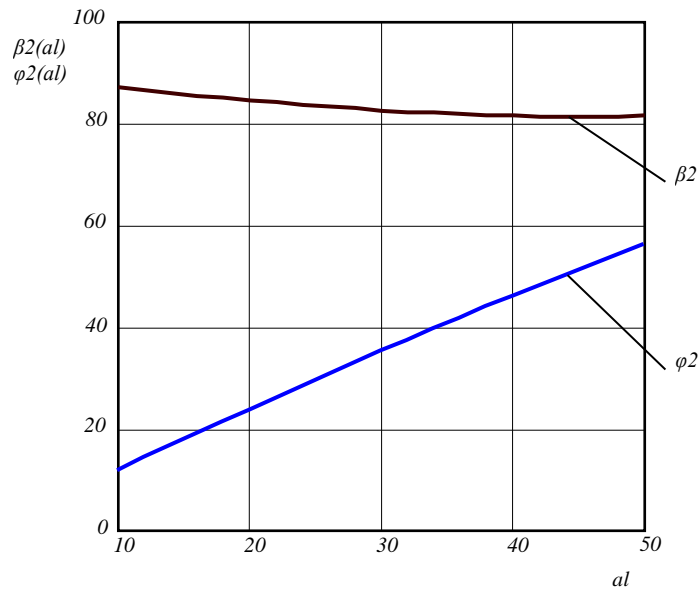
Рисунок 2.12 – Залежність імпульсу удару насінини на 1-ій і 2-ій декі від її кута нахилу до горизонталі



al – кут нахилу дек, град.; $S2$ – силовий імпульс для насінини при ударі об 2-у деку, Н·с; $S3$ – силовий імпульс для насінини при ударі об 3-у деку, Н·с

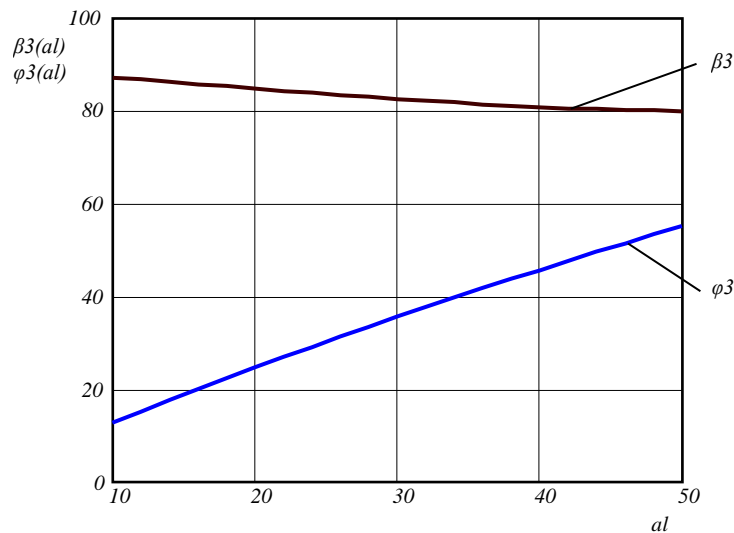
Рисунок 2.13 – Залежність імпульсу удару насінини на 2-ій і 3-ій декі від її кута нахилу до горизонталі

Залежності кута нахилу вектору швидкості від кута нахилу другої і третьої дек (рис.2.14 та 2.15) еквідистантні і майже однакові, як і залежності модуля швидкості від кута нахилу другої і третьої дек (рис.2.16, 2.17), що характерно при повторних багаторазових ударах насінини об декі.



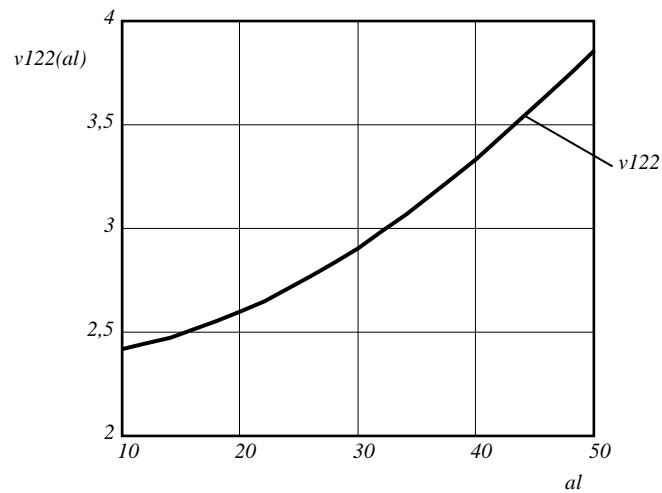
β_2 – кут нахилу вектору швидкості насінини відносно осі x у момент її удару об 2-у деку, град; φ_2 – кут нахилу вектору швидкості насінини до нормалі n_2 (нормаль 2-ої дека) після її удару об 2-у деку, град.;
 α – кут нахилу 2-ої дека, град

Рисунок 2.14 – Залежності кута нахилу вектору швидкості насінини від кута нахилу 2-ої дека



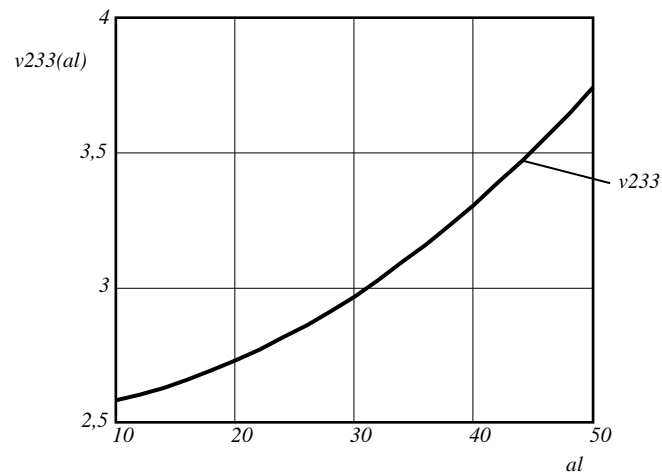
β_3 – кут нахилу вектору швидкості насінини відносно осі x у момент її удару об 3-у деку, град; φ_3 – кут нахилу вектору швидкості насінини до нормалі n_3 (нормаль 3-ої дека) після її удару об 3-у деку, град.;
 α – кут нахилу 3-ої дека, град

Рисунок 2.15 – Залежності кута нахилу вектору швидкості насінини від кута нахилу 3-ої дека



α – в градусах; v_{122} – м/с

Рисунок 2.16 – Залежність модуля швидкості (v_{122}) насінини після удару від кута нахилу (α) 2-ої декі



α – в градусах; v_{233} – м/с

Рисунок 2.17 – Залежність модуля швидкості (v_{233}) насінини після удару від кута нахилу (α) 3-ої декі

Висновки за розділом 2

1. Запропоновано новий спосіб визначення ефективного модуля пружності матеріалу насінини кулястої форми, що ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності та встановлено, що з метою запобігання пластичних деформацій, в експерименті зерна повинні піддаватись малим навантаженням.

2. Встановлені закономірності основних характеристик удару при вертикальному падінні тіла на пружний півпростір в яких урахування сили гравітації при невеликих швидкостях удару, суттєво збільшує розрахункові величини для важких тіл порівняно до тих, що дає класична теорія. Але для таких малих тіл до яких відносяться насіння ріпаку урахуванням сили тяжіння під час удару можна знехтувати.

3. Теоретичними дослідженнями встановлено, що в залежності від маси тіла, яке вдаряє по задемпфованій неколивальній системі, після удару вона може переходити в осцилятор або залишатись неколивальною. Тіла малої маси якими є зерно не можуть перетворити її в осцилятор і система залишається неколивальною.

4. Теоретично встановлена залежність продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насінини і кута установки дек, яка коливається від 8 до 30 кг/год. для одного модулю сепаратора.

5. Тривалість руху насіння зі збільшенням кута нахилу зменшується. По осі x ця залежність є експоненціальною, а по осі y прямо пропорційною. По осі y зменшення її незначне і в межах $30...50^\circ$ їх величини майже однакові для другої і для третьої декі, і знаходяться в межах $0,15...0,2$ с. Тобто з точки зору продуктивності сепаратора оптимальне значення кутів нахилу знаходиться в межах $30...50^\circ$.

6. Силовий імпульс при ударі об першу деку зі збільшенням кута нахилу збільшується і при 45° починає зменшуватись, а силовий імпульс при ударі об другу деку зі збільшенням кута нахилу постійно зменшується і в межах $30...32^\circ$ вони однакові. Силовий імпульс при ударі на 2 і 3 деках зі збільшенням кута нахилу спочатку збільшується, а зменшення починається з 35° , 45° співвідносно для удару об другу і третю деку.

7. Залежності кута нахилу вектору швидкості від кута нахилу другої і третьої дек еквідистантні і майже однакові, як і залежності модуля швидкості від кута нахилу другої і третьої дек, що характерно при повторних багаторазових ударах насінини об декі.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМА Й МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Експеримент – критерій істинності теоретичної моделі, що описує реальні процеси, база для одержання фізичних констант, що входять у розрахункові формули. Крім того, у ході експериментальної перевірки визначається техніко-економічна ефективність розробленої машини, відповідність її пропонуваних до якості виконання роботи вимогам.

Відповідно до цього складена програма експериментального дослідження, у яку входять лабораторні дослідження й виробничі випробування [182, 187, 188]. Розроблена програма передбачала розв'язок наступних завдань:

1. Вивчити вплив на коефіцієнт відновлення швидкості під час удару зерна ріпаку й бур'янистих рослин наступних факторів:

- а) Вологість насіння W (%);
- б) Швидкість насіння до моменту удару V_1 (м/хв);
- в) Модуль пружності відбивної поверхні E_2 (Н/м).

2. Визначити значення динамічного коефіцієнта тертя насіння ріпаку та бур'янів по поверхнях з різних матеріалів і з різною шорсткістю.

3. Провести експериментальну перевірку теоретичних залежностей дальності польоту насіння від їхніх пружних властивостей і конструктивних параметрів робочого органа, що сепарує.

4. Дослідити вплив питомої подачі насінневої суміші на показники якості очищення насіння ріпаку.

5. Провести обґрунтування основних параметрів робочого органа, що сепарує, при заданих продуктивності та засміченості.

6. Провести порівняльні випробування дослідного зразка сепаратора для сепарації за пружністю.

У ході виконання програми дослідження вирішувався ряд додаткових питань:

- вибір стандартного устаткування для проведення експериментів;
- розробка й виготовлення спеціального устаткування для лабораторних досліджень.

3.2. Методика дослідження фізико-механічних властивостей насіння ріпаку, супутніх бур'янів та домішків

Відомості про фізико-механічні властивості компонентів насінневої суміші необхідні для проведення експериментальних та теоретичних досліджень з вивчення можливості очищення насіння ріпаку від бур'янів та домішок, сортування насіння основної культури, а також для визначення ознак їх подільності [6, 47-49, 58-62, 183, 184].

Для проведення досліджень будемо використовувати насіння ріпаку попередньо очищене на зерноочисних машинах з повітре-решетно-трієрними робочими органами та насіння його важковідокремлюваних засмічувачів (підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишія) та склероцій білої гнилі.

Досліджуємо наступні фізико-механічні властивості компонентів суміші: розмірні характеристики (довжина, ширина, товщина); швидкість витання; коефіцієнти тертя, миттєвого тертя, відновлення швидкості при ударі; граничні кути підйому по вібруючій неперфорованій поверхні; траєкторії руху по вібруючій неперфорованій поверхні, пружність, форма, вологість.

Обсяг вибірки n насіння для досліджень приймемо рівним:

$$n = \left(\frac{V t_v}{\Delta} \right), \quad (3.1)$$

де V – коефіцієнт варіації;

t_v – квантиль розподілу Стюдента при рівні значимості V ;

Δ – відносна погрішність середнього.

При рівні значимості 0,05 квантиль розподілу Стюдента дорівнює

1,96. Підставивши у формулу коефіцієнт варіації та відносну погрішність середнього, одержимо обсяг вибірки 267 штук. При дослідженнях його приймали рівним 300 штукам.

3.2.1. Дослідження розмірних характеристик, форми та аеродинамічних властивостей

Вихідним матеріалом для досліджень необхідно прийняти попередньо очищені на повітряно – решітних машинах насіння ріпаку, а також насіння його важковідокремлюваних засмічувачів: підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, курячого проса, мишія й склероцій білої гнилі та інш.

Для визначення форми насіння та домішок будемо використовувати їх фотознімки в трьох взаємно перпендикулярних площинах, на яких через кожні 15° визначений радіус – вектори $R_{i\theta}$ (рис. 3.1).

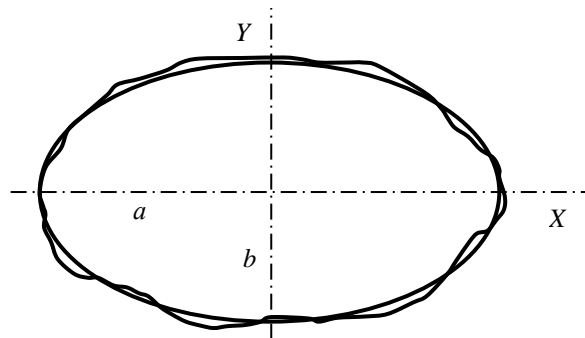


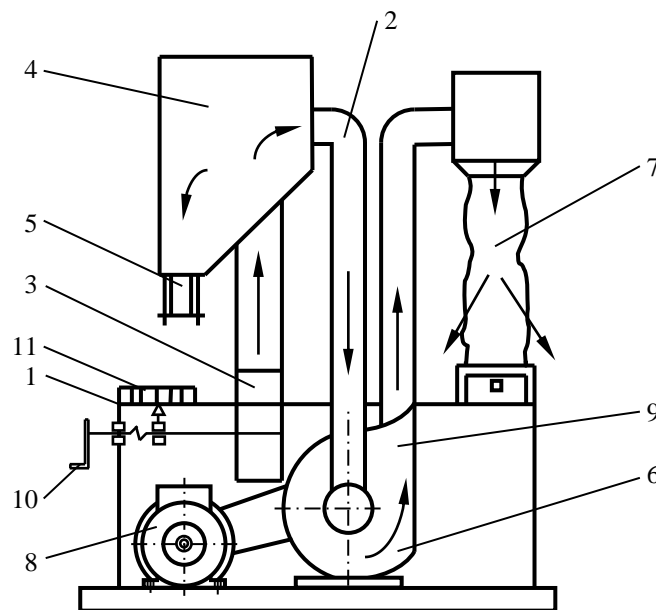
Рисунок 3.1 – Розрахункова та досліджувана форма насіння

Масштабність зображення дорівнює відношенню розміру зображення на фотознімку до природного розміру насіння. Природний розмір одержимо шляхом виміру насіння на мікроскопі УИМ-21.

Візуальний аналіз досліджуваного насіння показує, що форма його перерізу, ймовірність скочування по якій на вібруючій поверхні буде максимальною можна апроксимувати еліпсом [47-49, 58-62, 171].

Аеродинамічні властивості насіння характеризуються критичною швидкістю, що є ознакою розподільності їх у повітряних каналах зерноочисних машин. Під критичною швидкістю (швидкістю витання)

розуміють таку швидкість повітряного потоку, при якій середня швидкість насіння дорівнює нулю. Критичну швидкість будемо визначати з використанням вітрильного порціонного класифікатора ППК-ВИМ (рис. 3.2), швидкість повітряного потоку, в якому вимірюється за допомогою трубки Піто та мікроманометром МКВ-250. Класифікатор змонтований на столі 1 і включає робочий трубопровід 2 з міцного матеріалу, у якому закріплюється обичайка 3 з сіткою для наважки досліджуваних компонентів насіння. Трубопровід 2 входить у кінцевий відстійник 4, у нижній частині якого перебуває склянка 5 для збору насіння, що видалилися (домішок). Повітря засмоктується в трубопровід 2 вентилятором 6 та виходять із трубопроводу через тканевий фільтр 7. Вентилятор 6 приводиться в обертання електродвигуном 8 за допомогою клинопасового варіатора. Швидкісний напір у трубопроводі 2 регулюється дросельною заслонкою 9 (положення якої змінюється механізмом керування 10) або частотою обертання вентилятора 6 і визначається за шкалою 11, що закріплена на опорній плиті стола 1.



1 – стіл; 2 – робочий трубопровід; 3 – обичайка; 4 – кінцевий відстійник;
 5 – склянка для збору насіння, що видалилося (домішок) ; 6 – вентилятор;
 7 – тканевий фільтр; 8 – електродвигун; 9 – дросельна заслінка; 10 – механізм
 керування дросельною заслонкою; 11 – шкала

Рисунок 3.2 – Схема вітрильного порціонного класифікатора ППК-ВИМ

Для визначення критичної швидкості на вітрильному класифікаторі наважку насіння розділяємо на класи. Для кожного класу визначаємо швидкість початку та кінця підйому насіння, а середнє значення приймаємо за критичну швидкість для даного класу. Середнє арифметичне швидкостей всіх класів приймаємо як швидкість витання досліджуваного насіння.

3.2.2. Дослідження коефіцієнтів тертя

Визначення коефіцієнтів тертя насіння ріпаку, а також насіння бур'янистих рослин та домішок необхідно для дослідження можливості їх розподілу за властивостями поверхні, для вибору параметрів та режиму роботи вібраційних насіннеочисних машин та фрикційних сепараторів. Повноцінне насіння має звичайно гладеньку округлу поверхню, неповноцінне – зморщену шорсткувату.

Стан поверхні залежить від стиглості, вологості, умов вирощування та інше. Він істотно впливає на опір насіння руху по різних поверхнях. Тому фізико-механічна властивість насіння, пов'язана зі станом поверхні та визначальна величина сил тертя між насінинами, що рухаються, і опорною поверхнею робочих органів, використовується для розподілу насінневих сумішей.

Здатність компонентів суміші розділятися на робочих органах фрикційних сепараторів характеризується коефіцієнтом зовнішнього тертя.

Для визначення коефіцієнта тертя, як правило, використовуються прилади з похилою площиною [71] в яких через визначення кута нахилу площини під яким починається рух частинок по похилій площині за допомогою формули $f = \operatorname{tg} \varphi$, яка свідчить про те, що коефіцієнт тертя дорівнює тангенсу кута нахилу похилої площини при якому починається рух частинки.

Недоліком цього способу є низька продуктивність визначення коефіцієнтів тертя особливо сипкої сільськогосподарської сировини до якої відноситься насіння ріпаку та його засмічувачі. Це пояснюється тим, що

коефіцієнт тертя кожної з частинок одного і того ж виду сировини має відмінності.

Тому для визначення середньо статистичної величини коефіцієнту тертя, або для побудови варіаційних кривих потрібно визначити коефіцієнт тертя для великої кількості частинок, як правило 300 шт., і кожного разу визначення кута нахилу похилої площини потрібно починати з мінімального при якому частинка знаходиться в спокої, поступово підвищувати його поки вона не почне рухатись. Таким чином на це витрачається велика кількість часу, що й пояснює його низьку продуктивність.

Частково цей недолік усунуто в приладі для визначення статичного коефіцієнту зовнішнього тертя [156]. У цьому приладі похила площина поділена на похилі ділянки вкриті різним фрикційним матеріалом по якому визначаються величини коефіцієнту тертя. Принцип визначення коефіцієнтів тертя є таким як описано вище, але за рахунок того, що похила площина має похилі ділянки, час визначення коефіцієнтів тертя можна дещо скоротити.

Але все ж основним недоліком і цього приладу є низька продуктивність, яка пояснюється ще й тим, що на кожен подовжню ділянку похилої площини кладуть лише одну частинку.

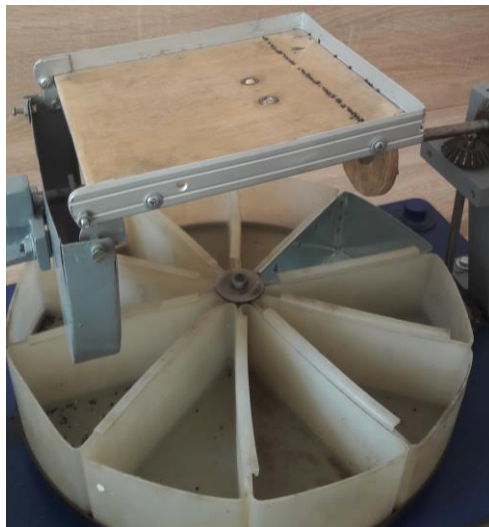
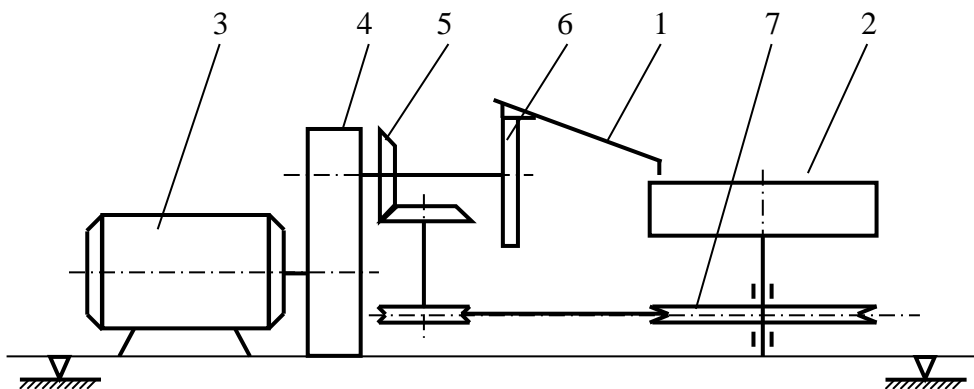
Для підвищення продуктивності процесу визначення коефіцієнтів тертя нами запропоновано новий прилад для визначення коефіцієнтів тертя.

Поставлена задача вирішується тим, що для підвищення продуктивності процесу визначення коефіцієнтів тертя прилад, що включає поверхню тертя викопану з можливістю зміни кута нахилу, приймачі продукту виконані у вигляді барабана з радіальними секціями та встановлені з можливістю їх обертання навколо осі барабана, причому механізм підйому поверхні тертя кінематично зв'язаний з механізмом обертання барабана.

Схема приладу для визначення коефіцієнтів тертя представлена на рис. 3.3: а) вигляд збоку, б) вигляд зверху.

Прилад складається з похилої площини 1, приймачів продукту 2, які виконані у вигляді барабана, привода 3, редуктора 4, конічної передачі 5,

кулачка 6 та ланцюгової передачі 7, що зв'язують механізм підйому поверхні тертя з механізмом обертання барабана.



1 – похила площина; 2 – приймачів продуктів; 3 – привод; 4 – редуктор;
5 – конічна передача; 6 – кулачок; 7 – ланцюгова передача
Рисунок 3.3 – Схема та зовнішній вигляд приладу для визначення
коефіцієнтів тертя

Працює прилад для визначення коефіцієнтів тертя наступним чином. На похилу площину приладу укладається повна наважка сировини для якої визначається кут тертя, наприклад, насіння ріпаку. Похила площина встановлюється на мінімальний кут при якому частинки ще залишаються в спокої на похилій площині.

Включається привод підйому похилої площини та обертання барабана. При збільшенні кута нахилу, частинки які мають менший коефіцієнт тертя починають рух вниз по площині і попадають в першу секцію приймачів барабана.

Як правило при цьому механізмом підйому площини підіймається на один градус, але ця величина може бути, іншою, наприклад, $1,5^\circ$ або 2° .

При подальшому підйомі похилої площини насіння потрапляє в другу секцію приймачів барабана і так далі. Після підйому площини до величини коли всі частинки перемістяться в секції приймачів, підраховується їх кількість в кожній секції та підраховується середнеарифметична величина коефіцієнту тертя, або вибудовуються варіаційні ряди або криві цієї величини.

Цей процес на відміну від відомих здійснюється за результатом проведення одного експерименту за рахунок чого продуктивність визначення коефіцієнтів тертя сипких сумішей значно зростає.

Для досліджень використовували фанеру технічну та абразивне полотно.

Фанеру технічну як фрикційний матеріал приймаємо для досліджень у зв'язку з тим, що вона є гарним конструкційним матеріалом для виготовлення робочої поверхні.

Абразивне полотно добре зарекомендувало себе при очищенні насіння багатьох сільськогосподарських культур, у тому числі ріпаку на вібраційних насінноочисних машинах [47, 62].

Величину коефіцієнта статичного тертя насіння визначали за формулою [71]:

$$f_0 = \operatorname{tg} \varphi . \quad (3.2)$$

Однак коефіцієнт статичного тертя застосовується тільки для сепараторів, робочі органи яких нерухомі або рухаються поступово. Тому що в основі роботи багатьох насінноочисних машин лежить коливальний рух, то для більшої вірогідності значень коефіцієнтів тертя, що використовувались як ознака подільності на машині з коливним робочим органом, їх необхідно визначити за способом, в основі якого також повинний лежати коливальний рух робочого органа. Коефіцієнт тертя частки по коливній поверхні визначаємо за формулою [156]:

$$f = \sqrt{\frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\varepsilon}}, \quad (3.3)$$

де β – граничний кут підйому насіння;

ε – кут спрямованості коливань.

3.2.3. Дослідження граничних кутів підйому насіння по похилій фрикційній вібруючій площині

Граничним кутом підйому насіння по вібруючій похилій фрикційній площині називається кут, при якому середня швидкість руху насіння дорівнює нулю. Він є основною ознакою подільності насіння – на вібраційної насіннеочісній машині [156].

Граничний кут підйому звичайно визначається для режимів руху насіння без підкидання (безвідривний режим) та для режимів з досить інтенсивним підкиданням (відривний режим).

Для наближеного обчислення граничного кута підйому β у безвідривному режимі руху насіння відома формула [153]:

$$\beta = \operatorname{arctg}(f^2 \operatorname{tg}\varepsilon), \quad (3.4)$$

де β – граничний кут підйому;

ε – кут між напрямком коливань та похилою площиною;

f – коефіцієнт тертя.

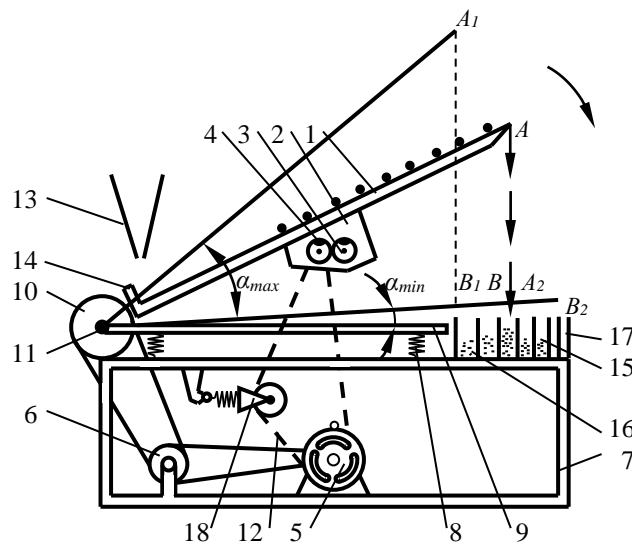
Для режиму з досить інтенсивним підкиданням насіння кут β визначається за формулою [153]:

$$\beta = \operatorname{arctg}\left(\frac{\lambda}{2-\lambda} \cdot \frac{1-R}{1+R} \cdot \operatorname{ctg}\varepsilon\right), \quad (3.5)$$

де λ – коефіцієнт миттєвого тертя при ударі;

R – коефіцієнт відновлення швидкості при ударі.

При проведенні досліджень граничні кути підйому насіння ріпаку, і їх важковідокремлюваних домішок будемо визначати експериментальним шляхом на розробленій установці, представлений на рис. 3.4.



- 1 – плита; 2 – вібратор; 3 – два вали; 4 – небалансні вантажі;
 5 – електродвигун; 6 – проміжна передача; 7 – нерухома підставка;
 8 – пружини; 9 – вібростол; 10 – механізм; 11 – шарнір; 12 – пасова передача;
 13 – дозатор; 14 – обмежувач; 15 – пакет приймачів; 16, 17 – крайні секції;
 18 – натяжний механізм

Рисунок 3.4 – Пристрій для визначення граничних кутів підйому

Пристрій для визначення граничних кутів підйому сипких матеріалів містить плиту 1, вібратор 2, вал 3, дебалансний вантаж 4, електродвигун 5, проміжну передачу 6, підставка 7, пружину 8, вібростол 9, механізм 10 для регулювання кута нахилу плити, шарнір 11, пасову передачу 12, дозатор сипучого матеріалу 13, обмежувач сипкого матеріалу 14, пакет приймачів 15, крайню секцію 16 пакета приймачів, розташовану на мінімальній відстані від осі обертання плити, та крайню секцію 17 пакета приймачів, розташовану на максимальній відстані від осі обертання плити 1. Натяг пасової передачі здійснюється механізмом 18.

Плита 1 виконується у вигляді твердої прямолінійної неперфорованої деки, що покривається фрикційним матеріалом. Вона приводиться у вібраційний рух за допомогою вібратора 2, що жорстко скріплений з плитою 1 та встановлюється в нижній її частині. Вібратор 2 представляє собою твердий корпус, у якому встановлені два вали 3 з закріпленими на них дебалансними вантажами 4. Вали 3 з вантажами 4 приводяться до руху електродвигуном 5 за допомогою пасової передачі 12. Крім того, обертовий

рух від електродвигуна 5 передається також на проміжну передачу 6. Електродвигун 5 та проміжна передача 6 жорстко закріплені на нерухомій підставці 7. На даній підставці 7 за допомогою пружин 8 пружно підвішений вібростол 9. На вібростолі встановлений механізм 10 регулювання кута нахилу плити 1 за допомогою шарніра 11. При цьому механізм 10 жорстко з'єднаний із плитою 1. Подача сипкого матеріалу на плиту 1 здійснюється за допомогою дозатора 13, розташованого над плитою 1. Можливі різні варіанти кріплення дозатора 13. Він може закріплюватися жорстко на вібростолі 9 або жорстко на окремо розташованому стояку. У нижній частині плити 1 встановлений обмежувач 14, що жорстко скріплений з плитою 1. Пакет 15 приймачів розташований з боку верхньої частини плити 1 та встановлений на підставці 7. Приймачі розташовані таким чином, що при максимальному значенні кута нахилу плити α_{\max} частки сипучого матеріалу надходять до секції 16, найбільш близько розташованої до шарніра 11. При мінімальному значенні кута нахилу плити 1 α_{\min} частки сипучого матеріалу надходять до секції 17.

Процес розподілу часток залежно від граничних кутів здійснюється в такий спосіб.

За допомогою дозатора 13 частки розподіляються уздовж обмежувача 14 на поверхні плити 1. Спочатку плита 1 нахилена до обрію на максимальний кут. Коли плита 1 приводиться до коливального руху за допомогою вібратора 2 та електродвигуна 5, то частки починають робити вібраційне переміщення до верхнього краю плити 1. Залежно від граничних кутів підйому частки мають різну швидкість вібраційного переміщення і приходять до верхнього краю в різні моменти часу. У момент приходу часток, що мають більшу швидкість, до краю плити вмикається механізм 10 та обертові рухи починають передаватися за допомогою передачі 6 на механізм 10 зміни кута нахилу плити 1. Механізм 10 починає плавно та безупинно здійснювати зміну кута нахилу плити до обрію. У результаті цього по мірі надходження часток до верхнього краю плити 1 вони розподіляються

по різних приймачах, що зібрані у пакет 15. При цьому частки, що мають рівні швидкості вібраційного переміщення, мають однаковий момент надходження до краю плити і відповідно рівні граничні кути підйому. Дані частки виявляються в тому самому приймачі. Обертання плити 1 за допомогою механізму 10 здійснюється до моменту рівності кута нахилу мінімальному значенню α_{\min} . Після здійснення зазначеного розподілу виконується підрахунок кількості часток у кожному приймачі і на підставі цього будуються варіаційні залежності розподілу часток залежно від граничних кутів підйому.

Граничні кути підйому насіння визнають як у режимі безвідривного руху, так і у режимі з безперервним підкиданням.

Це викликано наступними причинами. Форма та коефіцієнт тертя насіння впливають на поведження часток по віброуючій фрикційній поверхні при безвідривному режимі руху, пружні властивості в цьому випадку істотного впливу на рух не роблять. У режимі руху з досить інтенсивним підкиданням характер поведження часток визначається як формою насіння, що впливає на здатність їх до перекочування, так і коефіцієнтами відновлення швидкості при ударі та миттєвому терті при ударі [156].

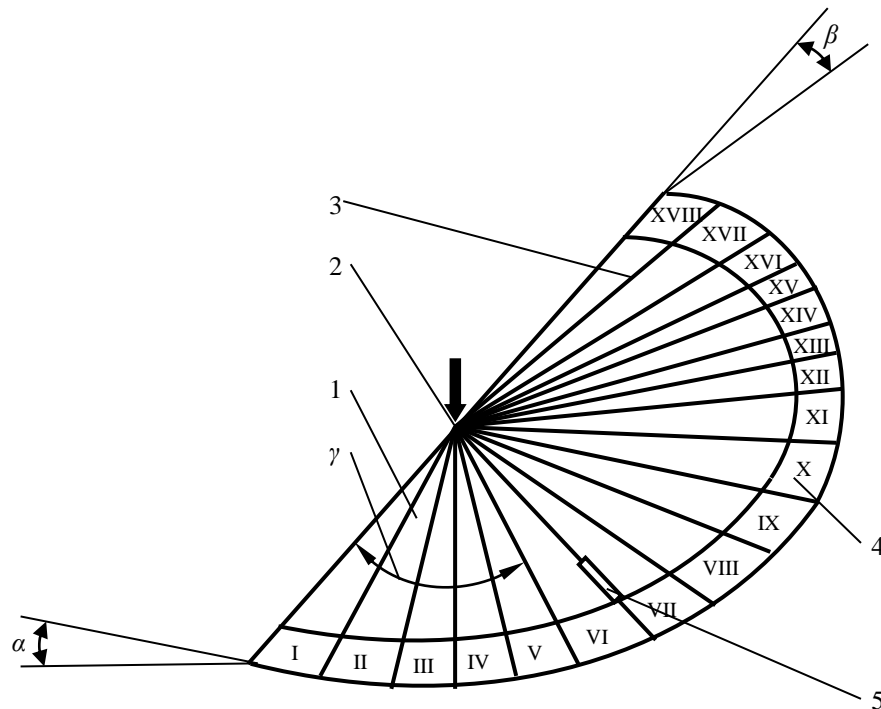
Для проведення експериментальних досліджень будемо використовувати насіння суміші ріпаку, що пройшло сепарацію на зерноочисних машинах з повітряно-решітними робочими органами.

3.2.4. Дослідження траєкторій руху часток по вібраційній фрикційній поверхні

При сепарації сумішей на вібраційних сепараторах з повздовжно-поперечним нахилом робочого органа частки суміші, залежно від фізико-механічних властивостей, переміщуються за різними траєкторіями. Тому запропоновано як ознака подільності для вібраційного сепаратора з поперечним нахилом фрикційну поверхню прийняти «кут γ нахилу траєкторій» часток суміші до повздовжньої осі сепаратора, що рахується від

спадаючої щодо живильника повздовжньої сторони робочої поверхні [56].

На рис. 3.5 схематично представлений новий пристрій для визначення кутів нахилу траєкторій часток суміші, в якому на відміну від [56] всі частинки, що рухаються по вібруючій поверхні в різних напрямках знаходяться в рівних умовах, тому що їх шлях від місця завантаження до потрапляння в приймачі продуктів є однаковим, приймачі встановлені радіально з одним і тим же радіусом від місця завантаження.



1 – плита; 2 – місце подачі часток; 3 – градуйована шкала; 4 – приймачі;
5 – ділительна планка

Рисунок 3.5 – Схема пристрою для визначення кута нахилу траєкторій руху часток по вібраційній фрикційній поверхні

Пристрій складається з плити 1 з фрикційною неперфорованою поверхнею, на якій відмічено місце 2 подачі часток та градуйована шкала 3, а також приймачі насіння 4. У пристрої може також встановлюватися ділительна планка 5. Пристрій працює в такий спосіб. На робочу поверхню плити 1 подають вихідну вибірку насіння, направляючи її в місце подачі часток. Деці передаються вібраційні коливання за допомогою вібратора. Дека нахилена до обрїю під заданими кутами α_2 й β_2 . Приймачі 4 насіння встановлюють по периметру плити 1 так, щоб вони розташовувалися опозитно точці 2 місця

подачі часток між двома сусідніми лініями градуйованої шкали 3.

Зручно для побудови варіаційних кривих приймачі розміщати через кожні 10...15°.

Після пропуску всієї вибірки роблять підрахунок кількості насіння кожного компонента вихідної суміші, що потрапило в кожний із приймачів 4. За цим даними будують варіаційні криві траєкторій рухів часток різних компонентів досліджуваної суміші. За допомогою варіаційних кривих кута нахилу траєкторій насіння основної культури та засмічувача можна визначити кут γ установки ділильної планки 5 сепаратора, при якому суміш розділяється на очищену фракцію та відхід.

3.2.5. Визначення вологості насіння

Вологість зерна – це основний показник його стійкості при зберіганні. Чим нижче вологість зерна або насіння тим менш активно протікають у ньому біохімічні процеси. Скорочується інтенсивність подиху, менш активно розвиваються мікроорганізми та бактерії, а, отже, воно стає більше стійким до факторів зовнішнього середовища і строк його безпечного зберігання значно зростає.

Волога в зерні може перебувати у вільному та зв'язаному стані. Та частина води, що входить до складу молекул білку, крохмалю, оболонки, називається зв'язаною. Та частина вологи, що перебуває в гігроскопічному стані, називається, вільною. Зв'язана вода у фізіологічних процесах участь не приймає. Вологість, при якій у зерні з'являється вільна волога, називається критичною.

Зерно вважається сухим, якщо в ньому не міститься вільна волога. Зерно по наявності вологи розділяється на чотири стани: сухе, середньої сухості, вологе та сире.

Хімічно зв'язана волога входить до складу молекул зерна в строго певних співвідношеннях і видалити її можна тільки, зруйнувавши саме зерно (наприклад, при прожарюванні).

Фізико-хімічно зв'язана вода входить до складу зерна в різних, не строго певних співвідношеннях. Це адсорбційно-зв'язана, осматично поглинена та структурна волога. Молекули такої води сорбовані гідрофільними колоїдами, втрачають властивість розчинника, не можуть легко переміщуватися та брати участь у хімічних реакціях, тому таку воду називають зв'язаною.

Зерно, що містить тільки хімічно зв'язану воду, вважається сухим.

У такому зерні фізіологічні процеси зведені до мінімуму.

Механічно зв'язана вода розміщена в мікро- та макро капілярах зерна. Вона не зв'язана ні фізично, ні хімічно, може вільно переміщуватися, має всі властивості води й називається вільною.

При визначенні вологості зерна встановлюють кількість саме вільної або механічно зв'язаної води.

– Визначення вологості зерна з вмістом води до 17 %

Визначення проводиться з використанням сушильної шафи СЭШ-3М або подібних їй.

Шафу вмикаємо в мережу та попередньо прогріваємо до температури $+130^{\circ}\text{C}$. Із середньої проби беруть наважку зерна. Потім ці наважки поміщають в алюмінієві або тонкостінні металеві бюкси. Кришку бюкси підкладають під чашку. Кришка та чашка повинні бути пронумеровані, мати однаковий номер і бути одного розміру. Перед визначенням їх зважують із точністю до 0,01 г.

Зібрані в такий спосіб наважки поміщають усередину сушильної шафи, встановлюючи їх попарно. Для цього в апараті передбачено 5 спарених гнізд.

При заповненні шафи бюксами температура усередині її падає. Після закриття дверцят шафи температуру необхідно підняти до $+130^{\circ}\text{C}$, що відбувається протягом 10...15 хвилин. Висушування відбувається в автоматичному режимі протягом 60 хвилин при температурі $+130\pm 2^{\circ}\text{C}$. Зверху в шафі є спеціальні отвори для виходу випареної води. При недостатній кількості зразків (менш 5) половину отворів закривають

спеціальними заглушками.

Через 60 хвилин шафу вимикають, відкривають дверцята та по черзі виймають бюкси, використовуючи при цьому тигельні лещата. Вийняту бюксу відразу ж накривають кришкою та поміщають у шафу-ексикатор для охолодження. Охолодження триває 15...20 хвилин до температури, при якій бюкси можна брати руками. Потім роблять зважування бюкси з точністю до 0,01 г. (при цьому кришка бюкси залишається закритою).

Вологість кожної наважки у відсотках визначають за формулою:

$$W = 100 \frac{M - M_1}{M}, \quad (3.6)$$

де M та M_1 – відповідно маса наважки до й після висушування, г.

Вологість зерна враховують як середньоарифметичне значення з двох наважок. Різниця між двома паралельними зважуваннями не повинна перевищувати 0,25 г.

– Визначення вологості зерна з попереднім підсушуванням

Цей метод застосовується для зерна з вологістю більше 17 %.

Методика проведення визначення полягає в наступному.

Попередньо вологість зерна визначають електричним методом за допомогою електровологоміру. Потім зважують дві наважки зерна по 20 г з точністю до 0,1 г. Поміщають їх у неглибокі чашки або сітчасті бюкси та підсушують у сушильній шафі за температури +105°C. При вологості зерна від 17 до 20 % час підсушування становить 3 хвилини.

У випадку, якщо вологість зерна становить більше 20 %, час підсушування збільшується на 1 хвилину на кожен відсоток вологості.

Після підсушування зерно охолоджуємо у відкритій чашці і зважуємо з точністю до +0,1 г. Маса підсушеного зерна записується як середнє арифметичне з двох визначень. Потім ці дві наважки поєднуємо в одну, подрібнюємо та проводимо подальше визначення вологості так, як описано в попередньому випадку (температура складає +130°C, час висушування – 60 хвилин).

Вологість зерна визначаємо за формулою:

$$W = 100 \left(1 - \frac{M_2 M_4}{M_1 M_3} \right), \quad (3.7)$$

де M_1 і M_2 – маса наважки не здрібненого зерна відповідно до та після підсушування, г;

M_3 та M_4 – маса наважки здрібненого зерна відповідно до та після підсушування, г.

Вологість визначаємо для кожної з двох наважок, а вологість партії зерна визначається як середнє арифметичне з двох отриманих значень.

3.2.6. Методика визначення коефіцієнта відновлення швидкості під час удару насіннь ріпаку і бур'янистих рослин

Відповідно до прийнятої аналітичної моделі удару насіння про площину, нормальний ударний імпульс і відповідна зміна швидкості руху насіння в напрямку нормалі до площини визначаються коефіцієнтом відновлення K .

Питання методики лабораторного визначення K досить докладно розглянуті в роботах С.Д.Птіцина [65, 66], П.І.Рябова [90], С.Ф.Боброва [89], Н.І.Філінкова [92], А.І.Бжезовского [195], П.П.Буйнова й П.Є.Арнольда [194] і ін. Загальним принципом розробленої методики є скидання частки з певної висоти H на горизонтальну площину й визначення висоти підскоку насіння h після удару. Оскільки в цьому випадку має місце прямий удар, нормальні складові швидкостей V_{n2} і V_{n1} заміняються абсолютними значеннями:

$$K = \frac{V_2}{V_1}, \quad (3.8)$$

де V_2 – швидкість насіння після удару, м/с;

V_1 – швидкість насіння до удару, м/с.

Зневажаючи опором повітря, припустимо при $H < 0,6$ м, з формули

Галілея:

$$V_1 = \sqrt{2gH}, \quad (3.9)$$

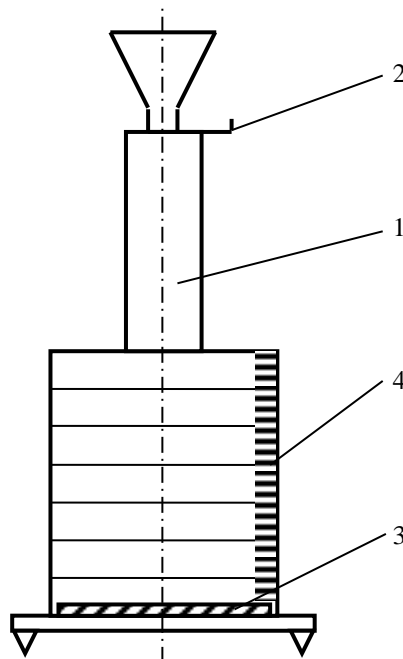
знаходимо:

$$K = \sqrt{\frac{h}{H}}, \quad (3.10)$$

де h – висота підскоку насіння після удару, м;

H – висота падіння насіння, м.

Для здійснення експерименту був виготовлений прилад (рис. 3.6) якій має штатив 1, скидач 2, відбивну поверхню 3, шкалу 4.



1 – штатив; 2 – скидач насіння; 3 – відбивна поверхня; 4 – шкала
Рисунок 3.6 – Прилад для визначення коефіцієнтів відновлення швидкості під час удару

У набір відбивних поверхонь входили пластини з різних матеріалів: сталь, фанера технічна, абразивне полотно.

При установці горизонтального положення відбивної поверхні й висоти скидача застосовувалися рівень і мірна лінійка. Висота падіння насіння була обрана рівної $H = 300$ мм. Висота підскоку h насіння після удару визначалася візуально по точці максимального піднесення траєкторії польоту насіння після удару.

Досліджувалися насіння ярового ріпаку сорту Ханна й насіння

важковіддільних бур'янистих рослин: подмаренника чіпкого (*Galium aparine*), курячого проса (*Echinochloa crus-galli*), мишію (*Sefanio viridis*), пикульника звичайного (*Galeopsis tetrahit*), горця в'юнкового (*Polugonum convu lvulus*) і круглеця (*Atriplex calotheca*).

Вологість насіння визначалася за методикою ДСТУ 4138-2002 [98].

а) Визначення залежності коефіцієнта відновлення насін'я від вологості.

Перші розробки по використанню сепарації на похилих відбивних поверхнях були пов'язані з поділом насінного матеріалу по вологості, що підвищує посівні якості насіння. Дослідження в цьому напрямку тривають і дотепер. У роботах Н.Ф.Попова [87], Н.І.Філінкова [92] та ін. показаний тісний кореляційний зв'язок між вологістю й коефіцієнтом відновлення швидкості насіння під час удару багатьох сільськогосподарських культур: гороху, пшениці, сої, ячменя. Відносно насіння ріпаку і бур'янистих рослин подібних досліджень не проводилося. Знаходження залежності між вологістю W і K має істотне значення й для очищення насіння від бур'янистої домішки, оскільки дозволяє визначити умови, при яких сепарація за пружністю найбільш ефективна, тобто місце відбивного сепаратора в технології післязбиральної обробки.

Експеримент проводився при зміні вологості насіння від 22 % до 6 %, відповідний до діапазону: від вологості купи до нижньої границі вологості після сушіння. Рівень вологості мінявся східчато, приблизно через 4 %. Погрішність виміру W становила $\pm 0,2$ %. Матеріал відбивної поверхні – фанера технічна.

Висновок про оптимальний рівень вологості W суміші, може бути зроблений по різниці у величині K для ріпаку і бур'янів: чим вона більше, тим вище досягається ділильна здатність, робочого органа. Відповідно вибирається й місце даного способу в технології (до сушіння або після неї).

б) Визначення залежності коефіцієнта відновлення насіння від їхньої швидкості до моменту удару.

Оскільки швидкість насіння до моменту удару й висота точки скидання

над відбивною поверхнею зв'язані залежністю (3.10), даний експеримент зводиться до виміру висоти підскоку насіння ріпаку й бур'янів при різних рівнях H одержуваних перерахунком від значень V_1 , що змінюються через рівні проміжки від нижнього до верхнього рівня.

Відповідні чисельні значення швидкості V_1 і висоти падіння H наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Рівні факторів експерименту по визначенню залежності коефіцієнта відновлення насіння від їхньої швидкості до моменту удару

Фактор	Рівень фактора						
	1	2	3	4	5	6	7
Висота падіння насіння, м	0,204	,0258	0,319	0,385	0,459	0,538	0,624
Швидкість насіння до моменту удару V_1 , м/с	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50

Визначення середньої величини коефіцієнта відновлення насінь, відповідної до кожного рівня швидкості V_1 , велося по вибірці з 100 насінь. Вологість насінь становила $7,5 \pm 0,5$ %.

в) Визначення залежності коефіцієнта відновлення насінь від пружних властивостей відбивної поверхні.

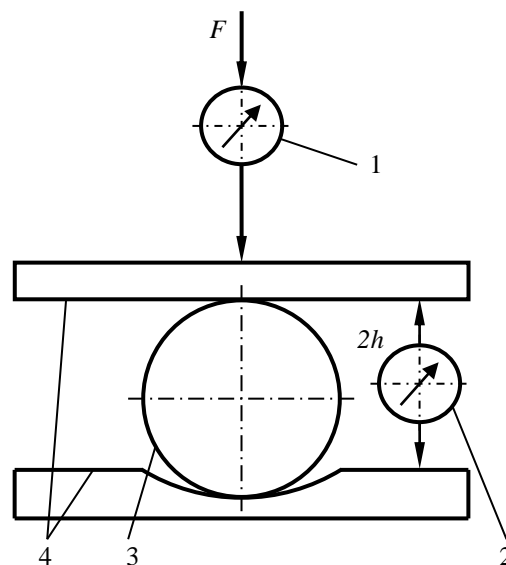
Передбачалося визначення величини коефіцієнта відновлення K при ударі насінь ріпаку й бур'янистих рослин по поверхнях з матеріалів: сталь, фанера технічна, абразивне полотно. Висота падіння насінь становила 300 мм. Довідкові значення модуля пружності E_2 досліджуваних матеріалів відбивної поверхні наведено в таблиці 3.2. Результати експерименту використовувалися для обґрунтування вибору матеріалу відбивної поверхні.

Таблиця 3.2 – Модулі пружності матеріалів відбивної поверхні

Матеріал	Модуль пружності E_2 , 10^7 Н/м ²
Сталь	$2,0 \cdot 10^4$
Гетинакс	$8,0 \cdot 10^2$
Фанера технічна	$1,2 \cdot 10^2$
Абразивне полотно	$4,0 \cdot 10^2$

В обох випадках метод визначення пружних властивостей насіння є непрямим і недостатньо точним, оскільки на коефіцієнт відновлення швидкості істотно впливає форма насіння, а на дальність відскоку – ще й коефіцієнт миттєвого тертя при ударі. Разом з тим, спосіб сепарації сумішей по пружних властивостях є найменш вивченим, і сепараторів, для поділу насіння, за пружними властивостями практично не розроблено. Крім того, пружність насіння істотно впливає на процеси сепарації практично всіх машин, що сепарують, особливо вібраційних, тому що вони працюють у динамічному режимі, що допускає безпосередній контакт зерна з вібруючими або ударними деками.

Для оцінки параметрів зіткнення зерна та поверхні, що відбиває, була створена установка, принципова схема вимірів на якій показана на рис. 3.7.



1, 2 – силівимірювальні пристрої; 3 – зерно; 4 – стінки

Рисунок 3.7 – Схема вимірів пружних характеристик насіння та стінки, що відбиває

Зерно 3 міститься на площині з відповідного матеріалу стінки, що відбиває, 4 (метал, фанера) і стискається силою F . При цьому сила F визначається силівимірювальним пристроєм 1, а переміщення, що характеризують змінання стику поверхонь, пристроєм 2. Зі схеми ясно, що показання пристрою виміру змінання варто ділити на 2 для випадку вивчення удару, і брати цілими для визначення модуля Юнга.

3.3. Методика експериментальних досліджень процесу сепарації

3.3.1. Методика проведення експериментальних досліджень процесів очищення насіння ріпаку

Експериментальні дослідження будуть проведені на лабораторному та діючому обладнанні. Для розробки обладнання будуть використовуватись дедуктивний метод та метод абдукції, а також методи пошуку нових технічних рішень такі, наприклад, як "метод задалегідь підкладеної подушки", "алгоритм вирішення винахідницьких завдань" та інші.

Обробка експериментальних даних буде проводитись з використанням стандартних методик [192] з використанням статистичних методів обробки експериментальних даних та методів багатofакторного планування експериментів.

Багатofакторне планування виконаємо симплекс-плануванням та методом центрально-композиційного планування [193].

Симплекс-планування є формалізованою кроковою процедурою, при якій значення факторів для наступного кроку призначаються залежно від результатів випробувань на попередньому кроці. Правила руху від попереднього симплекса до наступного викладені в [193]. При проведенні експериментів задаються початкові рівні варіюємих факторів: x_1 , x_2 і так далі.

Перехід від кодованих значень до натуральних визначаються за формулою:

$$\chi = \frac{x_i - x_{i0}}{\delta_i}, \quad (3.11)$$

де χ – кодоване значення факторів;

x_i – натуральне значення фактора;

x_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

δ_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Координати i -тої точки в новому симплексі x_{ij}^* визначаються за

формулою:

$$x_{ij}^* = \frac{2}{K} (x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{i(j-1)} + x_{i(j+1)} + \dots + x_{i(K+1)}) - x_{ij}, \quad (3.12)$$

де j – номер експерименту, у якому для вихідного симплекса отримане найменше значення параметра оптимізації;

K – число факторів;

i – індекс незалежної змінної.

Координати інших точок плану в новому симплексі приймаються такими ж, як і у попередньому симплексі.

Для кодованих значень факторів координати вихідного симплекса обчислюються по формулах наведених в [193].

Параметри роботи машин, отримані методом симплекса-планування можна уточнити, якщо прийняти іншу процедуру планування. Ця процедура складається з опису поверхні відгуку (параметра оптимізації) рівнянням із числом змінних відповідному числу факторів, що впливають на процес, а потім виконується оптимізація. При цьому уточнення досягається за рахунок зменшення кроку при виконанні оптимізації.

Крім того поверхня функції відгуку виходить більш достовірною оскільки для одержання коефіцієнтів рівняння регресії використовуються експерименти у всіх точках плану, у той час, як при оптимізації симплекса-планування необхідна вірогідність результатів досягається за рахунок збільшення числа експериментів у кожній точці плану. Функцію відгуку в нашому випадку приймемо у вигляді полінома другого порядку. Оптимізацію параметрів виконаємо градієнтним методом. При цьому будемо враховувати обмеження, як на значення параметрів, так і обмеження в критеріях оцінки якості роботи машин.

Для одержання рівнянь регресії використаємо центральньо-композиційне планування зі стандартними планами експериментів [191]. Коефіцієнти рівнянь регресії підрахуємо на ЕОМ шляхом рішення системи рівнянь.

3.3.2. Методика проведення виробничих випробувань

Випробування дослідного зразка відбивного сепаратора й серійних зерноочисних машин проводилися відповідно до ГОСТ 70.10.2-83 [202], яким установлюється програма й методи випробувань зерноочисних машин.

У якості базового було обрано Селянське фермерське господарство «Калина» Вовчанського району Харківської області, що має технологічну лінію післязбиральної обробки насіння ріпаку. До складу лінії входять:

- машина попереднього очищення купи ОВС-25;
- шахтна сушарка КМЗ;
- повітряний сепаратор «САД».

Останній сепаратор призначений для вторинного очищення насіння. Його використання залежить від рівня засміченості матеріалу, що пройшов попереднє очищення на машині ОВС-25. Вологість насіння після сушіння на шахтній сушарці становила $W = 7...8 \%$.

Даний набір машин практично вичерпує спектр насіння-очисного устаткування, що застосовується для очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок.

Регулювання, настроювання на режим і технічне обслуговування машин-аналогів робили відповідно до інструкцій з експлуатації й даними рекомендацій.

Перед проведенням випробувань проводилися регулювання, у ході яких було встановлено, що для одержання насінневого матеріалу I класу необхідно після попереднього очищення й сушіння зробити вторинне очищення на повітряно-решітній машині й, потім, очищення від насіння важковідокремлюваних бур'янів.

Перед проведенням випробувань був здійснений вибір умов випробування: агробіологічна оцінка матеріалів, що впливає на

агротехнічні й експлуатаційні показники роботи насінноочисних машин.

До умов випробувань відносяться:

- вид оброблюваних культур, сорт, їх агробіологічні особливості;
- рівень засміченості (чистота) матеріалу, кількісний і якісний склад засмічівача;
- вологість насінного матеріалу;
- метеорологічні умови.

Умови випробувань установлює ГОСТ 70.2.15-73. Рівноцінність умов, згідно ГОСТ 70.2.16-73, вважається встановленою, якщо різниця по окремих характерних ознаках, що впливають на роботу машини, не перевищує 20 %.

У ході випробувань проводилася післязбиральна обробка насіння ріпаку сорту Ханна.

Аналіз змісту бур'янистої домішки в матеріалі проводився відповідно до ГОСТ 12037-81. Як відзначалося, при підготовці вихідного матеріалу проводилося попереднє очищення купи, сушіння до вологості $W = 7...8 \%$, вторинне очищення на повітряно-решітній машині. Таким чином, досліджувалася робота дослідного зразка багатоярусного ударного сепаратора як машини спеціального очищення насіння ріпаку. Зміст насіння бур'янистих рослин у матеріалі, що надходить на спеціальне очищення змінювалося в різних зразках від 15,2 % до 49,3 %.

Маса 1000 насіння, за методикою ГОСТ 10842-89 також залишалася стабільною й склала $3,00 \pm 0,12$ г.

Час випробувань – вересень 2018 р., температура повітря – 14...21°C.

Кількість вихідного матеріалу кожного зразка встановлювалася, з урахуванням регулювальних дослідів, на відповідність продуктивності машин і тривалості дослідів, і склало по 1,5 т.

Визначення режимів роботи випробовуваних серійних машин проводили з обліком їх номінальної продуктивності й виправлень на культуру й засміченість.

Час кожного досліду – 10 хвилин. Збір фракції робили в перші 2 хвилини досліду, 2-х хвилин у середині досліду й 2-х – в кінці.

Фракції зважувалися з погрішністю ± 100 г. На чистоту аналізували середній зразок маси:

- вихідний і очищений матеріал – 50 г;
- великі домішки, дрібні й великі насіння – 10 г;
- дрібна фракція й підсів – 5 г.

Подачу насіннеочисної машини визначали за формулою:

$$V = 0,06 \frac{\sum^z x_i}{\tau}, \quad (3.13)$$

де V – подача, т/ч;

x_i – маса i -ї фракції в кг за τ хв;

τ – тривалість досліду, хв;

z – кількість фракцій (вихід), шт.

3.3.3. Методика визначення показників якості насінневого матеріалу

Оцінка класності насінневого матеріалу за середнім значенням того або іншого параметра якості, обумовленого стандартною методикою не дозволяємо з достатньою гарантією встановити приналежність його даному класу. Це пояснюється тим, що значення параметрів якості насінневого матеріалу мають статистичний характер [192].

Проведені дослідження показали, що значення параметрів якості насіння можуть мати досить значний розкид, переходячи навіть границі класів, тому розробка більш точного методу оцінки якості насінневого матеріалу, що враховує імовірнісний характер значень його показників має істотне практичне значення.

Дослідження якості насінного матеріалу будемо проводити за стандартною методикою, але з п'ятикратною повторністю, що дасть можливість визначити статистичні характеристики параметрів якості насіння

(вміст насіння основної культури й ін.).

При статистичних дослідженнях параметрів якості насіннєвого матеріалу встановлюється непротиріччя розподілу ймовірностей випадкових значень показників якості насіннєвого матеріалу якому-небудь теоретичному закону. При цьому перевіряється як правило за критерієм Стьюдента [182, 192] чи не суперечить даний розподіл нормальному закону; потім при необхідності досліджуються інші закони розподілу. При обробці експериментальних даних визначаються середні значення показників якості насіннєвого матеріалу й інтервальна оцінка відхилень індивідуальних значень при рівні значимості 0,05.

Визначення ймовірності відповідності якості насінного матеріалу тому або іншому класу здійснюється за даними емпіричних оцінок статистичних характеристик показників якості і їхніх границь, встановлених стандартом.

При сепарації насіннєвої суміші на насіннеочисних машинах насіннєвий матеріал відбирається в кілька приймачів, тобто розділяється на фракції. Розподіл насіннєвого матеріалу по фракціях оцінювався статистичними дослідженнями при рівні значимості 0,05. Встановлюється, якому з теоретичних законів розподілу ймовірностей не суперечить розподіл насіннєвого матеріалу по фракціях. За емпіричним значенням параметрів закону розподілу визначається ймовірність надходження насіннєвого матеріалу в кожную фракцію.

Для оцінки якості роботи насіннеочисних машин; відповідно до ГОСТ 5888-74 використовуються показники:

- вміст бур'янистої домішки в очищеній фракції – ζ_{oc} , шт./кг;
- вихід очищеної фракції:

$$G_{oc} = \frac{M_{oc}}{M_{вих}}, \quad (3.15)$$

де M_{oc} – маса насін'я в очищеній фракції, кг;

$M_{вих}$ – маса вихідного матеріалу, кг;

- повнота поділу E , визначається за формулою

$$E = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{B_1 + B_2 + \dots + B_n}, \quad (3.16)$$

де $A_1 \dots A_n$ – відносна кількість засмічувача даного виду у відходах у відсотках від загальної кількості вихідного матеріалу;

$B_1 \dots B_n$ – відносна кількість засмічувача даного виду у вихідному матеріалі у відсотках;

– ефективність сепарації E_ϕ – найбільш комплексний показник досконалості виконання робочими органами процесу виділення бур'янистої домішки:

$$E_\phi = \frac{m - m_{\text{вiдх}}}{m} \cdot \frac{n - n_{\text{оч}}}{n}, \quad (3.17)$$

де m – маса насінь основної культури у вихідному матеріалі, кг;

$m_{\text{вiдх}}$ – маса насінь основної культури у фракції відходів, кг;

n – маса бур'янистої домішки у вихідному матеріалі, кг;

$n_{\text{оч}}$ – маса бур'янистої домішки в очищеній фракції, кг.

Висновки за розділом 3

1. Запропонована програма експериментальних досліджень була спрямована на розв'язок завдань вивчення фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та домішків, визначення конструктивних параметрів багатоярусного ударного сепаратора та розробку його конструкції, дослідження впливу параметрів сепарації на засміченості суміші на вихід очищеної фракції, перевірки співвідношення теоретичних досліджень до експериментальних та визначення раціональних параметрів процесу сепарації.

2. Обрані методи визначення якості сепарації насіння ріпаку за пружними властивостями на гравітаційних багатоярусних ударних поверхнях.

3. Обґрунтовані методи та обладнання для дослідження фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків, та визначення раціональних параметрів процесу сепарації.

4. Розроблені інноваційні методи та обладнання для визначення фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків такі як: прилад для визначення коефіцієнтів тертя, граничних кутів підйому, траєкторій руху по вібраційній поверхні, пружних характеристик насіння.

5. Провести експериментальні дослідження згідно з розробленою програмою і методикою.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1. Дослідження розмірних характеристик

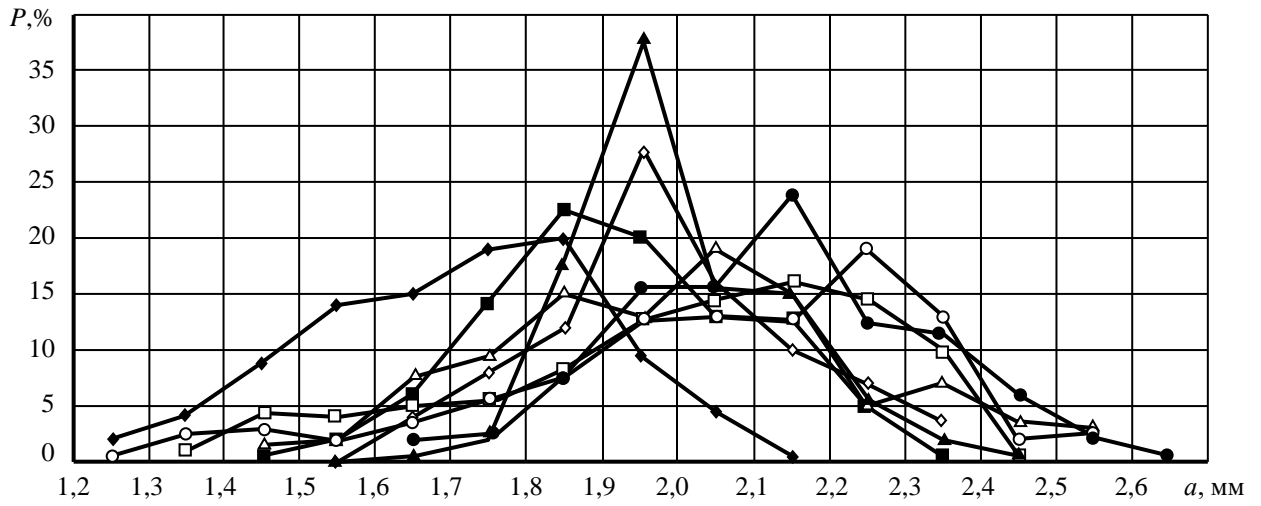
За результатами власних експериментальних досліджень [6, 7, 208] були побудовані варіаційні криві розмірних характеристик насіння основної культури та домішків. Варіаційні криві розмірних характеристик насіння та його засмічувачів наведені на (рис. 4.1).

Аналіз варіаційних кривих розподілу значень ширини насіння (рис. 4.1) показує, що на решетах з круглими отворами є можливість видалити з насіння ріпаку до 28 % мишію, 9 % пікульника, 8 % склероцій білої гнилі та близько 3 % насіння підмаренника чіпкого без втрат насіння основної культури.

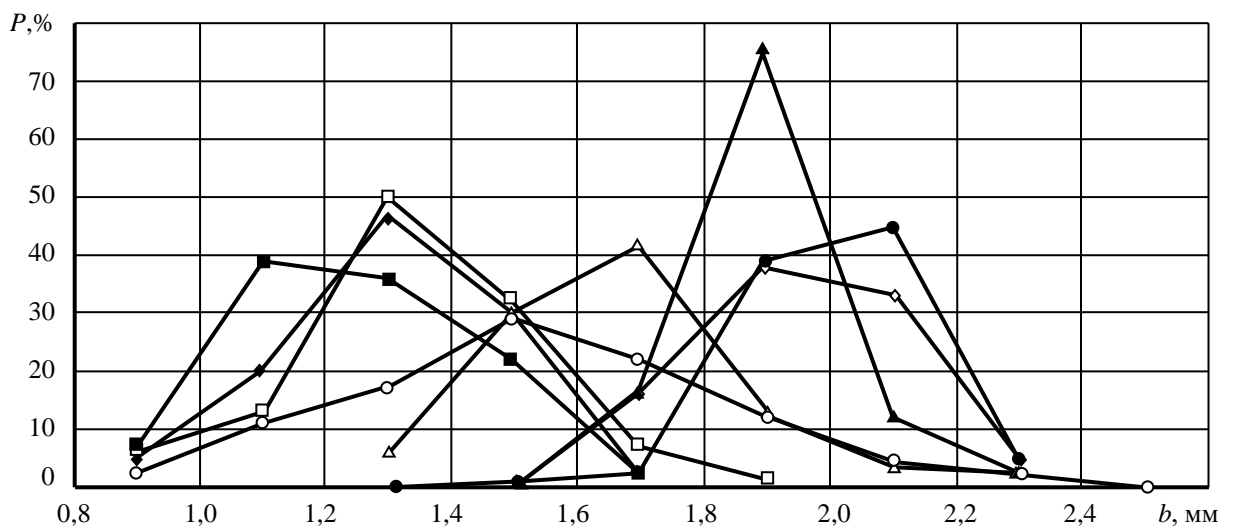
З аналізу варіаційних кривих розподілу значень товщини насіння ріпаку (рис. 4.1,б) видно, що на решетах з довгастими отворами можна виділити близько 81 % пікульника, 69 % курячого проса, 68 % мишію та 14 % склероцій білої гнилі. Не можливо виділити з насіння ріпаку насінини підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, тому що їх варіаційні криві практично повністю накладаються.

У трієрних циліндрах з насіння ріпаку є можливість виділити близько 16 % склероцій білої гнилі (рис. 4.1,в). Варіаційні криві довжини насіння основної культури та їх засмічувачів: підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, пікульника, курячого проса, мишію та горця – повністю перекриваються.

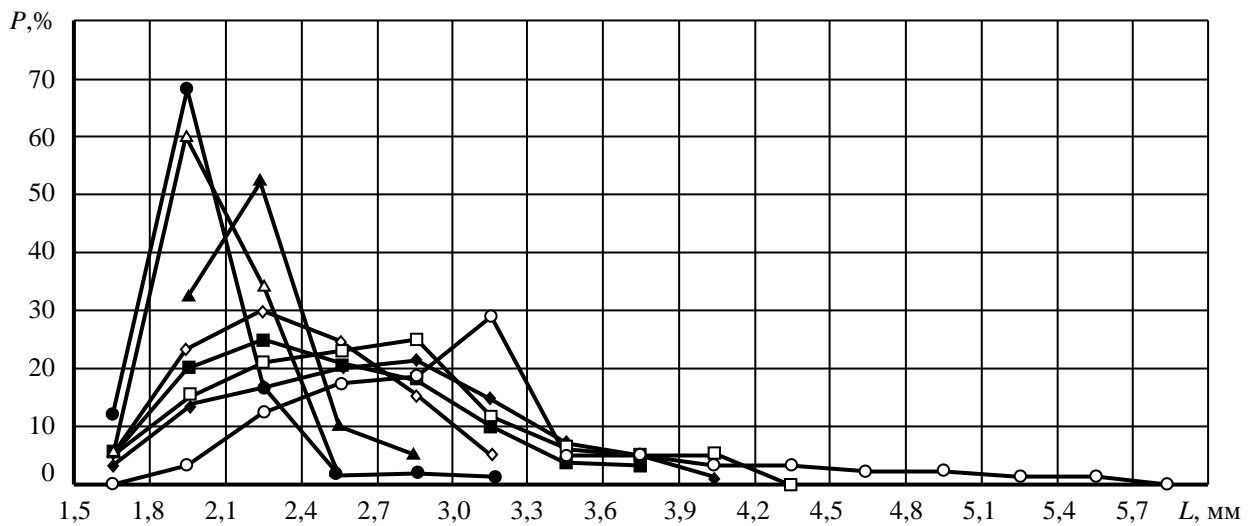
Таким чином, вторинне очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янів за розмірами малоефективне та недоцільне, за винятком видалення пікульника, курячого проса та мишію на решетах з довгими отворами.



а)



б)

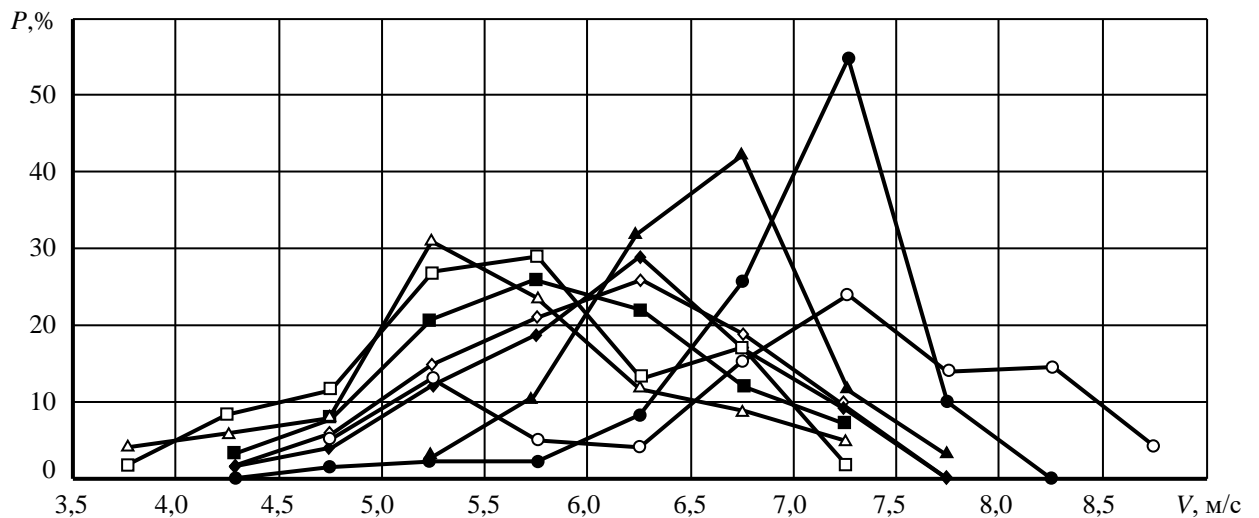


в)

а – за товщиною; б – за шириною; в – за довжиною;
 ● – ріпак; ○ – склеротії білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник
 чіпкий, ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишій; ◇ – горець
 Рисунок 4.1 – Варіаційні криві розподілу значень насіння і домішків

4.2. Дослідження аеродинамічних властивостей

Варіаційні криві швидкостей витання насіння ріпаку та його засмічувачів представлені на (рис. 4.2). Швидкість витання насіння ріпаку змінюється від 4,0 до 8,5 м/с. Швидкість витання насіння бур'янів і домішок змінюється в межах: склероцій білої гнилі – 4,5...9,0 м/с, підмаренника чіпкого – 3,5...0,75 м/с, круглеця метельчатого – 5,0...8,0 м/с.



- – ріпак; ○ – склероції білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник чіпкий; ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишій; ◇ – горець

Рисунок 4.2 – Варіаційні криві розподілу значень критичної швидкості насіння та домішок

З рис. 4.2 видно, що варіаційні криві швидкостей витання насіння ріпаку, суріпиці, бур'янів та домішок значно перекриваються, тому вторинний розподіл цієї суміші в аспіраційних каналах зерноочисних машин майже неможливий.

4.3. Дослідження коефіцієнтів тертя

Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів тертя руху насіння ріпаку та домішок по абразивному полотну з крупними зернами і по фанері технічній представлені, відповідно, на (рис. 4.3) та (рис. 4.4).

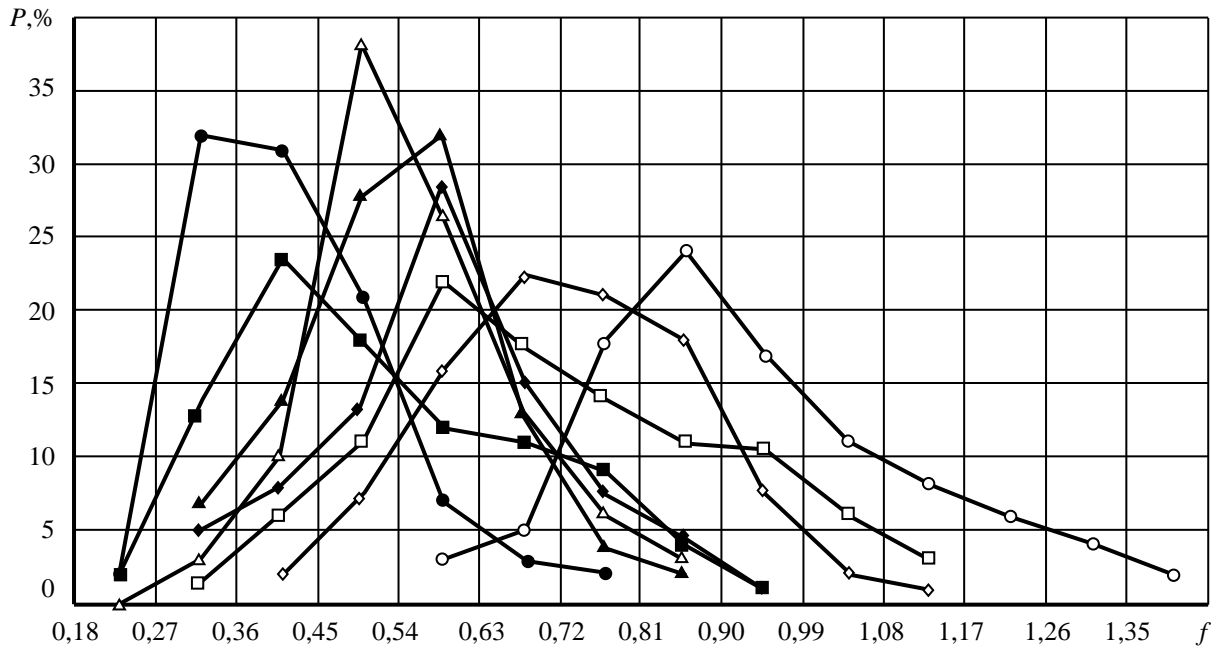


Рисунок 4.3 – Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів тертя насіння по абразивному полотну з крупними зернами

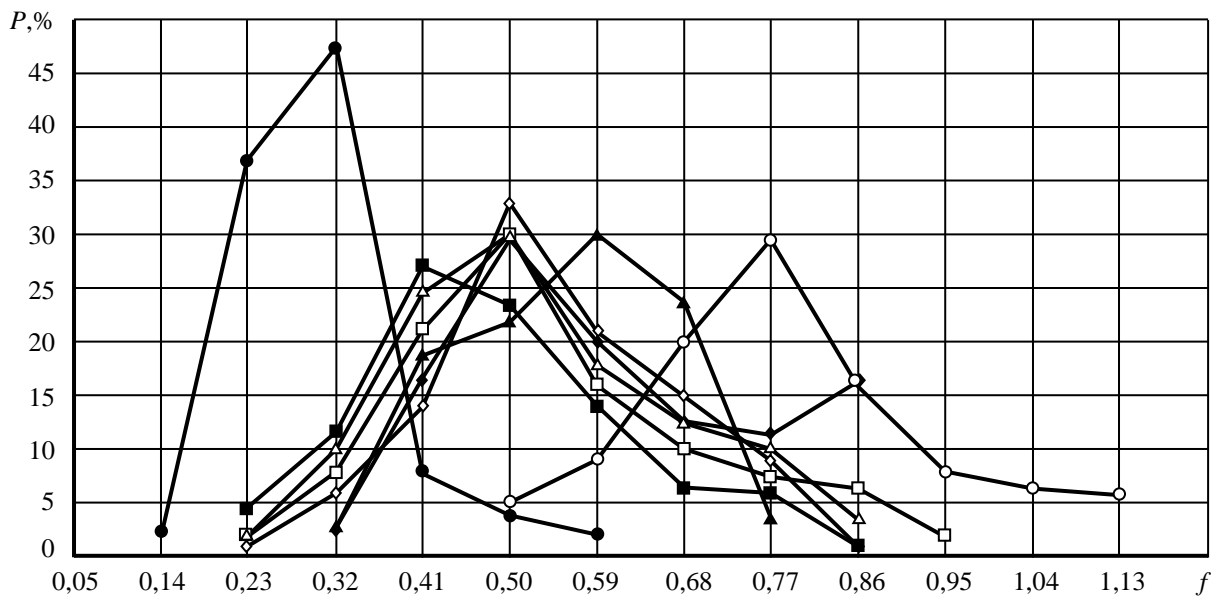


Рисунок 4.4 – Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів тертя насіння по фанері технічної

Найкращих результатів очищення насіння ріпаку від склерозій білої гнилі можна досягти на поверхнях, облицьованих абразивним полотном з

крупними зернами (74 %), фанерою технічною (86 %) без втрат насіння основної культури.

Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів тертя показують, що найбільш ефективно процес очищення насіння ріпаку від насіння підмаренника чіпкого можна здійснити на поверхнях, облицьованих фанерою технічною (32 %).

Насіння круглеця метельчатого з насіння основної культури за даною ознакою подільності можна виділити на поверхнях, облицьованих фанерою технічною – 27 %, абразивним полотном – 29 %.

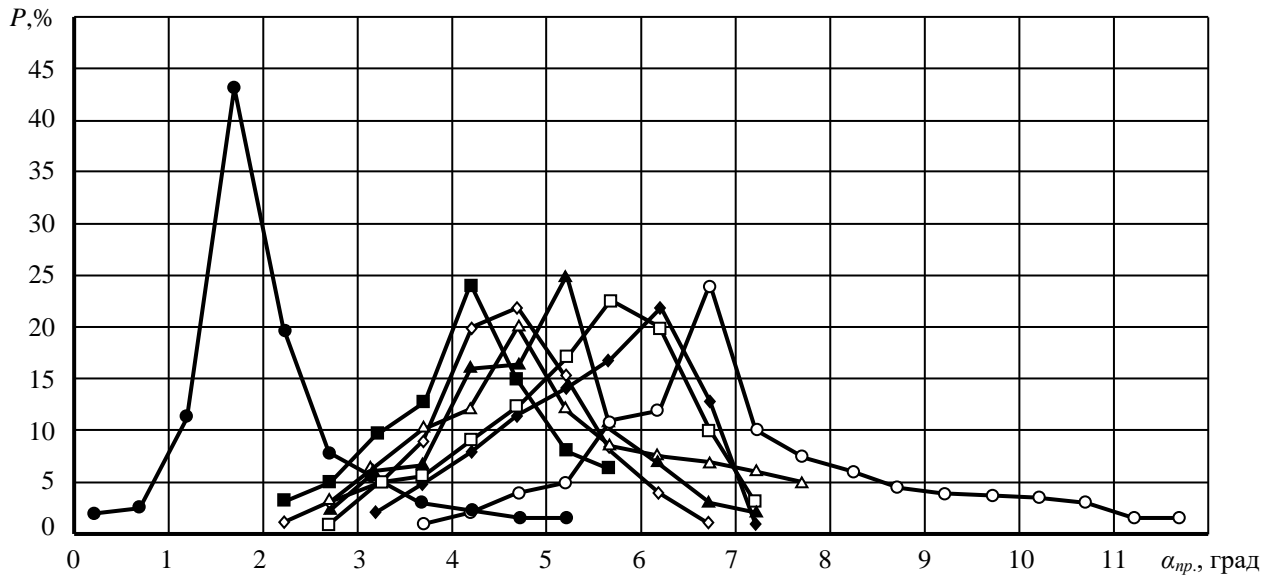
На поверхнях облицьованих абразивним полотном з крупними зернами можна виділити за коефіцієнтом тертя 32 % курячого проса, 24 % горця, 44 % пікульника та 6 % мишію, а на фанері технічній 25 % горця, 24 % курячого проса, 24 % мишію та 14 % пікульника без витрат насіння ріпаку у відходи.

4.4. Дослідження граничних кутів підйому насіння по похилій фрикційній вібруючій площині

Для проведення експериментальних досліджень граничного кута підйому використовували насіння суміші ріпаку, що пройшло сепарацію на зерноочисних машинах з повітряно-решітними робочими органами.

Варіаційні криві розподілу значень граничних кутів підйому насіння ріпаку, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, склероцій білої гнилі представлені на рис. 4.5.

Аналіз результатів досліджень показує, що найбільш істотних значень виділення з насіння основної культури їх важковідокремлюваних засмічувачів варто очікувати на поверхнях, облицьованих абразивним полотном. На поверхні, облицьованій абразивним полотном (рис. 4.5), є можливість виділити з насіння ріпаку 67 % склероцій білої гнилі, 55 % насіння підмаренника чіпкого, 69 % насіння круглеця метельчатого.



● – ріпак; ○ – склероції білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник чіпкий, ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишій; ◇ – горець

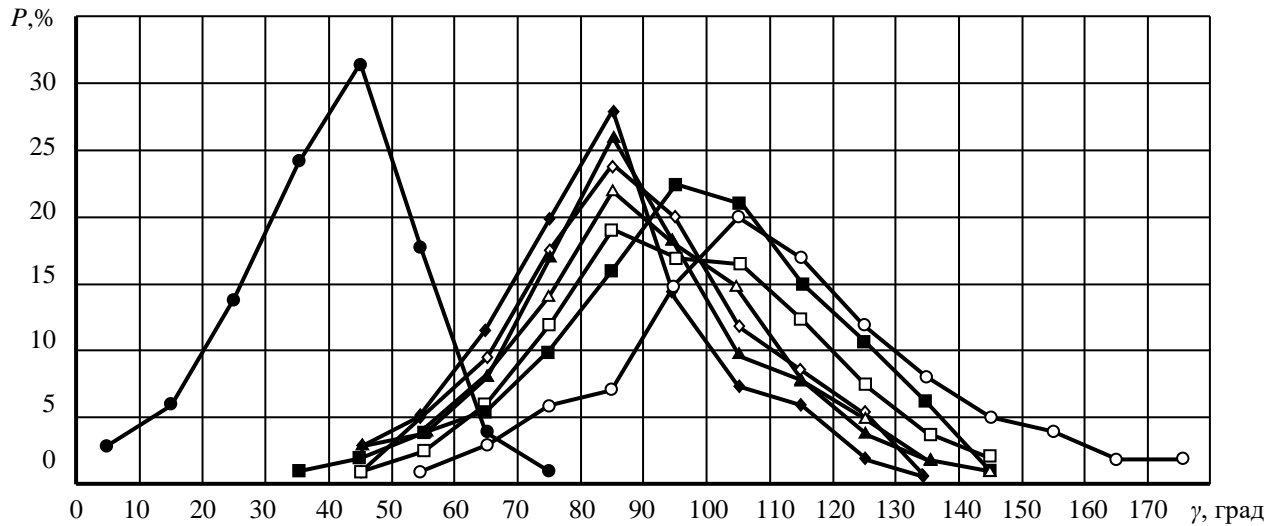
Рисунок 4.5 – Варіаційні криві розподілу значень граничних кутів підйому насіння у відривному режимі руху по поверхні, облицьованій абразивним полотном з дрібними зернами

Якщо до відходів віднести 5 % насіння ріпаку, то з насіння основної культури можна виділити 89 % склероцій білої гнилі, 88 % насіння підмаренника чіпкого та 80 % насіння круглеця метельчатого.

Проведені експериментальні дослідження розподілу значень граничних кутів підйому насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок показують, що на неперфорованих фрикційних поверхнях є можливість повністю виділити (при незначних втратах насіння основної культури) або виділити значну кількість склероцій білої гнилі, підмаренника чіпкого, круглеця метельчатого, пікульника, мишію, курячого проса та горця без втрат насіння ріпаку.

4.5. Дослідження траєкторій руху частинок по вібраційній фрикційній поверхні

Варіаційні криві розподілу траєкторій руху насіння ріпаку та домішків по вібраційній неперфорованій поверхні показані на рис. 4.6.



● – ріпак; ○ – склероції білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник чіпкий, ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишій; ◇ – горець
Рисунок 4.6 – Траєкторія руху насіння ріпаку та домішків по вібраційній поверхні

Аналіз варіаційних кривих показує, що за траєкторіями руху насіння по вібруючій поверхні можливо видалити значну частину до 68% ріпаку при повному відділенні від склероцій білої гнилі.

4.6. Дослідження форми насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок

Розміри півосей еліпса знаходили як середнє арифметичне розрахункових півосей у кожному досліді [171].

У таблиці 4.1 наведені розрахункові піввісі апроксимованого насіння і склероцій білої гнилі в трьох взаємно перпендикулярних площинах, а також середньовідносні похибки.

Проведеними раніше дослідями [171] і нашими дослідженнями встановлено, що контури проєкцій всього насіння та склероцій білої гнилі, крім фронтальної і профільної проєкцій мишію та курячого проса, а також фронтальної проєкції підмаренника чіпкого, можна апроксимувати еліпсом.

Отримані значення параметрів еліпса (табл. 4.1) можуть бути використані для аналізу можливості сепарації насіння за формою, а також при теоретичних дослідженнях їх руху по неперфорованих робочих органах насіннеочисних машин, в той же час в теоретичних розрахунках осі еліпса можна прийняти однаковими, тобто замінити кругом, а саму частинку можна розглядати у вигляді кулі або точки враховуючі їх малі розміри.

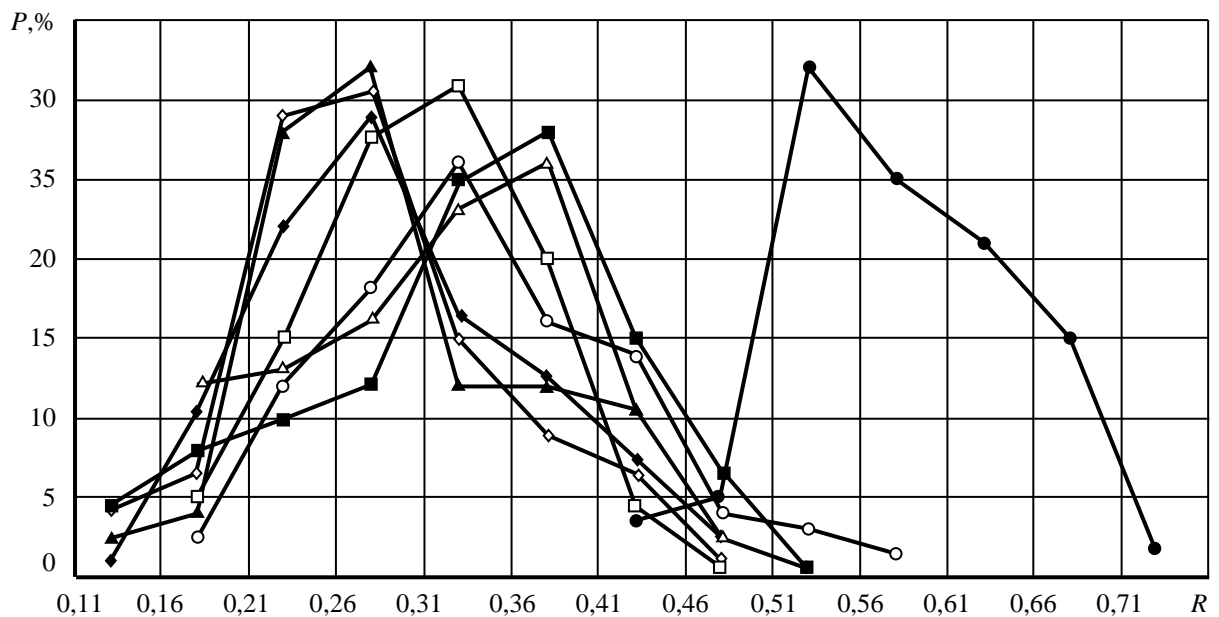
Таблиця 4.1 – Розрахункові піввісі апроксимованого насіння та склероцій білої гнилі в трьох взаємно перпендикулярних площинах і середньовідносні похибки їхньої форми

Найменування	Площина проекції								
	горизонтальна			фронтальна			профільна		
	піввісь <i>a</i> , мм	піввісь <i>b</i> , мм	середньо відносна похибка, %	піввісь <i>a</i> , мм	піввісь <i>b</i> , мм	середньо відносна похибка, %	піввісь <i>a</i> , мм	піввісь <i>b</i> , мм	середньо відносна похибка, %
Ріпак	1,09	1,03	1,60	1,08	0,98	1,08	1,00	0,95	1,8
Круглець метельчатий	1,14	1,11	3,12	1,09	0,89	3,07	1,14	0,89	1,7
Підмаренник чіпкий	1,24	1,09	2,47	1,22	0,80	15,80	1,14	0,88	4,8
Склероції білої гнилі	2,04	0,88	2,84	2,08	0,76	4,92	0,88	0,76	2,7
Мишій	1,48	1,06	2,74	1,48	0,76	31,7	0,98	0,76	15,8
Куряче просо	1,52	1,08	2,76	1,50	0,78	27,9	1,00	0,78	16,8
Пікульник	1,68	1,08	2,82	1,68	0,80	25,5	1,08	0,80	15,2
Горець	1,16	1,08	2,96	1,18	0,92	20,2	1,14	0,90	14,2

4.7. Дослідження пружних властивостей насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок

Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів відновлення швидкості визначених за допомогою приладу представленого на рис. 3.6 та вихованих за формулою (3.10) насіння ріпаку та засмічувачів представлені на рис. 4.7.

Аналіз результатів досліджень [181, 197] показує, що на поверхні, облицьованій фанерою (рис. 4.7), без втрат насіння ріпаку можна виділити близько 78 % склероцій, до 77 % насіння підмаренника чіпкого, 89 % насіння круглеця метельчатого, 77 % пікульника, 89 % мишію, 92 % горця та 93 % курячого проса.



- – ріпак; ○ – склероції білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник чіпкий, ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишія; ◇ – горець

Рисунок 4.7 – Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів відновлення швидкостей насіння та домішок по фанері

Результатом аналізу варіаційних кривих розмірів, аеродинамічних властивостей, коефіцієнтів тертя, форми, пружних властивостей, а також фізико-механічних властивостей враховуючих сукупність фізико-механічних властивостей (коефіцієнтів тертя, шорсткість, пружність, форму) граничних кутів підйому по віброуючій поверхні і траєкторії кута

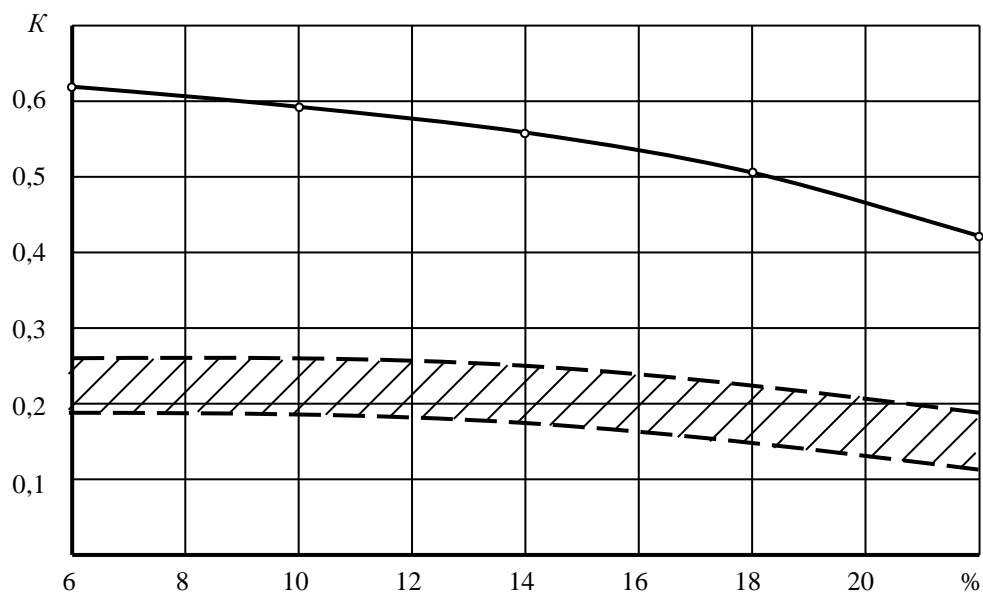
нахилу по вібруючій поверхні запропонована матриця (табл. 4.2) сепарації насіння ріпаку. Це матриця ознак подільності і способів засобів сепарації насіння ріпаку за вищезгаданими ознаками подільності з використанням існуючих способів (засобів сепарації) і запропонованих у даній роботі. Проаналізувавши вихідну суміш на засміченість, залежно від того якими бур'янами вона була засмічена, з матриці можна вибрати той або інший спосіб і засіб сепарації, а не випробувати усі існуючі, тим самим значно скоротивши час на пошук способу сепарації.

Таблиця 4.2 – Матриця ознак подільності та способів і обладнання сепарації насіння ріпаку

Способи та обладнання для сепарації	Признаки подільності						
	Товщина	Ширина	Довжина	Аеродинамічні властивості	Коефіцієнт тертя, шорсткість	Пружність	Форма поперечного перетину
За розмірами Решета з довгастими отворами	4-7						
За розмірами Решета із круглими отворами		7					
За розмірами Трієри			2;6;7				
За розмірами Решета із трикутними отворами							6;7
За аеродинамічними властивостями Пневматичні сепаратори				4;6			
За електромагнітними властивостями Електромагнітні сепаратори					4		
За формою, коеф. тертя Скатні поверхні, змійки, гірки					2-4		2-4
За пружністю, формою, коеф. тертя Падді-машини					2-4;8	2-4;8	2-4;8
За аеродинамічними властивостями, коеф. тертя Пневматичні сортувальні столи				4-8	4-8		
За формою, коеф. тертя, пружністю Віброфрикційні сепаратори					2-7	2-7	2-8
За пружністю, формою, коеф. тертя Відбивні поверхні					2-8	2-8	2-8

2 – склерозії білої гнилі; 3 – круглець метельчатий; 4 – підмареник чіпкий; 5 – пікульник; 6 – куряче просо; 7 – мишій; 8 – горець

Далі були проведені дослідження впливу вологості та висоти падіння насіння на коефіцієнт відновлення. Результати досліджень з вивчення впливу вологості на коефіцієнт відновлення швидкості насіння під час удару представлені в табл. 3.1 додатку 3. Залежність коефіцієнта K від вологості показана на рис. 4.8. Аналіз графіків (рис. 4.8) свідчить, що для усіх видів насіння та склероцій білої глині з підвищенням вологості від 6 % до 22 % коефіцієнт відновлення зменшується, тобто пружні властивості насіння знижуються. Але це зменшення відбувається непропорційно. Так для насіння ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,62 до 0,42. Насіння бур'янів та склероцій білої гнилі при вологості 6 % мають коефіцієнт відновлення в інтервалі від 0,19 до 0,26, зі збільшенням вологості їхні коефіцієнти відновлення знижуються, але не так інтенсивно як ріпаку, і при вологості 22 % знаходяться в інтервалі 0,14...0,19. Ці дані свідчать, що пружність насіння ріпаку знижується з підвищенням його вологості значно інтенсивніше. Тобто різниця між пружними властивостями насіння ріпаку і бур'янів склероцій білої гнилі з підвищенням їх вологості зменшується, а відтак і ефективність процесу сепарації буде знижуватись.



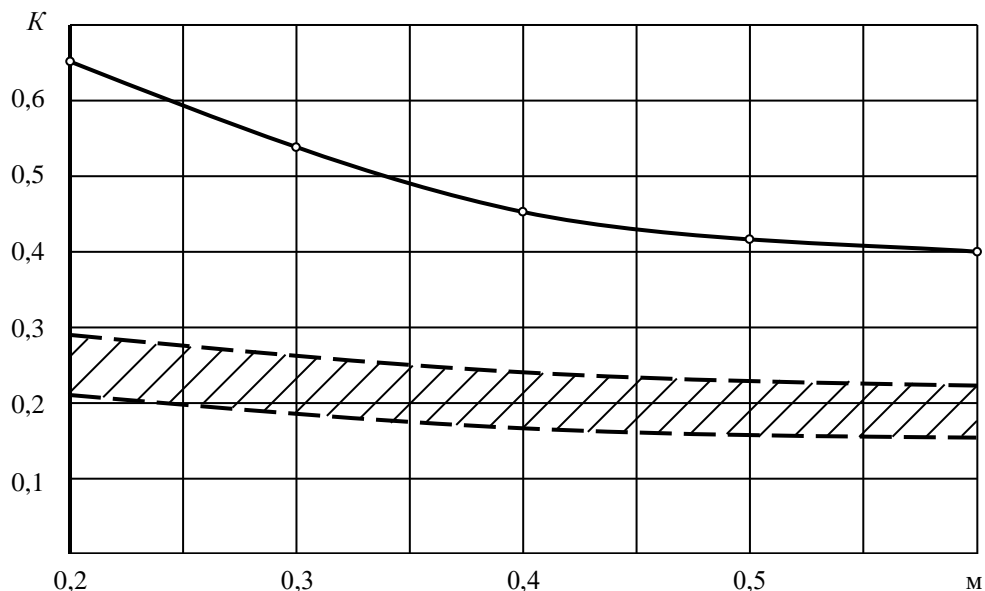
○ - ріпак; ▨ - насіння бур'янів та склероцій білої гнилі

Рисунок 4.8 – Залежність коефіцієнту відновлення насіння від його вологості

Тому перед очищенням насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янів та склероцій білої гнилі, його слід висушити до вологості 6...8 %.

Швидкість насіння в момент удару залежить від висоти падіння на сепаруючу поверхню.

Також проведені дослідження залежності коефіцієнта відновлення швидкості під час удару від висоти падіння. Результати досліджень представлені на рис. 4.9. Як видно з графіків, зі збільшенням висоти падіння коефіцієнт відновлення знижується, причому для ріпаку це зниження дещо більше. Для ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,64 до 0,50 м, а для бур'янів з 0,21...0,28 м до 0,17...0,22 м. Ці криві також свідчать про те, що найкраще розділення насіння ріпаку і важковідокремлюваних домішок можливе в діапазоні висоти падіння з висоти 0,2 м до 0,4 м. Тому, при розробці конструкції багатоярусного ударного сепаратора, слід враховувати ці дані. З міркувань зменшення висоти підйому насіння ця висота повинна бути мінімальною, а з міркувань збільшення кількості повторних ударів її треба збільшувати.



○ - ріпак; ▨ - насіння бур'янів та склероцій білої гнилі

Рисунок 4.9 – Залежність коефіцієнтів відновлення насіння від висоти падіння

4.8. Визначення конструктивних параметрів та розробка конструкції багатоярусного ударного сепаратора

Уточнення розмірів пружних дек сепараторів були розглянуті в [99]. Були прийняті пружні відбиття частки від похилої деки протягом декількох ударів, випробуваних нею на похилій площині. Для спрощення виражень прийнято удар абсолютно пружного тіла з коефіцієнтом відновлення швидкості прийнято $R_y = 1$. Схема руху частки у цьому представлена на рис. 4.10.

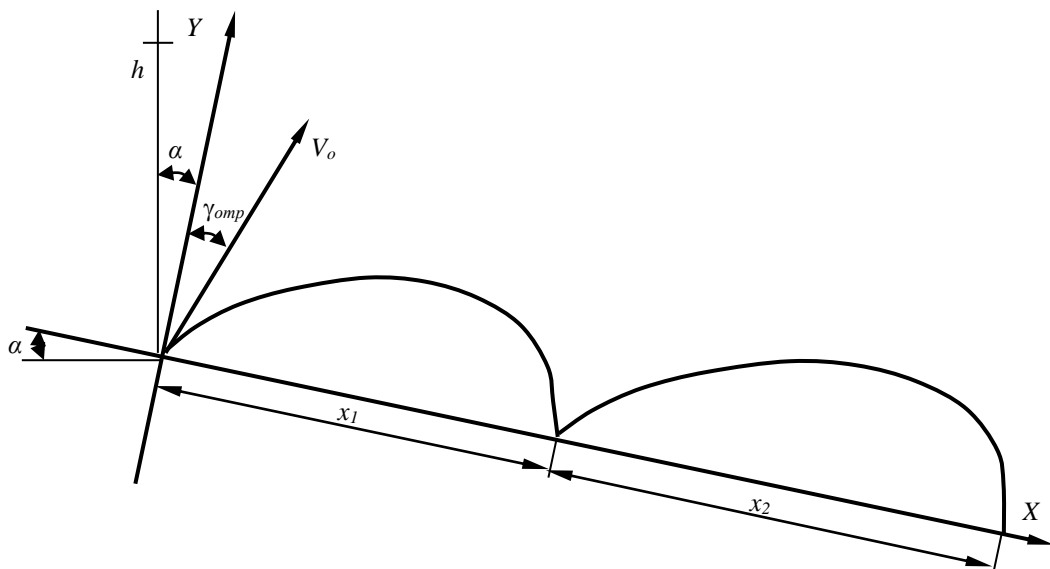


Рисунок 4.10 – Схема зіткнень частки з похилою площиною

Швидкість частки в момент першого удару дорівнює $V_0 \sqrt{2gh}$, де h – висота падіння. Початкова швидкість частки після відбиття від площини має те ж значення, але інший напрямок, симетричний щодо осі Y . Проекції початкової швидкості:

$$V_{0y} = V_0 \cos \alpha ; V_{0x} = V_0 \sin \alpha . \quad (4.1)$$

Рівняння руху частки в проекціях на осі:

$$\begin{aligned} V_x &= V_{0x} + a_x t ; V_y = V_{0y} + a_y t ; \\ X &= V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} ; Y = V_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2} , \end{aligned} \quad (4.2)$$

де $a_x = g \sin \alpha$; $a_y = -g \cos \alpha$;

$$\begin{aligned} V_x &= V_0 \sin \alpha + gt \sin \alpha; \\ V_y &= V_0 \cos \alpha - gt \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Час τ_1 між першим і другим ударами знайдено за умови $y = 0$:

$$V_{0y} + \frac{a_y t_1}{2} = V_0 \cos \alpha - \frac{gt_1 \cos \alpha}{2} = 0; \quad (4.4)$$

$$t_1 = \frac{2V_0}{g} = \frac{2\sqrt{2gh}}{g}. \quad (4.5)$$

Після підставлення цього значення в рівняння руху по осі x отримано:

$$x_1 = V_0 \sin \alpha \frac{2V_0}{g} + \frac{g \sin \alpha}{2} \frac{4V_0^2}{g^2} = \frac{4V_0^2}{g} \sin \alpha = 8h \sin \alpha. \quad (4.6)$$

Проекції швидкості в момент другого удару:

$$\begin{aligned} V_x &= V_0 \sin \alpha + g \sin \alpha \frac{2V_0}{g} = 3V_0 \sin \alpha; \\ V_y &= V_0 \cos \alpha - g \cos \alpha \frac{2V_0}{g} = \pm V_0 \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4.7)$$

Знак «-» відповідає моменту падіння, знак «+» – моменту відбиття, тобто V_y міняє тільки знак.

У момент n -го удару проекції швидкості після відбиття дорівнюють:

$$\begin{aligned} V_x &= (2n-1)V_0 \sin \alpha; \\ V_y &= V_0 \cos \alpha. \end{aligned} \quad (4.8)$$

Таким чином, по осі x проекція швидкості увесь час зростає, а по осі y – залишається постійною (за умови $R_y = 1$).

Проміжки часу між ударами не залежать ні від яких змінних величин і тому однакові для всіх положень.

Відстань x_2 між точками другого і третього ударів дорівнює:

$$x_2 = 3V_0 \sin \alpha \frac{2V_0}{g} + g \sin \alpha \left(\frac{2V_0}{g} \right)^2 = 16h \sin \alpha. \quad (4.9)$$

Продовжуючи таким же шляхом обчислення, знайдено, що відстань між точками n -го й $n+1$ -го ударів дорівнює:

$$x_n = 8nh \sin \alpha. \quad (4.10)$$

Для реальних часток $R \neq 1$, а саме: $R < 1$. З огляду на, що $h = \frac{V_0^2}{2g}$, а

швидкість після удару $V = R_y V_0$, одержано:

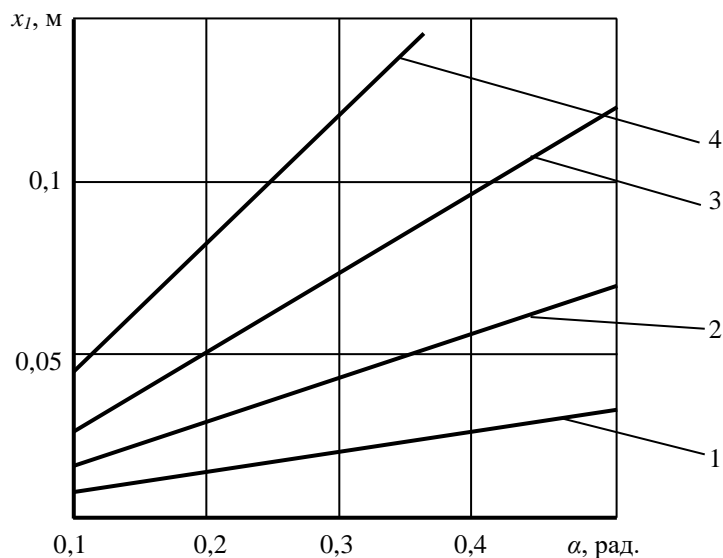
$$x_n = 4n \frac{R_y^2 V_0^2}{g} \sin \alpha. \quad (4.11)$$

У табл. 4.3 показані результати розрахунків відстаней польоту часток з різними характеристиками насіння ($R_y = 0,2 \dots 0,5$) при початковій швидкості падіння ($V_0 = 2$ м/с).

Таблиця 4.3 – Відстань між відскоками ($n = 5$)

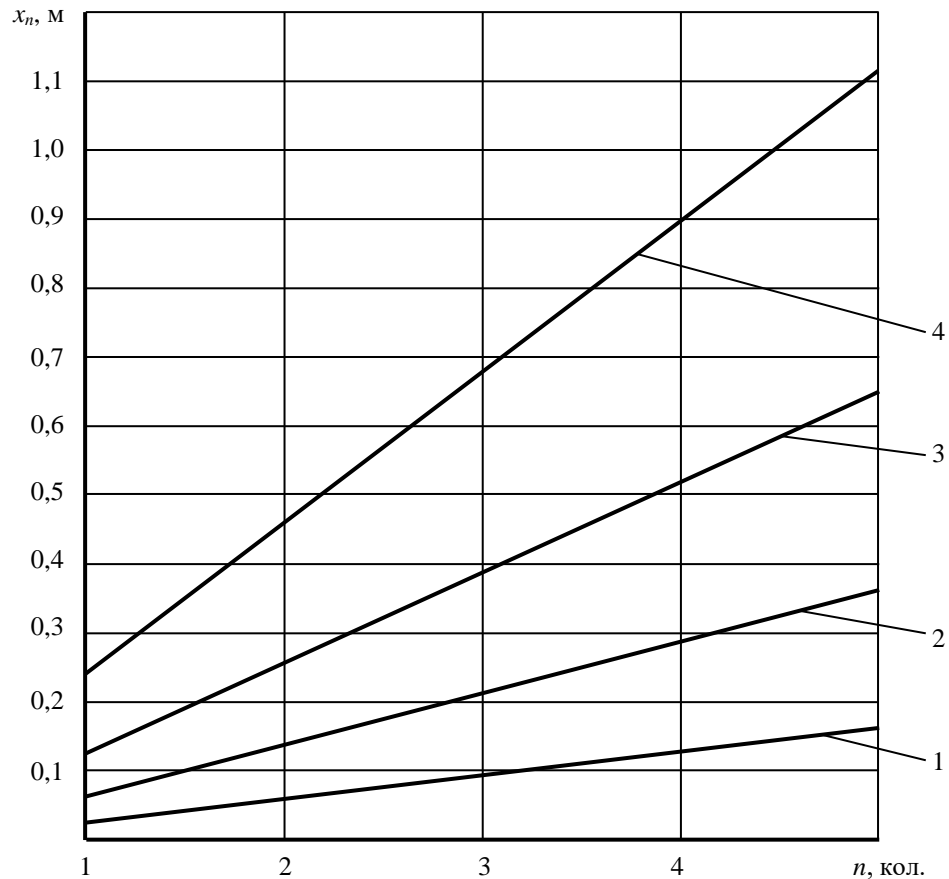
n R_y	1	2	3	4	5
0,2	0,011	0,021	0,032	0,042	0,053
0,3	0,024	0,048	0,072	0,096	0,119
0,4	0,042	0,085	0,127	0,17	0,212
0,5	0,080	0,102	0,236	0,31	0,41

На рис. 4.11 та 4.12 наведені результати розрахунків при різних R_y і початковій швидкості $V_0 = 2$ м/с.



1 - $R_y = 0,2$; 2 - $R_y = 0,3$; 3 - $R_y = 0,4$; 4 - $R_y = 0,5$

Рисунок 4.11 – Дальність польоту частки після першого удару $V_0 = 2$ м/с



1 – $R_y = 0,2$; 2 – $R_y = 0,3$; 3 – $R_y = 0,4$; 4 – $R_y = 0,5$

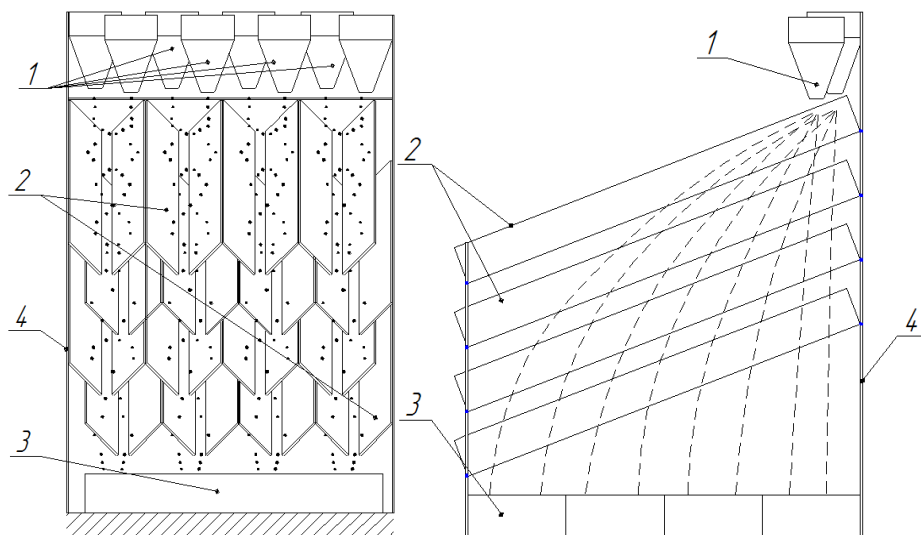
Рисунок 4.12 – Дальність польоту частки в процесі п'яти відскоків
 $\alpha = 30^\circ$, $V_0 = 2$ м/с

Результати розрахунків показують, що в діапазоні зміни коефіцієнта відновлення від $R_y = 0,1$ до $R_y = 0,4$ (значення для реальних зерен), найбільш прийнятними (з конструктивної точки зору) є параметри: $V_0 = 2$ м/с, $\alpha = 30^\circ$. Для випадку $V_0 = 3$ м/с розміри похилих площин неприйнятні з конструктивних міркувань. Для режиму з $V_0 = 1$ м/с дальності відскоків порівнянні з розмірами часток і тому для сепарації цей режим непридатний. Очевидно, що бур'янисті домішки та зерна з $R_y \leq 0,1$ будуть практично сковзати по площині і зйдуть уже з першої деки для режиму сепарації з $V_0 = 2$ м/с, $\alpha = 30^\circ$.

Таким чином для визначення конструктивних параметрів сепараторів з багаторазовим ударом визначена дальність польоту за n -ударів. Використовуючи залежність дальності польоту частки, після

першого удару й п'яти ударів можна рекомендувати поперечний і поздовжній розміри поверхонь, що сепарують, розробленого багатоярусного ударного сепаратора, поперечний може бути достатнім – 0,2 м, поздовжній – повинен бути значно більшим в зв'язку з тим, що частинки ріпаку з великим коефіцієнтом відновлення до $R=0,5$ вже за 5 ударів при $\alpha = 30^\circ$ здатні переміститись на довжину до 1,12 м. В той же час частинки бур'янів з коефіцієнтом навіть до $R=0,3..0,4$ перемістяться на величину не більшу 0,65 м. Враховуючі, що в новому розробленому нами гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі кількість ударів може бути значно більшою 5 прийємо довжину поверхонь 1,5 м.

Принципіальна схема розробленого гравітаційного багатоярусного сепаратора представлена на рис.4.13.



1 – бункер; 2 – ударні сепаруючі поверхні; 3 – приймачі продуктів сепарації; 4 – корпус сепаратора

Рисунок 4.13 – Принципіальна схема гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора

Багатоярусний ударний сепаратор складається з одного або декількох блок-модулів залежно від продуктивності. Багатоярусний ударний сепаратор складається з живильного бункера 1, похилих з поздовжньо-поперечним нахилом неперфорованих дек 2 встановлених в чотири яруси і приймачів продуктів поділу 3. У кожному ярусі деки встановлені опозитно одна одній, а кожний нижчий ярус зміщено в поперечному напрямку послідовно в одну чи іншу сторону на величину від $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ ширини робочої поверхні.

Робота сепаратора здійснюється наступним чином. Зернова суміш із живильного бункера послідовно надходить на перший ярус ударних дек. Деки мають поперечний і поздовжній нахили і розташовані так, що зернова суміш, випробувавши удар об одну, співударяється з поруч розташованою. Чим вище пружність зерна, тим більшу кількість ударів воно випробує в проміжку між поруч розташованими деками, а, виходить, і на більшу відстань уздовж поздовжньої осі переміститься від місця подачі. Зійшовши з верхніх дек, зерно під дією сили ваги знову набирає необхідну швидкість і вдаряється об деку, розташовану нижче, але вже зі зсувом від місця подачі на відстань, пропорційну, в остаточному підсумку, пружності зерна. Далі процес повторюється в другому ярусі, а потім і у всіх інших, нижчерозташованих парах дек (ярусах).

У нижній частині пристрою розташовані прийомні ємності, і найбільш пружні зерна, в остаточному підсумку, потрапляють у самий далекий від живильного пристрою приймач. Відповідно дроблені, щуплі й найменш пружні будуть потрапляти в ближні від живильника приймачі. Загальний вид модуля багатоярусного ударного сепаратора представлений на рис. 4.14.

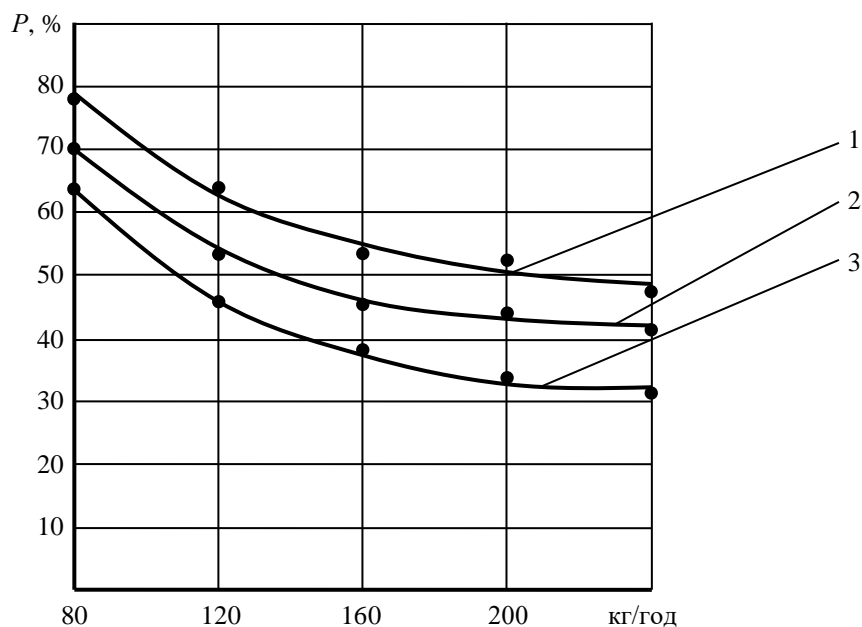


Рисунок 4.14 – Загальний вид багатоярусного ударного сепаратора

4.9. Дослідження впливу параметрів сепарації на вихід очищеної фракції

4.9.1. Дослідження впливу подачі і засміченості на вихід очищеної фракції

Для досліджень була прийнята суміш відходів насіння ріпаку врожаю 2018 р. засміченістю 9,8 %, 15,2 % та 20,1 %. Поперечний кут нахилу робочих поверхонь був прийнятий 45°, поздовжній 15°. Подача суміші змінювалася від 80 до 240 кг/год. Результати досліджень представлено на (рис. 4.15). Як видно з рис. 4.15 вихід очищеної фракції суттєво залежить від подачі суміші, а також від її засміченості. Криві залежності виходу очищеної фракції від подачі носять гіперболічний характер. Вихід очищеної фракції при цьому змінюється від 42 % до 68 % при вихідній засміченості 15,2 %. У сумішах засміченістю 20,1 % та 9,8 % вихід очищеної фракції змінювався від 32 % до 63 % і від 49 % до 78 % відповідно. Тобто зі збільшенням подачі і засміченості вихід очищеної фракції зменшується.



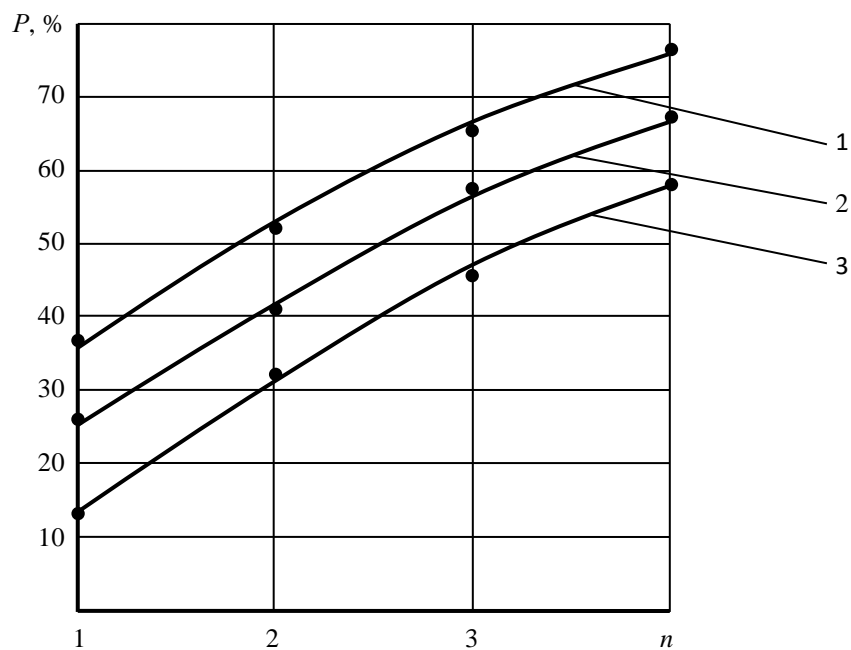
1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %

Рисунок 4.15 – Вплив подачі на вихід очищеної фракції

Подальші дослідження проводилися при фіксованій подачі з дослідженням впливу засміченості.

4.9.2. Дослідження впливу кількості ярусів і засміченості на вихід очищеної фракції

Дослідження проводилися при постійній подачі прийнятій 90 кг/год., що відрізняється від теоретичних досліджень в межах 15 % на сумішах тієї ж засміченості. Результати досліджень представлено на (рис. 4.16). Як видно з рис. 4.16 вихід очищеної фракції практично прямо пропорційно залежить від кількості ярусів ударного сепаратора і змінюється від 26 % до 68 % при вихідній засміченості 15,2 % при випробуваннях відповідно на одному ярусі і на чотирьох.



1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %

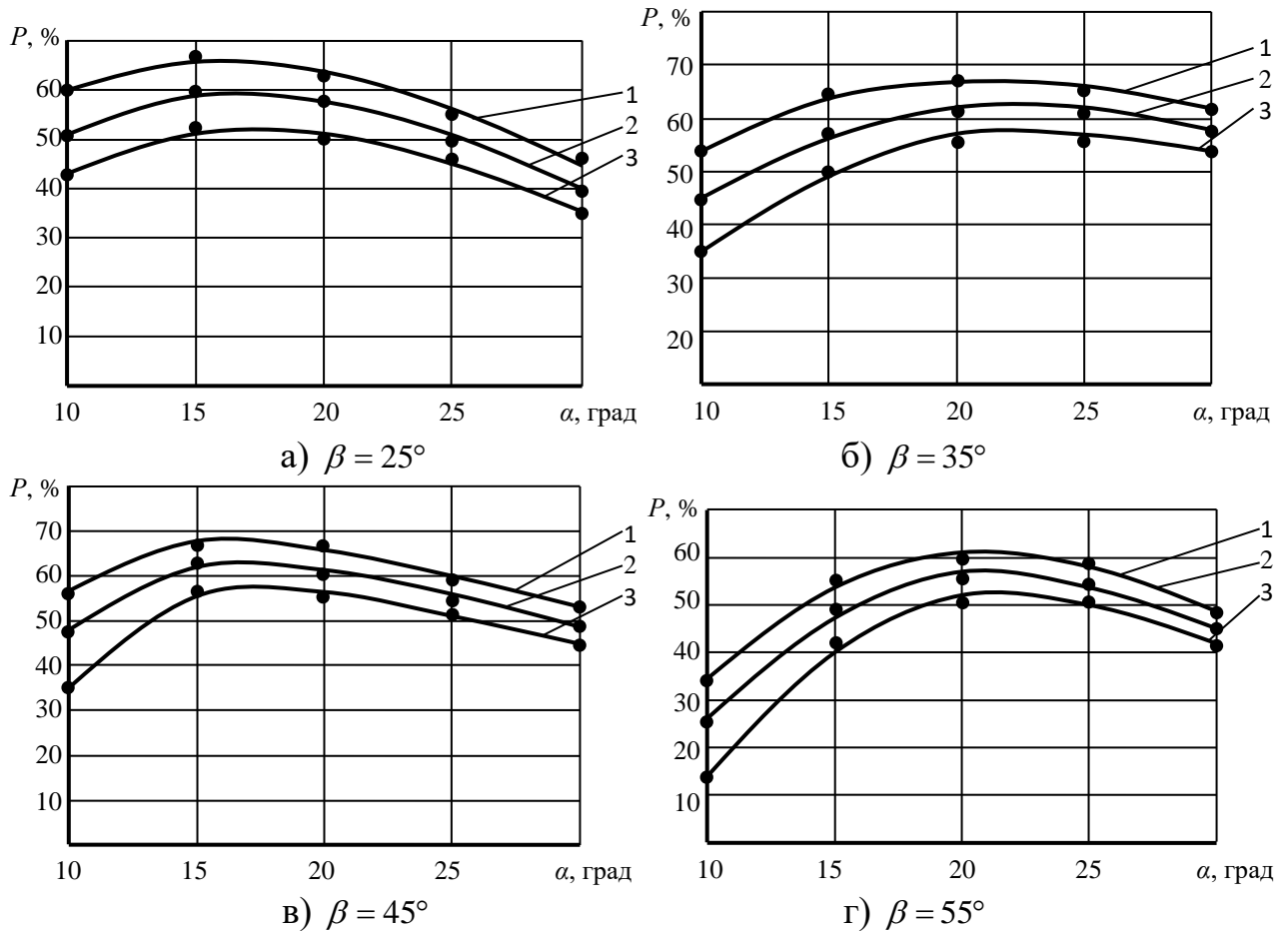
Рисунок 4.16 – Вплив кількості ярусів на вихід очищеної фракції

Засміченість на вихід очищеної фракції залежно від кількості ярусів впливає практично прямо пропорційно, так криві залежностей практично еквідистантні.

4.9.3. Дослідження впливу кутів нахилу робочих поверхонь і засміченості на вихід очищеної фракції

Дослідження проводилися при постійній подачі 90 кг/год. на тих же сумішах. При дослідженнях кутів нахилу поперечний кут приймався

фіксованим 25° , 35° , 45° і 55° зі зміною поздовжнього кута нахилу від 10° до 30° з інтервалом в 5° . Результати досліджень представлені на (рис. 4.17).



1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %
Рисунок 4.17 – Вплив кутів нахилу ударних поверхонь на вихід очищеної фракції

Як видно з рис. 4.17 значною мірою залежить від поздовжнього кута нахилу робочих поверхонь і змінюється від 15 % до 68 %, маючи при цьому при всіх досліджених кутах нахилу яскраво виражені екстремуми. Причому зі збільшенням поперечного кута нахилу екстремуми виходу очищеної фракції виражені яскравіше. Засміченість на вихід очищеної фракції і при зміні кутів нахилу впливає також практично прямо пропорційно через майже еквідистантний характеру кривих залежно від засміченості. Можна лише відзначити, що при менших поздовжніх кутах нахилу вплив засміченості на вихід очищеної фракції трохи вище чому

при більших кутах тому що криві відстають одна від іншої на трохи більшу величину.

Із проведених досліджень видно, що найбільш доцільно процес сепарації сипучої суміші ріпаку слід вести при подачі вихідної суміші до 90 кг/год. на один модуль сепаратора, кількість ярусів необхідно мати не менш чотирьох, поперечний кут нахилу встановити 45° , поздовжній $15...20^\circ$.

4.9.4. Визначення оптимальних параметрів процесу сепарації

Були проведені експериментальні дослідження з очищення на багатоярусному ударному сепараторі відходів насіння ріпаку після очищення на пневмо-решітно-триєрних машинах. Кількість насіння ріпаку в суміші складала 46,1 %, або, якщо користуватися загально прийнятим терміном, засміченість становила 53,9 %. Для визначення оптимальних параметрів сепарації був застосований метод симплекс планування багатofакторного експерименту при фіксованій подачі 90 кг/год. План експерименту, значення факторів і параметра оптимізації представлені в табл. 4.4. З таблиці видно, що симплекс починає обертатись навкруги вершини V1//, з табл. 4.4 знаходимо, що поздовжній кут нахилу поверхонь, що сепарують, становить $\alpha = 16,5^\circ$, поперечний – $\beta = 45^\circ$ при цьому вихід очищеної фракції становить до 49 %.

Раціональні параметри процесу сепарації насіння ріпаку були знайдені за допомогою багатofакторного планування експерименту шляхом використання трирівневого плану Боксу-Бенкіна другого порядку. В якості факторів були прийняті подовжній кут нахилу робочих поверхонь α_c , поперечний кут нахилу робочих поверхонь β_c , відстань між ярусами L_c , закодовані як $x_1 - \alpha_c$; $x_2 - \beta_c$; $x_3 - L_c$. План матриця Боксу-Бенкіна з результатами експериментів у трикратній повторюваності представлена в табл. 1.1 додатку 1.

Таблиця 4.4 – План експерименту, значення факторів і параметра оптимізації при симплекс плануванні (сепарація насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі)

Вершина симплекса	Рівні факторів				Параметр оптимізації P, %
	кодові		натуральні		
	X1	X2	α	β	
V1	0	0	15,0	40	41,1
V2	0,5	0,86	15,5	41,7	42,2
V3	1,0	0	16,0	40	41,8
V1/	1,5	0,86	16,5	41,7	45,3
V3//	1,0	1,72	16,0	43,4	47,8
V2//	2,0	1,72	17,0	43,4	46,9
V1//	1,5	2,58	16,5	45,1	49,2
V2//	0,5	2,58	15,5	45,1	48,1
V3//	1,0	3,44	16,0	46,8	48,3
V2///	2,0	3,44	17,0	46,8	48,8
V3//	2,5	2,58	17,5	45,1	47,5

Для забезпечення інтерпретації отриманих результатів дослідження при вивченні поверхні відгуку був використаний метод двомірних перетинів. Побудова двомірних перетинів функції відгуку виконувалось у такий спосіб. В отриману математичну модель див. додаток 1.

$$y = 67,56 + 1,06x_1 - 3,86x_2 + 1,17x_3 + 2,2x_{12} + 0,50x_{13} + 0,13x_{23} - 5,14x_1^2 - 6,43x_2^2 - 4,48x_3^2$$

підставлялися закодовані значення всіх факторів крім будь-якого одного. Далі в отриманому виразі визначався центр поверхні відгуку і здійснювалось канонічне перетворення моделі другого порядку. Після канонічного перетворення визначався тип поверхні відгуку і проводився графоаналітичний аналіз отриманих результатів.

Аналіз отриманих результатів свідчить (додаток 1), що отримане значення параметра оптимізації складає 67...68 %, при $\alpha_c = 15 \pm 2,5^\circ$; $\beta_c = 45 \pm 2,5^\circ$; $L_c = 0,3 \pm 0,02$ м.

Висновки за розділом 4

1. Варіаційні криві розмірних характеристик, аеродинамічних властивостей коефіцієнтів тертя, та визначені форми насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішок свідчать про неможливість поділу насінневих сумішей за цими властивостями.

2. Відокремлення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок можливе за граничними кутами їх підйому або траєкторії їх руху по похилій фрікційній віброуючій поверхні та коефіцієнтом відновлення швидкості під час удару об відбивну поверхню. При ударі насіння по відбивній поверхні, коефіцієнт відновлення залежить від швидкості насіння в момент удару, вологості насіння і пружних властивостей відбивної поверхні.

3. Розроблена матриця признаков подільності та способів сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок, що якнайбільше використовуються на даний час, за допомогою якої проаналізувавши вихідну суміш на засміченість і залежно від того якими бур'янами та домішками вона засмічена можна вибрати той або інший спосіб та засіб сепарації, а це дозволяє не випробувати їх усі, а значно скоротити час на пошук способу сепарації.

4. Обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок, кількість ярусів – чотири, довжина похилих еквідістантно встановлених поверхонь 1,5 м, відстань між ярусами 0,3 м.

5. Встановлено, що при сепарації насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі зі збільшенням подачі і засміченості вихід очищеної фракції зменшується при середній вихідній засміченості 15,2 % з 68 % до 42 % відповідно.

6. Вихід очищеної фракції зі збільшення кількості від 1 до 4 ярусів

при постійній подачі 90 кг/год і середній засміченості 15,2 % зростає від 27 % до 68 відсотків відповідно.

7. Вихід очищеної фракції зі зміною подовжнього α та поперечного β кутів нахилу робочих поверхонь має виражені екстремуми і найбільший вихід слід очікувати при β близько 45° , $\alpha=15^\circ$.

8. Знайдені за допомогою планування багатofакторного експерименту раціональні параметри процесу сепарації дозволяють отримати вихід очищеної фракції насіння ріпаку до 67...68 % при вихідній засміченості 15,2 %, подачі 90 кг/год на один модуль є такими: $\alpha_c = 15 \pm 2,5^\circ$; $\beta_c = 45 \pm 2,5^\circ$; $L_c = 0,3 \pm 0,02$ м.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО СЕПАРАТОРА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ НАСІННЯ РІПАКУ

5.1. Порівняльна оцінка багатоярусного ударного сепаратора та машин серії «САД»

Для оцінки ефективності досліджуваного гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора були проведені виробничі порівняльні випробування по очищенню насіння ріпаку. У якості машини аналога служив сепаратор серії «САД». Випробування проводилися на суміші насіння ріпаку засміченістю важковідокремлюваними домішками 15,2 %, та відходів, що спрямовувались на доробку засміченістю 53,9 %. Відповідно до мети досліджень і призначенням розробленого багатоярусного ударного сепаратора, основна увага була приділена порівнянню виділення насіння важковідокремлюваних бур'янистих рослин від насіння ріпаку.

Випробування проводились на двох сумішах насіння ріпаку та бур'янистих домішок засміченістю 15,2 % та 53,9 %.

Перша суміш це суміш насіння ріпаку, яка спрямовувалась на доочищення на сепараторі «САД» після очищення її на зерноочисній машині ОВС-25, на якій здійснюється очищення насіння більшості сільськогосподарських культур в селянському фермерському господарстві (СГФ) «Калина».

Друга суміш це відходи засміченістю 53,9 %, що спрямовувались на повторну доробку.

Результати сепарації цих сумішей насіння ріпаку представлені в табл. 2.1, 2.2 додатку 2 та рис. 5.1, 5.2.

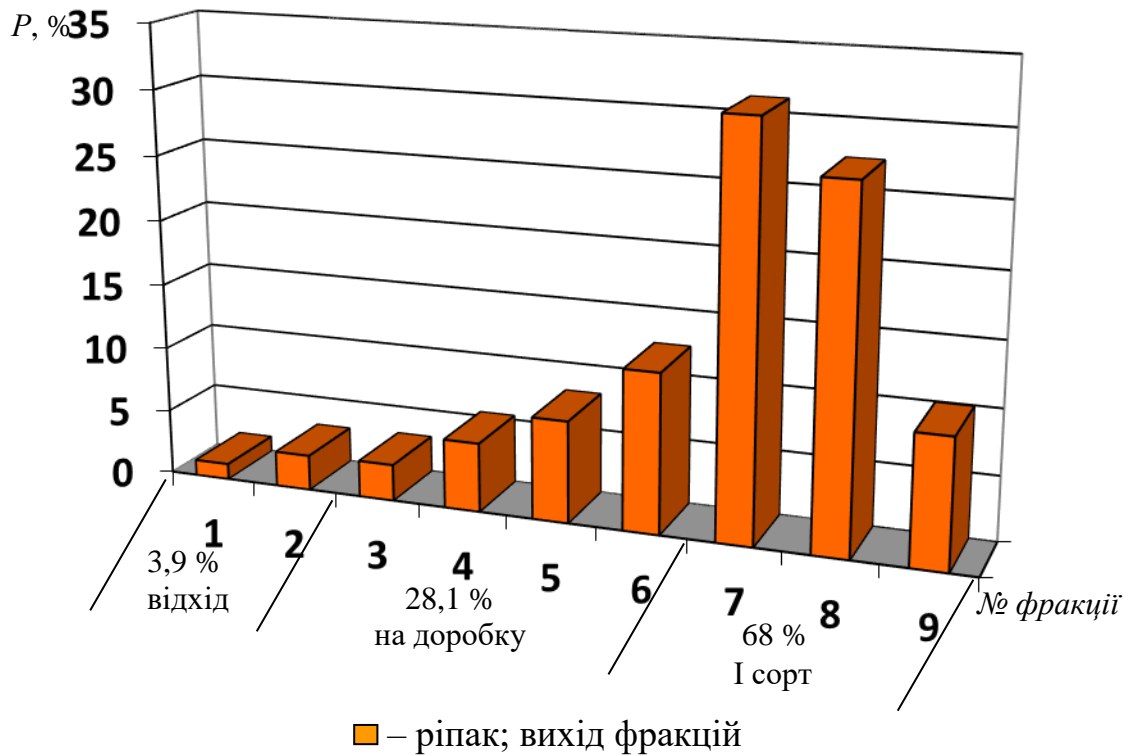


Рисунок 5.1 – Результати сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі, засміченість суміші – 15,2 %

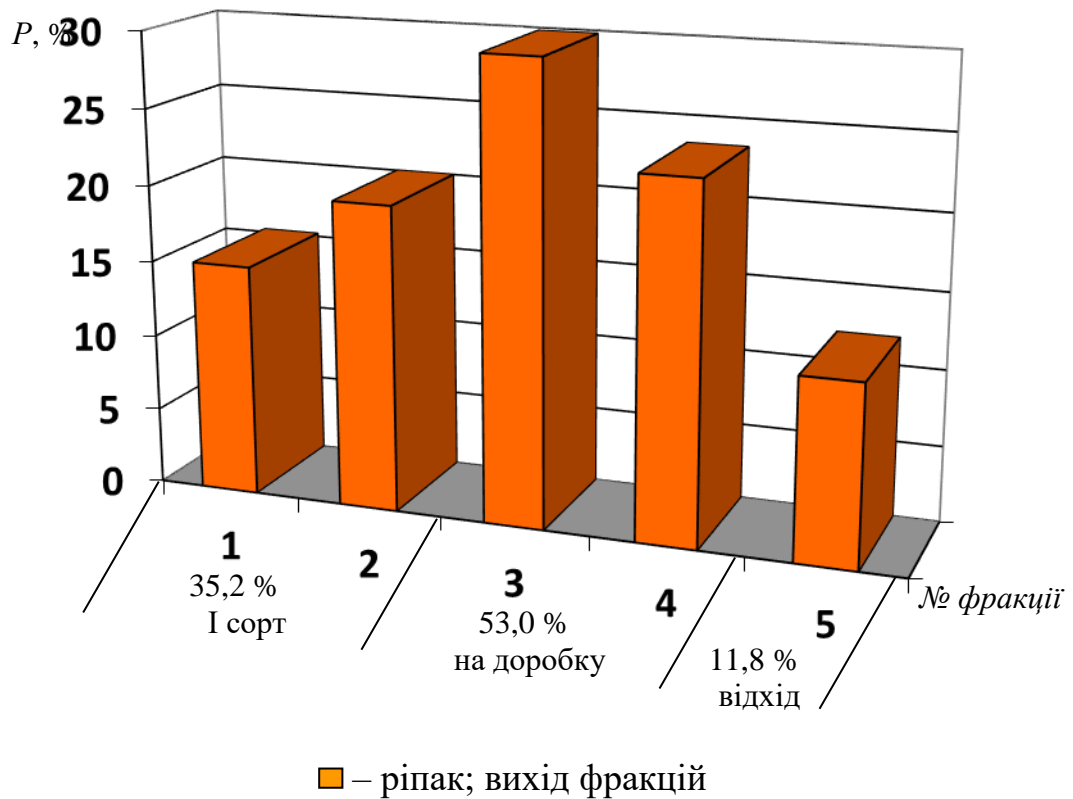


Рисунок 5.2 – Результати сепарації насіння ріпаку на машині серії «САД», засміченість суміші – 15,2 %

Після цього були проведені експерименти при сепарації насіння ріпаку засміченістю 53,9 % на багатоярусному ударному сепараторі та машині серії «САД».

Порівняльні результати експериментів при $\alpha = 15^\circ$, $\beta = 45^\circ$ представлені на рис. 5.3 (табл. 2.3 додатку 2).

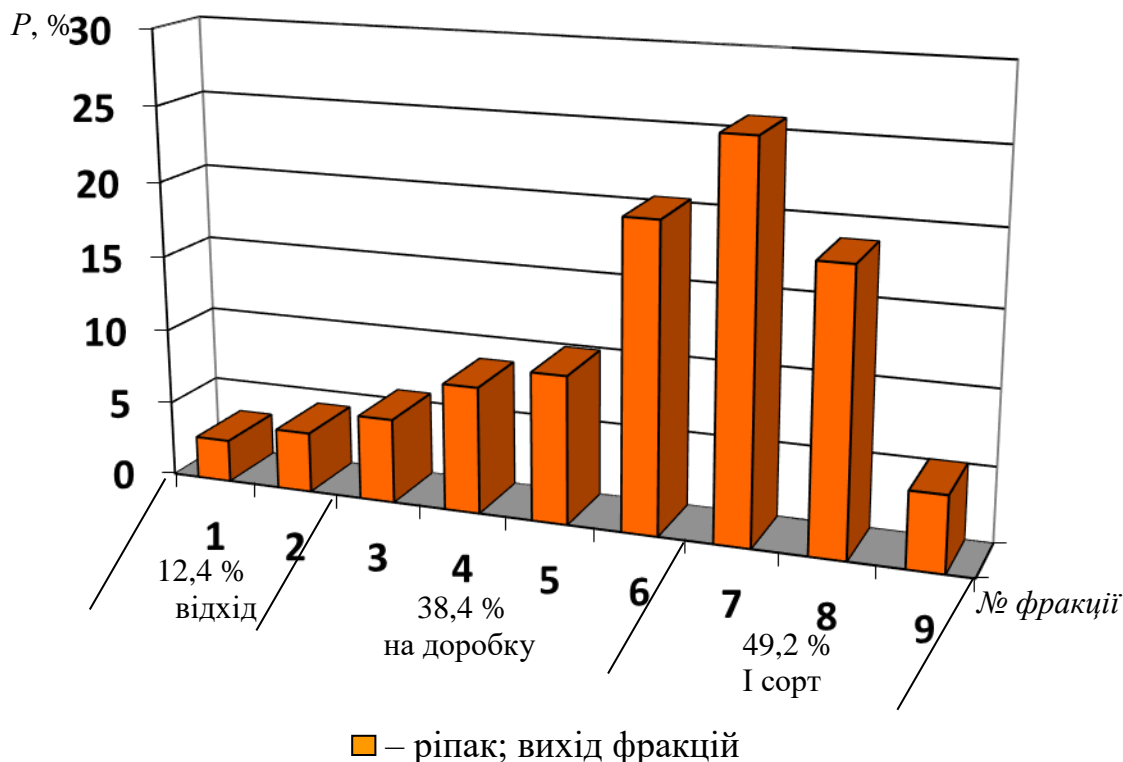


Рисунок 5.3 – Результати сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі, засміченість суміші – 53,9 %

Як видно з рис. 5.3 змішуючи три фракції насіння ріпаку відсепаровані на багатоярусному ударному сепараторі можна отримати до 49 % очищеного насіння ріпаку, в той же час на сепараторі серії «САД» очистити насіння ріпаку при такій засміченості неможливо.

На підставі аналізу засміченості зразків матеріалу, що надходить після очищення на сепараторі ОВС-25, було встановлено: в умовах насінницьких господарств застосування багатоярусного ударного сепаратора для спеціального очищення насіння ріпаку від

важковідокремлюваних бур'янистих домішок дозволяє одержувати до 68 % насіння ріпаку I класу при вихідній засміченості до 15,2 %, у той час як серійним сепаратором «САД» досягається одержання виходу насіння I класу 35,2 %.

Загальна чистота насіння після обробки як на сепараторі «САД», так і на багатоярусному ударному сепараторі, становила 97,2...99,4 %, тобто задовольняла вимогам стандарту до насіння I класу.

Багатоярусний ударний сепаратор перевершує серійні машини-аналоги по повноті виділення важковідокремлюваних бур'янистих домішок і ефективності очищення. Його застосування для спеціального очищення насіння ріпаку дозволяє одержати вихід до 68 % насіння I класу. Пропускна здатність сепаратора, при вихідній засміченості матеріалу насіннями важковідокремлюваних бур'янів у межах до 15,2 % складала 1200 кг/год. Пропускна здатність сепаратора типу «САД» при тій же засміченості складала 1500 кг/год.

Відмітимо, що в багатоярусному ударному сепараторі енергія на процес сепарації не витрачається, тому що частки в процесі сепарації переміщуються тільки під дією сили ваги. Витрати енергії в багатоярусному ударному сепараторі можливі тільки на підйом сипучої суміші в бункер, але вони необхідні для всіх сепараторів. Відсутність підведення енергії на процес сепарації дозволяє використати його в невеликих господарствах для сепарації зерна навіть на полі відразу після збирання з подачею зерна в бункер вручну або за допомогою найпростіших пристосувань.

5.2. Техніко-економічна ефективність

Розрахунки економічної ефективності багатоярусного ударного сепаратора зроблені за методикою наведеною в [201-208]. При цьому бралось до уваги наступне:

– зміна якості насіння ріпаку при очищенні на ударному сепараторі в порівнянні з обробкою по базовому варіанту;

– зміна капітальних вкладень при заміні машини-аналога на ударний сепаратор;

– зміна експлуатаційних витрат при використанні ударного сепаратора в порівнянні з базовим варіантом.

Розрахунок балансової ціни багатоярусного ударного сепаратора був виконаний з урахування витрат на одну одиницю в умовах фермерського господарства «Калина» Вовчанського району Харківської області. Ця ціна склала 15 тис.грн. і є значно завищеною тому, що складалось для експериментального сепаратора і включає конструкторські нароби.

Ціна сепаратора САД – 28500 грн.

Вартість сировини складала – 9,3 тис.грн./т.

Закупівельна ціна 1 т ріпаку – 11000 грн.

Продуктивність багатоярусного ударного сепаратора – 1200 кг/год.

Продуктивність сепаратора САД на очищенні ріпаку – 1500 кг/год.

Вихід очищеної фракції при сепарації на багатоярусному ударному сепараторі – 68 %.

Вихід очищеної фракції при очищенні на сепараторі САД – 35,2 %.

Річний обсяг робіт – 400 т.

При виборі базового варіанта враховувалися дані порівняльних виробничих випробувань, наявність технологічного устаткування для спеціального очищення насіння ріпаку, типова агробіологічна характеристика насінневого матеріалу, що надходить на спеціальне очищення, і дані про обсяги виробництва насіння у господарстві.

1. Вихідні данні

Найменування показників	Значення		Одиниці виміру
	Базовий	Проектний	
C_E – тариф на електроенергію	2,75	2,75	грн./кВт
C_B – тариф на воду	10,24	10,24	грн./м ³
T_O – тариф на газ	8,5	8,5	грн./м ³
W_I – кількість спожитої електроенергії за годину	1,5	0,5	кВт/год.
V_{VI} – витрати води за годину	0	0	м ³ /год
Γ_C – середньорічне споживання газу	0	0	м ³
B_Y – вартість 1-ї упаковки	0	0	грн.
B_{TKM} – вартість 1 -го тонно-кілометра	27	27	грн.
C_P – реалізаційна ціна продукту	11	11	грн./кг
ϵ – норма відрахувань на ремонт обладнання	12,5	12,5	%
a – норма відрахувань на амортизацію обладнання	15	15	%
Прибуток платників податку	21	21	%
$K_{ЗМ}$ – кількість змін на день;	3	3	змін
D_I – кількість днів роботи	20	20	діб
T_I – тривалість роботи за добу	3	3	год
$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни	8	8	годин
$A_{ВП}$ – вантажопідйомність автомобіля	5	5	т
$B_{ПЕР}$ – середня відстань перевезень	10	10	км
$ПДВ_C$ – податок на додану вартість	20		%

Втрати на сировину, V_C , тис.грн.

Показник	Базовий	Проектний
Кількість сировини на годину, т	1,5	1,2
Кількість сировини на зміну, т	12	9,6
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг сировини, т	720	576
Вартість сировини, тис.грн/т	9,3	9,3
Втрати на сировину, тис.грн.	6696	5356,8

Розрахунок обсягу виробництва продукції, A , т

<i>Показник</i>	<i>Базовий</i>	<i>Проектний</i>
Продуктивність виробництва, т/годину	0,525	0,816
Обсяг виробництва за зміну, т	4,2	6,528
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг виробництва продукції, т	252	391,68

Розрахунок суми абсолютних капітальних вкладень, K , тис.грн.

<i>Показники</i>	<i>Базовий</i>	<i>Проектний</i>
Вартість обладнання, тис.грн.	28,5	15
Вартість монтажних, пусконаладжувальних робіт та гарантійного обслуговування, тис.грн.	14,25	7,5
Вартість будівель та споруд, тис.грн.	28,5	15
Сума капіталовкладень, тис.грн.	71,25	37,5

Розрахунок витрат на оплату праці персоналу, Z_B , грн.

<i>Категорія працівників</i>	<i>Чисельність працівників, осіб</i>	<i>Відпрацьовано за місяць, люд.-днів</i>	<i>Тарифний розряд по оплаті праці</i>	<i>Щомісячна тарифна ставка, грн.</i>	<i>Фонд оплати праці, грн.</i>
Виробничий персонал					
Апаратчик	1			3723	3723
Начальник зміни	0			0	0
Механік	0			0	0
Енергетик	0			0	0
Начальник ПТЛ	0			0	0
Допоміжний персонал					
Вантажник	0			0	0
Прибиральниця	0			0	0
Адміністративно-управлінський персонал					
Директор	0			0	0
Головний інженер	0			0	0
Головний бухгалтер	0			0	0
Начальник відділу кадрів	0			0	0
Інженер по ТБ	0			0	0
Разом:	1		X	X	3723
Нарахування до єдиного соціального внеску, 37,18 %, грн.					1384,2
Разом за рік з нарахуваннями, тис.грн.					61,287

2. Розрахунок обсягів виробництва продукції та визначення суми абсолютних і відносних капітальних вкладень

Розмір відносних капіталовкладень здійснюється за формулою:

$$K_B = \frac{K}{A}, \quad (5.1)$$

де K_{B1} , K_{B2} – відносний розмір капітальних вкладень, тис.грн./т;

K – сумарні капітальні вкладення, тис.грн.;

A – річний обсяг виробництва продукції, т.

Базовий $K_{B1} = 0,283$ тис.грн./т.

Проектний $K_{B2} = 0,096$ тис.грн./т.

3. Розрахунок собівартості реалізації продукції

Формула розрахунку собівартості реалізації продукції (C , тис.грн.) має наступний вигляд:

$$C = B_C + Z_B + A_M + B_P + B_E + B_B + B_O + B_{II} + B_T + B_I + B_3, \quad (5.2)$$

де B_C – витрати на сировину, тис.грн.;

Z_B – витрати на оплату праці персоналу з нарахуваннями, тис.грн.;

A_M – витрати на амортизацію, тис.грн.;

B_P – витрати на ремонт, тис.грн.;

B_E – витрати на електроенергію, тис.грн.;

B_B – витрати на воду, тис.грн.;

B_O – витрати на газ, тис.грн.;

B_{II} – витрати на пакування продукції, тис.грн.;

B_T – витрати на транспортування, тис.грн.;

B_I – інші прямі витрати, тис.грн.;

B_3 – загально-виробничі витрати, тис.грн.

Базовий $C_1 = 6806,91$ тис.грн.

Проектний $C_2 = 5463,95$ тис.грн.

Амортизаційні відрахування (A_M , грн.) визначаються у відповідності з державними нормами у відсотках від балансової вартості основних фондів,

споруд і технічних засобів. Аналогічно обчислюються відрахування на ремонт (B_p , грн.). Так, для розрахунку застосовують наступні формули (5.3) та (5.4):

$$A_M = \frac{B \cdot a}{100}, \quad (5.3)$$

де A_{M1} , A_{M2} – відрахування на амортизацію, тис.грн.;

B – балансова вартість основних засобів, тис.грн.;

a – норма амортизаційних відрахувань, %.

Базовий $A_{M1} = 10,6875$ тис.грн.

Проектний $A_{M2} = 5,625$ тис.грн.

$$B_p = \frac{B \cdot e}{100}, \quad (5.4)$$

де B_{p1} , B_{p2} – відрахування на ремонт, тис.грн.;

B – балансова вартість основних засобів, тис.грн.;

e – норма відрахувань на ремонт, %.

Базовий $B_{p1} = 8,906$ тис.грн.

Проектний $B_{p2} = 4,688$ тис.грн.

Витрати на електроенергію (B_E , грн.), визначаються за формулою:

$$B_E = W_I \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_E, \quad (5.5)$$

де B_{E1} , B_{E2} – витрати на технологічну електроенергію, тис.грн.;

W_I – кількість спожитої електроенергії за годину, кВт/год.;

D_I – кількість днів роботи;

T_I – тривалість роботи за добу, год.;

C_E – тариф на електроенергію, грн./кВт.

Базовий $B_{E1} = 0,248$ тис.грн.

Проектний $B_{E2} = 0,083$ тис.грн.

Витрати на воду для технологічних потреб (B_B , грн.), визначаються за формулою:

$$B_B = V_{BI} \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_B, \quad (5.6)$$

де B_{B1} , B_{B2} – витрати на воду для технологічних цілей, тис.грн.;

V_{B1} – витрати води за годину, м³/год;

D_I – кількість днів роботи;

T_I – тривалість роботи за день, год.;

C_B – тариф на воду, грн. /м³.

Базовий $B_{B1} = 0$ тис.грн.

Проектний $B_{B2} = 0$ тис.грн.

Витрати на споживання газу (B_O , грн.) обчислюються за формулою:

$$B_O = G_C \cdot T_O, \quad (5.7)$$

де B_{O1} , B_{O2} – витрати на споживання газу, тис.грн.;

G_C – середньорічне споживання газу, м³;

T_O – тариф на газ, грн./м³.

Базовий $B_{O1} = 0$ тис.грн.

Проектний $B_{O2} = 0$ тис.грн.

Витрати на транспортування (B_T , грн.), розраховуються за формулою:

$$B_T = \frac{A}{A_{ВП}} \cdot B_{ПЕР} \cdot B_{ТКМ}, \quad (5.8)$$

де B_{T1} , B_{T2} – витрати на транспортування, тис.грн.;

A – річний обсяг виробництва продукції, т;

$A_{ВП}$ – вантажопідйомність автомобіля, т;

$B_{ПЕР}$ – середня відстань перевезень, км;

$B_{ТКМ}$ – вартість 1 -го тонно-кілометра, грн.

Базовий $B_{T1} = 13,608$ тис.грн.

Проектний $B_{T2} = 21,151$ тис.грн.

Величина інших прямих витрат (B_I), приймається на рівні 5 %, а загально-виробничих (накладних) (B_3) – 15 % від суми витрат на оплату праці виробничого персоналу з нарахуваннями, амортизаційних відрахувань і відрахувань на поточний ремонт.

Їх розрахунок матиме наступний вигляд (5.9) та (5.10):

$$B_I = \frac{(Z_B + A_M + B_P) \cdot 5}{100}, \quad (5.9)$$

$$B_3 = \frac{(Z_B + A_M + B_P) \cdot 15}{100}, \quad (5.10)$$

де B_{I1} , B_{I2} – інші прямі витрати, тис.грн.;

B_{31} , B_{32} – загально-виробничі (накладні) витрати, тис.грн.;

Z_B – витрати на оплату праці виробничого персоналу з нарахуваннями, грн.;

A_M – амортизаційні відрахування, грн.;

B_P – відрахування на ремонт, грн.

Базовий $B_{I1} = 4,044$ тис.грн.

Проектний $B_{I2} = 3,580$ тис.грн.

Базовий $B_{31} = 12,132$ тис.грн.

Проектний $B_{32} = 10,740$ тис.грн.

4. Фінансово-економічні результати роботи обладнання

Розрахунок валового доходу (виручки) ($ВД$) від реалізації продукції, здійснюється за формулою:

$$ВД = A \cdot Ц_p, \quad (5.11)$$

де $ВД_1$, $ВД_2$ – валовий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг;

$Ц_p$ – реалізаційна ціна продукту, грн./кг.

Базовий $ВД_1 = 2772$ тис.грн.

Проектний $ВД_2 = 4308,48$ тис.грн.

Наступним етапом є визначення чистого доходу (виручки) ($ЧД$) від реалізації продукції за формулою:

$$ЧД = ВД - ПДВ_c, \quad (5.12)$$

де $ЧД_1$, $ЧД_2$ – чистий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.;

$ПДВ_C$ – податок на додану вартість, що підлягає сплаті до бюджету або відшкодуванню з бюджету, тис.грн.

Базовий $ЧД_1 = 2217,6$ тис.грн.

Проектний $ЧД_2 = 3446,78$ тис.грн.

Прибуток більшості платників податку, включаючи підприємства, засновані на власності окремої фізичної особи, оподатковується за ставкою (з 01.01.2012 по 31.12.2012 включно – 21 %; з 01.01.2013 по 31.12.2013 – 19 %; з 01.01.2014 – 16 %) до бази оподаткування.

Розрахунок суми податку на прибуток ($П_{П}$) проводиться за формулою:

$$П_{П} = \frac{ВД \cdot 21}{100}, \quad (5.13)$$

де $П_{П1}$, $П_{П2}$ – податок на прибуток, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.

Базовий $П_{П1} = 582,12$ тис.грн.

Проектний $П_{П2} = 904,781$ тис.грн.

Чистий прибуток ($ЧП$), визначається за формулою:

$$ЧП = ВД - П_{П}, \quad (5.14)$$

де $ЧП_1$, $ЧП_2$ – чистий прибуток, тис.грн.;

$П_{П}$ – податок на прибуток, тис.грн.;

$ВД$ – валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.

Базовий $ЧП_1 = 2189,88$ тис.грн.

Проектний $ЧП_2 = 3403,7$ тис.грн.

5. Ефективність використання матеріальних ресурсів

Матеріаломісткість (M_M) показує величину витрат матеріальних ресурсів на виробництво одиниці продукції. Визначається як відношення витрат матеріальних ресурсів у вартісному виразі ($МВ$) до виробленої продукції у вартісному виразі ($П_B$) за формулою:

$$M_M = \frac{МВ}{П_B}, \quad (5.15)$$

де M_{M1} , M_{M2} – матеріаломісткість;

M_B – вартість матеріальних витрат, тис.грн.;

P_B – вартість валової продукції, тис.грн.

Базовий $M_{M1} = 2,42$.

Проектний $M_{M2} = 1,24$.

Матеріаломісткість визначає фактичний обсяг матеріальних витрат в розрахунку на виробництво одиниці продукції. Вона характеризує рівень використання матеріальних ресурсів.

Електромісткість (E_M), характеризує кількість затраченої електроенергії на виробництво 1 кг продукції та визначається за формулою:

$$E_M = \frac{Q_{EE}}{A}, \quad (5.16)$$

де E_{M1} , E_{M2} – електромісткість, кВт/год/кг;

Q_{EE} – витрати електроенергії на виробничі потреби, кВт/год.;

A – обсяг виробленої продукції, кг.

Базовий $E_{M1} = 0,00036$ кВт/год/кг.

Проектний $E_{M2} = 0,000077$ кВт/год/кг.

6. Ефективність використання праці (трудових ресурсів)

Продуктивність праці (P_{PP}), відображає обсяг виробленої продукції за одиницю часу. Визначається за формулою:

$$P_{PP} = \frac{A}{Ч \cdot Д \cdot K_{ЗМ} \cdot T_{ЗМ}}, \quad (5.17)$$

де P_{PP1} , P_{PP2} – продуктивність праці, кг/люд.-год.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг;

$Ч$ – чисельність виробничого персоналу, що працюють в одну зміну, осіб;

$Д$ – кількість днів роботи;

$K_{ЗМ}$ – кількість змін на день;

$T_{ЗМ}$ – тривалість зміни, годин.

Базовий $P_{PP1} = 525$ кг/люд.-год.

Проектний $P_{PP2} = 816$ кг/люд.-год.

Ефективність праці (E_{PP}), відображає обсяг виробленої продукції в грошовому виразі за одиницю часу. Визначається за формулою:

$$E_{PP} = \frac{ЧД}{Ч \cdot Д \cdot K_{3М} \cdot T_{3М}}, \quad (5.18)$$

де E_{PP1} , E_{PP2} – продуктивність праці, кг/люд.-год.;

$ЧД$ – чистий дохід від реалізації продукції, грн.;

$Ч$ – чисельність виробничого персоналу, що працюють в одну зміну, осіб;

$Д$ – кількість днів роботи;

$K_{3М}$ – кількість змін на день;

$T_{3М}$ – тривалість зміни, годин.

Базовий $E_{PP1} = 4620$ кг/люд.-год.

Проектний $E_{PP2} = 7180,8$ кг/люд.-год.

7. Ефективність виробничих інвестицій (капітальних вкладень)

Собівартість одиниці продукції (C_o). визначається за формулою:

$$C_o \frac{C}{A}, \quad (5.19)$$

де C_{o1} , C_{o2} – собівартість 1 кг продукції, грн./кг;

C – собівартість реалізованої продукції, грн.;

A – обсяг реалізованої продукції, кг.

Базовий $C_{o1} = 27,01$ грн./кг.

Проектний $C_{o2} = 13,95$ грн./кг.

Термін окупності первинних капітальних вкладень (термін повернення капіталу) (T_{OK}) знаходиться за формулою:

$$T_{OK} = \frac{K}{ЧП} \cdot 12, \quad (5.20)$$

де T_{OK1} , T_{OK2} – термін окупності первинних капітальних вкладень (термін повернення капіталу), міс.;

K – сумарні капіталовкладення, грн.;

ЧП – чистий прибуток, грн.

Базовий $T_{OK1} = 1,47$.

Проектний $T_{OK2} = 0,13$.

Приведені витрати на одиницю продукції ($B_{ПРИВ}$), обчислюються за формулою:

$$B_{ПРИВ} = C_O + E_H \cdot K_B, \quad (5.21)$$

де $B_{ПРИВ1}$, $B_{ПРИВ2}$ – приведені витрати на 1 кг продукції, грн.;

C_O – собівартість 1 кг продукції, грн./кг;

E_H – нормативний коефіцієнт капіталовкладень - (0,15);

K_B – відносний розмір капітальних вкладень, грн./кг.

Базовий $B_{ПРИВ1} = 27,05$ грн./кг.

Проектний $B_{ПРИВ2} = 13,96$ грн./кг.

Річний економічний ефект по приведених витратах ($PE_{ВП}$), знаходиться за формулою:

$$PE_{ВП} = [(C_{O1} + E_H \cdot K_{B1}) - (C_{O2} + E_H \cdot K_{B2})] \cdot A_2, \quad (5.22)$$

де $PE_{ВП}$ – річний економічний ефект по приведених витратах, тис.грн.;

C_{O1} , C_{O2} – собівартість 1 кг продукції, відповідно базовий і проектований варіант, грн./кг;

E_H – нормативний коефіцієнт капіталовкладень – (0,15);

K_{B1} , K_{B2} – відносний розмір капітальних вкладень, відповідно базовий і проектований варіант, грн./кг;

A_2 – обсяг реалізованої продукції (проектований варіант), кг.

$$PE_{ВП} = 5126,92 \text{ тис.грн.}$$

8. Узагальнена ефективність діяльності підприємства

Рентабельність продукції по чистому прибутку ($P_{ЧП}$), характеризує ефективність витрат на її виробництво [203] і збут визначається за формулою:

$$P_{ЧП} = \frac{ЧП}{C} \cdot 100\%, \quad (5.23)$$

де $P_{чп1}$, $P_{чп2}$ – рентабельність продукції по чистому прибутку, %;

$ЧП$ – чистий прибуток підприємства, тис.грн.;

C – собівартість реалізованої продукції, тис.грн.

Базовий $P_{чп1} = 32,171$.

Проектний $P_{чп2} = 62,294$.

Рентабельність продажу продукції по чистому прибутку ($РП_{чп}$), до чистої виручки від реалізації чистого доходу ($ЧД$), визначається за формулою:

$$РП_{чп} = \frac{ЧП}{ЧД} \cdot 100\% , \quad (5.24)$$

де $РП_{чп1}$, $РП_{чп2}$ – рентабельність по чистому прибутку, %;

$ЧП$ – чистий прибуток, тис.грн.;

$ЧД$ – чистий дохід (виручка) від реалізації продукції, тис.грн.

Базовий $РП_{чп1} = 93,75$.

Проектний $РП_{чп2} = 98,75$.

9. Розрахунок та аналіз беззбиткового (критичного) обсягу реалізації продукції

Беззбитковий (критичний) обсяг реалізації продукції – це такий обсяг, який забезпечує покриття всіх витрат за рахунок виручки, тобто прибуток має дорівнювати «0».

Визначення беззбиткового (критичного) обсягу реалізації продукції проводиться на основі графічних способів розрахунків.

Визначення точки беззбитковості графічним способом потребує побудування графіку беззбитковості. На вісі абсцис відображається обсяг виробництва продукції, на вісі ординат – витрати, виручка від реалізації продукції та прибуток. Графік дає можливість визначити обсяг реалізації продукції, що забезпечить покриття валовим доходом сукупних витрат, тобто буде досягнуто беззбитковий обсяг реалізації.

На рис. 5.4 схематично зображено графік «точки беззбитковості».

Обсяг виробництва	0	391,68	т
Виручка від реалізації	0	4308,48	тис.грн.
Сукупні витрати	37,5	5463,95	тис.грн.

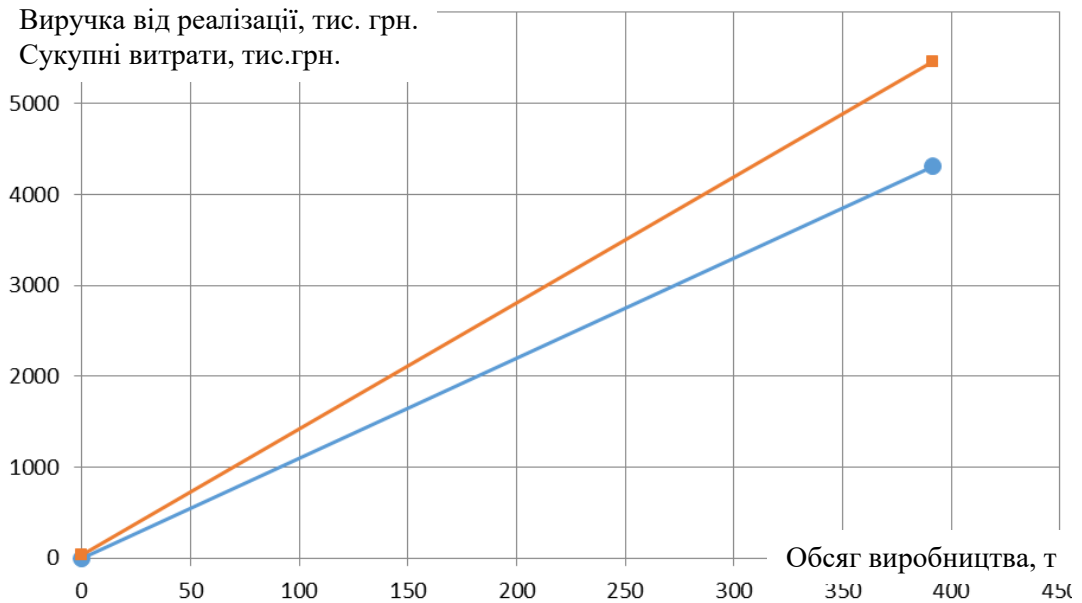


Рисунок 5.4 – Графік «точки беззбитковості»

10. Техніко-економічні показники виробництва

Показники	Базовий	Проект.	Проект. к базов.
Річний обсяг виробництва продукції, т	252	391,68	155,43
Сумарні капіталовкладення, тис.грн.	71,25	37,5	52,632
Собівартість виробництва продукції, тис.грн.	6806,9	5463,95	80,3
Валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.	2772	4308,48	155,43
Чистий прибуток, тис.грн.	2189,9	3403,7	155,43
Продуктивність праці, кг/люд.-год.	525	816	155,43
Собівартість одиниці продукції, грн.	27,01	13,95	51,645
Термін окупності капітальних вкладень, роки	1,5	0,1	-
Річний економічний ефект, тис.грн.	-	5126,92	-
Рентабельність виробництва продукції, %	32,2	62,3	-

Висновки за розділом 5

1. Встановлено, що в умовах господарств застосування гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для спеціального очищення насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішків дозволяє одержати 68 % насіння ріпаку I класу при вихідній засміченості до 15,2 % у той же час як серійним сепаратором «САД» досягається одержання виходу I класу 35,2 %.

2. При сепарації суміші насіння ріпаку з вихідною засміченістю 53,9 % на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі можна отримати до 49 % очищеного насіння ріпаку відповідаючого вимогам I класу та зоотехнічним вимогам на корма тварин і птиці, в той же час на сепараторі серії «САД» очистки насіння ріпаку при такій засміченості неможливо.

3. Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора складає 5126 тис.грн., строк окупності капітальних вкладень становить 0,1 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота спрямована на розв'язання науково-технічної задачі, яка полягає у підвищенні ефективності процесу сепарації насіння ріпаку за пружними властивостями шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора і більш спрямованої зміни за рахунок цього траєкторій руху частинок суміші.

Виконане дисертаційне дослідження обґрунтування параметрів багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку дозволило сформулювати наступні висновки.

1. Аналіз сучасного стану спеціальної очистки насінневого матеріалу ріпаку та використання його на корм тваринам і птиці свідчить, що застосовані способи очищення від важковідокремлюваних домішків не забезпечують достатньої якості сепарації. Найбільші труднощі викликає відділення насіння підмаренника, пікульника, круглеця, курячого проса, горця, мишію, склероцій білої гнилі. Повторні пропуски насіння крізь повітре-решітно-трієрні машини призводять до збільшення енергоємності процесів очищення. У спеціальних очисних машин – пневмостолів, падді-машин, віброфрікційних машин процеси сепарації також є найбільш енергоємними.

2. Встановлено, що найбільші відмінності серед фізико-механічних властивостей насіння ріпаку і домішків спостерігаються в їхній пружності, тому сепарацію насінневих сумішей ріпаку та домішків слід здійснювати за допомогою удару по відбивним поверхням з послідуєчим поділом компонентів за відмінністю в траєкторіях їх руху, причому найбільша ефективність досягається шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора і більш спрямованою зміною, за рахунок цього, траєкторії руху частинок з різною пружністю в робочому органі сепаратора.

3. Розроблені інноваційні методи та обладнання для визначення фізико-механічних властивостей насіння ріпаку та важковідокремлюваних домішків, а саме прилади для визначення коефіцієнтів тертя, пружних характеристик граничних кутів підйому та траєкторій руху по вібраційним фрикційним поверхням, а також запропоновано новий спосіб визначення ефективного модуля пружності матеріалу зернівки кулястої форми, що ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності.

4. Встановлені закономірності основних характеристик удару при вертикальному падінні тіла на пружний півпростір в яких урахування сили гравітації при невеликих швидкостях удару, суттєво збільшує розрахункові величини для важких тіл порівняно до тих, що дає класична теорія. Але для таких малих тіл до яких відносяться насіння ріпаку урахуванням сили тяжіння під час удару можна знехтувати, тому що збільшення сили удару не перевищує 0,0005 %.

5. Теоретичними дослідженнями встановлено, що в залежності від маси тіла, яке вдаряє по задемпфованій неколивальній системі, після удару вона може переходити в осцилятор або залишатись неколивальною. Тіла малої маси якими є зерно не можуть перетворити її в осцилятор і система залишається неколивальною.

6. Встановлені закономірності руху частинки ідеалізованої в вигляді матеріальної точки між похилими в подовжньо поперечному напрямку деками багатоярусного ударного сепаратора, а саме імпульсу удару, кута нахилу вектора та модуля швидкості та тривалості руху насіння між деками від кута нахилу дек. Найбільш сприятливі значення кутів нахилу для продуктивності знаходяться в межах $30^{\circ} \dots 50^{\circ}$.

7. Теоретично встановлена залежність продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насінини ріпаку та кутів нахилу дек, яка для насіння ріпаку коливається в межах від 8 до 30 кг/год. для одного модуля сепаратора, що відрізняється від експериментальних досліджень в межах 15 %.

8. Розроблена матриця ознак подільності та способів сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Знайдені за допомогою планування багатофакторного експерименту раціональні параметри процесу сепарації дозволили отримати вихід очищеної фракції насіння ріпаку до 67...68 % при вихідній засміченості 15,2 % та подачі 90 кг/год на один блок є такими: $\alpha_c = 15 \pm 2,5^\circ$; $\beta_c = 45 \pm 2,5^\circ$; $L_c = 0,3 \pm 0,02$ м. Економічний ефект від впровадження гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора в п'яти фермерських господарствах склав 5126 тис.грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Скрыпник А.В. О программе развития агропромышленного сектора юго-восточной части Украины до 2003 года / А.В. Скрыпник // Збірник наукових праць ін-ту олійних культур УААН, 1999. – Вип. 4. – С. 213–216.
2. Нарижный И.Ф. Рапс: опыт, резервы, проблемы /И.Ф.Нарижный //Масличные культуры, 1987. – №2. – С. 2–3.
3. Романенко Г.А. Рапс – важнейший резерв увеличения производства растительного масла / Г.А. Романенко // Масличные культуры, 1987.– № 4.– С. 2–5.
4. Оробченко В.П. Рапс озимый /В.П. Оробченко. – М.: Сельхозиздат, 1959. – 157 с.
5. Орманджи К.С. Интенсивная технология производства рапса/ К.С. Орманджи, В.В.Стефанский, Н.М.Марченко, А.Г. Чижикови др. / Под ред. Е.П. Бурякова. – М.: Росагропромиздат, 1989.– 192 с.
6. Богомолов О.В. Дослідження фізико-механічних властивостей насінні ріпаку та домішків / О.В.Богомолов, М.В.Брагінець, // Сучасні напрями технології та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2015. – Вип. № 166. – С. 235–240.
7. Богомолов О.О. До питання сепарації насіння ріпаку /О.О. Богомолов// Сучасні напрями технології та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. –Вип. №179. – С. 59–63.
8. Артемов И.В. Рапс /И.В. Артемов. –М.: Агропромиздат, 1989. – 44 с.
9. Брагінець М.В. Питання розвитку зернопереробної галузі агропромислового комплексу України /М.В.Брагінець, О.О. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. № 2. – С. 8–11.
10. Гольцов А.А. Рапс, сурепица / А.А.Гольцов, А.М.Ковальчук, В.Ф. Абрамов.– М.: Колос, 1983.– 124 с.
11. Брагінець М.В. Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації

важкороздільних зернових сумішей / М.В.Брагінець, О.О. Богомолів // Інженерія переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. № 2. – С. 47–51.

12. Гортлевский А.А. Озимый рапс / А.А.Гортлевский, В.А.Макеев.– М.: Россельхозиздат, 1983.– 135 с.

13. Кузнецова Р.Я. Рапс – высокоурожайная культура./ Р.Я. Кузнецова.– Л.: Колос (Ленинградское отделение), 1975. – 84 с.

14. Ольшанський В.П. Теорія сепарування зерна /В.П.Ольшанський, В.В.Бредихін, В.М.Лук'яненко, М.В.Півень, М.В.Сліпченко, С.О.Харченко. – Х: ХНТУСГ, 2017. – 803 с.

15. Серебряный М.И. Тракторные дизели работают на растительном топливе / М.И. Серебряный //Тракторы и сельскохозяйственные машины.1992. – № 3.– С. 42–44.

16. Вехов В.В. Культурные растения СССР / В.В.Вехов, И.А.Губанов, Г.Ф. Лебедева.– М: Мысль, 1978. –336 с.

17. ГОСТ 10583-76. Рапс для промышленной переработки. Технические условия. – М. Изд-во стандартов, 1976. – 5 с.

18. Промышленное семеноводство: Справочник /Под ред. И.Г. Строны.– М.: Колос, 1980. – 287 с.

19. Teuteberg W. Der Anbau von Raps//Qualitätsrapserzeugung Anbau - und Sortenratschlage.– 1981.–Р. 13–24.

20. Рекомендации по интенсивной технологии возделывания ярового рапса и сурепицы /Всесоюзн. научно-исслед. ин-т масл. культур. Краснодар: ВНИИМК, 1986.– 18 с.

21. Анискин В.И. О повышении качества семян способами послеуборочной и предпосевной обработки / В.И. Анискин //Подготовка семян при интенсивном зернопроизводстве: Сб. науч. тр. Всесоюз. ин-та механ., 1987.– Т. 12.– С. 3–20.

22. Shevchenko, I. A., Aliev, E. B. (2018).Study of the process of calibration confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. Volume 12 Issue 4.

P. 135-142.

23. Воронов И.Г. Очистка и сортирование семян / И.Г. Воронов, И.Е. Кожуховский, П.П. Колышев. – М.: Сельхозиздат, 1958. – 582 с.

24. Бенмеджбер Физико-механические показатели семян некоторых сортов рапса / А. Бенмеджбер // Пищевая технология. 1987. – № 6. – С. 24–28.

25. Громов М.А. Плотность и теплоемкость семян рапса / М.А. Громов // Масло-жировая промышленность. 1987. – № 9. – С. 9–13.

26. Пабис С. Теплопроводность и коэффициент температуропроводности в слое зерна некоторых сельскохозяйственных продуктов / С. Пабис, Э. Биловица, Л. Гайдай // Инженерно-физический журнал. 1970. – № 3. – С. 11–15.

27. Токарев П.В. Агрофизические свойства семян масличных и эфиромасличных культур и их производственное значение: Дисс. канд. с.-х. наук: 06.01.05. – Харьков, 1967. – 188 с.

28. Тихонов В.Г. Изыскание и исследование молотильного аппарата для обмолота снопов горчицы и других мелкосеменных масличных культур с опытных делянок: Дисс. канд. техн. наук: 05.20.01. – Краснодар, 1975. – 252 с.

29. Лобас М.Г. Розвиток зернового господарства України / М.Г. Лобас. – К., 1997. – 447 с.

30. Гірник М.П. Механізація і автоматизація післязбиральної обробітки зерна / М.П. Гірник., С.К. Миронюк, В.І. Аніскін. – К.: Урожай, 1976. – 152 с.

31. Гладков Н.Г. Зерноочистительные машины / Н.Г. Гладков. – М.: Машгиз, 1961. – 362 с.

32. Гладков Н.Г. Сепарирование семян по свойствам их поверхности / Н.Г. Гладков // Труды ВИСХОМ, 1959. – Т. 7. – С. 13–192.

33. Верещинский А.П. Послеуборочная очистка зерна на барабанных и плоскорешетных сепараторах / А.П. Верещинский // Ж. Хранение и переработка зерна, 2018. – № 10–11. – С. 36–38.

34. Шелест А.Г. Сепарування зернових мас із використанням сил гравітації / А.Г. Шелест, Т.П. Чернишук, В.С. Кошулько // Ж. Хранение и

переработка зерна, 2017. – №11. – С.47–49.

35. Заика П.М. Вибрационные зерноочистительные машины / П.М. Заика. – М.: Машиностроение, 1967. – 215 с.

36. Горячкин В.П. Собрание сочинений: В.3 т.-2-е изд. / В.П. Горячкин. – М.: Колос, 1968. – 3 т.

37. Летошнев М.Н. Сельскохозяйственные машины / М.Н. Летошнев. – М.: Сельхозгиз, 1955. – 424 с.

38. Терсков Г.Д. Расчет зерноуборочных машин / Г.Д. Терсков. – М.: Машгиз, 1961. – 270 с.

39. Тарасенко В.В. Исследование и обоснование технологии механизированной уборки плодов и выделения семян томата: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01/ Харьк. ин-т мех. и электр. с. х. – Харьков, 1987. – 20 с.

40. Бериашвили Ш.И. Новое лабораторное оборудование и приборы для анализа семян/Ш.И. Бериашвили, Н.А. Хлистова // Селекция и семеноводство, 1975. – № 2. – С. 72–74.

41. Тарушкин В.И. Электросепарирующее устройство для семеноводства /В.И. Тарушкин // Земледельческая механика: Сб. науч. тр. МИИСП, 1980. – Вып. 1. – С. 87–90.

42. Устройство для сортирования зерна: А.с. 563198 СССР, МКИ В 07 В 13/00 /П.М. Заика, Г.Е. Мазнев, В.В. Бакум (СССР). – № 2169260/13; Заявлено 15.08.75; Опубл. 30.06.77, Бюл. №. 24. – 2 с.

43. Бакум В.В. Обоснование параметров технологического процесса сепарации семенных смесей на фрикционных неперфорированных колеблющихся поверхностях: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01/ Харьк. ин-т мех. и электр. с. х. – Харьков, 1984. – 20 с.

44. Богомолов А.В. Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян конопли на вибрационной семяочистительной машине: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Харьк. ин-т мех. и электр. с. х. – Харьков, 1984. – 20 с.

45. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилявання, охолодження): [колект. Монографія] / Котов Б.І. [та ін.]; Нац. акад. аграр. наук України, Нац. наук. центр "Ін-т механізації та електрифікації сіл. госп-ва". – Київ: Лисенко М.М. [вид.], 2017. - 551 с.: Бібліогр. – С. 504-551.

46. Жмай Л.Г. Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян овощных культур на вибрационной семяочиститель-ной машине: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Харьк. ин-т мех. и электр. с. х.– Харьков, 1990.– 20 с.

47. Лукьяненко В.М. Обоснование параметров процесса сепарации семян рапса и сурепки на вибрационной машине: Автореф.дис., канд.техн наук: 05.05.11 / Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Харьков, 2001. – 20 с.

48. Заика П.М. Очистка и сортирование семян рапса и сурепицы / П.М. Заика, В.М.Лукьяненко, А.И.Бортников, В.Д. Шафоростов//Научно-техн. бюллетень Всесоюз. научно-исслед. ин-та масл. культур, 1986.– Вып. 4.– С. 43–46.

49. Заика П.М. Повышение посевных качеств семян, обработанных на вибросепараторах / П.М. Заика // Учебное пособие.– К.: Из-во УСХА, 1989.–52 с.

50. Кобринский А.Е. Виброударные системы / А.Е.Кобринский, А.А. Кобринский.-М.:Наука, 1973-252с.

51. Кулагин М.С. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин, В.М. Соловьев, В.С.Желтов. – М.: Колос, 1979.–256 с.

52. Фадеев Л.В. Очистка зерна после уборки. Снижение затрат. / Л.В. Фадеев // Ж. Хранение и переработка зерна,2011.–№11.–С.48–51.

53. Манчинский Ю.А. Исследование движения круга со смещенным центром масс по вибрирующей плоскости / Ю.А. Манчинский, А.В. Богомоллов // Применение новейших математических методов и вычислительной техники в решении задач вибросепарации сыпучих

материалов: Сб. науч. тр. МИИСП.-1981.-с.21-24.

54. Зукас А.К. и др. Динамика удара. М.: Наука, 1972.-363с.

55. Гайдаш В.Д. Особенности уборки и послеуборочной обработки семян рапса / В.Д. Гайдаш // Масличные культуры, 1987.– № 4.– С. 16–17.

56. Дека для определения угла установки делительной планки при вибрационной сепарации семян. А.с. №1187024 СССР,-МКИ G01№19/02 П.М. Заика, А.В. Богомолов, С.Д. Бакеев, А.В. Козаченко.-№3591974/25-28; Заявл. 10.05.83; Опубл. 23.10.85 Бюл. №39-2с.

57. Козаченко А.В. Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян табака и махорки на вибрационной семяочистительной машине: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01/ Харьк. ин-т мех. и электр. с. х.– Харьков, 1987.– 21 с.

58. Лукьяненко В.М. Исследование процесса очистки семян рапса от склероциев белой гнили /В.М. Лукьяненко //Совершенствование рабочих органов с.-х. машин: Сб. науч. тр. УСХА, 1988.–С. 28–32.

59. Лукьяненко В.М., Харук И.Д. Вибросепарация семян рапса /В.М. Лукьяненко, И.Д. Харук //Тез. докл. Всесоюз. иауч.-практ. конф. "Механизация и автоматизация технологических процессов в агропромышленном комплексе".– Часть 4.– Новосибирск, 1989.–С. 13–14.

60. Лукьяненко В.М., Харук И.Д., Ковальчук А.Н. Возможность повышения посевных качеств и урожайности семян рапса озимого при сортировании семенного материала на виброфрикционном сепараторе / В.М. Лукьяненко, И.Д. Харук, А.Н. Ковальчук //Обоснование параметров машин для подготовки семенного материала и посева: Сб. науч. тр. УСХА, 1990.– С. 77–80.

61. Харук И.Д., Лукьяненко В.М. Очистка и сортировка семян рапса на виброфрикционном сепараторе / И.Д. Харук, В.М. Лукьяненко //Обоснование параметров машин для подготовки семенного материала и посева: Сб. науч. тр. УСХА, 1990.–С. 81–84.

62. Харук И.Д. Обоснование технологического процесса очистки и

сортирования семян крестоцветных масличных культур на вибрационной семяочистительной машине: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01/ Харьк. ин-т мех. и электр. с. х.–Харьков, 1993. –23 с.

63. Physics of dry granular media, edited by Herrmann H.J., Holvi J.P. and Luding S., Nato, ASI, Ser. E. Vol. 350. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1998.

64. Харламов С.А. Очистка семян рапса на наклонных отражательных поверхностях / С.А. Харламов, О.Л. Слукин // Сборник науч. трудов / ЧГАУ.– Челябинск, 1991.–С. 36–39.

65. Птицын С.Д. Сепарация зерна при ударе / С.Д. Птицын // Доклады ВАСХНИЛ, 1948.– №3.– С. 57–66.

66. Птицын С.Д. Сепарация зерна при ударе / С.Д. Птицын // Труды ВИМ, 1949.–Т. 12.–С. 79–84.

67. Jaeger H.M., Nagel S.R. and Behringer P.P., (eds.). Powders and grain 97 // Balkema, Rotterdam, 1997.

68. Kondic L., Hartley R.R., Tennakoon S.G.K., Painter B. and Behringer R.P. Segregation by friction // arXiv:cond-mat/0210682. V.I, 30. Oct., 2002.

69. Luding, S. (1998). Collisions and Contacts two Particles, Physics of Dry Granular Media. E350-NATO ASI series, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. P. 285-314.

70. Muth, B., Eberhard, P., Luding, S. (2003). Contact Simulation for Many Particles Considering. Mechanics Dased Design of Structures and Machines. Vol. 31. No. 3. P. 433-457.

71. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики том.1. Из-во Наука.- 1974г.с.496

72. Киреев М.В. Послеуборочная обработка зерна в хозяйствах /М.В. Киреев, С.М. Григорьев, Ю.К. Ковальчук. – Л.: Колос, 1981. – 216 с.

73. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин /Е.С.Босой и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 477 с.

74. Бакум Н.В. Обоснование параметров технологического процесса

сепарации мелко семенных смесей на виброрешетной семяочистительной машине: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01 /Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Харьков, 1984. – 24 с.

75. Жмай Л.Г. Обоснование параметров технологического процесса очистки и сортирования семян овощных культур на вибрационной семяочистительной машине: Автореф. дис... канд.техн. наук: 05.20.01 /Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства. – Харьков, 1990. – 20 с.

76. Богомолов А.В. К разработке энергоэффективного способа сепарации частиц на профилях наименьшего сопротивления. / А.В. Богомолов, Н.В. Брагинец, А.А. Богомолов // Інженерія переробних і харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. № 2. – С. 55–61.

77. ХЕССРО Монтасер Хейри Хуссейн. Обоснование параметров процесса вибросепарации гороха на деках с криволинейными рабочими органами: Дисс. канд. техн. наук 05.05. 11/ Харьк. нац. техн. ун-т. с.х. им. П. Василенко –Харьков, 2015.-230с.

78. Богомолов А.В. К разработке сепаратора сыпучих смесей с профилями наименьшего сопротивления. / А.В. Богомолов, М.В. Сергиенко, И.О. Бабаев, Н.В. Брагинец, А.А. Богомолов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2016. – Вип. №179. – С. 5–10.

79. Алієв Ельчин Бахтияр Огли. Механіко-технологічні основи процесу прецизійної сепарації насінневого матеріалу соняшнику: Дисс. докт. техн. наук: 05. 05. 11/ - Харк. нац. техн. ун-т с.г. ім. П. Василенка. - Харків, 2020. – 530 с.

80. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур: Технічні умови. – К.: Держспоживстандарт України, 1994. – 73 с.

81. ДСТУ 2949- 94. Насіння сільськогосподарських культур: Терміни та визначення. – К.: Держспоживстандарт України, 1995, - 173с.

82. Очищення зерна – це просто упевнені власники сепаратора

«Алмаз». Ж.Зерно. – № 5, 2012. – С. 191.

83. Ольшанський В.П. Про перетворення ударом задемпфованої механічної системи в осцилятор / В.П. Ольшанський, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів //Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ, м. Харків. 2018. – Вип. №194. – С. 18–31.

84. Кубышев В.А. Основные направления развития индустриальной технологии и обработки зерновых культур / В.А. Кубышев //Сб.тр.НТБ ВАСХНИЛ – Новосибирск, 1977. – Вып. 4–5. – С. 37–49.

85. ГОСТ 12037-81. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения чистоты и отхода семян. – М.: Изд-во стандартов, 1981 – II с.

86. Пожелене А. Электроочистка семян рапса //Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1989. – №1 – С.62–63.

86. Brey J.J. and Cubero D. Granular Gases // T. Poshel and S. Luding, eds. – Lecture notes in Physics. Vol. 564. Springer, Berlin. 2001.

87. Попов Н.Ф. Сортирование зерна по влажности и спелости /Н.Ф. Попов // Селекция и семеноводство, 1948. – № 10.–С. 79–84.

88. Васильев А.М. Новый режим вибрационного движения частицы на рефлексной поверхности сепарирующих машин / А.М. Васильев, А.С. Волков, Д.В. Кирокосян // Ж. Хранение и переработка сельхозсырья, 2012.–№ 12. – С. 16–18.

89. Бобров С.Ф. Разделение зерна по принципу упругости и зависимости от угла наклона отражательных плиток /С.Ф. Бобров //Науч.записки Херсонского СХИ. – Киев, 1959.–Вып. 8.–С. 127–136.

90. Рябов П.И. Разделение семян по их упругим свойствам /П.И. Рябов // Тр. Саратовского ин-та механ.сельск.хоз-ва.-Саратов, 1957. –Вып. II, С.31–37.

91. Высоцкий В.К. Сортирование семян проса по упругости / В.К. Высоцкий //Селекция и семеноводство, 1961. –Т. 4.–С. 63–67.

92. Филинков Н.И. Физико-механические основы сепарации зерновой массы по влажности методом упругих деформаций /Н.И. Филинков //Труды

ВНИИ зернобобовых культур, 1968. –Т.2.–С. 319–333.

93. Устройство для разделения зерновых смесей по упругим свойствам. А.с. №1319930, МКИ В 07 13/00 / П.М. Заикаи, А.И. Завгородний, А.В. Богомолов др. – №4017566/29-03; Заявл. 31.01.86; Оpubл. 30.06.87, Бюл. №24. – 2с.

94. Вибрационная машина для очистки и сортирования зерна: А.с. №1514424, СССР, МКИ В 07 В 13/00 / П.М.Заика, А.В.Козаченко, А.В.Богомолов, А.Д.Михайлов. – №4349058/29-03; Заяв. 28.12.87; Оpubл.15.10.89, Бюл. №38. – 3 с.

95. Вибрационный сепаратор для разделения смеси семян по упругим свойствам: А.с.№ 1459738 СССР, – МКИ В 07 В 9/00 / П.М. Заика, В.М. Лукьяненко, А.В. Богомолов и др. – № 4214968/29-03; Заявл. 23.03.87; Оpubл. 23.02.89. Бюл. №7. – 3 с.

96. Устройство для сортирования семян: А.с. №122233 СССР, МКИ В 07 В 13/00 / П.М. Заика, С.Д. Бакеев, А.В. Богомолов, И.В. Чалый. – № 3728592/29-03; Заявл. 16.04.84; Оpubл. 7.04.86, Бюл. №13. – 3 с.

97. Богомолов О.О. Сепарація насіння ріпаку /О.О.Богомолов // Техніка та енергетика. Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва . – Київ.:2020. – Вип.11. №2 – С.145-150.

98. ДСТУ 4138 – 2002. Насіння сільськогосподарських культур: Методи визначення якості. – К.: Держспоживстандарт України, 2003.- 173с.

99. Богомолов А.В. Сепарация трудноразделимых сыпучих смесей / А.В. Богомолов.– Харьков: ХНТУСГ, 2013. – 308 с.

100. ДСТУ 2240-93 Насіння сільськогосподарських культур: Сортові та посівні якості. Технічні умови.- К.: Держспоживстандарт України, 1993. – 74 с.

101. Вибрационная машина для очистки и сортирования зерна: А.с. №1514424, СССР, МКИ В07 в 13/00 /А.В. Козаченко, А.В. Богомолов, П.М. Заика, А.Д. Михайлов. – №4349058/29-03; Заявл. 28.12.87; Оpubл. 15.10.89, Бюл. № 38. – 3с.

102. Вибрационный сепаратор для разделения смеси семян по упругим свойствам: А.с. № 1459738 СССР, – МКИ В07 В9/00 /В.М. Лукьяненко, П.М. Заика, А.В. Богомолов и др. – №4214968/29-03; Заявл.23.03.87; Опубл.23.02.89, Бюл. № 7. – 3 с.

103. Вольмир А.С. Гибкие пластинки и оболочки /А.С. Вольмир.– М.: Гостехиздат, 1966. – 214 с.

104. Дека вибрационного сепаратора: А.с. №1535657 СССР, МКИ В07 В 13/00 /П.М.Заика, И.В.Чалый, С.Д.Бакеев, А.В.Богомолов. – №44440055/30-03; Заявл.25.04.84; Опубл. 15.01.90, Бюл. № 2. – 4 с.

105. Дека вибрационного сепаратора: А.с. №1747200 СССР, МКИ В07 В 13/00 /П.М.Заика, И.В.Чалый, С.Д.Бакеев, А.В.Богомолов. – №4858958/03; Заявл.28.05.90; Опубл. 15.07.92, Бюл. № 26. – 3 с.

106. Заика П.М. Периодический режим движения материальной точки между двумя криволинейными поверхностями /П.М. Заика, Д.И. Мазоренко, А.И. Завгородний // Совершенствование рабочих органов сельскохозяйственных машин: Сб.науч.тр.МИИСП, М.,1977,вып.2.-с.12-20.

107. Зверев С.В. Фотосепарирование зерна тритикале по признаку стекловидности / С.В. Зверев, О.В. Политуха, И.А. Панкратьева, А.С. Корнев И.А. Капустин, и др. // Ж. Хранение и переработка зерна, 2017. –№ 3. –С. 24–25.

108. Фадеев Л.В. Спельта: пришло ее время / Л.В. Фадеев // Ж. Хранение и переработка зерна, 2017.–№ 3. С. 27–31.

109. Зефіров В.М. Вільні колювання частинки по поверхні деки сепаратора з таутохронним профілем / В.М. Зефіров, О.І. Завгородній, В.О. Сметанкін // Науковий вісник національного аграрного університету.-Київ: Вид-во НАУ, 1998.-с.139-143

110. Патент на корисну модель. Аспиратор Фадеева № 38227. Зареєстровано в ДРПУ 25.12.2008 р.

111. Петров В.Н. Устройства для сортировки продуктов по цвету / В.Н. Петров, А.А. Жданов // Ж. Хранение и переработка зерна,2017. –№ 10.–

С. 38–41.

112. Бобров С.Ф. К вопросу об отражении зерна от металлических плиток /С.Ф. Бобров //Науч. записи Херсонского СХИ.–Киев, 1957. – Вып. 6.– С. 77–91.

113. Разработать и внедрить комплекс машин для производства семян рапса и сурепицы и выдать рекомендации производству: Отчет о НИР /Всесоюзн. научно-исслед. институт масл. культур,– ОСХ.65.03.08.06к.– Краснодар, 1984.– 131 с.

114. Крохмаль С.Д. Уборка и послеуборочная обработка семян рапса / С.Д. Крохмаль, В.Д. Шафоростов, И.П. Мамонцев, П.А. Курунин // Масличные культуры, 1987.– № 1.– С. 18–21.

115. Очистка семян рапса и сурепицы: Методические указания /Госагропром СССР.–М.: Агропромиздат, 1987.– 8 с.

116. Хармонд Д. Очистка и обработка семян: Пер. с англ. / Д. Хармонд, Л. Клейн, Р. Бранденбург. –М.: Машгиз, 1963.–88 с.

117. Устройство для разделения зерновых смесей по упругости: А.с. № 1526008 СССР, МКИ В07В 13/00 /П.М. Заика, А.В. Козаченко, А.И. Завгородний, А.В. Богомолов. - №4162603/29-03; Оpubл. 16.12.86. - 4с.

118. Шукюров С.А. Сортирование семян сои по упругим свойствам: Автореферат дис. ... канд.техн.наук. – Новосибирск: 1984. – 19 с.

119. Богомолов А.В., Шаповаленко О.И. Сепарация зерна при многократном ударе об отражательные поверхности // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім.П.Василенка. Вип.38. Харків: ХНТУСГ, 2005. с. 5-15.

120. Богомолов О.В. Обоснование возможности сепарации зерновых смесей по упругости //Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв: Зб.наук.пр.- Харків:ХДАТОХ, 2000. - Ч.2. - С.141-147.

121. Пристрій для розподілу для зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. № 57958 Україна, МКВ В 07 В 13/00. О.В.Богомолов, Ю.І.Токолов, М.О.Зінченко - № 200203187; Заявл. 7.03.2002; Оpubл.

15.07.2003, Бюл. № 7. - 2 с.

122. <http://soft-agro.com/kormovoe-syre/rapsovyj-shrot-i-zhmut-v-kormlenii-korov-svineji-pticy.html>.

123. <http://agrocart.com/2796/raps-v-kormlenii-zhivotnyh>.

124. Свеженцов А.И. Особенности годівлі високопродуктивних корів / А.И. Свеженцов, В.С. Козир. – Дніпропетровськ, 1999. – 128 с.

125. Лазаревич А.П. Використання насіння ріпаку в раціональних корів / А.П. Лазаревич // Вісник аграрної науки, 2012. – № 5. – С. 29–31.

126. Брагінець М.В. Використання ріпаку на корм тваринам та птиці та його очищення. /М.В.Брагінець, О.В.Богомолів, О.О. Богомолів /Іноваційне технічне забезпечення галузі тваринництва: Вісник ХНТУСГ . – Х.: 2020. Вип.209. – с.141.

127. Schafer W. Studien zum rheologischen Optimum // Die Muhle + Mischfuttertechnik, 1972. – В. 109. – № 36. – S. 565–568.

128. Жуковський О.М. Відходи переробки ріпаку в годівлі тварин / О.М. Жуковський //Тваринництво України, 2007.– № 3. – С. 32–34.

129. Ментух Ф.А. Использование семян рапса и продуктов его переработки в кормлении телочек /Ф.А. Ментух //Зоотехния, 1998. – № 6. – С. 15–16.

130. Якимов А.В. Мука из семян рапса в рационе дойных коров / А.В. Якимов, Л.П. Зарипова // Рациональное использование кормов в промышленном животноводстве. – Казань, 1990. – С. 24–27.

131. Свеженцов А.И. Нормирование кормления сельскохозяйственных животных / А.И. Свеженцов // Справочник: Днепропетровск «Наука и образование», 1998. – 280 с.

132. Головин А. Семена рапса и продукты его переработки в кормлении молочных коров /А. Головин, М. Кирилов, В. Виноградов, С. Кумарин // Комбикорма, 2003. – № 7. – С. 49–50.

133. Егоров И. Рапсовый шрот в рационах птицы /И. Егоров, Ю. Пономаренко // Комбикорма, 2009. – № 3. – С. 58–59.

134. Єгоров Б.В. Сучасні тенденції розвитку виробництва комбікормів підвищення їх якості / Б.В. Єгоров // Зернові продукти і комбікорми, 2012. – № 3. – С. 33–35.

135. Клименко Т.Є. Рослинні білкові корми: порівняльний аналіз, перспективи використання при вирощуванні ремонтного молодняку яєчних курей / Т.Є. Клименко // Хранение и переработка зерна, 2010. – № 2. – С. 51–52.

136. Лакіза О.В. Продукти переробки насіння ріпаку у виробництві комбікормів / О.В. Лакіза, В.О. Єрмакова, Ю.О. Чурсінов // Зернові продукти і комбікорми, 2012. – № 3. – С. 38–43.

137. Пономаренко Ю. Рапс и продукт его переработки для птицеводства / Ю. Пономаренко // Комбикорма, 2012. – № 4. – С. 57–59.

138. Крохина В.А. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных (состав и применение). / В.А. Крохина, А.П. Калашников, В.И. Фисин // Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.

139. Миончинский П.Н. Производство комбикормов 2-е изд., доп. и перераб. / П.Н. Миончинский, Л.С. Кожарова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 288 с.

140. Листопад В. Текущие тенденции украинского и мирового рынка протеиновых шротов / В. Листопад // Масложировой комплекс, 2011. № 2(33). – С. 18–23.

141. Чеботарев О.К. Технология муки, крупы и комбикормов / О.К. Чеботарев, А.Ю. Шаззо, Я.Ф. Мартыненко. – Москва: ИКЦ «МарТ», Ростов – н/Д: Издательский центр «МарТ», 2004. – 688 с.

142. Егоров И. Рапсовый шрот в рационах птицы / И. Егоров, Ю. Пономаренко // Комбикорма, 2007. – № 10. – С. 51–52.

143. Свеженцов А.И. Нормированное кормление сельскохозяйственных животных / А.И. Свеженцов // Справочник. – Днепропетровск, «Наука и образование». 1998. – 280 с.

144. ГОСТ 12220-96 Шрот соевый. Введ. 12.04.1996. – М.: Изд-во стандартов. 1997. – 9 с.

145. ГОСТ 11048-64 Жмых рапсовый. Введ. 19.04.1996. – М.: Изд-во стандартов. 1997. – 9 с.
146. ГОСТ 11246-96 Шрот подсолнечниковый. Введ. 01.01.1996. – М.: Изд-во стандартов. 1997. – 10 с.
147. ГОСТ 30257-95 Шрот рапсовый тостированный. Введ. 10.12.1996. – М.: Изд-во стандартов 1997. – 15 с.
148. Крохина В.А. Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных / В.А. Крохина, А.П. Калашников, В.К. Фисинин и др. // Справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.
149. ГОСТ 98240-87 Семена рапса и сурепицы. Сортовые и посевные качества. Введ. 01.07.1988. – М.: Изд-во стандартов. 1987. – 5 с.
150. Петрухин И.В. Корма и кормовые добавки / И.В. Петрухин // Справочник. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 526 с.
151. Ольшанський В.П. Про взаємодію важкого твердого тіла з пружним півпростором. / В.П. Ольшанський, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів //Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: 2018. – Вип. № 194.– С. 38–46.
152. Г.Е. Листопад Сельскохозяйственные и мелиоративные машины /Г.Е. Листопад и др. – М.: Колос, 1976. – 688 с.
153. Блехман Н.Н. Вибрационное перемещение /Н.Н. Блехман, Г.Ю. Джанелидзе. –М., Наука, 1964. – 410 с.
154. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин /П.М. Василенко.– Укр.акад. с/х. наук. – К., 1960. – 284 с.
155. Заика П.М. Динамика вибрационных зерноочистительных машин /П.М. Заика – М.: Машиностроение, 1977. – 276 с.
156. Заика П.М. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств / П.М. Заика, Г.Е. Мазнев. – М.: Колос, 1978. – 278 с.
157. Заика П.М. Вибрационное перемещение твердых и сыпучих тел в сельскохозяйственных машинах /П.М. Заика. – К.: Изд-во УСХА, 1998. – 625 с.

158. Гурняк Л.І. Опір матеріалів/ Л.І.Гурняк, Ю.В.Гуцуляк, Т.Б.Юзків, - Львів: Новий світ, 2005. – 364 с.
159. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел / В.Гольдсмит. – М.:Госстройиздат, 1965. – 447 с.
160. Goldshtein, A., Shapiro, M. (1995). Mechanics of collisional motion of granular materials. Part 1. General hydrodynamic equations. *J. Fluid Mech.* Vol. 282. P. 75-114.
161. Siebmaschinen // *Schuttgut*. –1998. –№ 1. –S. 94.
162. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар/ Н.А. Кильчевский. – К.: Наукова думка, 1976 – 319 с.
163. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара /Я.Г. Пановко. – М.:Наука, 1987 – 223 с.
164. Брагінець М.В. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії. /М.В.Брагінець, В.Т.Дмитрів, В.С.Хмельовський, О.В.Богомолов, О.О.Богомолов // *Техніка та енергетика. Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва* . – Київ.:2020. – Вип.11. №2 – С.157-164.
165. Абрамовиц А. Справочник по специальным функциям (с формулами, графиками и математическими таблицами) / А.А. Абрамовиц, И. Стиган. – М.: Наука, 1979. – 832 с.
166. Goldberg D. Genetic algorithms in the optimization and machine learning. Addison Wesley. 1988.
167. Kolymbas D., ed. Constitutive modeling of granular materials //Springer, Berlin. 2000.
168. Vermeer P.A., Diebels S., Ehlers W., Hermann H., Luding S. and Ramm E., eds., Continuous and discontinuous modelling of cohesive-frictional materials // Springer, Berlin, 2001.
169. Завгородній О.І. Періодичний рух частинок в процесі вібросепарації з упродовженням зміни напрямку коливань деки /О.І. Завгородній, О.В. Обихвіст // *Науковий вісник НАУ*, №92, 4.1, 2005.-с.228-

238.

170. Филиппов А.П. Колебания деформируемых систем /А.П.Филиппов. – Москва: Машиностроение, 1970. – 734 с.

171. Заика П.М., Лукьяненко В.М., Богомолов А.В., Бортников А.И., Шафоростов В.Д. Исследование формы семян рапса и его трудноотделимых засорителей //Научно-технический бюллетень Всесоюз. научно-исслед. ин-та масл. культур.-Краснодар: Изд-во ВНИИМК.– 1988.– Вып. 3.– С. 34–37.

172. Семена и посадочный материал сельскохозяйственных культур. – М.: Изд-во Стандартов, 1977. – 400с.

173. Александров Е.В. Прикладная теория и расчет ударных систем /Е.В. Александров, Б.В. Соколинский. – М.: Наука, 1969. – 199 с.

174. Бабицкий В.И. Теория виброударных систем / В.И. Бабицкий. – М.: Наука, 1978. – 352 с.

175. Бидерман В.Л. Теория удара/В.Л. Бидерман–М.: Машгиз, 1952.–76 с.

176. Зюлин А.Н. Теоретические вопросы совершенствования технологии очистки зерна /А.Н. Зюлин //Сб.науч.тр. ВИМ. – М.:1984. – Т. 100. – С.21–35.

177. Богомолов О.В. Элементи теорії ударних сепараторів зернових сумішей / О.В. Богомолов //Вісник ДонДУЕТ. Серія «Технічні науки»,2002.№ 2(14). – С.67–80.

178. Терентьев Ю.В. Теоретическое обоснование материала отражательной поверхности при сортировании семян по упругости свойствам / Ю.В. Терентьев, С.А. Шукюров //Технология возделывания и уборки сельскохозяйственных культур на Дальнем Востоке. – Новосибирск, 1980. С. 7–9.

179. Плисс Д.А. К теории вибрационной сепарации / Д.А. Плисс // Известия АН СССР. Механика твердого тела.– М.,1967. – С. 92–97.

180. Басов А.М. Диэлектрическая проницаемость зерна и ее влияние на сепарацию /А.М. Басов, Ф.Я. Изаков // Труды ЧИМЭСХ. –Челябинск, 1961.– Вып. 12.– С.79–91.

181. Ольшанський В.П. Про взаємодію важкого твердого тіла з пружним півпростором / В.П. Ольшанський, О.В. Богомолів, О.О. Богомолів //Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Х.: 2018. – Вип. № 194.– С. 38–46.

182. Налимов В.В. Логические основания планирования эксперимента / В.В. Налимов, Т.И. Голикова. – М.: Механизация, 1981.–152 с.

183. Несиков А.А. Разделение зерновых смесей по комплексу физико-механических свойств / А.А. Несиков //Сб.науч.тр. МИИСП – М.: 1989. – С. 109–111.

184. Харламов С.А. Определение коэффициента восстановления скорости семян рапса некоторых сорняков / С.А. Харламов, О.Л. Слукин //Совершенствование технологий и технических средств для уборки урожая и послеуборочной обработки зерновых культур: Сб. науч.тр./ЧИМЭСХ . – Челябинск, 1990. – С.54–56.

185. Aliev, E. V. (2018). Results of the experimental study of separation process seeds in aerodynamic separator. Інноваційні технології та сучасні селекційні досягнення у виробництві олійної сировини. Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції (26 жовтня 2018 р.). Запоріжжя. ІОК НААН. С. 70-71.

186. Гапонюк І. Сушіть кукурудзу, як у Кобеляках/ І. Гапонюк, Г. Уляненко, В. Коцький. //Зерно і хліб, 2004. – № 3. – С. 36.

187. Хартман К. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / К. Хартман – М.:Мир, 1977. – 419 с.

188. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем /И.Г. Зедгинидзе.– М.: Наука, 1976. – 390 с.

189. Налимов В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов – М.:Наука, 1971 – 189 с.

190. Седаш Л.Т. Фрикционные сепараторы для очистки и сортирования семян сельскохозяйственных культур / Л.Т. Седаш.– Воронеж: Изд-во Воронежского университета, 1972. – 57 с.

191. Хан Г. Статистические модели в инженерных задачах /Г. Хан, С. Шапиро.– М.: Мир, 1969. – 395 с.
192. Статистические методы обработки эмпирических данных.– М.: Изд-во стандартов, 1978. –239 с.
193. Дамбраускас А.П. Симплексный поиск /А.П. Дамбраускас.– М.: Энергия, 1979.–176 с.
194. Буйнов П.П. К методике определения коэффициента восстановления семян / П.П. Буйнов, А.Э. Арнольд // Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1972. – С.41–44.
195. Бжезовский А.И. К вопросу определения коэффициента восстановления при ударе / А.И. Бжезовский //Труды ЦНИИМЭСХ. – Минск, 1969. – Т.7. – С.90–96.
196. Глотов В.П. О коэффициенте восстановления семян сои /В.П. Глотов, Н.П. Гречанин, В.В. Назаренко //Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1973. – Вып. 62. – С. 258 – 263.
197. Богомоллов О.В. До питання сепарації зернових сумішей за сукупністю пружних та аеродинамічних властивостей / О.В. Богомоллов, О.І. Завгородній, В.П. Ольшанський, О.О. Богомоллов // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2019. – Вип. № 207. – С. 5–12.
198. Богомоллов О.В. Удосконалення конструкції гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора / О.В. Богомоллов, М.В. Брагінець, А.Р. Мазунов, Е.М. Науменко, О.О. Богомоллов, В.П. Богомоллова // Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: Вісник ХНТУСГ. – Харків, – 2019. – Вип. № 207. – С. 75–81.
199. Oscillations with positional friction under mechanical shock / Vasyl Olshansky, Oleksii Bogomolov, Oleksii Bogomolov, Viktor Irklienko, Lilia Kyskorkyshenko // Тека. A QUARTERL JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY. – 2019, Vol. 19, № 1, P. 49–58.
200. Богомоллов О.О. Очищення насіння ріпаку на гравітаційному

багаторурусному ударному сепараторі / О.О. Богомолів, І.О. Бабаєв, В.О. Яковенко, М.В. Брагінець // Матеріали XV-го міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка XXI сторіччя». – Харків, ХНТУСГ. – 2019. – С. 35–36.

201. Слукин О.Л. Повышение эффективности очистки семян рапса от сорной примеси по упругим свойствам. Автореф. дис.... канд. техн. наук: 05.20.01 / Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт рапса. – Липецк, 1992. – 20 с.

202. ГОСТ 70.10.2-83. Испытания сельскохозяйственной техники. Зерноочистительные машины и агрегаты. Зерноочистительно-сушильные комплексы. Программа и методы испытаний. – М.: изд-во стандартов, 1984. – 170 с.

203. Грідін О.В. Організаційно-економічне обґрунтування інженерних рішень в сфері переробних і харчових виробництв: [методичні рекомендації до економічного обґрунтування дипломних та магістерських робіт] / О.В.Грідін. – Х.: Вид-во «Міськдрук», 2011. – 210 с.

204. A.P.Palii, Y.S.Ulko, O.O.Bogomolov, L.V.Kis-Korkishchenko, M.D.Kambur, A.A.Zamaziy, N.M.Brit, I.M.Boiko, I.V.Grebnova, Y.O.Kovalchuk, A.P.Paliy. Species composition of microbiota of cows udder and raw milk quality at mastitis. *Ukrainian Journal of Ecology*, 2020, 10(3), doi: 10. 15421/2020.

205. Gheorghe Voicu, Tudor Casandriu, Constantin Tarcolea. (2008). Testing Stochastic Models for Simulating the Seeds Separation Process on the Sieves of a Cleaning System, and a Comparison with Experimental Data. *Agric. conspec. sci.* Vol. 73. No. 2. P. 95-101.

206. Богомолів О.В. Енергозберігаючий процес сепарації насіння ріпаку / О.В. Богомолів, М.В. Брагінець, О.О. Богомолів // Матеріали третьої міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні аспекти розвитку обладнання харчової і готельної індустрії в умовах сучасності». – Харків – Мелітополь – Кирилівка, Україна, 2019. – С. 17–19.

207. Богомолов О.В. Підвищення ефективності роботи зернових норій / О.В. Богомолов, І.М. Лук'янов, Л.В. Кісь, О.О. Богомолов // Тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції «Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарства і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність. – Харків, ХДУХТ. – 2018. С. 309–311.

208. Богомолов О.В. До розробки алгоритму аналізу та сепарації зернових сумішей / О.В. Богомолов, В.М. Кісь, І.М. Лук'янов, В.В. Акіншин, О.О. Богомолов // Вісник ХНТУСГ. – Харків, 2019. – С. 60–66.

209. Al-Lwayzy S. H. Grading of wheat seed by using specific gravity separator locally manufacture: M. Sc. thesis in Agricultural Machinery/ Saddam Hussien M. H. Al-Lwayzy/ Mosul Univ., Iraq, 2001.-108p.

210. Al-Sandouk J. M. Study of performance efficiency of seed separation machine by specific gravity: M. Sc. thesis in Agricultural Mechanization/ Jafar Mahdi Jafar Al-Sandouk/ Mosul Univ., Iraq, 2000.-133p.

211. Panasiewicz M. The technique and analysis of the process of separation and cleaning grain materials / M. Panasiewicz, P. Sobczak, J. Mazur, K. Zawislak, D. Andrejko// Journal of Food Engineering, 2012.-P. 603-608.

212. Zavgorodniy A. I. Periodic Vibro-Impact Mode of Motion of Spherical Particles along the Sine Curve / A. I. Zavgorodniy, Montaser Kh. Khessro // International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering. –Vol. 3 Issue 3.-March-2014.-pp. 127-131.

213. Eberhard, P., Alkhalidi, H. (2006). Efficient Computation of Colliding Particles in a Vertical Tumbling Sorting Machine. Proceedings Second International Congress on Computational Mechanics and Simulation (ICCMS), Vol. 1. 1. K. Publishing House, Nev Delhi, India. P. 81-87.

214. Gunaji Ashok Sawant, V. Murali Mohan, Sandip Ashok Savant.(2016). Study and Analysis of Deck inclination angle on Efficiency of Vibration Screen. International Journal of Engineering Development and Research. Volume 4. Issue 1. P. 631-635.

215. Ghosh Tathagata. (2013). Modeling of an air-based density separator.

Theses and Dissertations Mining Engineering. University of Kentucky UKnowledge. 139 p.

216. Zhanfu Li, Xin Tong. (2015). A study of particles penetration in sieving process on a linear vibration screen. *Int J Coal Sci Technol*. No. 2(4). P. 299-305.

217. Mohammad Hossein Abbaspour - Fard. (2000). Discrete element modelling of the dynamic behavior of non- spherical particulate materials. A thesis of Doctor of Philosophy. University of Newcastle upon Tyne. 275 p.

218. Mohammad Saeid Emami Naeini. (2011). Discrete Element Modeling of Granular Flows in Vibrationally – Fluidized Beds. A thesis of Doctor of Philosophy. Industrial Engineering University of Toronto. 130 p.

219. Wariam Chuayjan. (2010)/ Mathematical modelling of granular flows and its applications. A thesis of Doctor of Philosophy. Mahidol University. 115 p.

220. Hashem Alkhalidi . (2007). Contact Investigation of Granular Mechanical Media in Tumbling Sorting Machine . Institut Fur Technische Und Numerische Mechanik Der Universitat Stuttgart. 122 p.

221. Hutter, K., Rajagopal, K.R. (1994). On the flows of granular material. *Contin. Mech. Thermodyn*. Vol.6. P. 81-139.

222. Lammens, J. (1994). A computational model of color perception and color naming. Ph.D. thesis, State University of New York. Genoa. 253 p.

223. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEN – Agricultural Engineering*. Vol.54, No. 1. P. 95-104.

224. Shevchenko, I. A., Aliev, E. B. (2018). Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. *INMATEN - Agricultural Engineering*. Vol.54, No. 1. P. 129-138.

225. Aliev, E. B., Yaropud, V. M., Dudin, V. Yr., Pryshliak, V. M., Pryshliak, N.V., Ivlev, V. V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. *INMATEN - Agricultural Engineering*. Vol.56, No. 3. P. 119-128.

226. Joshi, D. C., Das, S.K., Mukherjee, R. K. (1993). Physical properties of

pumpkin seeds. Journal of Agricultural Engineering Research. (1993) Vol. 54, P. 219-229.

227. Ogunjimi L. Some engineering properties of locust bean seed / L. Ogunjimi, N. Aviara, O. Aregbesola // Some engineering properties of locust bean seed. Journal of Food engineering., - 2002 – Vol.55(2) – P. 95-99.

228. Elchin Aliev, Viktor Pryshliak, Vitaly Yaropud. (2017). Research of physical and mechanical properties of oilseed crops. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Lublin – Rzeszow. Vol. 19, No. 3. P. 103-108.

ДОДАТКИ

Визначення раціональних параметрів процесу сепарації

Раціональні параметри процесу сепарації також були визначені за допомогою плану Бокса-Бенкіна.

Після проведення теоретичних та серій попередніх дослідів в якості факторів були взяті 3 основних параметри: подовжений кут нахилу α_c , поперечний кут нахилу β_c , відстань між ярусами L_c . План матриця трирівневого плану Боксу-Бенкіна другого порядку з закодованими факторами $x_1 - \alpha_c$; $x_2 - \beta_c$; $x_3 - L_c$ та результатами експериментів в 3-х кратній повторюваності представлена в табл. А.1.

Таблиця А.1 – План матриця та результати експериментів

№ точки плану	Рандомизація дослідів		x_1	x_2	x_3	x_{12}	x_{13}	x_{23}	x_1^2	x_2^2	x_3^2	Результати експериментів		
												y_1	y_2	y_3
1	64	14	+	+	0	+	0	0	+	+	0	51,1	52,1	52,2
2	40	9	-	-	0	+	0	0	+	+	0	59,2	59,3	59,5
3	90	15	+	-	0	-	0	0	+	+	0	55,1	55,3	55,1
4	40	10	-	+	0	-	0	0	+	+	0	47,3	47,1	47,1
5	20	3	+	0	+	0	+	0	+	0	+	64,2	64,0	64,4
6	26	5	-	0	-	0	+	0	+	0	+	56,0	65,4	56,1
7	18	2	+	0	-	0	-	0	+	0	+	62,2	62,2	62,1
8	31	6	-	0	+	0	-	0	+	0	+	59,1	59,1	59,3
9	36	7	0	+	+	0	0	+	0	+	+	54,4	54,0	54,1
10	44	11	0	-	-	0	0	+	0	+	+	58,2	58,2	58,1
11	21	4	0	+	-	0	0	-	0	+	+	50,5	50,0	50,1
12	46	12	0	-	+	0	0	-	0	+	+	61,5	61,6	61,7
13	03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67,5	67,6	67,8
14	60	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67,4	67,8	67,3
15	39	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67,5	67,6	67,6

Відтворюваність дослідів визначалася з:

$$G_{расч} = \frac{S_{u\max}^2}{N} \leq G_{(0,05;f_1;f_2)} \cdot \sum_{u=1}^N S_u^2$$

Дисперсія, яка характеризує розсіювання результатів дослідів на u -те

поєднанні чинників:

$$S_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_{ui} - \bar{y}_i)^2}{m-1}. \quad (1.1)$$

Розрахункове значення критерію Кохрена:

$$G_{расч} = 0,2765;$$

$$G_{расч} = 0,2765 \leq G_{табл} = 0,3346.$$

Дисперсія відтворюваності (помилка дослід):

$$S_y^2 = 1,9896.$$

Коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = 67,5667; \quad b_{13} = 0,5083;$$

$$b_1 = 1,0625; \quad b_{23} = 0,1333;$$

$$b_2 = -3,8667; \quad b_{11} = -5,1479; \quad (1.2)$$

$$b_3 = 1,1792; \quad b_{22} = -6,4333;$$

$$b_{12} = 2,2; \quad b_{33} = -4,4812.$$

В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії отримано рівняння в наступному вигляді:

$$y = 67,5667 + 1,0625x_1 - 3,8667x_2 + 1,1792x_3 + 2,2x_{12} + 0,5083x_{13} + 0,1333x_{23} - 5,1479x_1^2 - 6,4333x_2^2 - 4,4812x_3^2. \quad (1.3)$$

Дисперсії, що характеризують помилки у визначенні коефіцієнтів регресії:

$$S^2\{b_0\} = 0,6632; \quad S^2\{b_i\} = 0,2487; \quad S^2\{b_{ij}\} = 0,4974; \quad S^2\{b_{ii}\} = 0,6632.$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_0 = 0,4294; \quad \Delta b_i = 0,2629; \quad \Delta b_{ij} = 0,3718; \quad \Delta b_{ii} = 0,4294.$$

Порівняння коефіцієнтів регресії з довірчими інтервалами:

$$b_0 = 67,5667 \geq \Delta b_0 = 0,4294; \quad b_{13} = 0,5083 \geq \Delta b_{ij} = 0,3718;$$

$$b_1 = 1,0625 \geq \Delta b_i = 0,2629; \quad b_{23} = 0,1333 \leq \Delta b_{ij} = 0,3718;$$

$$b_2 = -3,8667 \geq \Delta b_i = 0,2629; \quad b_{11} = -5,1479 \geq \Delta b_{ii} = 0,4294;$$

$$b_3 = 1,1792 \geq \Delta b_i = 0,2629; \quad b_{22} = -6,4333 \geq \Delta b_{ii} = 0,4294;$$

$$b_{12} = 2,2 \geq \Delta b_{ij} = 0,3718; \quad b_{33} = -4,4812 \geq \Delta b_{ii} = 0,4294.$$

Після відкидання незначущих коефіцієнтів регресії рівняння прийняло вид:

$$y = 67,5667 + 1,0625x_1 - 3,8667x_2 + 1,1792x_3 + 2,2x_{12} + 0,5083x_{13} - 5,1479x_1^2 - 6,4333x_2^2 - 4,4812x_3^2. \quad (1.4)$$

Перевірка на адекватність рівняння регресії:

$$F_{расч} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ад}, f_y)}.$$

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - (k + 1)}.$$

Таблиця А.2 – Допоміжна таблиця для розрахунку значення критерію Фішера

№ досвіду	y_1	y_2	y_3	\bar{y}	\hat{y}_u	$(\bar{y} - \hat{y}_u)^2$
1	51,1	52,1	52,2	51,8	55,3813	12,8257
2	59,2	59,3	59,5	59,3333	60,9897	2,7436
3	55,1	55,3	55,1	55,1667	58,7147	12,5885
4	47,3	47,1	47,1	47,1667	48,8563	2,8549
5	64,2	64	64,4	64,2	60,6876	12,337
6	56	65,4	56,1	59,1667	56,2042	8,7762
7	62,2	62,2	62,1	62,1667	57,3126	23,562
8	59,1	59,1	59,3	59,1667	57,546	2,6266
9	54,4	54	54,1	54,1667	53,9647	0,0408
10	58,2	58,2	58,1	58,1667	59,3397	1,376
11	50,5	50	50,1	50,2	51,6063	1,9777
12	61,5	61,6	61,7	61,6	61,6981	0,0096
13	67,5	67,6	67,8	67,6333	67,5667	0,0044
14	67,4	67,8	67,3	67,5	67,5667	0,0044
15	67,5	67,6	67,6	67,5667	67,5667	0

Дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = 7,4298;$$

$$F_{расч} = 1,7344 \leq F_{табл} = 2,12.$$

Для використання рівняння регресії (1.4) в якості розрахункової формули і інтерпретації результатів дослідів проводили його розкодування за формулами:

- при перетворенні лінійних членів рівняння:

$$b_i x_i = \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_{0i},$$

$$b_1 x_1 = 4,8077\alpha_c - 7,9086,$$

$$b_2 x_2 = -7,7334\beta_c + 46,4004,$$

$$b_3 x_3 = -3,8667L_c + 27,0669.$$

- при перетворенні членів рівняння, що містять взаємодії:

$$b_{ij} x_i x_j = \frac{b_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_j X_{0i} + X_{0i} X_{0j}),$$

$$b_{12} x_1 x_2 19,9095 = (\alpha_c - 6\beta_c - 1,645\alpha_c + 9,87\beta_c),$$

$$b_{13} x_1 x_3 2,3 = (\alpha_c L_c - 7 - 1,645\alpha_c L_c + 11,515),$$

$$b_{23} x_2 x_3 1,0166 = (\beta_c L_c - 7 - 6\beta_c L_c + 42).$$

- при перетворенні квадратних членів рівняння:

$$b_{ii} x_i^2 = \frac{b_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2X_i X_{0i} + X_{0i}^2),$$

$$b_{11} x_1^2 = -105,4012(\alpha_c^2 + 3,29\alpha_c + 2,706025),$$

$$b_{22} x_2^2 = -25,7332(\beta_c^2 + 12\beta_c + 36),$$

$$b_{33} x_3^2 = -4,4812(L_c^2 + 14L_c + 49);$$

де x_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина), верхній рівень позначається +1, нижній –1, в центрі – 0;

ε_i – натуральне значення інтервалу варіювання фактора;

X_i – натуральне значення фактора (іменована величина в розмірності фактора);

X_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні.

Значення величин для наведеного прикладу вибираємо з табл. А.3.

Таблиця А.3 – Натуральні значення факторів

Позначення чинника	X_1	X_2	X_3
Найменування фактора	Поздовжній кут нахилу, α_c , град.	Поперечний кут нахилу, β_c , град.	Відстань між ярусами, L_c м
Нульовий рівень, X_{0i}	15	45	0,4
Інтервал варіювання, ε_i	5	5	0,1
Верхній рівень фактора	20	50	0,5
Нижній рівень фактора	10	40	0,3

Канонічне перетворення математичної моделі

Для визначення значень факторів, що забезпечують оптимальне протікання робочого процесу сепарації насіння ріпаку, складаємо систему диференціальних рівнянь, що представляють приватні похідні по кожному з трьох чинників. Система диференціальних рівнянь, отримана з рівняння (1.4), має вигляд:

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x_1} &= b_1 + b_{12}x_2 + b_{13}x_3 + 2b_{11}x_1 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= b_2 + b_{12}x_1 + b_{23}x_3 + 2b_{22}x_2 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= b_3 + b_{13}x_1 + b_{23}x_2 + 2b_{33}x_3 = 0,\end{aligned}\tag{1.5}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 1,0625 + 2,2x_2 + 0,5083x_3 - 10,2958x_1 = 0,$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = -3,8667 + 2,2x_1 + 0,1333x_3 - 12,8666x_2 = 0,$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = 1,1792 + 0,5083x_1 + 0,1333x_2 - 8,9624x_3 = 0.$$

Прирівнюючи до нуля частинні похідні і вирішуючи систему щодо невідомих, визначили оптимальні значення факторів

$$x_{1s} = 0,0474, \quad x_{2s} = -0,2911, \quad x_{3s} = 0,1299.$$

З отриманих даних видно, що обраний центр експерименту розташований поблизу від особливої точки області експерименту, що представляє оптимальне поєднання чинників. Оптимальне значення критерію оптимізації при цьому склало $W = 68,2312$.

Для вивчення поверхні відгуку в області експерименту, відповідної рівняння регресії (1.4), проведено канонічне перетворення його до стандартного вигляду. Рівняння регресії, представлене в канонічній формі має вигляд:

$$Y - 68,2312 = -7,0664x_1^2 - 4,2438x_2^2 - 4,7522x_3^2. \quad (1.6)$$

Вивчення поверхні відгуку за допомогою двомірних перетинів

Для забезпечення інтерпретації отриманих результатів дослідження при вивченні поверхні відгуку був використаний метод двомірних перетинів. Побудова двомірних перетинів функції відгуку виконувалися в такий спосіб. В отриману раніше математичну модель (1.4) підставлялися закодовані значення всіх факторів, крім будь-якого одного, причому в першу чергу досліджувалися ті перетину, які мають найбільш практичне значення. Далі в отриманому виразі визначався центр поверхні відгуку і вироблялося канонічне перетворення моделі другого порядку. Після канонічного перетворення визначався тип поверхні відгуку і проводився графо-аналітичний аналіз отриманого виразу.

Найбільше практичне значення впливу факторів на процес мають двомірне перетин поверхні відгуку, що характеризує вихід очищеної фракції поздовжнього кута нахилу робочого органу α_c , поперечного кута нахилу β_c . Для отримання цього перетину підставляємо значення $x_3 = 0$ рівняння (1.4). В результаті маємо:

$$y = 67,5667 + 1,0625x_1 - 3,8667x_2 + 2,2x_{12} - 5,1479x_1^2 - 6,4333x_2^2. \quad (1.7)$$

Для визначення центру поверхні відгуку складена система диференціальних рівнянь, що представляють приватні похідні по факторам x_1 і x_2 :

$$\begin{aligned}\frac{\partial y}{\partial x_1} &= b_1 + b_{12}x_2 + 2b_{11}x_1 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= b_2 + b_{12}x_1 + 2b_{22}x_2 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 1,0625 + 2,2x_2 - 10,2958x_1 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= -3,8667 + 2,2x_1 - 12,8666x_2 = 0.\end{aligned}\tag{1.8}$$

Після рішення системи диференціальних рівнянь (1.8) щодо невідомих були визначені координати центру поверхні відгуку:

$$x_{1s} = 0,0405, \quad x_{2s} = -0,2936.$$

Підставляючи значення x_{1s} і x_{2s} в рівняння (1.7), отримали значення ступеня однорідності суміші в центрі поверхні відгуку рівне:

$$Y_s = 68,1558.$$

Для канонічного перетворення рівняння (1.7) вирішуємо його характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0,\tag{1.9}$$

$$B^2 + 11,5812B + 31,908 = 0.$$

Своїм корінням характеристичного рівняння (1.9) будуть:

$$B_1 = -7,0646, \quad B_2 = -4,5166,$$

а саме рівняння в канонічній формі запишеться:

$$Y - 68,1558 = -7,0646x_1^2 - 4,5166x_2^2.\tag{1.10}$$

Кут повороту нових координатних осей в центрі поверхні відгуку для нашого випадку:

$$\alpha = 29,8517.$$

Підставляючи різні значення виходу очищеної фракції (1.10), отримуємо рівняння відповідних контурних кривих – еліпсів, в сукупності

становлять ціле сімейство пов'язаних еліпсів (ліній рівного значення виходу очищеної фракції). Результати розрахунків представлені на рис. А.1.

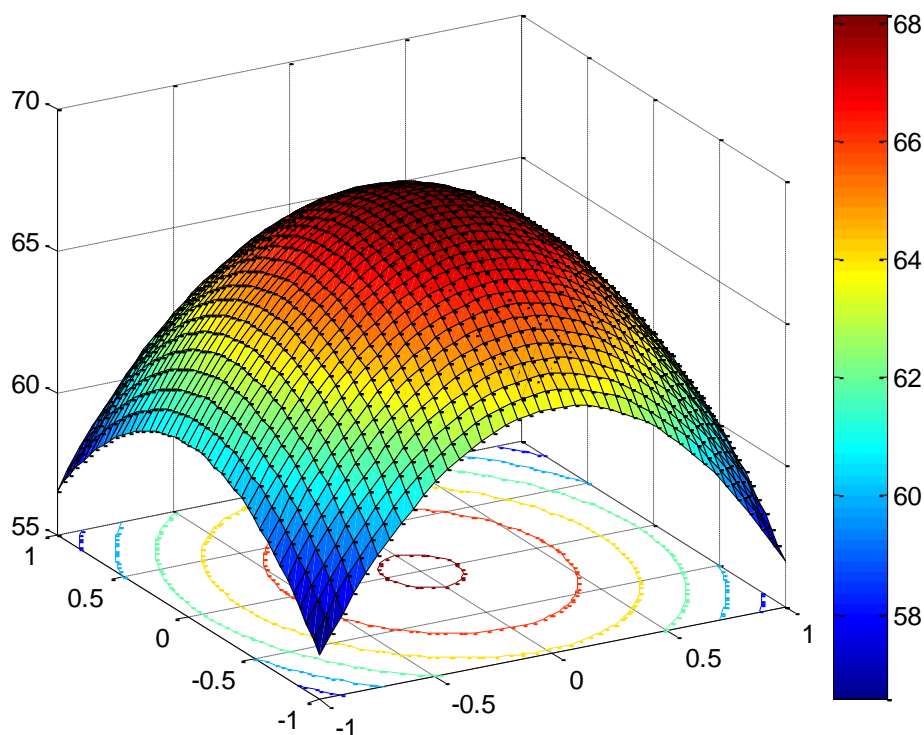


Рисунок А.1 – Поверхні відгибу, що характеризує вихід очищеної фракції при $x_3 = 0$

З рис. А.1 видно, що максимальне значення показника однорідності суміші в перерізі поверхні відгибу $W = 65\%$ і має місце при поздовжньому куті нахилу робочого органу $\alpha_c = 15$ град. і поперечного кута нахилу $\beta_c = 45$ град. На підставі цього малюнка можна також зробити висновок, що допустимі значення розглянутих факторів (при допустимому значенні однорідності суміші) знаходиться в межах $\alpha_c = 12,5...17,5$ град. і $\beta_c = 42,5...47,5$ град.

Не менш важливе практичне значення, при роботі відцентрового змішувача, має місце двомірне перетин поверхні відгибу, що характеризує вихід очищеної фракції в залежності від поздовжнього кута нахилу робочого

органу і відстані між ярусами (L_c). Для побудови цього перетину, підставляємо значення $x_2 = 0$ в рівняння (1.4). В результаті маємо:

$$y = 67,5667 + 1,0625x_1 + 1,1792x_3 + 0,5083x_{13} - 5,1479x_1^2 - 4,4812x_3^2. \quad (1.11)$$

Для визначення координат центру поверхні відгуку складена система диференціальних рівнянь, що представляють приватні похідні по факторам x_1 і x_3 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= b_1 + b_{12}x_2 + 2b_{11}x_1 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= b_3 + b_{13}x_1 + 2b_{33}x_3 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 1,0625 + 2,2x_2 - 10,2958x_1 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= 1,0625 + 0,5083x_1 - 10,2958x_3 = 0. \end{aligned} \quad (1.12)$$

Після рішення системи диференціальних рівнянь (1.12) щодо невідомих, були визначені координати центру поверхні відгуку:

$$x_{1s} = 0,11, \quad x_{2s} = 0,1378.$$

Підставляючи значення x_1 і x_3 в рівняння (1.11), отримали значення виходу очищеної фракції в центрі поверхні відгуку рівне:

$$Y_s = 67,7064.$$

Для канонічного перетворення рівняння (1.11) вирішуємо характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0, \quad (1.13)$$

$$B^2 + 9,6291B + 23,0042 = 0.$$

Своїм корінням характеристичного рівняння (1.13) будуть:

$$B_1 = -5,2337, \quad B_2 = -4,3954,$$

а саме рівняння в канонічній формі запишеться:

$$Y - 67,7064 = -5,2337x_1^2 - 4,3954x_2^2. \quad (1.14)$$

Кут повороту осей координат в центрі поверхні відгуку для даного випадку дорівнює:

$$\alpha = -18,6612.$$

Тоді, підставляючи різні значення виходу очищеної фракції (1.14), отримуємо рівняння відповідних контурних кривих – еліпсів, в сукупності становлять ціле сімейство пов'язаних еліпсів (ліній рівного значення виходу очищеної фракції). Результати розрахунків представлені на рис. А.2.

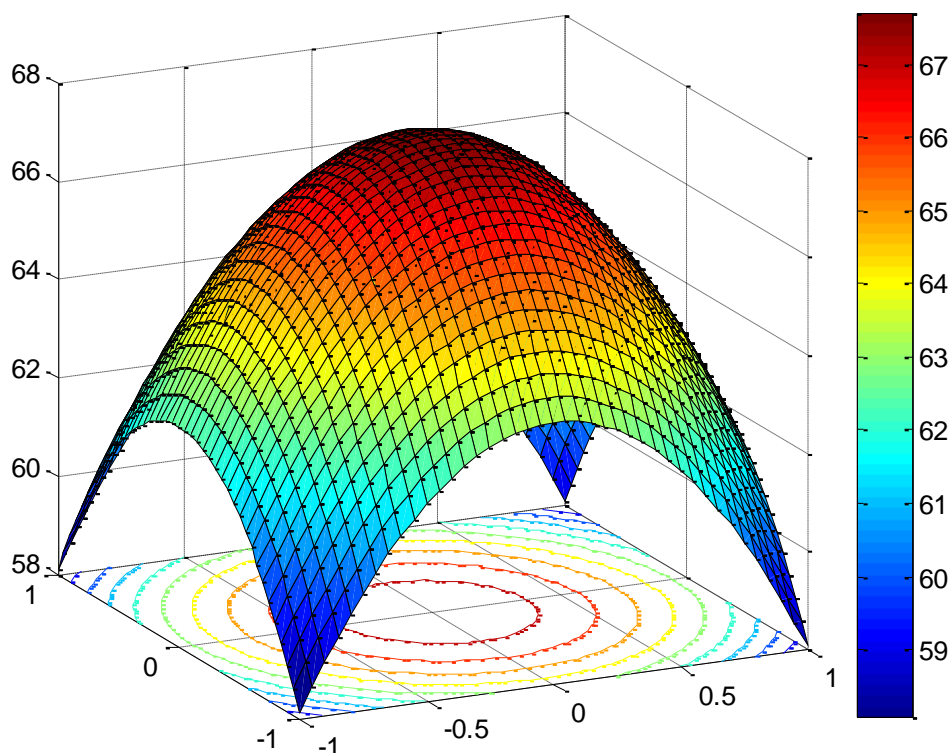


Рисунок А.2 – Поверхні відгуку, що характеризує вихід очищеної фракції при $x_2 = 0$

З рис. А.2 випливає, що максимальне значення показника виходу очищеної фракції в перерізі поверхні відгуку дорівнює $W = 67\%$ і має місце при поздовжньому куті нахилу робочого органу $\alpha_c = 15$ град. і відстанню між ярусами $L_c = 0,3$ м. На підставі цього малюнка можна також зробити висновок, що допустимі значення розглянутих факторів (при допустимому значенні виходу очищеної фракції) можуть знаходитися в межах $\alpha_c = 13...17$ град. $L_c = 0,28...0,32$ м.

При розгляді двовимірного перетину поверхні відгуку за рівнянням регресії (1.4) щодо факторів: поперечного кута нахилу робочого органу (β_c) і відстані між ярусами (L_c), фактор поздовжнього кута нахилу x_1 фіксувався на нульовому рівні.

В результаті розрахунків отримано наступне рівняння:

$$y = 67,5667 - 3,8667x_2 + 1,1792x_3 + 0,1333x_{23} - 6,4333x_2^2 - 4,4812x_3^2. \quad (1.15)$$

Для визначення координат центру поверхні відгуку складена система диференціальних рівнянь, що представляють приватні похідні по факторам x_2 і x_3 :

$$\begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_2} &= b_2 + b_{23}x_2 + 2b_{22}x_2 = 0, \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= b_3 + b_{23}x_2 + 2b_{33}x_3 = 0, \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = -3,8667 + 0,1333x_2 - 10,2958x_2 = 0,$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = 1,1792 + 0,1333x_2 - 8,9624x_3 = 0.$$

Після рішення системи диференціальних (1.16) щодо невідомих, були визначені координати центру поверхні відгуку:

$$x_{1s} = -0,2992, \quad x_{2s} = 0,1271.$$

Значення показника виходу очищеної фракції в центрі поверхні відгуку, при цьому одно:

$$Y_s = 68,2201.$$

Для канонічного перетворення рівняння (1.15) вирішуємо характеристичне рівняння:

$$B^2 + pB + q = 0, \quad (1.17)$$

$$B^2 + 9,6291B + 23,0042 = 0.$$

Своїм корінням характеристичного рівняння (1.17) будуть:

$$B_1 = -5,2337, \quad B_2 = -4,3954.$$

а саме рівняння в канонічній формі запишеться в наступному вигляді:

$$Y - 68,2201 = -5,2337x_1^2 - 4,3954x_2^2. \quad (1.18)$$

Кут повороту осей координат в центрі поверхні відгуку для даного випадку дорівнює:

$$\alpha = -1,9532.$$

Тоді, підставляючи різні значення ступеня однорідності суміші в рівняння (1.18), отримуємо рівняння відповідних контурних кривих - еліпсів, в сукупності становлять ціле сімейство пов'язаних еліпсів (ліній рівного значення виходу очищеної фракції). Результати розрахунків представлені на рис. А.3.

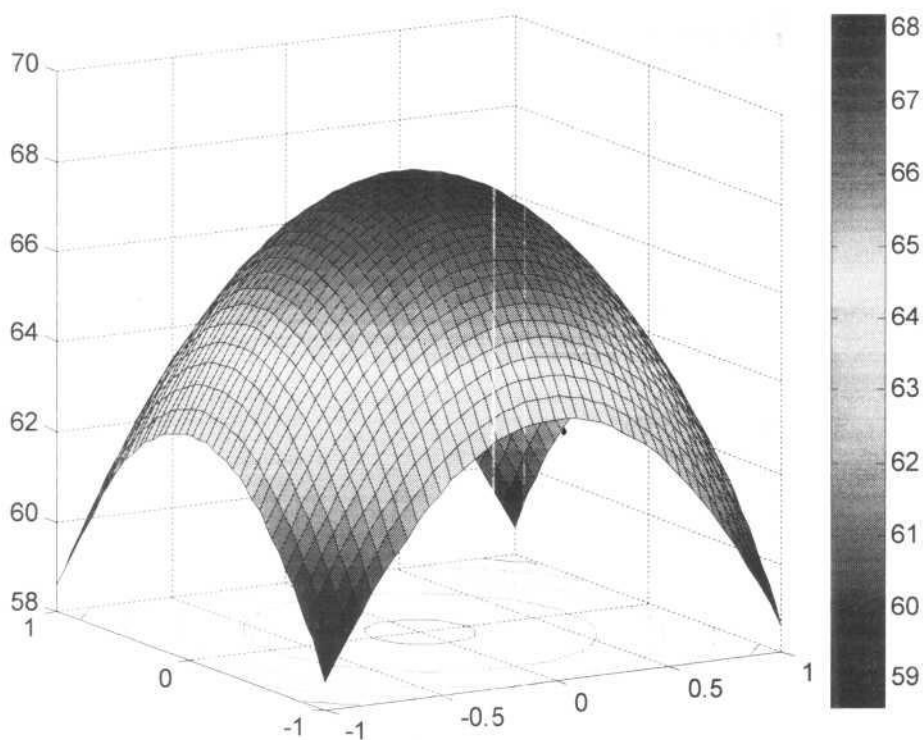


Рисунок А.3 – Поверхні відгуку, що характеризує вихід очищеної фракції при $x_1 = 0$

З рис. А.3 випливає, що максимальне значення показника виходу очищеної фракції в перерізі поверхні відгуку дорівнює $W = 68 \%$.

Таблиця Б.1 – Результати сепарації насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі, засміченість суміші 15,2%

Найменування	Номер фракції									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Вихід фракцій, %	1,2	2,7	2,8	5,3	7,8	12,2	31	27,1	9,9	
Інтегральний розподіл, %	1,2	3,9	6,7	12	19,8	32	63	90,1	100	
Вихід з об'єднання фракцій, %	3,9		28,1				68			
Клас	відхід		на доробку				I			

Таблиця Б.2 – Результати сепарації насіння ріпаку на сепараторі «САД», засміченість суміші 15,2%

Найменування	Номер фракції				
	1	2	3	4	5
Вихід фракцій, %	15,2	20,0	29,8	23,2	11,8
Інтегральний розподіл, %	15,2	35,2	65	88,2	100
Вихід з об'єднання фракцій, %	35,2		53,0		11,8
Клас	I		на доробку		відхід

Таблиця Б.3 – Результати сепарації насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі, засміченість суміші 53,9%

Найменування	Номер фракції									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Вихід фракцій, %	2,8	4,0	5,6	8,4	9,8	20,2	25,7	18,5	5,0	
Інтегральний розподіл, %	2,8	6,8	12,4	20,8	30,6	50,8	76,5	95	100	
Вихід з об'єднання фракцій, %	12,4			38,4			49,2			
Клас	відхід			на доробку			I			

Таблиця В.1 – Залежність коефіцієнта відновлення K від вологості насіння

Насіння	Коефіцієнт відновлення K з різною вологістю				
	6	10	14	18	22
Ріпак	0,62	0,58	0,54	0,50	0,41
Пікульник	0,26	0,25	0,24	0,22	0,18
Підмареник	0,23	0,21	0,18	0,15	0,15
Круглець	0,19	0,19	0,17	0,16	0,15
Куряче просо	0,25	0,23	0,22	0,21	0,19
Горець	0,24	0,23	0,20	0,19	0,17
Мішій	0,22	0,20	0,19	0,17	0,14
Склероцій білої гнилі	0,21	0,19	0,18	0,17	0,15

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка
 доц. Нанка О.В.
 “ 6 ” 23 2019 р.
 М.П.



“ЗАТВЕРДЖУЮ”
 Директор СФГ «Калина»
 Кулінічева О.В.
 “ 6 ” 23 2019 р.
 М.П.



А К Т
про впровадження закінченої науково-дослідної,
дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)

Ми, що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи _____.

_____ доктора. техн. наук, проф. Богомолова О.В

та представника _____ СФГ «Калина»
 (найменування організації, підприємства)

в особі _____ Кулінічева Олександра Олексійовича

склали дійсний акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської)

роботи на тему: _____ Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів

багатоярусного ударного сепаратора _____

яка виконана кафедрою (лабораторією) «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв» _____

в період з _____ 25.01.2018 _____ до _____ 01.03.2019 _____ впроваджені

на _____ СФГ «Калина» _____

(підприємство, організація)

_____ шляхом _____ Використання ударного

(місяць рік)

_____ сепаратора для розділення зернової суміші від домішок, які важко

(вказати, в чому втілюється впровадження)

_____ відокремлюються _____

з впровадженням винаходу згідно а-с № декларацийний патент на винахід №57958 _____


Впровадження результатів досліджень дає можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект, який полягає в підвищенні якості сепарації насіння основної культури від насіння бур'янів та домішок. Економічний ефект від впровадження роботи складає 750000 грн (сімсот п'ятдесят тисяч гривень). _____

Зауваження та пропозиції про подальшу роботу по впровадженню _____

Продовжити науково-дослідні роботи по вдосконаленню та розробці нових робочих органів зерноочисних машин.

Представник

підприємства, організації

 Кулінічев О.О.

“ 6 ” 03 2019 р.

Представник,


науковий керівник роботи

 О.В. Богомолів

“ 6 ” 03 2019 р.

Виконавці:

Брагинець М.В.. 

Богомолів О.О. 

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка
Нанка О.В.



“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор ПТФ «ІВО»
Концевич О.А.
“ 5 ” 2020 г.



А К Т

про впровадження закінченої науково-дослідної, дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)

Ми, що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи _____

_____ доктора. техн. наук, проф. Брагінець М.В.

та представника ПТФ «ІВО» _____

(найменування організації, підприємства)

в особі _____ Концевича О.А.

склали дійсний акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи на тему: Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку _____

яка виконана кафедрою (лабораторією) «Технологічних систем та технологій тваринництва» та «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв» _____

в період з _____ 01.10.2019 _____ до _____ 28.02.2020 _____ впроваджені на ПТФ «ІВО» _____

(підприємство, організація)

_____ шляхом Використання ударного _____ (місяць рік)

сепаратора для розділення насінної суміші від домішок, які важко відокремлюються _____ (вказати, в чому втілюється впровадження)

з впровадженням винаходу згідно а-с № деклараційний патент на винахід №75896

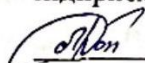
Впровадження результатів досліджень дає можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект, який полягає в підвищенні якості сепарації насіння основної культури від насіння бур'янів та домішок. Економічний ефект від впровадження роботи складає 585000 грн (п'ятьсот вісімдесят п'ять тисяч гривень).

Зауваження та пропозиції про подальшу роботу по впровадженню _____

Продовжити науково-дослідні роботи по вдосконаленню та розробці нових робочих органів зерноочисних машин.

Представник

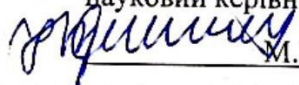
підприємства, організації

 Концевич О.А.

“ 5 ” 03 2020 р.

Представник,

науковий керівник роботи

 М.В.Брагінець

“ 5 ” 03 2020 р.

Виконавці:



Богомолів О.В.

Богомолів О.О.



А К Т

про впровадження закінченої науково-дослідної,
дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)

Ми, що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи _____

_____ доктора. техн. наук, проф. Богомолова О.В.

та представника СФГ «ОКА» _____

(найменування організації, підприємства)

в особі _____ Концевича О.А.

склали дійсний акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи на тему: Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку _____

яка виконана кафедрою (лабораторією) «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв» _____

в період з _____ 01.12.2017 _____ до _____ 01.03.2019 _____ впроваджені на СФГ «ОКА» _____

(підприємство, організація)

_____ шляхом Використання багатоярусного

(місяць рік)

ударного сепаратора для розділення зернової суміші від домішок, які важко
(вказати, в чому втілюється впровадження)

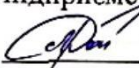
відокремлюються _____

з впровадженням винаходу згідно а-с № деклараційний патент на винахід №57958


Впровадження результатів досліджень дає можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект, який полягає в підвищенні якості сепарації насіння основної культури від насіння бур'янів та домішок. Економічний ефект від впровадження роботи складає 512000 грн (п'ятсот дванадцять тисяч гривень).

Зауваження та пропозиції про подальшу роботу по впровадженню _____

Продовжити науково-дослідні роботи по вдосконаленню та розробці нових робочих органів зерноочисних машин.


Представник
підприємства, організації
 Концевич О.А.

“ 5 ” 03 2019 р.

Представник,
науковий керівник роботи
 О.В. Богомолов

“ 5 ” 03 2019 р.

Виконавці:  Богомолов О.В.

 Богомолов О.О.



А К Т

**про впровадження закінченої науково-дослідної,
дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)**

Ми, що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи _____

_____ доктора. техн. наук, проф. Богомолова О.В

та представника СФГ «ВІКТОР» _____

(найменування організації, підприємства)

в особі _____ Виродова В.В.

склали дійсний акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи на тему: Обґрунтування конструктивно-кінематичних параметрів процесу сепарації насіння ріпаку _____

яка виконана кафедрою (лабораторією) «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв» _____

в період з _____ 01.12.2017 _____ до _____ 01.03.2019 _____ впроваджені на СФГ «ВІКТОР» _____

(підприємство, організація)

_____ шляхом Використання багатоярусного

(місяць рік)

ударного сепаратора для розділення зернової суміші від домішок, які важко відокремлюються _____
(вказати, в чому втілюється впровадження)

з впровадженням винаходу згідно а-с № деклараційний патент на винахід №57958

Впровадження результатів досліджень дає можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект, який полягає в підвищенні якості сепарації насіння основної культури від насіння бур'янів та домішок. Економічний ефект від впровадження роботи складає 520000 грн (п'ятсот двадцять тисяч гривень).

Зауваження та пропозиції про подальшу роботу по впровадженню _____

Продовжити науково-дослідні роботи по вдосконаленню та розробці нових робочих органів зерноочисних машин.



Представник,
 науковий керівник роботи
О.В. Богомолов

“ 5 ” 03 2019 р.

Виконавці:

Богомолов О.О. 



А К Т
про впровадження закінченої науково-дослідної,
дослідно-конструкторської роботи (потрібне підкреслити)

Ми, що нижче підписалися, представник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка в особі керівника науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи _____.

_____ доктора. техн. наук, проф. Богомолова О.В.

та представника _____ ПСП «Істок»
 (найменування організації, підприємства)

в особі _____ Уварова Володимира Юрійовича

склали дійсний акт про те, що результати науково-дослідної (дослідно-конструкторської)

роботи на тему: _____ Дослідження процесу сепарації насіння ріпаку на багатоярусному

ударному сепараторі

яка виконана кафедрою (лабораторією) «Обладнання та інжиніринг переробних і харчових виробництв»

в період з _____ 01.05.2018 _____ до _____ 01.03.2019 _____ впроваджені

на _____ ПСП «Істок» _____

(підприємство, організація)

_____ шляхом Використання багатоярусного

(місяць рік)

ударного сепаратора для розділення насіння ріпаку від домішок, які важко

(вказати, в чому втілюється впровадження)

відокремлюються

з впровадженням винаходу згідно а-с № деклараційний патент на винахід №57958


Впровадження результатів досліджень дає можливість підприємству (організації) отримати наступний техніко-економічний ефект, який полягає в підвищенні якості сепарації насіння ріпаку від насіння бур'янів та домішок. Економічний ефект від впровадження роботи складає 760000 грн (сімсот шістдесят тисяч гривень).

Зауваження та пропозиції про подальшу роботу по впровадженню _____

Продовжити науково-дослідні роботи по вдосконаленню та розробці нових робочих органів зерноочисних машин.



Уваров В.Ю.
23 2019 р.

Представник,
науковий керівник роботи
 О.В. Богомолов
" 4 " 03 2019 р.

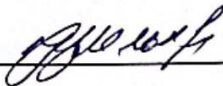
Виконавці:

Брагінець М.В.

Богомолов О.О.

УЗГОДЖЕНО


Проректор з наукової роботи
Харківського національного
технічного університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка
д. т. н., професор

 В. І. Мельник

« 30 » 09 2020 р

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Харківського
національного технічного
університету сільськогосподарства ім. Петра Василенка
к. т. н., професор

 О. В. Нанка

« 30 » 09 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
технологічних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів

Замовник Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка
найменування організації
ректор ХНТУСГ ім. П. Василенка к. т. н. проф. Нанка О.В.
П.І.Б. керівника підприємства

Дійсним актом підтверджується, що результати науково-дослідної роботи
«Обґрунтування параметрів багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку»
найменування теми, № держ. реєстрації


виконаної на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв
найменування кафедри

виконуваної з 01.01.2019 по 30.05.2020 року
терміни виконання

впроваджені в навчальний процес на кафедрі обладнання та інжинірингу переробних і харчових виробництв


1. Вид впроваджених результатів: Лабораторна робота
2. Форма впровадження: Прилад для визначення коефіцієнтів тертя
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: якісно нове
4. Перелік курсів та дисциплін, в рамках яких викладені результати НДР: дисципліна «Фізико-механічні властивості сільськогосподарської сировини» для студентів ННІ ПХВ спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Лабораторна робота.
5. Впроваджені: в навчальний процес ХНТУСГ ім. П. Василенка
6. Соціальний і науковий ефект: підвищення якості навчання. Визначення коефіцієнтів тертя сільськогосподарських матеріалів

Керівник НДР

 І.М.Лук'янов
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » 09 2020 р.

Відповідальний за впровадження

 О. О. Богомолов
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 30 » 09 2020 р.