

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
Заст. завідувача кафедри
к.т.н., доцент Труханська О.О.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
«__» _____ 2021 р.

**ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ НАСІННЯ ГРЕЧКИ З ЗАСТОСУВАННЯМ
ФОТОСЕПАРАТОРА**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 63-АІ-маг.з
Сафронов Ігор Валерійович

Керівник: к.т.н., доцент
Купчук Ігор Миколайович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра агроінженерії та
технічного сервісу

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри АІ та ТС

“_____” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Сафронов Ігор Валерійович _____

на тему

«Обґрунтування режимних параметрів технологічного процесу підготовки
насіння гречки з застосуванням фотосепаратора» _____

затверджену Наказом від _____ 02 березня 2021 року _____ № _____ 25м _____

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки
АНОТАЦІЯ		2	листопад 2021 року
ВСТУП		2	квітень 2021 року
Розділ 1	ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА НАСІННЯ ГРЕЧКИ	16	лютий - вересень 2021 року
Розділ 2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОТОСЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГРЕЧКИ	27	лютий – липень 2021 року
Розділ 3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ГРЕЧКИ	30	червень- вересень 2021 року
Розділ 4	ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	8	серпень- листопад 2021 року
ВИСНОВКИ		1	листопад 2021 року
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		9	лютий-вересень 2021 року

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__» листопада 2021 р.

Завдання видано « 26 » лютого 2021 р.

Завдання прийняв до виконання _____ І.В. Сафонов

Керівник _____ І.М. Купчук, к.т.н., доцент
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи 97 сторінок, у тому числі 88 сторінок основного тексту, 24 рисунків та 11 таблиць.

Робота присвячена вирішенню актуальної практичної задачі підвищенню ефективності процесу післязбиральної обробки гречки шляхом удосконалення технологічного процесу його підготовки із застосуванням фотосепаратора.

В ході літературного огляду технологічних процесів і технічних засобів виробництва насіння гречки нами не було виявлено технологічної лінії зерноочисного агрегату, що містив би мінімальну кількість зерноочисних машин, застосування яких дозволило б ефективно виконувати сепарацію не збільшуючи травмування насіння. Насінневий матеріал гречки часто містить очищені зернівки, які досить важко виділити повітряним і решітним очищенням (а також трієрами і на пневмостолі), при цьому, такі зернівки різко відрізняються за кольором від повноцінного насіння, що може дозволити ефективно застосовувати фотосепаратор при остаточній їх обробці.

В ході теоретичних досліджень було розроблено математичну модель, що описує рух оброблюваних частинок з моменту їх потрапляння на скатний лоток фотосепаратора до місця вибракування домішок, у тому числі, у випадку коли попередня частка (домішка) має більший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж наступна за нею частка (повноцінна зернівка) – у гіршому з можливих варіантів при фотосепаруванні;

Експериментальні дослідження дозволили запропонувати рекомендації щодо комплектації та налаштування повітряно-ситової машини для підготовки зернового вороху гречки до його очищення на фотосепараторі.

Ключові слова: гречка, домішки, насіння, сепарація, очищення, режими роботи.

ANNOTATION

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, list of used literature. The total volume of the work is 97 pages, including 88 pages of the main text, 24 figures and 11 tables.

The work is devoted to solving the actual practical problem of increasing the efficiency of the process of post-harvest processing of buckwheat by improving the technological process of its preparation using a photoseparator.

During the literature review of technological processes and technical means of buckwheat seed production we did not find a technological line of grain cleaning unit, which would contain a minimum number of grain cleaning machines, the use of which would allow effective separation without increasing seed injury. Buckwheat seeds often contain peeled grains, which are difficult to separate by air and sieve cleaning (as well as triers and on a pneumatic table), and such grains differ sharply in color from full-fledged seeds, which can effectively use a photoseparator in their final processing.

In the course of theoretical research, a mathematical model was developed that describes the motion of the processed particles from the moment they hit the slope tray of the photoseparator to the place of rejection of impurities, including when the previous particle (impurity) has a higher coefficient of friction on the slope surface. her share (full-fledged grain) - in the worst of the possible options for photoseparation;

Experimental studies have made it possible to offer recommendations for the assembly and adjustment of an air-sieve machine for the preparation of buckwheat grain heap for cleaning on a photoseparator.

Key words: buckwheat, impurities, seeds, separation, purification, modes of operation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА НАСІННЯ ГРЕЧКИ.....	10
1.1 Зміна якості насіння гречки у процесі виробництва.....	10
1.2 Застосування процесу фотосепарації в сільському господарстві.....	17
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОТОСЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГРЕЧКИ	26
2.1 Принцип дозування насіння та його рух в фотосепараторі.....	26
2.2 Розробка математичної моделі руху частинок по скатному лотку.....	29
2.3 Обґрунтування довжини скатної поверхні фотосепаратора.....	39
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ГРЕЧКИ.....	53
3.1 Програма і методика проведення досліджень.....	53
3.1.1 Програма експериментальних досліджень.....	53
3.1.2 Обладнання, прилади та інструменти.....	53
3.1.3 Методика проведення експериментальних досліджень.....	56
3.2 Підготовка зернового вороху гречки до обробки на фотосепараторі.....	61

3.3. Перевірка адекватності математичної моделі руху часточок по скатному лотку.....	64
3.4 Визначення раціональної довжини скатної поверхні лотка фотосепаратора.....	66
3.5 Вплив складу зернового вороху на якісні показники процесу сепарації.....	69
3.6 Вплив конструктивних параметрів лотків на якісні показники процесу.....	75
3.7 Дослідження впливу продуктивності сепаратора на якісні показники процесу.....	78
РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	83
4.1 Оптимізація питомої витрати палива при експлуатації косарки з модернізованим ріжучим апаратом.....	74
4.2 Техніко-економічна ефективність впровадження розробки.....	78
ВИСНОВКИ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ВСТУП

Актуальність теми. Ключовим завданням АПК є стійке нарощування виробництва зерна, яке необхідне для формування насіннєвих фондів, забезпечення продуктами харчування населення та тваринництва фуражем. Для забезпечення населення країни продовольством необхідне виробництво різних видів зернових, круп'яних, зернобобових і олійних культур. При цьому важливу роль має посівний матеріал. Якість підготовлюваного насіння залежить від багатьох факторів, тому до цього питання необхідно підходити комплексно, починаючи з збирання насіннєвого матеріалу і закінчуючи реалізацією готової продукції.

Однією з причин зниження врожайності є погана якість насіння, зумовлена невідповідністю технологічного та технічного забезпечення їх виробництва. Сучасні технологічні лінії післязбиральної обробки включають безліч зерноочисних машин, які дозволяють одержувати досить чисту зернову купу. При цьому існує проблема надмірного травмування оброблюваного матеріалу, що негативно позначається на посівних якостях насіння. На травмування насіння впливає кількість використовуваних машин і тип робочих органів зерноочисних машин та допоміжного устаткування.

Таким чином, виникає необхідність удосконалення технології та технічних засобів післязбиральної обробки гречки, а дослідження присвячені розробці таких ресурсощадних техніко-технологічних рішень є актуальними та мають практичну цінність.

Метою роботи є підвищення якості насіння гречки шляхом удосконалення технологічного процесу його підготовки із застосуванням фотосепаратора.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- удосконалити математичну модель руху матеріалу, що обробляється у фотосепараторі;
- обґрунтувати вимоги до якості зернової маси гречки, що спрямовується для остаточного її очищення на фотосепаратор і розробити рекомендації з комплектування та налаштування повітряно-решітної машини для підготовки гречки до її фотосепарування;
- отримати залежність якості насіння гречки від продуктивності фотосепаратора, складу оброблюваного матеріалу та конструктивних параметрів скатного лотка;

- розробити технологічну лінію очищення насіння гречки з використанням повітряно-ситової зерноочисної машини та фотосепаратора.

Об'єкт досліджень – є технологічний процес фотосепарації гречки для отримання насіння.

Предмет досліджень – є закономірності зміни посівних якостей насіння та ступеня їхнього травмування при обробці гречки.

Наукову новизну представляють:

- аналітичні залежності інтервалів між попередньою і наступною частинками в кінці скатного лотка фотосепаратора та у місці вибракування домішок, що розроблені із врахуванням розмірів і фрикційних властивостей оброблюваних частинок;

- закономірності зміни ефективності фотосепарації насіння гречки від продуктивності фотосепаратора та конструктивних параметрів скатного лотка, що відрізняються врахуванням властивостей зернової маси гречки.

Теоретична та практична цінність роботи:

вдосконалена математична модель, що дозволяє визначити довжину скатної поверхні лотка фотосепаратора, при якій будуть мінімізовані неточності розпізнавання дефектів та, відповідно, втрати придатного продукту при вибракуванні домішок;

параметри та режими роботи повітряно-ситової машини та фотосепаратора при підготовці насіння гречки.

Ступінь достовірності результатів досліджень. Достовірність наукових положень і рекомендацій підтверджена високим рівнем відповідності даних отриманих внаслідок математичного моделювання процесу післязбиральної обробки гречки та результатів експериментальних випробувань, проведених в лабораторних умовах.

Особистий внесок здобувача: аналіз досліджень та публікацій щодо стану питання підвищення ефективності процесу післязбиральної обробки насіння гречки; участь у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень щодо розробки математичних моделей та обґрунтування режимів і параметрів роботи зерноочисного обладнання; побудова та аналіз графічних залежностей.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ВИРОБНИЦТВА НАСІННЯ ГРЕЧКИ

1.1 Зміна якості насіння гречки у процесі виробництва

До процесу підготовки якісного насіння необхідно підходити комплексно, враховуючи вплив усіх технологічних операцій, починаючи з збирання та закінчуючи зберіганням та реалізацією насіння. При цьому обов'язковою умовою має бути дотримання всіх агротехнічних вимог.

Для максимального збереження посівних якостей насіння, що вирощується, необхідно враховувати особливості оброблюваної культури. Вчені у своїх працях відзначають, що в період дозрівання на одній і тій же рослині гречки спостерігається цілком дозріле насіння і в той же час цвіт, що тільки що відкрився [15, 42]. Бджоли є гарними запилювачами гречки, тому для підвищення врожайності бажано біля гречаних полів розмішувати приватні пасіки. При цьому гречка є вологолюбною культурою [4], тому доцільними є заходи (наприклад, використання лісосмуг) для кращого вологозатримання.

Ми вважаємо, що тільки комплексний підхід до обробітку гречки може дозволити отримати максимальний вихід високоякісного насіння з мінімальними втратами.

Якість зернового вороху гречки, що надходить на післязбиральну обробку, залежить від технології збирання та технічних засобів, що застосовуються при цьому.

Гречка на відміну колосових зернових культур має дуже тривалий період дозрівання. Від побуріння перших її плодів до побуріння останніх у залежності від сорту та погодних умов проходить до 20...30 днів і більше. Тому, на думку авторів [12], передчасне збирання гречки знижує врожай через збільшення кількості зерна з високою плівчастістю та низьким вмістом ядра. Якщо чекати на побуріння останніх плодів, то плоди початкового періоду дозрівання обсипаються, і в результаті втрачається найбільш цінне

зерно. Це призводить до значного зниження врожаю та якості зерна [7].

Автори [12] вважають, що роздільне збирання гречки забезпечує найбільш повне збирання врожаю, оскільки втрати зерна при цьому значно скорочуються [10]. Роздільне збирання починають дещо раніше, ніж пряме комбайнування, оскільки зерно може дозрівати у валках. Розрив між скошуванням та підбором валків не повинен бути більше 6 днів [13].

Зазвичай збільшення врожаю при роздільному збиранні становить 1...2 ц/га, а в деяких випадках може досягати 4-5 ц/га порівняно з прямим комбайнуванням. На думку авторів [12], пряме комбайнування слід застосовувати тільки при збиранні низькорослих, сильно розріджених посівів [33].

Як вважає автор [12], при збиральній стиглості гречки на рослині нерідко бувають не тільки дозрілі плоди, а й зав'язі, що формуються, квітки і навіть бутони. Скошування гречки у валки починають, коли 70...80% плодів на рослинах досягають повної зрілості, 12...15% їх у цей час перебувають у восковій зрілості, а решта – у молочному стані. Скошування гречки в

валки прагнуть провести у стислий термін, щоб закінчити його на момент дозрівання 85...90 % зерна [11].

Роздільне збирання гречки також дозволяє значно скоротити втрати зерна та витрати, пов'язані з його обробкою на току, а також отримати зерно більш високої якості, оскільки у валках воно досушується та дозріває. Щоб валки перебували у підвішеному стані, висоту зрізу встановлюють 15...20 см [40]. При цьому рослини не провалюються на землю, швидко і добре просихають. Нерідко гречку скошують у поперечному напрямі до посіву, щоб усунути можливість підпрягання зерна від зіткнення із землею за негоди [16].

У процесі вивчення якості зерна гречки одержуваного під час роботи зернозбиральних комбайнів було встановлено, що частина обвалених зернівок руйнується робочими органами молотарки в борошняний пил і виноситься повітряним потоком системи очищення комбайна. Повністю врахувати кількість зерна, що руйнується в борошняний пил, неможливо.

Тому вчені рекомендують для зниження пошкодження зерна частоту обертання барабана зменшувати до 500...700 хв⁻¹, молотильні зазори встановлювати на вході 22...24 мм, на виході – 6...8 мм [12]. При встановленні частоти обертання барабана необхідно враховувати вологість зерна та листостеблової маси. На думку авторів [12], вранці вологість маси буває на 2...3% вище, ніж у середині дня. Тому вранці частоту обертання барабана встановлюють близько 700 хв⁻¹, а опівдні її необхідно зменшити до 600 або 500 хв⁻¹, інакше збільшиться дроблення та обвалення зерна [54].

Травмування зерна також залежить від роботи системи очищення комбайна. Це пояснюється сходом значної кількості зерна в колосовий шнек і подальшим поверненням його на повторний обмолот. Як вважають автори [12], найбільша частка всіх втрат насіння випадає на комбайни. Часто при збиранні гречки втрати за рахунок травмування зернівок нерідко перевищують решта видів втрат [16]. Тому дуже важливо правильно налаштувати роботу збиральної машини.

При механічних впливах ушкодження гречки починається саме через появу внутрішніх мікротріщин, що призводять до зменшення опору зерна та руйнування при наступних механічних впливах. При інтенсифікації процесу обмолоту збільшується внутрішня тріщинуватість зерна, що призводить до зменшення його міцності. Внаслідок подальших механічних впливів мікротріщини збільшуються і в певний момент зерно руйнується.

У зв'язку з біологічними особливостями гречки її збирання починають, коли на одній рослині присутні насіння і квіти, що повністю дозріли. При цьому застосовують різні типи зернозбиральних комбайнів: барабанні з одним і двома барабанами та роторні. Від типу застосовуваних комбайнів залежить вміст травмованого зерна в зерновій масі.

З вищенаведених матеріалів випливає, що для збирання врожаю гречки, особливо насінневих посівів, необхідно застосовувати роздільне збирання в оптимальні агротехнічні терміни, при цьому доцільно використовувати роторні комбайни на щадних режимах обмолоту, які

забезпечують одержання зерна з меншим рівнем його пошкодження та засміченості.

Зернова маса від комбайнів може містити повноцінне та біологічно неповноцінне, обвалене зерно (з частково або повністю відсутнім лушпинням), подрібнене зерно (у лушпинні і без неї), а також різні домішки. Також у бункерній купі можуть утримуватися зернівки, що мають внутрішні та зовнішні ушкодження лушпиння та/або ядра. Такі зернівки більшою мірою схильні до обрушування при наступних механічних впливах, ніж цілі насіння. Якщо в зерновому матеріалі високий вміст обвалених зернівок, отже, ця купа зазнавала значного механічного впливу. і, отже, він містить велику кількість травмованих зернят. Тому чим більше пошкодженого зерна міститься в зерновій масі, тим більше зернівок руйнується і подрібнюється при подальшій обробці.

Аналізуючи роботи [12, 12], можна зробити висновок, що для зниження травмування зерна гречки необхідно зменшити кількість та інтенсивність механічних впливів на нього на всіх стадіях виробництва насіння.

Для зниження витрат на доставку бункерного вороху доцільно використовувати великовантажні та/або довгомірні транспортні засоби. Тому приймальний пристрій зерноочисного агрегату повинен забезпечувати розвантаження великовантажних автомобілів без встановлення в ньому спеціальних транспортуючих органів, які додатково травмують певну кількість зерна.

При зберіганні (навіть короткочасному) зернового вороху на відкритому майданчику зерно піддається впливу температурних і вологих перепадів, що призводить до практично непомітної тріщинуватості зернівок, тобто до їх мікротравмування.

Зернову масу, покладену на тік, можуть неодноразово перекидати за допомогою зерноавантажувачів або зернометальників. Насіння гречки часто обробляють на зерноочисних агрегатах, які включають повітряно-

решітну машину, трієрні блоки та пневмостіл.

При цьому часто для подачі насінневого матеріалу у зерноочисних машинах використовують норії.

Повітряно-решітні зерноочисні машини травмують порівняч- але менше оброблюваного матеріалу, ніж машини з активними робочими органами (наприклад, трієрні блоки) [13]. Також повітряно-решітні машини мають високу продуктивність. При цьому, вони забезпечують необхідну якість очищення [28]. Тому первинне очищення бункерного вороху в господарствах переважно виконувати на двоаспіраційних повітряно-решітних зерноочисних машинах [11].

Щоб видалити неповноцінні зернівки з насінневого матеріалу, повітряно-решітну машину слід налаштовувати для роботи в режимі фракціонування, тобто направляти дрібне, щупле і невиконане насіння з низькими посівними якостями в фуражну фракцію. У цьому слід враховувати, що з обробці гречки продуктивність зерноочисних машин зменшується на 30% від паспортної (на пшениці) [42].

При обробці на повітряно-решітній машині зернова купа спочатку подається в пневмосепаруючий канал першої аспірації. Швидкість повітряного потоку першої аспірації повинна забезпечувати виділення пилу, легковажних домішок та деякої частини біологічно недозрілих зерновок. Потім зернова купа прямує на решітний стан, який може включати три яруси решіт. У верхньому ярусі решітного стану зазвичай встановлюють колосові грати, сходом з яких виділяються великі домішки. Отвори колосових решіт необхідно підбирати так, щоб не допустити втрат з великими домішками найбільшого насіння [15]. Проходом через колосові грати оброблюваний матеріал надходить на сортувальні грати другого ярусу. Сходом з сортувальних решіт насінневий матеріал надходить у пневмо-сепаруючий канал другої аспірації.

Проходом через сортувальні грати виділяються більше дрібні компоненти оброблюваної зернової суміші і потрапляють на підсівні решета

нижнього ярусу решітного табору. Сходом з підсівних решіт виділяють подрібнені, деяку частину обвалених зерновок і дрібне насіння з низькими посівними якостями – фуражну фракцію. Ця фракція направляється на корм тваринам. Проходом через підсівні грати відокремлюються інші, дрібніші компоненти вороху (насіння бур'янів, пісок, камінці тощо) – невикористані відходи.

Ступінь очищення повітряно-решітної машини залежить від складу домішок та їх утримання у вихідній купі. Найчастіше купа гречки містить обвалені зернівки, які мають схожі розміри та аеродинамічні показники з повноцінним насінням, що значно ускладнює їх виділення повітряно-решітними машинами (а також трієрами та пневмостолами). Тому існує проблема виділення обвалених зернівок гречки із насінневого матеріалу.

При післязбиральній обробці насінневого матеріалу необхідно максимально скоротити кількість машин, розташованих в технологічній лінії послідовно, тому що неодноразове пропускання зернового вороху через зерночисні машини сприяє збільшенню травмування насіння [130].

Як вважають автори [12], для зниження травмування насіння важливо виключити застосування скребкових та шнекових транспортерів. Тому для переміщення насінневого матеріалу доцільніше використовувати стрічкові транспортери, норії та самопливні пристрої.

Після первинного очищення зернового вороху повітряно-решітною машиною в режимі фракціонування в ньому практично не залишається дрібних і легких домішок, які мають більш високу вологість, ніж зернівки і є сприятливим середовищем для життєдіяльності та розмноження мікроорганізмів. Тому таку зернову купу можна направляти на остаточну обробку або тимчасове зберігання.

Зберігати насінневий матеріал краще у силосах, тому що в такому випадку зерно захищене від впливу зовнішніх факторів: погодних умов, сонячної радіації та шкідників. Також часто в силосах є можливість активного вентилявання або підсушування насінневого матеріалу, що може дозволити

краще зберегти посівні властивості насіння.

Для зберігання насінневої фракції можуть використовуватись силоси з плоским або конічним дном. Силоси з конусним дном розвантажують самопливом, а для розвантаження силосів із плоским дном використовують шнек. Використання вивантажувального шнека в силосах з плоским дном травмує 2,77% насіння гречки [16], тому застосування таких силосів знизить посівні якості та вихід кондиційного насіння.

Від того, з якого матеріалу виконано днище і яку силос має висоту, залежить рівень травмування насіння при його завантаженні в силос. Найменше травмування насіння гречки досягається при завантаженні з мінімальної висоти силосу з конусним днищем, яке має всередині демпфуючий шар [16].

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що в очисному агрегаті необхідно використовувати силоси з конічним дном. Причому переважно, щоб конусне дно мало всередині демпфуюче покриття. Також доцільно підбирати по можливості силоси з конусним дном більшого діаметра та меншої висоти. Все це дозволить зменшити травмування насіння. При цьому скорочуються енерго- та матеріаловитрати на підготовку насіння, тому що силоси з конусним дном не мають електродвигуна приводу вивантажувального шнека.

Кількість силосів та їх обсяг мають забезпечувати потокову обробку запланованого господарством урожаю.

Для запобігання псування зерна в силосах доцільно проводити активне вентилявання насінневого матеріалу холодним або підігрітим повітрям, а також озонуючу обробку для боротьби з мікроорганізмами, хворобами та мікотоксинами [8]. Для реалізації таких обробок необхідно мати у складі сім'яочисного комплексу озono-повітряну або повітряно-теплову установку. Таке обладнання зараз серійно випускається промисловими підприємствами.

Якщо порівнювати озонування з протруюванням, то перша операція є екологічно безпечною та чистою операцією. При цьому озонування дозволяє підвищити посівні та врожайні якості насіння [9, 13] та відрізняється

простотою застосування (озон виробляється на місці обробки), дешевизною, а також відсутністю відходів та шкідливого впливу на навколишнє середовище. Також озонування не потребує додаткового переміщення та механічного впливу на насіннєвий матеріал, порівняно з протруюванням.

Таким чином, озонування насіннєвого матеріалу дозволяє практично повністю усунути появу і розмноження цвілевих грибів, різних захворювань, мікроорганізмів та шкідників, підвищити схожість та врожайність насіння, зменшити травмування зернових (не вимагає переміщення зерна) порівняно з протруюванням, а також знизити забруднення навколишнього середовища середовища від використання отрутохімікатів [6]. Після озонування насіннєвий матеріал можна направляти на остаточне його очищення.

Остаточну обробку насіння гречки необхідно проводити на зерноочисній машині, що дозволяє виділити такі важковидільні домішки як пошкоджені зернівки гречки, без суттєвого травмування насіннєвого матеріалу. Фотосепаратор поділяє компоненти сипких сумішей за оптичними ознаками, дозволяючи досягти високих результатів очищення. При цьому у фотосепараторі відсутні активні робочі органи, що впливають на насіннєвий матеріал. Зруйновані зернівки гречки мають білий колір, іноді з жовтуватим або зеленуватим відтінком, а повноцінне насіння гречки темно-коричневого або чорного кольору. Така різка відмінність обвалених зерновок гречки від повноцінного насіння за кольором може дозволити ефективно застосовувати фотосепаратор для остаточного очищення насіння.

1.2 Застосування процесу фотосепарації в сільському господарстві

При післязбиральній обробці сільськогосподарських культур часто стикаються з проблемою виділення домішок, фізико-механічні та аеродинамічні властивості яких схожі з придатним продуктом. При цьому часто важко відокремити домішки відрізняються від придатного продукту за оптичними ознаками: кольором, текстурою або просвітом, що дозволяє ефективно застосовувати фотосепаратор.

Принцип фотоелектронного сепарування за кольором був розроблений у середині минулого століття [12]. Сутність фотосепарування полягає у виявленні компонентів сипучого матеріалу, які відрізняються за оптичними ознаками від еталона, та поштучному їх вилучення.

Фотосепаратор призначений для поділу компонентів будь-яких сипучих сумішей. за кольором, формою або розміром, і дозволяє одержувати чистоту придатного продукту на виході до 99,99% [23]. Застосування методу колірної аналізу та оцінки густини дозволяє забезпечити високу точність сортування.

Перший фотосепаратор було встановлено у Лондоні у 1947 році англійською компанією Сортекс [18]. За минулий час фотоелектронне сепарування ввбрало нові досягнення електроніки, оптики та мікропроцесорної техніки. Сучасні фотосепаратори мають високий рівень автоматизації та мінімальний силовий вплив на насінневий матеріал.

На сьогоднішній день фотосепаратори різних виробників принципово не відрізняються за своєю конструкцією, оскільки використовують один принцип роботи, показаний на рис. 1.1. Матеріал, що обробляється на фотосепараторі, подається в завантажувальний бункер 1 (рис. 1.1) і далі по горизонтальному лотку віброживильника 2, встановленому на віброприводі (вібраторі) 3, спрямовується на скатний лоток 4. Лоток 4 може бути гладким або рифленим. певної ширини та глибини. Як правило, лотки мають антифрикційне зносостійке покриття та низький коефіцієнт тертя з оброблюваними частинками. Скатні лотки встановлюються під кутом до горизонту, щоб забезпечити прискорення та розосередження компонентів сипучої суміші. Завдяки цьому сортувальник аналізує кожен компонент окремо.

За рахунок зміни режиму роботи віброживильника регулюють продуктивність фотосепаратора електронним способом з панелі оператора. Продуктивність також може бути змінена механічно за допомогою підняття або опускання шиберної заслінки 5, яка розташована у віброживильнику, та регулює товщину шару матеріалу на горизонтальному лотку 2.

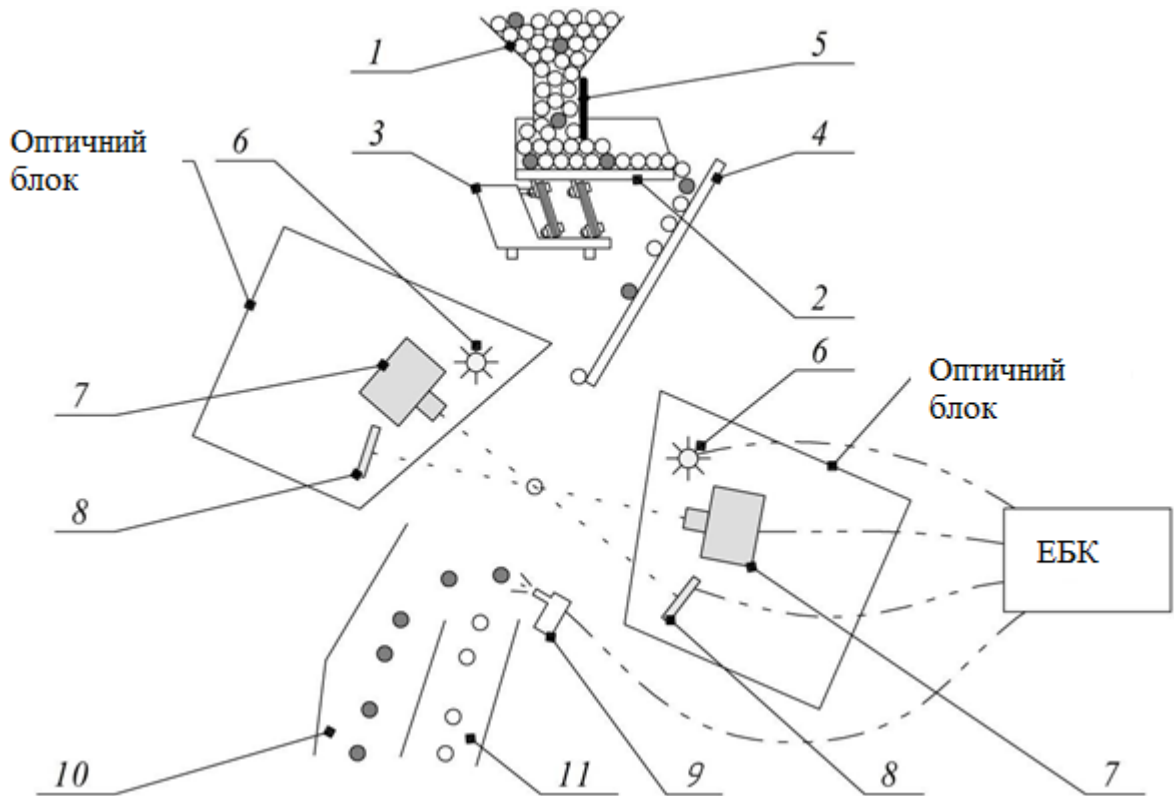


Рис. 1.1 – Схема роботи фотосепаратора: ЕБУ – Електронний блок управління; 1 – бункер завантажувальний; 2 – горизонтальний лоток віброживильника; 3 – вібропривід електромагнітний; 4 – лоток скатний; 5 – шиберна заслінка; 6 – освітлювачі; 7 – камери; 8 – фон; 9 – пневмоклапан; 10 – відсік для відходів; 11 – відсік для очищеного продукту.

Продуктивність фотосепаратора встановлюють експериментально на конкретному матеріалі. Спочатку зміною режиму роботи віброприводу 3 встановлюють середнє значення амплітуди коливань горизонтального лотка віброживильника 2 і змінюючи величину відкриття шиберної заслінки 5 визначають її положення, при якому приблизно забезпечується необхідна якість очищення. Потім, не змінюючи положення шиберної заслінки 5, регулюють амплітуду коливань віброживильника, домагаючись необхідної якості очищення. Положення шиберної заслінки 5 регулюють зазвичай тільки при зміні матеріалу, що обробляється.

Матеріал, що обробляється, рухаючись по скатному лотку 4, прямує в зону обстеження, де висвітлюється освітлювачами 6 (як правило,

світлодіодними або люмінесцентними лампами) і сканується високотехнологічними сенсорами або камерами 7 на фоні 8. Відмінність даних систем полягає в тому, що в сенсорному апараті кожен сенсор сканує компоненти, що сходять із певного жолобка (канавки) скатного лотка, а за допомогою камер отримують зображення компонентів з усієї ширини скатного лотка відразу.

Оптичний блок, в якому знаходяться освітлювачі 6, камери 7, активні робочі фони 8 і електронний блок управління (ЕБУ), герметизований. За допомогою сенсорів або камер 7 одержують відбите або світло, що проходить через аналізовану частинку, і на його основі формується електричний сигнал, який направляється в ЕБУ. У блоці управління за закладеними алгоритмами відбувається аналіз отриманого сигналу та порівняння його з еталонним, який заздалегідь задається. При розбіжності сигналів подається команда на відкриття пневмоклапану (ежектора) 9, що розташований нижче. При цьому повітряний імпульс, спрямований у площині, перпендикулярній до потоку оброблюваних частинок, змінює траєкторію руху дефектної частинки, направляючи її до приймача (відсіку) для відходів 10. Інші компоненти продовжують рух по колишній траєкторії до приймача очищеного продукту 11.

Для більш ретельного сортування та сканування продукту, що обробляється, сенсори або камери 7 встановлюють по обидва боки потоку компонентів, як показано на малюнку 1.1.

У світовій практиці виробництво та застосування фотоелектронних сепараторів розширюється, зростає кількість фірм, що випускають це прогресивне обладнання. В даний час виробництво фотосепараторів організовано в Росії, Італії, Японії, Кореї, Китаї та інших країнах [12, 22].

На фотосепараторах виробництва заводу «Воронежсільмаш» застосовувалися швидкодіючі ежектори, мінімальний час відкриття яких 1 мс. Ресурс ежекторів складає 6 млрд. циклів [23]. Відеокамери з роздільною здатністю 2048 пікселів і частотою зйомки до 15000 кадрів за секунду здатні

розпізнати до 16000 відтінків. Камери можуть розпізнати на частинках дефекти розміром 0,2 мм.

У разі високої засміченості вихідного продукту фотосепаратор може бути обладнаний лотком 2 (рис. 1.2) для обробки зворотної фракції.

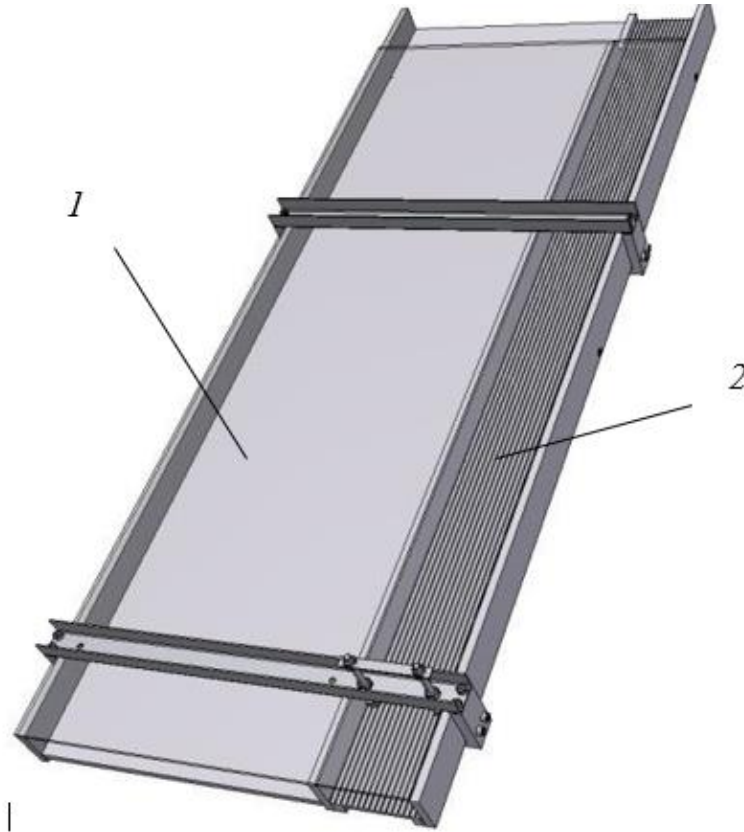


Рис. 1.2 – Скатні лотки; 1 – скатний лоток для вихідного вороху; 2 – ресортувальний скатний лоток

У цьому випадку для зменшення втрат якісного продукту отриманий при першому циклі очищення відхід подається на ресортувальний лоток 2 для повторного його очищення. На рис. 1.2 ресортувальний лоток виконаний рифленим.

Фотосепаратори серії СВ відрізняються можливістю встановлення лазерного джерела освітлення. Цей сортувальник за рахунок використання сучасних оптоволоконних лазерних технологій дозволяє сепарувати насіння та зерно не лише за зовнішніми параметрами, такими як колір, текстура, елементи форми, розміру, а й за прихованими внутрішніми ознаками [22]. Це сприяє підвищенню якості очищення, наприклад, виділенню травмованого

насіння, а також уражених хворобами та комахами.

Оптична система фотосепараторів герметизована за допомогою скла. При цьому передбачено механізм очищення стікол, що складається з магнітного безштокового циліндра та склоочисника. Механізм очищення скла оглядового відсіку включається автоматично. Інтервал між очищеннями та кількість циклів очищення встановлюється оператором.

Використання переваг фотосепараторів та досягнення високих показників очищення можливі лише за умови правильної установки та експлуатації фотосепараторів відповідно до рекомендацій заводу-виробника [18].

Італійська фірма SEA випускає фотосепаратори PIXEL NEXT, CHROME та інші. Фотосепараторам серії NEXT характерна інтелектуальна та гнучконастроювана система автокорекції чутливості, яка дозволяє автоматично адаптувати чутливість кожного пікселя CCD камери до освітленості продукту. Висвітлення продукту відбувається за допомогою світлодіодної LED системи, термін служби якої понад 100 000 годин [15].

Сепаратори даної серії мають можливість сортування продукту за двома параметрами плями дефекту одночасно. Завантажувальний бункер може бути оснащений ємнісними датчиками рівня продукту, завдяки яким контролюється подача матеріалу віброживильником. Апарат має блочно-модульну конструкцію, що значно спрощує обслуговування та ремонт апарату..

Найбільш продуктивним RGB сортувальником на ринку є фотоелектронний сепаратор SEA CHROME. Будучи оснащеним кольоровими RGB камерами з роздільною здатністю 4096 пікселів і LED освітленням, вони дозволяють розрізняти дефекти розміром від 0,1 мм. Цей сортувальник використовують, встановлюючи від 1 до 7 лотків, забезпечуючи при цьому продуктивність 0,5...50 т/год. У моделях з декількома лотками доступні опції ресортування. Також доступно до 100 різних заздалегідь підготовлених програм сортування.

Підприємства Кореї випускають фотосепаратори моделей ROYAL, NANTA PUBU King, NANTA 9000T, NANTA ACE, SPARK та ін. Дані фотосепаратори забезпечені світлодіодним підсвічуванням та CCD камерами.

Сортувальники SATAKE серії REZS оснащені найсучаснішими повнокольоровими японськими камерами, які розпізнають кольори подібно до людського ока, що дозволяє виявляти найменші відмінності відтінків. Дані машини мають встановлене програмне забезпечення, яке автоматично аналізує кольори придатного продукту та домішок та здійснює налаштування світлової чутливості обладнання. LED-освітлювачі оптичних сортувальників створюють оптимальну освітленість продукту, що обробляється, і мають тривалий термін служби, що дозволяє скоротити експлуатаційні витрати машини. Сопла пневмоексжекторів фотосепараторів серії REZS розміщені з кроком 5 мм, що підвищує точність сортування та знижує втрати придатного продукту в порівнянні з соплами більшого розміру.

Комплектуватися сортувальники можуть гладкими та рифленими скатними лотками різної ширини.

Більшість сучасних фотосепараторів, які виробляють у світі, мають можливість сортування у ближньому інфрачервоному діапазоні світлових хвиль, невидимих для людини. Це дозволяє розділяти компоненти не тільки за кольором, але і за їхньою текстурою, що розширює список продуктів, що сортуються, і підвищує якість фотосепарування.

Практично всі сучасні фотосепаратори мають можливість віддаленого доступу до них, налаштування та виправлення несправностей через інтернет. Це дозволяє скоротити час простою машини та навчання персоналу, а також виявити помилки експлуатації.

Скатний лоток є однією з найважливіших механічних складових фотосепараторів, але в ході літературного огляду нам не вдалося виявити обґрунтування довжини скатної поверхні для очищення гречки.

Таким чином, фотосепаратор – це високотехнологічне обладнання нового покоління, в якому застосовуються новітні розробки в галузі оптики,

електроніки та програмування. Дані машини дозволяють досягати дуже високих результатів очищення (до 99,99% чистоти). При цьому фотосепаратори не мають робочих органів, що травмують матеріал, що обробляється. Тому доцільність застосування фотосепаратора для підготовки насіння гречки не викликає сумнівів. Однак у фотосепараторі залишаються невіршені моменти, наприклад, невідомо якою саме має бути довжина скатного лотка під час очищення гречки.

Нині дедалі більше сільгоспвиробників застосовують фотосепаратор для очищення різних насіння і крупи. Фотосепарація є дуже ефективним способом очищення та сортування зерна та різних сільськогосподарських продуктів [17, 18]. При цьому суттєво зменшується кількість механічних впливів на насіння, а відповідно і їхнє травмування.

Важливо пам'ятати, що фотосепаратори необхідно розміщувати в кінці технологічної лінії після того, як мінеральні, металомагнітні та інші домішки максимально виділені з оброблюваного матеріалу. У такому разі ефективність фотосепаратора буде найбільшою. Тому, як правило, оптичні сортувальники встановлюють наприкінці технологічної лінії або відокремлено. У першому випадку необхідно враховувати, що можливі вібрації конструкції, спричинені іншими зерноочисними машинами, можуть негативно впливати на якість фотосепарації. Це необхідно враховувати при розробці сучасних семяочисних ліній.

Різні (пощільності, коефіцієнту тертя по скатній поверхні тощо) компоненти сипучої суміші можуть рухатися по скатному лотку з різною швидкістю. У зв'язку з цим може виникати накладення компонентів у зоні обстеження. Також при цьому може ускладнюватися процес вибракування. Все це впливає на якість поділу компонентів та продуктивність фотосепаратора загалом. Однак математичної моделі, що описує рух оброблюваних частинок у фотосепараторі, яка б враховувала різні коефіцієнти тертя частинок по скатній поверхні, в ході нашого огляду виявлено не було. Тому для визначення впливу різних коефіцієнтів тертя оброблюваних

частинок по скатному лотку на якість фотосепарування необхідно розробити математичну модель руху частинок у фотосепараторі.

Ми поділяємо точку зору авторів [12], що для забезпечення високої якості фотосепарування доцільно заздалегідь не тільки очищати зернову купу, а й фракціонувати її.

Відомо досить багато випадків ефективного використання фотосепарування у сільському господарстві. Фотосепаратор дозволяє досягти високих результатів у очищенні насіння пшениці, рису, ячменю, соняшнику та інших сільськогосподарських культур, а також гречаної крупи [3, 10].

Деякі фотосепаратори досить вузько спеціалізовані. Наприклад, фотосепаратори Daewon серії NANTA 9000T призначені переважно для очищення різних сортів чорного або зеленого чаю. Однак більшість фотосепараторів універсальні і можуть обробляти різні сипучі матеріали.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ФОТОСЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГРЕЧКИ

2.1 Принцип дозування насіння та його рух в фотосепараторі

Поданий на фотосепаратор насінневий матеріал завантажується в бункер з роздільними лотками, які служать для рівномірного його заповнення. Бункер має два датчики: верхній і нижній рівень, за допомогою яких підтримується необхідний рівень оброблюваного матеріалу в бункері. При зменшенні кількості матеріалу, що обробляється, до датчика нижнього рівня фотосепаратор автоматично зупиняється.

Застосування бункера з датчиками нижнього та верхнього рівнів забезпечує практично незмінний тиск оброблюваного матеріалу на горизонтальний лоток віброживильника, який не повинен перевищувати 12 кг.

Принцип фотосепарації зображено рис. 2.1.

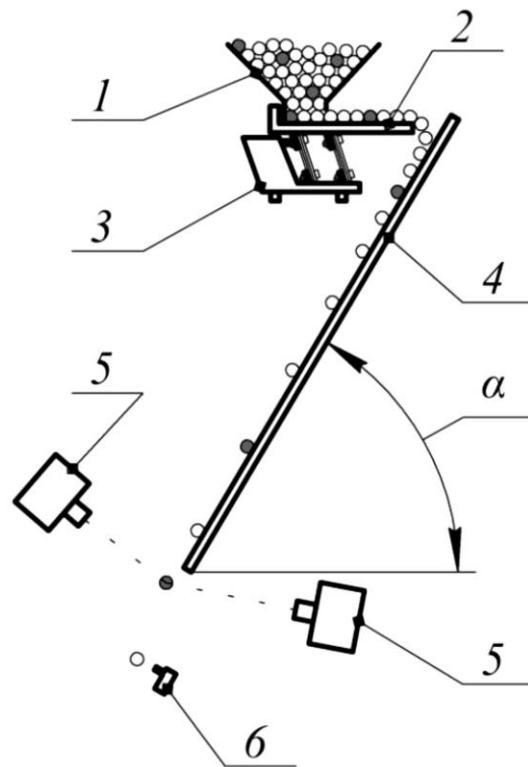


Рис. 2.1 – Принцип фотосепарування: α – кут установки скатного лотка до горизонту; 1 – бункер; 2 – горизонтальний лоток віброживильника; 3 – вібропривід електромагнітний (вібратор); 4 – похилий скатний лоток; 5 – камери; 6 – пневмоєжектор

Оброблюваний матеріал завантажується в оперативний бункер 1, вихід з якого направлений у віброживильник. Потім, як тільки включається електромагнітний привод 3, горизонтальний лоток віброживильника 2, закріплений на опорах з кількох шарів текстолітових пластин, починає здійснювати поздовжні поворотно-поступальні рухи – коливання. Під дією тиску матеріалу з оперативного бункера 1 і коливань горизонтального лотка віброживильника 2 частки починають рухатися («стікати») на лоток 4. Таким чином здійснюється подача зернового матеріалу на похилий скатний лоток 4. За допомогою електромагнітного віброприводу 3 змінюють амплітуду коливань лотка віброживильника 2. При цьому змінюється кількість частинок, що падають з лотка віброживильника 2 на лоток 4 в одиницю часу. Так встановлюють необхідну продуктивність фотосепаратора. Щоб припинити подачу матеріалу, вібратор 3 відключають і частинки перестають рухатися. Таким чином вібраційним живильником регулюють кількість частинок матеріалу, що обробляється.

Далі зернівки рухаються по похилому скатному лотку 4, який встановлений під кутом α до горизонту, і призначений для розгону та розподілу оброблюваних частинок. У разі одношарової подачі матеріалу на лоток 4, частки при русі по скатній поверхні вирівнюються в один шар. Таким чином, матеріал, що обробляється, потрапляючи на скатний лоток 4, розганяється, розосереджується і направляється в зону обстеження. Потік частинок оброблюваного матеріалу, що сходять зі скатного лотка 4, сканується камерами 5 з двох сторін (рис. 2.1). Очевидно, що для забезпечення найвищої якості розпізнавання дефектів та вибракування домішок частинки матеріалу, що обробляється, повинні сходити зі скатного лотка 4 тільки одношаровим потоком з деяким інтервалом.

Для визначення та підтвердження можливості одношарової подачі оброблюваного матеріалу віброживильником на скатний лоток була проведена високошвидкісна відеозйомка. Відеозапис подачі гречки вібраційним живильником на скатний лоток здійснювали у двох площинах,

перпендикулярних до скатної поверхні: у верхнього торця та збоку. Отримані кадри високошвидкісної відеозйомки наведено рис. 2.2.



а

б

Рис. 2.2 – Кадри високошвидкісної зйомки: а – біля верхнього торця скатного лотка; б – збоку.

Кадри високошвидкісної зйомки, наведені на рис. 2.2, підтверджують та наочно показують можливість одношарової подачі оброблюваного матеріалу віброживильником на скатний лоток. Очевидно, що для підвищення продуктивності фотосепаратора та забезпечення високої якості сепарування оброблюваний матеріал слід подавати на скатний лоток суцільним (безперервним) одношаровим потоком.

Аналіз відеозапису також дозволив зробити висновок, що при русі зернинок по скатному лотку переважним було їх ковзання, кочення практично не було. Можливо, це пов'язано з неправильною пірамідальною формою насіння гречки.

Аналізуючи роботу фотосепаратора, можна зробити висновок, що одним із найбільш значущих його механічних складових є скатний лоток. Від конструктивних параметрів та стану скатної поверхні залежить характер руху частинок, що впливає на якість фотосепарування. Тому для визначення залежності якості фотосепарування від конструктивних параметрів скатного лотка необхідно розробити математичну модель руху частинок по скатному лотку фотосепаратора.

2.2 Розробка математичної моделі руху частинок по скатному лотку

Для розробки математичної моделі спочатку розглянемо попадання оброблюваних частинок на скатний лоток (рис. 2.3). Для спрощення розрахунків опором повітря та пружними властивостями зернівок необхідно знехтувати, прийнявши зернівки за абсолютно тверді тіла. Допустимо також, що частинки однакові за розміром та масою.

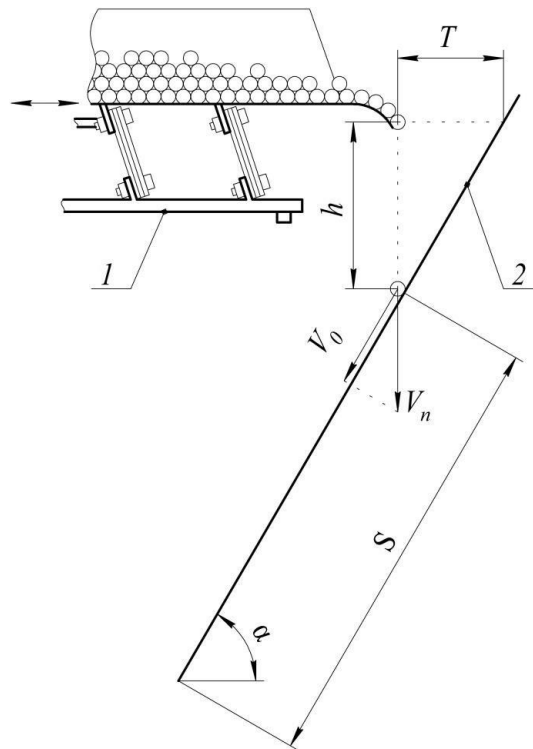


Рис. 2.3 – Схема руху оброблюваних частинок: 1 – віброживильник; 2 – скатний лоток; α – кут нахилу скатного лотка, град.; T – відстань від віброживильника до лотка скатного в горизонтальній площині, м; h – висота падіння частинок з віброживильника на скатний лоток, м; V_n – швидкість падіння частинок на скатний лоток з віброживильника, м/с; V_0 – початкова швидкість рух частинок по скатному лотку, м/с; S – шлях частинок скатним лотком, м.

Початкову швидкість частинок на похилій площині V_0 можна визначити за допомогою наступного рівняння (рис. 2.3):

$$V_0 = V_n \cdot \sin \alpha, \quad (2.1)$$

де V_0 – Початкова швидкість руху частинки на похилій площині (на

початку скатного лотка), м/с; V_n – швидкість падіння частинок з віброживильника на лоток скат, м/с; α – кут нахилу площини (схилим лотком) до горизонту, (рис. 2.3).

Швидкість V_n визначається наступним рівнянням:

$$V_n = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (2.2)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g \ 9,81$), м/с²; h – висота падіння частинок від віброживильника до скатного лотка, м.

Змінюючи значення відстані від віброживильника до скатного лотка в горизонтальній площині T (рис. 2.3), можна змінювати початкову швидкість руху частинок по скатному лотку V_0 (будуть змінюватися: висота h і швидкість падіння частинок на скатний лоток V_n).

Шлях оброблюваних частинок по скатній поверхні S можна визначити, вимірявши довжину лотка від місця падіння частинок на нього до краю скатної поверхні (рис. 2.3).

Переміщення оброблюваного матеріалу по скатному лотку можна розглянути, як рух частинок похилою площиною. При цьому будемо розглядати їх ковзання, оскільки відеоматеріал високошвидкісної зйомки підтвердив, що кочення зернівок гречки по скатному лотку практично відсутнє. Скористаємося відомим диференціальним рівнянням для матеріалу по похилій площині (рис. 2.4) [20]:

$$m \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} = m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (2.3)$$

де m – маса частки оброблюваного матеріалу, кг; S – шлях частинок по скатному лотку, м; V – швидкість руху частинки оброблюваного матеріалу похилою площиною, м/с; t – час руху частинки по похилій площині, с; f – коефіцієнт тертя частки похилою поверхнею.

Рівняння (2.3) також можна записати так:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \text{Sin}\alpha - f \cdot g \cdot \text{Cos}\alpha = g \cdot (\text{Sin}\alpha - f \cdot \text{Cos}\alpha) \quad (2.4)$$

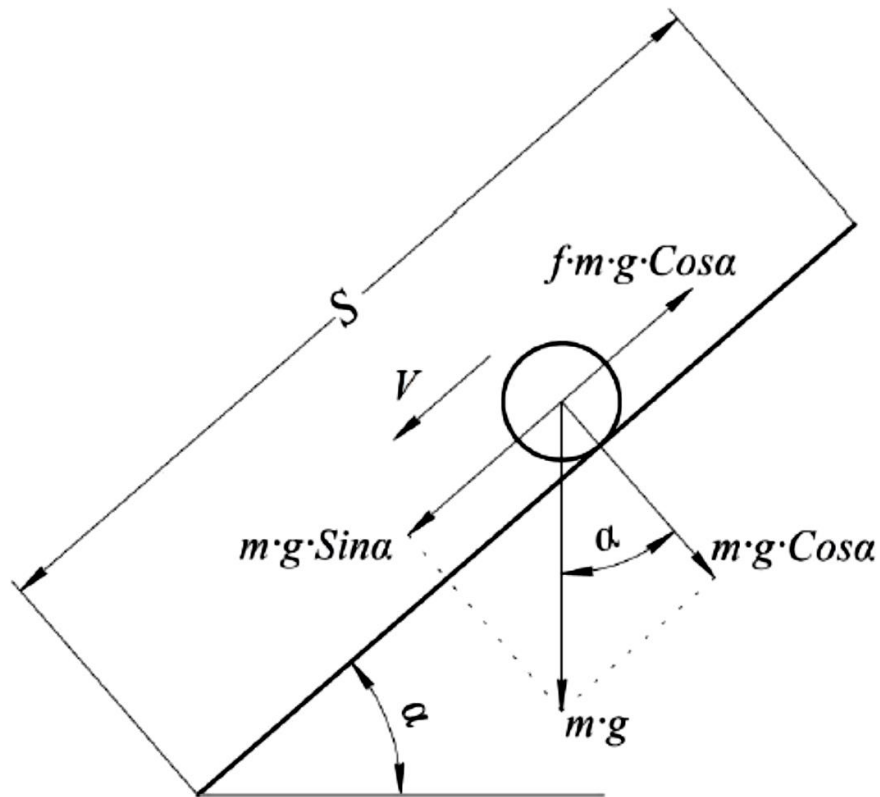


Рис. 2.4 – Рух частинки похилою площиною: m – маса частинки оброблюваного матеріалу, кг; S – шлях, пройдений частинкою по похилій площині, м; V – швидкість руху частинки оброблюваного матеріалу по похилій площині, м/с; g – прискорення вільного падіння ($g=9.81$), м/с²; α – кут нахилу площини (похилого лотка) до горизонту, град. f – коефіцієнт тертя частинки похилою поверхнею

При цьому коефіцієнт тертя можна визначити за допомогою рівняння:

$$f = \tan \varphi = \frac{\text{Sin}\varphi}{\text{Cos}\varphi}, \quad (2.5)$$

де φ – кут тертя частинки по скатній поверхні, град.

Підставивши рівняння (2.5) до рівняння (2.4) запишемо рівність:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \left(\sin \alpha - \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \cdot \cos \alpha \right) = g \cdot \left(\frac{\sin \alpha \cdot \cos \varphi - \sin \varphi \cdot \cos \alpha}{\cos \varphi} \right),$$

після спрощення отримаємо:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}. \quad (2.6)$$

Проінтегрувавши рівняння (2.6) двічі за початкових умов:

$$V = V_0; S = 0 \text{ при } t = 0,$$

отримаємо рівняння швидкості руху частинки по скатному лотку в будь-який момент часу:

$$V = V_0 + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g \cdot t \quad (2.7)$$

та рівняння пройденого шляху за якийсь проміжок часу:

$$S = V_0 \cdot t + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot g \cdot t^2. \quad (2.8)$$

Для спрощення подання формул приймемо, що:

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g = z. \quad (2.9)$$

Як правило, кут установки скатного лотка у фотосепараторі α – це величина відома, інакше його нескладно визначити. Кут тертя φ (або коефіцієнт тертя f) частинок по скатній поверхні можна виміряти.

У фотосепараторах скатні лотки встановлюють під кутом до горизонту, який перевищує кут тертя частинок по скатній поверхні ($\alpha > \varphi$), тому частинки оброблюваного матеріалу прискорюються, рухаючись скатним лотком.

Ця умова дозволяє також зернівкам наприкінці скатного лотка рухатися розрідженим потоком, що забезпечує високу якість фотосепарації.

На скатний лоток частинки подаються послідовно, через деякий проміжок часу, який, припустимо, дорівнює t_0 . Тоді шлях S_{t-t_0} , який пройде наступна частка за деякий проміжок часу, відповідно до рівняння (2.8) дорівнюватиме:

$$S_{t-t_0} = V_0 \cdot (t - t_0) + \frac{g \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot (t - t_0)^2, \quad (2.10)$$

де S_{t-t_0} – шлях наступної частки, пройдений по похилій поверхні, м; t_0 – час, через який кожна наступна частка потрапляє на скатний лоток, с; $t - t_0$ – час руху наступної частки скатним лотком, с.

Віднімаючи почленно рівняння (2.10) із рівняння (2.8), підставивши в них рівняння (2.9), отримаємо відстань (інтервал) S_{int} між попередньою і наступною частинками матеріалу в будь-який момент часу їх руху по скатному лотку:

$$\begin{aligned} S_{int} = S - S_{t-t_0} &= V_0 \cdot t + \frac{z \cdot t^2}{2} - V_0 \cdot t + V_0 \cdot t_0 - \frac{z \cdot t^2}{2} + \frac{2 \cdot z \cdot t \cdot t_0}{2} - \frac{z \cdot t_0^2}{2} \Rightarrow \\ &\Rightarrow S_{int} = V_0 \cdot t_0 + \frac{z \cdot t_0 \cdot (2t - t_0)}{2}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де S_{int} – інтервал між попередньою та наступною частинками у будь-якій момент часу їх руху по скатній поверхні, м.

Аналізуючи вирази (2.11), можна дійти висновку, що зі збільшенням початкової швидкості частинок на скатному лотку V_0 та часу руху частинок по скатній поверхні t , інтервал між частинками на скатному лотку S_{int} збільшується.

Як видно з рівнянь (2.7), (2.8) та (2.11), якщо кут установки скатного лотка до горизонту α більше кута тертя частинок оброблюваного матеріалу по

скатній поверхні φ , то швидкість частинок на скатному лотку V та інтервал між частинками S_{int} збільшуються з часом.

Максимальну продуктивність фотосепаратора при одношаровій подачі матеріалу на скатний лоток можна забезпечити лише суцільною подачею частинок. Якщо оброблюваний матеріал подавати на скатний лоток суцільним (безперервним) одношаровим потоком, то шлях S_{t_0} , який попередня частка пройде по скатній поверхні до попадання на скатний лоток наступної за нею частинки, дорівнюватиме її розміру:

$$S_{t_0} = r, \quad (2.12)$$

де

S_{t_0} – шлях, пройдений попередньою часткою по скатному лотку до попадання на поверхню скатну наступної частинки, м; r – розмір частки оброблюваного матеріалу (найменший розмір із трьох: довжина, ширина та товщина), м.

При цьому час проходження попередньою частиною шляху S_{t_0} буде рівним:

$$t = t_0. \quad (2.13)$$

Підставивши рівняння (2.9), (2.12) та (2.13) в рівняння (2.8), отримаємо:

$$S_{t_0} = r = V_0 \cdot t_0 + \frac{z \cdot t_0^2}{2}$$

або

$$z \cdot t_0^2 + 2 \cdot V_0 \cdot t_0 - 2 \cdot r = 0. \quad (2.14)$$

З рівняння (2.14) можна знайти t_0 :

$$t_0 = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot z \cdot r} - V_0}{z}. \quad (2.15)$$

Аналогічно, з рівняння (2.8) можна виразити і визначити час руху частинок від місця їх падіння на лоток до його краю t_k :

$$t_k = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot z \cdot S} - V_0}{z}, \quad (2.16)$$

де t_k – час руху частинок від місця їх падіння на скатний лоток до краю, с.

Тепер для визначення швидкості сходу частинок зі скатного лотка (V_{cx}) всі необхідні показники відомі. Швидкість сходу V_{cx} (рис. 2.5) можна обчислити, підставивши рівняння (2.7), вирази (2.9) і (2.16):

$$V_{cx} = V_0 + z \cdot t_k, \quad (2.17)$$

де V_{cx} - швидкість сходу часток зі скатного лотка, м/с.

При фотосепаруванні розпізнавання дефектів та вибракування домішок відбувається після скатного лотка по ходу руху частинок матеріалу, що обробляється. Від того, як буде здійснено подачу матеріалу на скатний лоток, та як рухатимуться оброблювані частинки по лотку, залежить якість фотосепарування. При подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток не одношаровим потоком можливе одночасне потрапляння частинок, що йдуть один за одним, в зону сканування, що ускладнить розпізнавання дефектів, знижуючи тим самим якість сортування. Однак навіть одношарова подача оброблюваного матеріалу на скатний лоток не може гарантувати високу якість фотосепарування.

Частини, що обробляються, сходять зі скатного лотка, потрапляють у зону сканування, потім пролітають місце вибракування домішок. При вибракуванні повітряний імпульс деякий час впливає на дефектну частинку, змінюючи траєкторію її руху. Для того щоб наступна за дефектною частинка не потрапила в повітряний смолоскип при вибракуванні, необхідно щоб у момент попадання попередньої (дефектної) частинки в поле дії повітряного смолоскипа між частинками, що йдуть один за одним, був достатній інтервал. В іншому випадку може спостерігатися збільшення втрат придатного

продукту при вибраку домішок, тобто зниження якості фотосепарування.

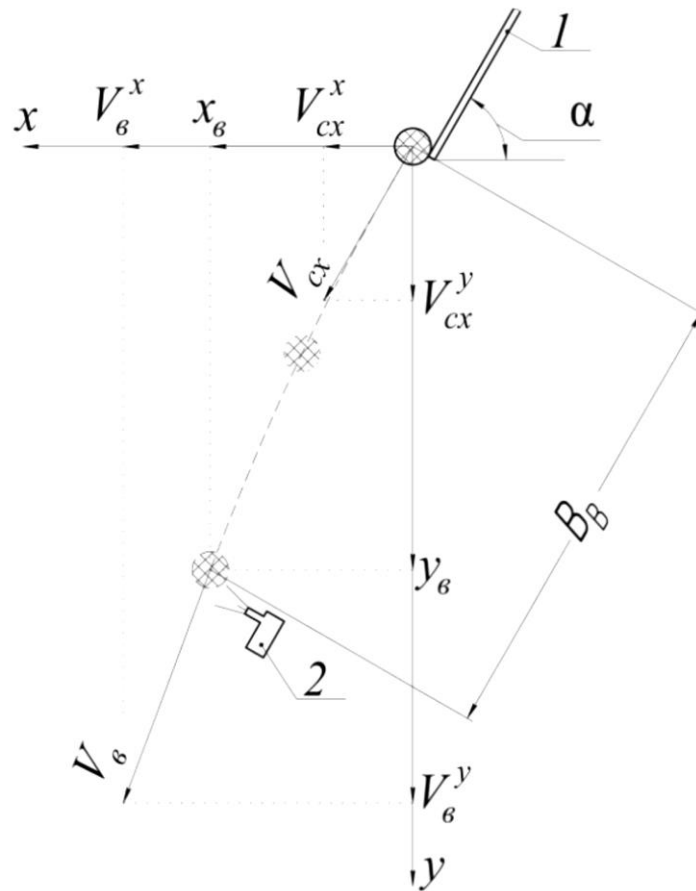


Рисунок 2.5 – Схема вільного падіння частинок від скатного лотка до місця вибракування домішок: 1 – скатний лоток; 2 – пневмоежектор; α – кут нахилу скатного лотка до горизонту, град.; x , y – осі координат; V_{cx} – швидкість сходу частинок зі скатного лотка, м/с; V_{cx}^x – швидкість сходу частинок з лотка, спроектована на вісь x , м/с; V_{cx}^y – швидкість сходу частинок зі скатного лотка, спроектована на вісь y , м/с; x_B – координата частинок по осі x у місці вибракування домішок, м; y_B – координата частинок по осі y в місці вибракування домішок, м; V_B – швидкість руху частинок у місці вибракування домішок, м/с; V_B^x – швидкість руху частинок у місці вибракування домішок, спроектована на вісь x , м/с; V_B^y – швидкість руху частинок у місці вибракування домішок, спроектована на вісь y , м/с; B_B – відстань від скатного лотка до місця вибракування домішок у площині скатного лотка, м

Після скатного лотка частинки рухаються у вільному падінні до місця вибракування домішок, як показано на рис. 2.5. Так як відстань від скатного

лотка до місця вибракування домішок невелика (близько 20 ... 50 мм), то для спрощення опису вільного падіння частинок і розрахунків опором повітря слід знехтувати.

На рис. 2.5 початок координат розташовано в центрі частки в момент її сходу зі скатного лотка, при цьому вісь y спрямована вниз, а вісь x – ліворуч.

Рух частинок, зображений рис. 2.5, можна описати такими виразами:

$$S_x = x_0 + V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot t_{cn}, \quad (2.18)$$

$$V_x = V_{cx}^x = V_{cx} \cdot \cos \alpha, \quad (2.19)$$

$$a_x = 0 \quad (2.20)$$

$$S_y = y_0 + V_{cy} \cdot \sin \alpha \cdot t_{cn} + \frac{g \cdot t_{cn}^2}{2}, \quad (2.21)$$

$$V_y = V_{cy}^y + g \cdot t_{cn}, \quad (2.22)$$

$$V_{cy}^y = V_{cy} \cdot \sin \alpha, \quad (2.23)$$

$$a_y = g, \quad (2.24)$$

де S_x – координата (шлях) частинок по осі x під час їх вільного падіння, м; x_0 – координата частинок по осі x у момент їх сходу зі скатного лотка (при

розташуванні координатних осей, подібно до рис. 2.5, $x_0 = 0$), м; $t_{\text{сп}}$ – час вільного падіння частинок від скатного лотка до місця вибракування домішок, с; V_{cx}^x – швидкість сходу частинок з лотка, спроектована на вісь x , м / с; a_x – прискорення руху частинок під час їхнього вільного падіння від скатного лотка, спроектоване на вісь x , м/с²; S_y – координата (шлях) частинок по осі y під час їхнього вільного падіння, м; y_0 – координата частинок по осі y в момент їх сходу зі скатного лотка (при розташуванні координатних осей, подібно до рис. 2.5, $y_0=0$), м; V_{cx}^y – швидкість сходу частинок зі скатного лотка, спроектована на вісь y м/с; a_y – прискорення руху частинок під час їхнього вільного падіння від скатного лотка, спроектоване на вісь y , м/с².

Швидкість сходу частинок з лотка скатного розкладається на дві складові: спроектовану на вісь x (V_{cx}^x) і спроектовану на вісь y (V_{cx}^y).

При вільному падінні прискорення частинок по осі x дорівнює нулю (рівняння (2.20)), а по осі y воно відповідає прискоренню вільного падіння (рівняння (2.24)).

Величина відстані B_B (рис. 2.5) відома і залежить від конструкції фотосепаратора. Тому значення часу вільного падіння частинок від скатного лотка до місця вибракування домішок ($t_{\text{сп}}$) можна визначити наступним рівнянням:

$$t_{\text{сп}} = \frac{B_B \cdot \cos \alpha}{V_{\text{cx}} \cdot \cos \alpha} = \frac{B_B}{V_{\text{cx}}}, \quad (2.25)$$

де B_B – відстань між краєм скатного лотка та місцем вибракування домішок у площині скатного лотка (рис. 2.5), м.

Тоді рівняння швидкості руху частинок у місці вибракування домішок (V_B) матиме такий вигляд:

$$V_B = \sqrt{(V_{\text{cx}} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{\text{cx}} \cdot \sin \alpha + \frac{g \cdot B_B}{V_{\text{cx}}})^2}. \quad (2.26)$$

де V_B – швидкість руху частинок у місці вибракування домішок, м/с (рис. 2.5).

Таким чином, розроблена математична модель описує рух частинок матеріалу, що обробляється з моменту їх попадання на скатний лоток до місця вибракування домішок повітряним імпульсом.

2.3 Обґрунтування довжини скатної поверхні фотосепаратора

Стан скатної поверхні впливає на якість очищення. З рівняння (2.11) видно, що від часу руху частинок, що обробляються по похилій площині (t), тобто і від довжини скатного лотка, залежить інтервал між частинками в кінці скатного лотка. Отже, не лише стан скатної поверхні, а і її довжина може впливати на якість процесу.

При обробці на фотосепараторі інтервал між попередньою і наступною оброблюваними частинками, що рухаються один за одною, в момент попадання попередньої частинки в поле дії повітряного факела пневматичного ежектора (S_{intB}) має прямий вплив на якість очищення. Даний інтервал впливає на втрати цінного насіння при вибракуванні домішок, так у випадку недостатнього інтервалу S_{intB} при вибракуванні попередньої (дефектної) частинки в повітряний факел може потрапити і наступна (придатна) частка. Тому, щоб знизити втрати при вибракуванні домішок на фотосепараторі, необхідно визначити раціональну довжину скатної поверхні, яка забезпечить вибракування тільки дефектної частинки, при незмінних: куту нахилу скатного лотка α , початкової швидкості оброблюваних частинок на скатному лотку V_0 , коефіцієнті тертя поверхні f та відстані від скатного лотка до місця вибракування домішок (B_B). Тобто, раціональною довжиною скатної поверхні буде та, при якій інтервал між попередньою і наступною частинками буде достатнім, щоб при вибракуванні попередньої частки (домішки) в повітряний факел не потрапила наступна (придатна) частка.

При вибракуванні домішок пневмоклапан відкривається на певний час. Тобто є тривалість повітряного імпульсу – $t_{\text{вц}}$, яка визначається технічними характеристиками обладнання чи налаштуваннями фотосепаратора. Важливо, щоб під час вибракування попередньої (дефектної)

частки наступна (придатна) зернівка не потрапила у повітряний факел. Тому для мінімізації втрат придатного продукту при сепарації необхідно визначити раціональне значення інтервалу S_{intB} , яке гарантувало б потрапляння наступної частки в зону дії повітряного факелу після попередньої не раніше ніж через час $t_{ви}$, протягом якого відбувається вибраковування повітряним імпульсом.

Щоб гарантувати вплив повітряного факела тільки на одну частинку протягом часу $t_{ви}$, визначимо мінімальний інтервал S_{intB}^{min} , який забезпечить вплив повітряного імпульсу тільки на одну частинку, наступним виразом:

$$S_{intB}^{min} = \frac{V_B + V_{(t_B-t_0)}}{2} \cdot t_{ви}, \quad (2.27)$$

де S_{intB}^{min} – мінімальний інтервал між частинками в момент попадання попередньої частки в поле дії повітряного факела (через час $t_B = t_k + t_{сп}$), який забезпечує вплив повітряного імпульсу тільки на одну частинку, м;

$V_{t_B-t_0}$ – швидкість наступної частки у момент попадання попередньої частки у місце вибракування домішок, м/с; t_B – час руху оброблюваних частинок до місця вибракування ($t_k + t_{сп}$), с; $t_{ви}$ – тривалість повітряного імпульсу при вибракуванні домішки, с.

Тривалість повітряного імпульсу $t_{ви}$ – відома величина (залежить від технічних характеристик або налаштування фотосепаратора).

Швидкість $V_{t_B-t_0}$ можна визначити наступним чином:

$$V_{(t_B-t_0)} = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos\alpha)^2 + (V_{cx} \cdot \sin\alpha + g \cdot [t_{сп} - t_0])^2}. \quad (2.28)$$

Підставивши рівняння (2.25) у вираз (2.28), отримаємо:

$$V_{(t_B-t_0)} = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos\alpha)^2 + (V_{cx} \cdot \sin\alpha + g \cdot [\frac{B_B}{V_{cx}} - t_0])^2}. \quad (2.29)$$

Отже, для скорочення втрат придатного продукту необхідно щоб виконувалося наступна умова:

$$S_{\text{int}_B} \geq S_{\text{int}_B}^{\text{min}}, \quad (2.30)$$

S_{int_B} – інтервал між частинками у момент попадання попередньої частки у зону дії повітряного факела (у місці вибракування домішок), м.

Інтервал S_{int_B} визначається рівнянням:

$$S_{\text{int}_B} = B_B - \frac{x_n}{\text{Cos } \alpha} - r, \quad (2.31)$$

де x_n – координата наступної частки по осі x в момент попадання попередньої частки в місце вибракування домішок, м.

Координату x_n можна знайти за допомогою наступного рівняння:

$$x_n = x_0 + V_{\text{cx}} \cdot \text{Cos } \alpha \cdot (t_{\text{cn}} - t_0) = V_{\text{cx}} \cdot \text{Cos } \alpha \cdot \left(\frac{B_B}{V_{\text{cx}}} - t_0 \right). \quad (2.32)$$

Математична модель, описана наведеними вище рівняннями (починаючи з пункту 2.2), справедлива лише тоді, коли коефіцієнти тертя всіх оброблюваних частинок по похилій поверхні однакові. Гречка – культура нерівномірного дозрівання. У зв'язку з цим у зерновій купі гречки, навіть після первинного очищення, присутні насіння різного ступеня зрілості, а також обвалені зернівки. Стигли насіння, недозрілі та обвалені зернівки гречки мають різний коефіцієнт тертя по скатній поверхні.

Таким чином, коефіцієнти тертя оброблюваних частинок по похилій площині (особливо при обробці гречки) можуть відрізнятися, що в свою чергу може призвести до погіршення якості очищення.

У тому випадку, якщо при русі по похилій площині попередня частка матиме менший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж наступна за нею частка або їх коефіцієнти тертя по скатній поверхні будуть рівні, погіршення якості не повинно спостерігатися, оскільки інтервал між частинками S_{int} з часом лише збільшуватиметься (рівняння (2.11)).

Однак, у випадку, коли попередня частка буде мати більший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж наступна за нею частка, можливе зниження якості очищення за рахунок того, що інтервал між частинками може зменшуватися з часом, наступна частка «наздоганятиме» попередню і при вибракуванні попередньої (дефектної) частинки в повітряний факел може потрапити наступна (придатна) частка. Тобто необхідна умова, описана рівнянням (2.30), не виконуватиметься. Тому необхідно розробити математичну модель руху частинок у фотосепараторі, яка б враховувала різні коефіцієнти тертя оброблюваних частинок по скатній поверхні в гіршому з можливих варіантів – коли попередня частка має більший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж наступна за нею частка.

Для розробки математичної моделі з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по поверхні скатної скористаємося рівнянням:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot (\sin\alpha - f \cdot \cos\alpha).$$

Для спрощення відображення формул позначимо:

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f \cdot \cos\alpha = A. \quad (2.33)$$

При цьому для попередньої та наступної частинок рівняння (2.33) матиме вигляд:

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f_1 \cdot \cos\alpha = A_1; \quad (2.34)$$

$$g \cdot \sin\alpha - g \cdot f_2 \cdot \cos\alpha = A_2, \quad (2.35)$$

де f_1, f_2 – коефіцієнти тертя попередньої і наступної частинок по скатній поверхні відповідно.

При різних коефіцієнтах тертя частинок по скатній поверхні час їх руху по лотку (t_1 і t_2) теж буде різним. Тоді швидкість руху попередньої та наступної частинок на лотку, враховуючи коефіцієнти тертя частинок по скатній поверхні, можна визначити такими виразами:

$$V_1 = V_0 + A_1 \cdot t_1; \quad (2.36)$$

$$V_2 = V_0 + A_2 \cdot (t_1 - t_0^{mp}), \quad (2.37)$$

де V_1 та V_2 – швидкість руху попередньої та наступної частинок відповідно по лотку з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, м/с;

t_1 – час руху попередньої частки по лотку з урахуванням її коефіцієнта тертя по скатній поверхні, с;

t_0^{tp} – час, через який на лоток надходить наступна частка з урахуванням коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, с.

Час t_0^{tp} можна визначити таким виразом:

$$t_0^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot r} - V_0}{A_1}. \quad (2.38)$$

Шлях, пройдений попередньою і наступною частинками з моменту їх потрапляння на лоток до краю з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні (S), буде однаковий і може бути визначений такими рівняннями:

$$S = V_0 \cdot t_1^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2}; \quad (2.39)$$

$$S = V_0 \cdot t_2^{mp} + \frac{A_2 \cdot t_2^{mp^2}}{2}, \quad (2.40)$$

де t_1^{tp} , t_2^{tp} – час руху попередньої та наступної частинок відповідно з моменту їх попадання на скатний лоток до його краю з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, с.

З рівняння (2.39) можна обчислити час руху попередньої частинки скатним лотком (t_1^{tp}):

$$\begin{aligned} \frac{A_1}{2} \cdot t_1^{mp^2} + V_0 \cdot t_1^{mp} - S &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow t_1^{mp} &= \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot S} - V_0}{A_1}. \end{aligned} \quad (2.41)$$

Аналогічно, з рівняння (2.40) можна знайти час руху наступної частинки скатним лотком (t_2^{TP}):

$$\begin{aligned} \frac{A_2}{2} \cdot t_2^{\text{mp}2} + V_0 \cdot t_2^{\text{mp}} - S = 0 &\Rightarrow \\ \Rightarrow t_2^{\text{mp}} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_2 \cdot S} - V_0}{A_2}. \end{aligned} \quad (2.42)$$

Тоді швидкість сходу частинок з лотка з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні (V_{cx1} і V_{cx2}) буде визначатися такими виразами:

$$V_{\text{cx1}} = V_0 + A_1 \cdot t_1^{\text{mp}}; \quad (2.43)$$

$$V_{\text{cx2}} = V_0 + A_2 \cdot t_2^{\text{mp}}, \quad (2.44)$$

де V_{cx1} та V_{cx2} – швидкість сходу попередньої та наступної частинок з лотка відповідно з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, м/с.

Шлях, пройдений частинками по лотку за якийсь проміжок часу з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, можна визначити такими рівняннями:

$$S_1 = V_0 \cdot t_1 + \frac{A_1 \cdot t_1^2}{2}; \quad (2.45)$$

$$S_2 = V_0 \cdot (t_1 - t_0^{\text{mp}}) + \frac{A_2 \cdot (t_1 - t_0^{\text{mp}})^2}{2}, \quad (2.46)$$

де S_1 і S_2 – шлях, пройдений попередньою та наступною частинками відповідно по лотку за якийсь проміжок часу з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, м.

Щоб визначити інтервал між частинками в кінці лотка з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні необхідно в рівняння (2.46) підставити t_1^{TP} замість t_1 і відняти отримане рівняння з рівняння (2.39). У результаті отримаємо таку рівність:

$$S_{\text{int}}^{\text{mp}} = V_0 \cdot t_0^{\text{mp}} + \frac{A_1 \cdot t_1^{\text{mp}2}}{2} - \frac{A_2 \cdot (t_1^{\text{mp}} - t_0^{\text{mp}})^2}{2}, \quad (2.47)$$

де S_{int}^{TP} – Сінтервал між попередньою і наступною частинками в кінці лотка з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, м.

Для наочності наведемо графічне представлення залежності інтервалу S_{int}^{TP} від різниці коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні. Для цього припустимо, що коефіцієнт тертя попередньої частки (пошкодженої зернівки гречки), яку потрібно видалити при підготовці насіння, варіює в межах 0,36...0,43, а наступної частки (повноцінної зернівки гречки) – змінюється в інтервалі 0,3...0,4 [25]. Допустимо також, що скатний лоток встановлений під кутом до горизонту (α) в 60° , розмір оброблюваних частинок (r) дорівнює 0,005 м; відстань від краю скатної поверхні до місця вибракування домішок B_B 0,038 м; мінімальний час впливу повітряного імпульсу ($t_{ву}$) становить 0,001 с; початкова швидкість частинок на скатному лотку (V_0) дорівнює 0,95 м/с; шлях частинок по скатному лотку (S) становить 1 м, а прискорення вільного падіння (g) приймемо рівне $9,81 \text{ м/с}^2$.

Щоб побудувати графіки, зафіксуємо крайні та одне із середніх значень коефіцієнта тертя попередньої частки по скатній поверхні з обраного інтервалу (наприклад, рівним 0,43; 0,39 і 0,36) і змінюватимемо коефіцієнт тертя наступної частинки, збільшуючи різницю між ними (Δf) від 0 до 0,045 з кроком 0,005. Різниця коефіцієнтів тертя частинок визначається рівнянням:

$$\Delta f = f_1 - f_2, \quad (2.48)$$

де Δf – різниця між коефіцієнтами тертя попередньої та наступної частинок по скатній поверхні.

Віднімаючи різницю в коефіцієнтах тертя Δf з фіксованих значень коефіцієнта тертя попередньої частки ($f_{1.1}=0,43$; $f_{1.2} = 0,39$ і $f_{1.3} = 0,36$), отримаємо значення коефіцієнта тертя наступної частинки по скатній поверхні (f_2). Підставляючи різні значення коефіцієнта тертя наступної частинки по скатній поверхні (f_2) у наведену вище математичну модель, будемо отримувати різні значення інтервалу між частинками в кінці скатної поверхні S_{int}^{TP} , що визначається рівнянням (2.47). Характер залежності інтервалу S_{int}^{TP} від

різниці коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні Δf наведено у вигляді трьох графіків на рис. 2.6.

Аналізуючи графіки, зображені на рис. 2.6, можна вважати, що чим більша різниця коефіцієнтів тертя оброблюваних частинок по скатній поверхні (Δf), тим менший інтервал буде між ними наприкінці лотка. Причому, якщо Δf більше 0,04, то значення інтервалу S_{int}^{tp} наближається до нуля, тобто зростає ймовірність того, що наступна частка «наздожене» попередню частинку до кінця скатної поверхні, отже, можливі втрати при вибракуванні домішок та ускладнення при розпізнаванні дефектів.

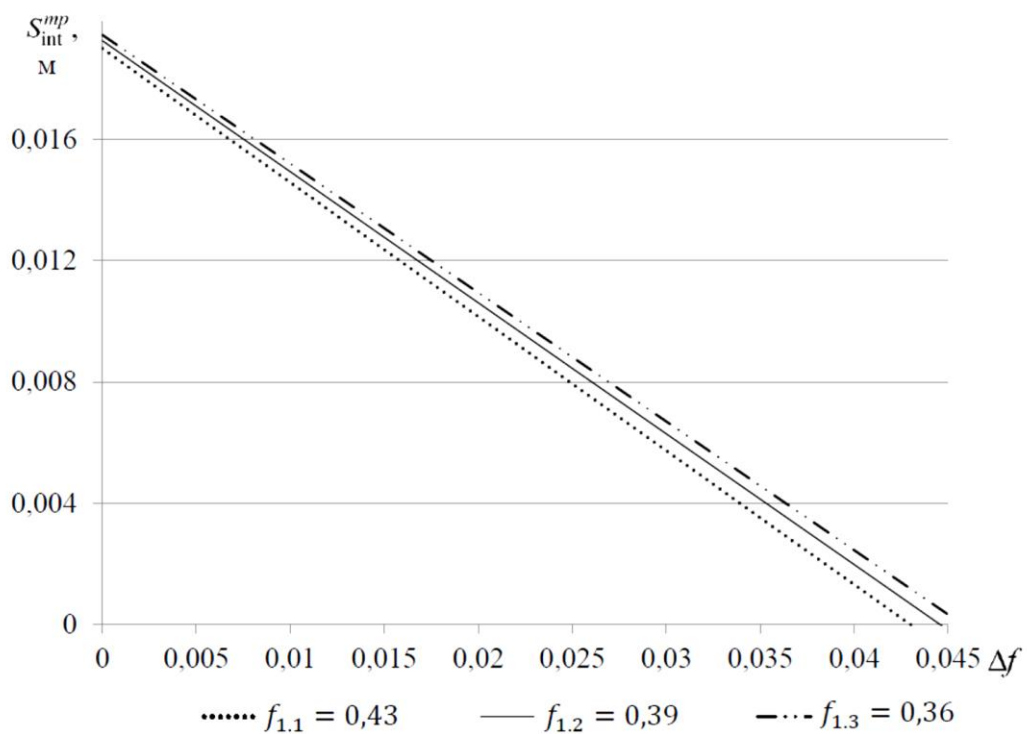


Рис. 2.6 – Залежність інтервалу S_{int}^{tp} від різниці коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні: S_{int}^{tp} – інтервал між попередньою та наступними частинками в кінці лотка з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні, м; Δf – різниця коефіцієнтів тертя попередньої та наступної частинок по скатній поверхні.

З графіків рис. 2.6 також видно, що чим менший коефіцієнт тертя оброблюваних частинок по скатній поверхні, тим більший буде інтервал між частинками в кінці лотка за рівних інших умов.

Аналіз графіків, зображених на рис. 2.6, дозволяє зробити висновок, що для підвищення якості розпізнавання дефектів та мінімізації втрат при вибракуванні бажано, щоб частинки оброблюваного на фотосепараторі матеріалу мали якомога найменшу різницю в коефіцієнтах тертя по скатній поверхні, тим більше, якщо коефіцієнт тертя домішок вище, ніж придатного продукту.

Щоб описати рух частинок під час їхнього вільного падіння від скатного лотка до місця вибракування домішок, можна скористатися рівняннями (2.18...2.26), визначаючи при цьому швидкість сходу частинок зі скатного лотка (V_{cx1} і V_{cx2}) з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні – рівняннями (2.43) та (2.44). Тобто час вільного падіння частинок від лотка до місця вибракування домішок можна визначити за допомогою таких рівнянь:

$$t_{cn_1} = \frac{B_B}{V_{cx_1}}; \quad (2.49)$$

$$t_{cn_2} = \frac{B_B}{V_{cx_2}}, \quad (2.50)$$

де t_{cn1} та t_{cn2} – час вільного падіння попередньої та наступної частинок відповідно від лотка до місця вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, с.

Мінімальний інтервал між частинками в момент попадання попередньої частки в поле дії повітряного факела пневмоектора з урахуванням їх коефіцієнтів тертя по скатній поверхні ($S_{intB}^{min'}$), який забезпечить вплив повітряного імпульсу тільки на одну частинку, можна визначити рівнянням:

$$S_{intB}^{min'} = \frac{V_{nB} + V_2'}{2} \cdot t_{en}, \quad (2.51)$$

де $S_{intB}^{min'}$ – мінімальний інтервал між частинками в момент попадання попередньої частинки в місце вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, який забезпечує вплив

повітряного імпульсу тільки на одну частинку m ;

$V_{пв}$ – швидкість наступної частки у місці вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, м/с;

V'_2 – швидкість наступної частки в момент попадання попередньої частки в місце вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок скатної поверхні, м/с.

Швидкість оброблюваних частинок у місці вибракування домішок ($V_{прв}$ і $V_{пв}$) можна визначити такими виразами:

$$V_{прв} = \sqrt{(V_{сх1} \cdot \cos\alpha)^2 + (V_{сх1} \cdot \sin\alpha \cdot g \cdot t_{сн1})^2}; \quad (2.52)$$

$$V_{пв} = \sqrt{(V_{сх2} \cdot \cos\alpha)^2 + (V_{сх2} \cdot \sin\alpha + g \cdot t_{сн2})^2}, \quad (2.53)$$

де $V_{прв}$ – швидкість попередньої частки у місці вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, м/с.

Так як наступна частка має менший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж попередня частка, то час руху наступної частинки до краю скатного лотка (t_2^{TP}) буде менше часу t_1^{TP} . Значить, час вільного падіння наступної частки до моменту, коли попередня частка досягне місця вибракування домішок, ($t_{сп2} - t_0^{TP}$) зміниться на величину ($t_1^{TP} - t_2^{TP}$). Тоді швидкість V'_2 можна розрахувати наступним рівнянням:

$$V'_2 = \sqrt{(V_{сх2} \cdot \cos\alpha)^2 + (V_{сх2} \cdot \sin\alpha + g \cdot [t_{сн2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})])^2}. \quad (2.54)$$

З аналізу вищенаведених суджень стає ясно, що при $S_{int}^{TP} \leq 0$, наступна частка впритул наблизиться до попередньої частки в кінці скатного лотка (при $S_{int}^{TP} = 0$) або навіть раніше ($S_{int}^{TP} < 0$). Тобто існує ймовірність того, що при вибракуванні (або розпізнаванні) попередньої (дефектної) частинки в повітряний імпульс (або в місце сканування) потрапить і наступна – придатна частка. Тому для забезпечення високої якості розпізнавання дефектів та мінімізації втрат придатного продукту під час вибракування домішок

необхідно, щоб виконувались дві умови:

$$S_{int}^{mp} > 0 \quad (2.55)$$

$$S_{int_B}^{mp} \geq S_{int_B}^{\min}, \quad (2.56)$$

де $S_{int_B}^{tp}$ – розрахунковий інтервал між частинками в момент попадання попередньої частки в місце вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, м.

Інтервал $S_{int_B}^{tp}$ можна розрахувати за такою формулою:

$$S_{int_B}^{mp} = B_B - \frac{x_n^{mp}}{\cos \alpha} - r, \quad (2.57)$$

де x_n^{tp} – координата наступної частинки по осі x в момент попадання попередньої частинки в місце вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по поверхні скатної, м.

Координата x_n^{tp} розраховується наступним рівнянням:

$$x_n^{mp} = V_{cx_2} \cdot \cos \alpha \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})]. \quad (2.58)$$

Як видно з вищенаведених рівнянь, значення інтервалу $S_{int_B}^{tp}$ впливає час t_0^{tp} , який залежить від розміру частинок (r). При обробці сипучої суміші з розміром частинок, наприклад, r_1 інтервал $S_{int_B}^{tp}$ буде відрізнятися від однойменного інтервалу при обробці іншої суміші з розміром частинок r_2 (при однакових інших умовах). Для наочності наведемо залежність інтервалу між частинками у місці вибракування домішок $S_{int_B}^{tp}$ від розміру частинок (r) у вигляді графіків для різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні.

Для цього прийємо такі умови: $g = 9,81$ м/с²; $\alpha = 60^\circ$; $B_B = 0,038$ м; $t_{bu} = 0,001$ с; $V_0 = 0,95$ м/с; шлях частинок по скатному лотку $S = 1$ м. Також прийємо по три значення (крайні та середнє з раніше прийнятого інтервалу) коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні з однаковою різницею між ними ($\Delta f = 0,04$): ($f_{1.1} = 0,43$, $f_{2.1} = 0,39$); ($f_{1.2} = 0,39$; $f_{2.2} = 0,35$) і ($f_{1.3} = 0,36$, $f_{2.3} = 0,32$). Змінюючи значення розміру частинок (r), припустимо, від 0,004 м до 0,008 м з кроком в 0,0005 м, за допомогою розробленої математичної моделі

отримуватимемо різні значення інтервалу між частинками в місці вибракування домішок S_{intB}^{tp} . Характер цієї залежності відображено на графіках рис. 2.7.

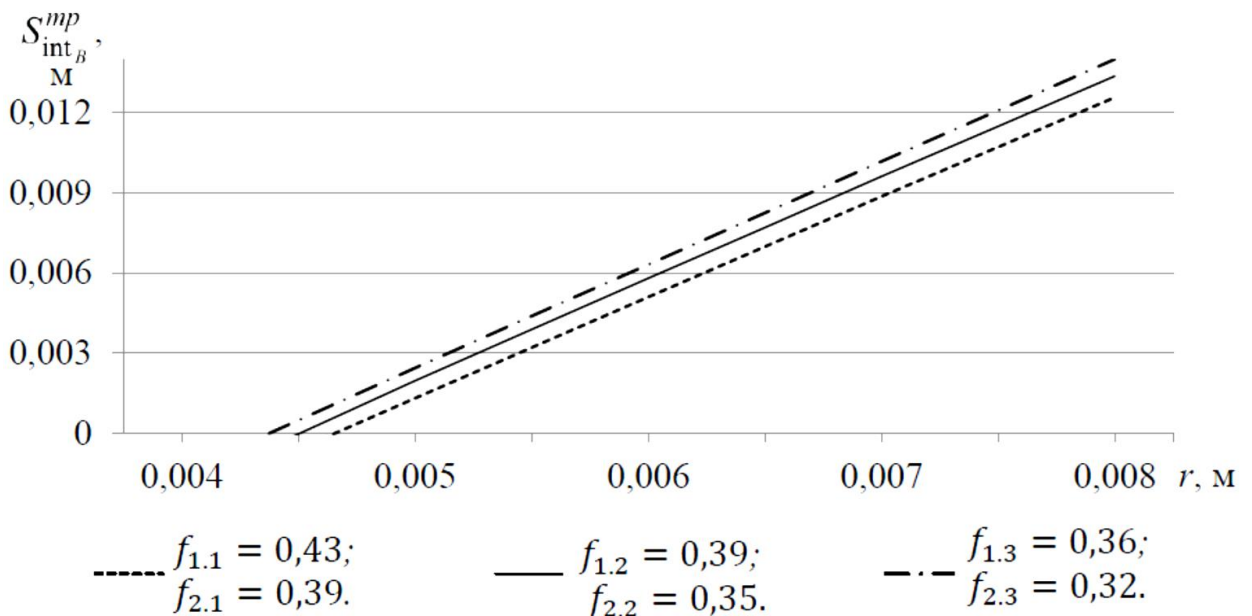


Рис. 2.7 – Залежність інтервалу S_{intB}^{tp} від розміру оброблюваних частинок: S_{intB}^{tp} – розрахунковий інтервал між частинками в момент попадання попередньої частки в місце вибракування домішок з урахуванням різних коефіцієнтів тертя частинок по скатній поверхні, м; r – розмір частинок оброблюваного матеріалу, м

Аналізуючи графіки рис. 2.7, можна сказати, що інтервал S_{intB}^{tp} має пряму залежність від розміру оброблюваних частинок (r), тобто зі збільшенням розміру оброблюваних частинок збільшується і інтервал між ними в місці вибракування домішок і навпаки. Причому чим нижче коефіцієнти тертя частинок по скатній поверхні, тим більше більший інтервал між ними буде в місці вибракування домішок за однакових інших умов.

Реальний матеріал, що обробляється на фотосепараторі, містить частинки різного розміру. Якщо припустити, що на скатний лоток частки послідовно надходять різного розміру: спочатку більшого розміру, потім меншого, потім знову більшого, то, навіть при незмінній різниці в їх коефіцієнтах тертя по скатній поверхні, інтервал між частинками в місці вибракування домішок буде відрізнятися то у більшу, то в меншу сторону і

може не задовольняти умову $S_{intB}^{TP} \geq S_{intB}^{min'}$, описаному рівнянням (2.56).

З цього можна дійти невтїшного висновку, що для мінімізації втрат придатного продукту при вибракуванні домішок насіннєвий матеріал перед обробкою на фотосепараторі необхідно фракціонувати.

Також слід врахувати, що при встановленні суцільної подачі матеріалу, що обробляється, з віброживильника на скатний лоток (як було обумовлено) вкрай складно контролювати моношарність. У зв'язку з цим можливі порушення одношарової подачі. Тому довжину скатної поверхні краще вибирати максимальну, яка задовольнятиме умовам: $S_{int}^{TP} > 0$ і $S_{intB}^{TP} \geq S_{intB}^{min'}$, щоб була можливість вирівнювання матеріалу на скатній поверхні в один шар і частки розосереджувалися, тобто схід з лотка був розрідженим, а не суцільним (виконання умови $S_{int}^{TP} > 0$). Наведені у другому розділі рівняння, що описують рух оброблюваних частинок у фотосепараторі, враховують різний коефіцієнт тертя частинок по скатній поверхні та вільне падіння частинок від лотка до пневмоектора. Тобто, представлені рівняння дозволяють змодельовати рух частинок з моменту їх попадання на скатний лоток до місця вибракування домішок навіть у випадку, коли попередня частка (домішка) матиме більший коефіцієнт тертя по скатній поверхні, ніж наступна за нею частка (повноцінна зернівка) – в найгірший з можливих варіантів при фотосепаруванні.

Щоб скористатися розробленою математичною моделлю необхідно знати або визначити (експериментально або розрахунковим шляхом) значення наступних показників: кут нахилу скатної поверхні (α), коефіцієнти тертя оброблюваних частинок по скатній поверхні (f_1 і f_2) або кут тертя частинок по скатній поверхні (φ), розмір оброблюваних частинок (r), відстань від краю скатного лотка до місця вибракування домішок (B_B), час дії повітряного імпульсу (t_{bu}), початкову швидкість руху частинок на лотку скатному (V_0) і шлях оброблюваних частинок по скатній поверхні (S). Значення даних показників дозволять скористатися вищенаведеною математичною моделлю та за допомогою рівняння (2.38) визначити час, через який на скатний лоток

надходить кожна наступна частка (при суцільній одношаровій подачі матеріалу, що обробляється) – t_0^{TP} ; за допомогою рівнянь (2.43) та (2.44) обчислити швидкість сходу оброблюваних частинок зі скатного лотка – V_{cx1} і V_{cx2} ; скориставшись рівністю (2.47), розрахувати інтервал між частинками наприкінці скатного лотка – S_{intB}^{TP} ; за формулами (2.49) та (2.50) визначити час вільного падіння попередньої та наступної частинок від лотка до місця вибракування домішок – t_{cn1} і t_{cn2} ; скориставшись рівностями (2.52) та (2.53) обчислити швидкість частинок у місці вибракування домішок – $V_{прв}$ і $V_{пв}$; за допомогою рівняння (2.57) визначити інтервал між частинками у місці вибракування домішок – S_{intB}^{TP} та за допомогою рівняння (2.51) розрахувати мінімальний інтервал між частинками у місці вибракування домішок, який забезпечує вплив повітряного імпульсу тільки на попередню (дефектну) частинку – S_{intB} .

Також розроблена математична модель дозволяє підібрати довжину скатної поверхні, за якої забезпечується виконання двох умов: $S_{intB}^{TP} \geq S_{intB}^{min}$, описаних рівняннями (2.55) та (2.56). При цьому наступна частка не повинна створювати перешкод при розпізнаванні дефектів попередньої частки, а втрати придатного продукту при вибракуванні домішок повітряним струменем будуть мінімізовані. Однак при розробці математичної моделі було прийнято низку припущень, тому необхідно обґрунтувати адекватність даної моделі експериментально.

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ НАСІННЯ ГРЕЧКИ

3.1 Програма і методика проведення досліджень

3.1.1 Програма експериментальних досліджень

Для отримання якісного насіння необхідно обробляти бункерну купу без укладання її на струм або майданчик. При цьому доцільно проводити фракціонування насіннєвого матеріалу [74]. Для вирішення цих завдань бажано використовувати двоаспіраційну повітряно-решітну фракційну зерноочисну машину, наприклад, сімейства ОЗФ [36]. Після очищення бункерного вороху на повітряно-решітній машині в ньому повинні залишитися лише важко-віддільні домішки (наприклад, обвалені зернівки гречки, мінеральні домішки (грудочки землі, каміння) та насіння інших культур), які виділяють фотосепаратором. При цьому для найбільш ефективного очищення з мінімальними втратами цінного насіння необхідно вибрати раціональні конструктивні та режимні параметри роботи зерноочисних машин.

На якість фотосепарування зернового вороху, ймовірно, будуть впливати склад оброблюваного матеріалу (кількість та вид домішок), продуктивність фотосепаратора та тип використовуваних скатних лотків.

Результати теоретичних досліджень необхідно перевірити експериментально з метою уточнення та підтвердження достовірності запропонованої математичної моделі.

3.1.2 Обладнання, прилади та інструменти

Експериментальні дослідження очищення гречки на повітряно-решітній зерноочисній машині, а також аналіз результатів експериментальних досліджень проводили з урахуванням рекомендацій вітчизняних вчених та відповідно до загальноприйнятих методичних рекомендацій [12].

Лінійні розміри у дослідженнях визначали вимірювальною лінійкою

Лінійка-150 ГОСТ 427-75 (діапазон вимірів 150 мм $\pm 0,1$ мм), рулеткою РЗУ2Д ГОСТ 7502-98 (номінальна довжина 3 м; клас точності 2; відхилення дійсної 0,1 мм; 15 мм, сантиметрового інтервалу $\pm 0,20$ мм; дециметрового інтервалу $\pm 0,30$ мм; відрізка шкали 1 м і більше $\pm [0,30 + 0,15 \cdot (L-1)]$, де L – кількість повних та неповних метрів) та Штангенциркулем ШЦК-І-150-0,02 ГОСТ 166-89 (діапазон вимірювання 150 мм, ціна поділу кругової шкали 0,01 мм). Даним штангенциркулем також вимірювали і діаметральні розміри. Швидкість повітряного потоку вимірювали багатофункціональним вимірювальним приладом Testo 435 з трубкою Піто (довжиною 1000 мм) з точністю до 0,1 м/с, встановлюючи трубку Піто в повітропроводі аспірацій повітряно-решітної машини.

Повітряно-решітне очищення насіння гречки проводили на зерноочисній машині МЗС-10, обладнаної колосовими гратами з діаметром отворів 7,5 мм та сортувальними гратами з діаметром отворів 4,0 мм. Швидкість повітряного потоку дорешітної аспірації встановлювали близько 5,0 м/с; післярешітної аспірації – 5,5 м/с. Вологість досліджуваного зернового вороху гречки вимірювали вологоміром «Wile-65» (діапазон вимірювання вмісту вологи: для зернових та зернобобових культур (8...35)%, для олійних – (5...25)%; похибка $\pm 0,5\%$). Дослідження фракційного складу зернового вороху гречки проводили на вітрильному класифікаторі конструкції ВІМ з мікроманометром та решітному класифікаторі – Розсів лабораторний У-1-ЕРЛ-2-1, обладнаному набором решіт з круглими отворами діаметром від 2,5 до 6, 5 мм. Для визначення маси зразків зернового вороху гречки,

Дослідження процесу сепарації гречки проводили на фотосепараторах Ф10.1 та СВ-4, загальний вигляд яких наведений на рис. 3.1. Для експериментів задіяли лише один скатний лоток фотосепараторів.

Фотосепаратор Ф10.1 був обладнаний скатними лотками довжиною 1,1 м, встановленими під кутом 60° до горизонту. На обладнанні СВ-4 були встановлені скатні лотки завдовжки 1,3 м, встановлені під кутом 70° до горизонту. Скатні лотки сепараторів для спрощення виготовлення,

транспортування та монтажу виконані у вигляді двох напівлотків із робочою шириною 180 мм кожен. На кожен скатний лоток, що складається з двох напівлотків, матеріал, що обробляється, подається одним віброживильником.

Перед початком досліджень на фотосепараторах проводили спектрографічний аналіз складу зернового вороху гречки. За його результатами визначали необхідну комплектацію машини – які освітлювачі, камери, світлові фільтри тощо краще підійдуть для виділення тієї чи іншої домішки.

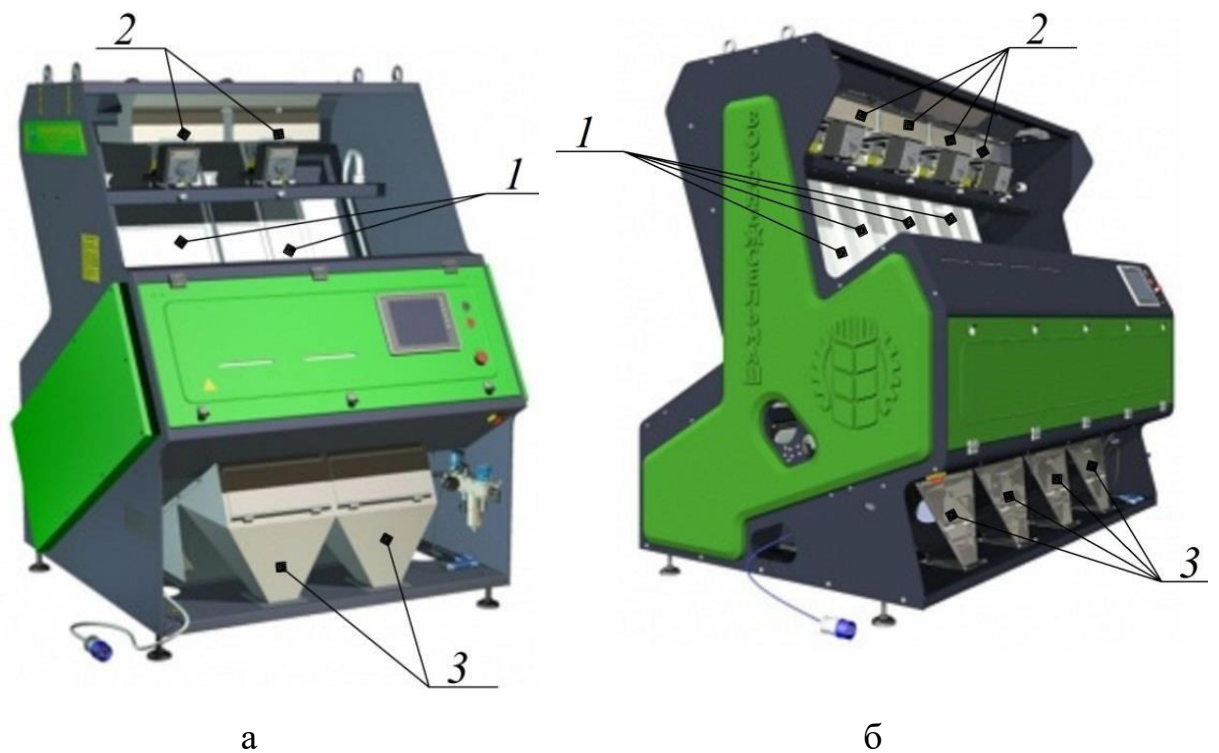


Рис. 3.1 – Загальний вигляд використовуваного обладнання: а – Ф10.1; б – СВ-4; 1 – скатні лотки; 2 – вібро-живильники; 3 – приймачі придатного продукту

В експериментальних дослідженнях фотосепаратор Ф10.1 працював у монохромному режимі, тобто був обладнаний однією камерою з кожного боку скатного лотка, як показано на схемі малюнка 3.2 а. При цьому виділяли переважно світліші домішки, ніж повноцінне насіння гречки.

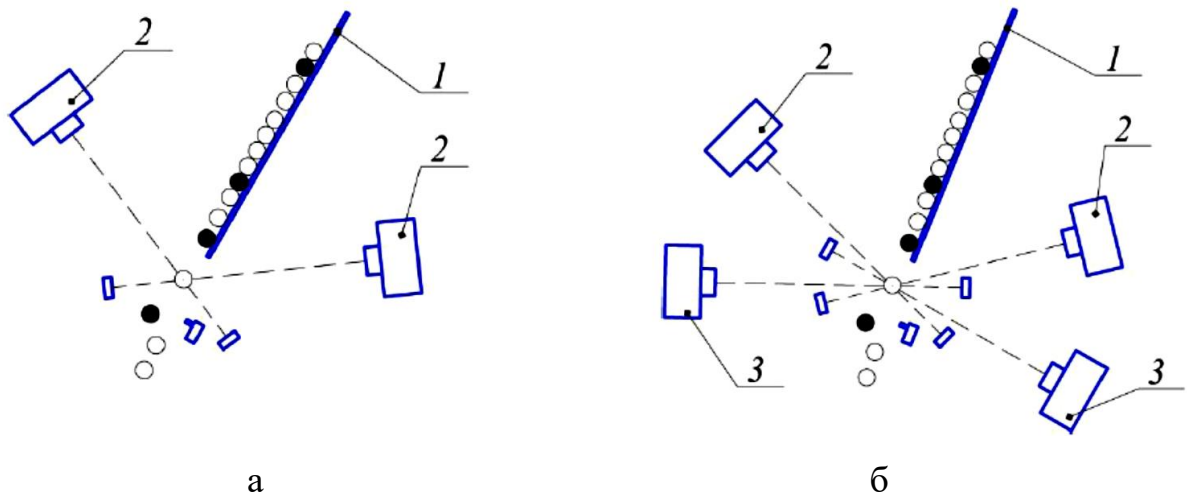


Рис. 3.2 – Схеми оптичного розпізнавання дефектів: а – Схема, що використовується на фотосепараторі Ф10.1; б – схема, яка використовується на фотосепараторі СВ-4; 1 – скатний лоток; 2 – камери, що працюють у видимому діапазоні довжин світлових хвиль; 3 – камери, що працюють у ближньому інфрачервоному діапазоні довжин світлових хвиль

Для виділення домішок світлого та темного кольорів одночасно (наприклад, пошкоджена гречка та насіння соняшника) фотосепаратор СВ-4 був оснащений чотирма камерами на кожен лоток (по дві з кожного боку лотка), як показано на схемі малюнка 3.2 б. При цьому камери налаштовували попарно працювати в різних діапазонах світлових хвиль. Дві з них працювали у ближньому інфрачервоному діапазоні світлових хвиль (довжина хвилі 850 ± 30 нм), інші дві – у червоному кольорі (довжина хвилі 650 ± 30 нм).

3.1.3 Методика проведення експериментальних досліджень

Вибравши надійність експерименту, що дорівнює 0,95, визначили кількість повторень дослідів. Все обладнання та вимірювальні прилади, що застосовується, перевіряли до експерименту і після нього. Значення кожного параметра визначали як середньоарифметичне із проведених повторів. Зразки та проби в експериментальних дослідженнях відбирали відповідно до вимог ГОСТ 12036-85 [31]. Якісні показники зразків та фракцій, а також посівні якості насіння гречки визначали відповідно до вимог ГОСТ 12037-81, ГОСТ

12038-84 та ГОСТ 20290-74 [32, 33, 34]. У дослідженнях використовували гречку, вологість якої не перевищувала 14,0%.

Для визначення раціональних комплектації та режиму роботи повітряно-решітної машини при підготовці бункерного вороху до його очищення на фотосепараторі, зразок зернового вороху гречки, взятий від комбайнів, досліджували на вітрильному класифікаторі конструкції ВІМ. Змінюючи швидкість повітряного потоку, одержали різні фракції. Потім визначили відсоткове співвідношення фракцій та їх компонентів. В результаті було визначено, що при швидкості повітряного потоку 5,7 м/с виділялася найбільша кількість легковажких домішок без втрат цінного насіння. Тому зразок бункерного вороху гречки був очищений вітрильним класифікатором при швидкості повітряного потоку 5,7 м/с.

Очищений парусним класифікатором зразок був направлений на решітний класифікатор – розсів лабораторний У-1-ЕРЛ-2-1, обладнаний набором решіт з круглими отворами діаметром від 2,5 до 6,5 мм з кроком 0,5 мм. Під решетом із діаметром отворів 2,5 мм було встановлено глухе решето. У ході досліджень зразка на ґратному класифікаторі також визначали відсоткове співвідношення отриманих фракцій та їх компонентів. У тих фракціях, у яких було насіння гречки із вмістом ядра, було визначено посівні якості насіння: вміст ядра, маса 1000 зерен, енергія проростання та лабораторна схожість.

Для перевірки адекватності розробленої у другому розділі математичної моделі руху частинок проводили досліди на фотосепараторі Ф10.1. Кут встановлення скатного лотка до горизонту α був відомий. Для визначення кута тертя φ обрушених та повноцінних зернівок гречки по скатній поверхні використовували окремий скатний лоток, який розміщували на рівній горизонтальній поверхні. Кут φ визначали шляхом підняття одного краю скатного лотка з покладеними на нього зернівками, як показано на схемі рис. 3.3.

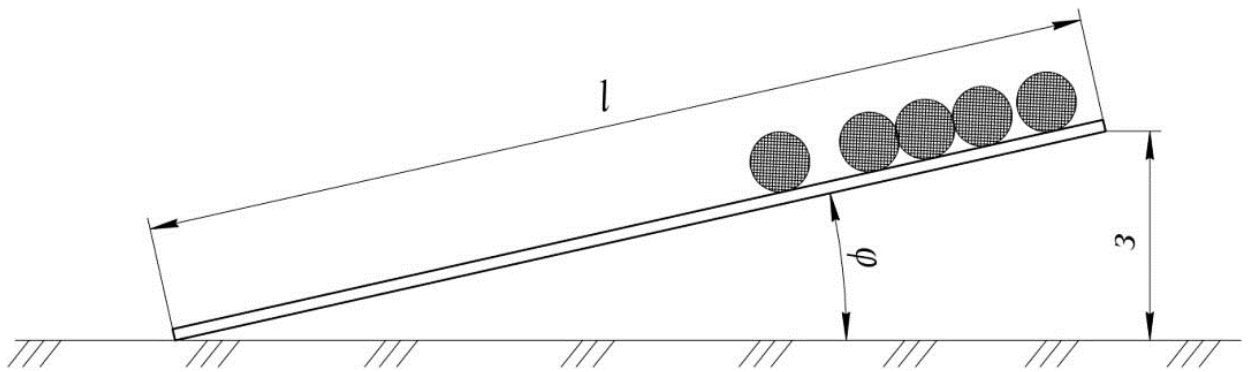


Рис. 3.3 – Схема визначення кута тертя частинок по скатному лотку: l – Довжина лотка, м; z – висота підйому краю лотка, м; φ – кут тертя, град.

Висоту підняття краю лотка, при якій зернівки починали ковзати, фіксували і підставляли в рівняння для обчислення кута їх тертя по скатній поверхні φ :

$$\varphi = \arcsin \frac{z}{l}, \quad (3.1)$$

де z – висота підйому краю лотка, м; l – довжина лотка, м.

Знаючи кут тертя обрушених та повноцінних зернівок гречки по скатній поверхні, були визначені їх коефіцієнти тертя по скатному лотку (f_1 і f_2 відповідно), користуючись наступним рівнянням:

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}.$$

У ході досліджень також визначали початкову швидкість зерновок гречки на скатному лотку V_{0i} у кожному i -му досліді (рис. 3.4) рівнянням:

$$V_{0i} = V_{ni} \cdot \sin \alpha, \quad (3.2)$$

де V_{0i} – початкова швидкість руху зерновок по скатному лотку в i -му досвіді, м/с; V_{ni} – швидкість падіння зерновок на скатний лоток з віброживильника в i -му досвіді, м/с.

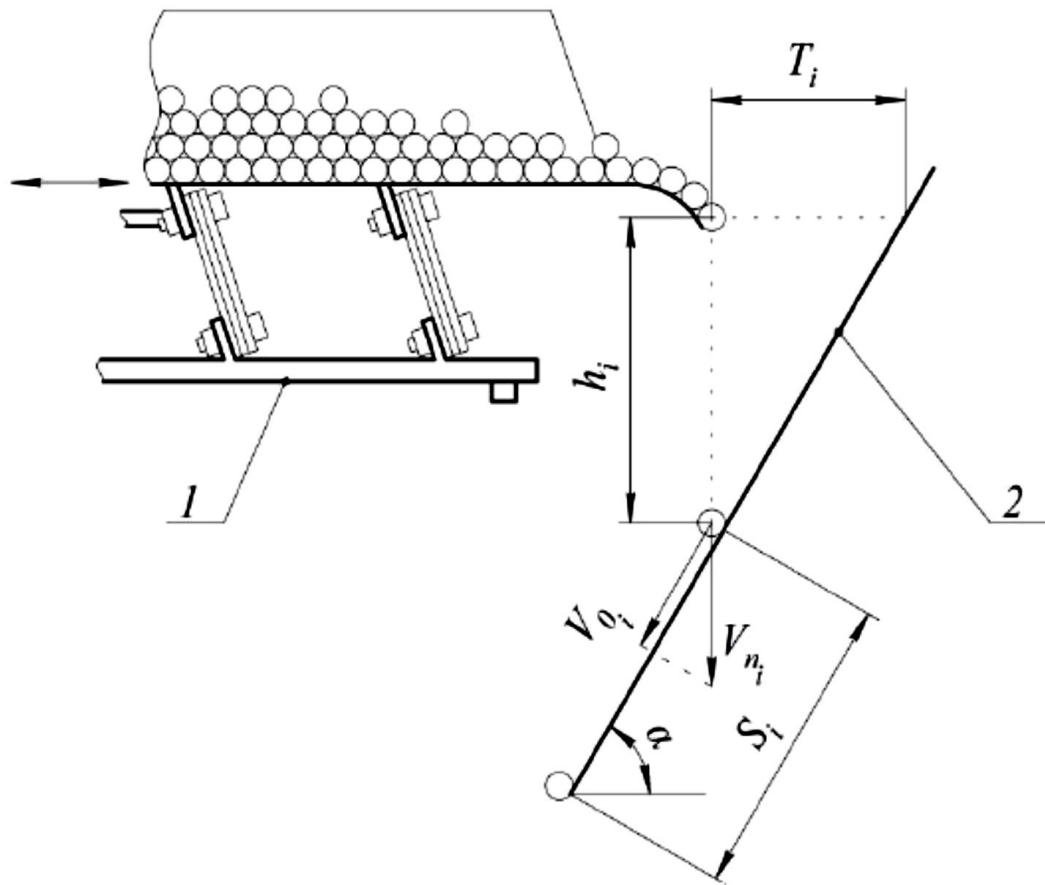


Рис. 3.4 – Схема визначення початкової швидкості частинок на скатному лотку: 1 – віброживильник; 2 – скатний лоток; α – кут нахилу скатного лотка, град.; T_i – відстань від віброживильника до скатного лотка в горизонтальній площині в кожному i -му досліді, м; h_i – висота падіння частинок з віброживильника на скатний лоток у кожному i -му досліді, м; V_{ni} – швидкість падіння частинок на скатний лоток з віброживильника в кожному i -му досліді, м/с; V_{0i} – початкова швидкість руху частинок по скатному лотку в кожному i -му досліді, м/с; S_i – шлях частинок по скатному лотку в кожному i -му досліді, м.

Швидкість падіння зернівок і V_{ni} змінювали за рахунок зміни висоти їх падіння шляхом переміщення віброживильника в горизонтальній площині щодо скатного лотка (рис. 3.4) та визначали рівнянням:

$$V_{ni} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_i}, \quad (2.52)$$

де h_i – висота падіння зернівок від віброживильника до скатного лотка в i -му досліді, м.

Для кожного i -го досвіду віброживильник переміщали щодо скатного лотка в горизонтальній площині, тобто змінювали значення відстані T_i (рис. 3.4), внаслідок чого змінювалося значення h_i і, отже, значення V_{0i} . При цьому шлях зернівок по скатному лотку в кожному i -му досвіді визначали експериментально шляхом виміру даної відстані – S_i . Таким чином у дослідженнях змінювали початкову швидкість зернівок на скатному лотку (V_{0i}).

Внаслідок зміни V_{0i} у кожному i -му досліді змінювалася і швидкість сходу зернівок зі скатного лотка. Для перевірки адекватності математичної моделі швидкість сходження повноцінних зернівок гречки зі скатного лотка в кожному i -му досліді визначали експериментально ($V_{сxi}$) і теоретично (розрахунковим шляхом) ($V_{сxi}^T$). Для визначення $V_{сxi}$ камери фотосепаратора фокусували в різні точки траєкторії польоту зернини зі скатного лотка, як показано на рис. 3.5.

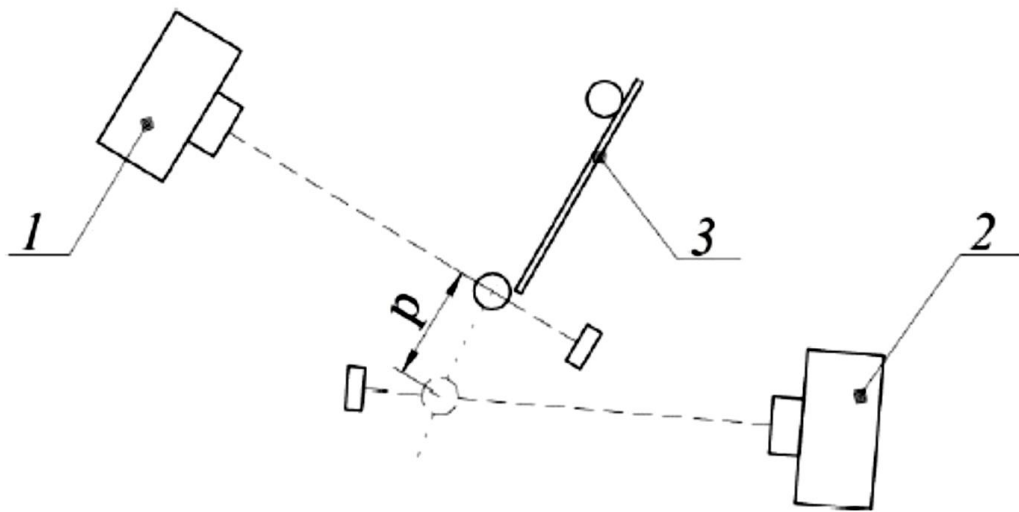


Рис. 3.5 – Схема визначення швидкості сходу зернівок зі скатного лотка: 1 та 2 – камери; 3 – скатний лоток; p – відстань між фокусами камер, м

Таке усунення фокусів камер дозволило визначити час польоту зернівок з моменту їх фіксації камерою 1 до моменту фіксації зернівок камерою 2.

Знаючи відстань ($p=0,02$ м) між фокусами камер 1 і 2, обчислювали

швидкість сходу зернівок зі скатного лотка і $V_{сх}$ в кожному i -му досвіді відношенням відстані польоту зернівок до часу даного польоту.

3.2 Підготовка зернового вороху гречки до обробки на фотосепараторі

Для визначення раціональних параметрів та режимів роботи повітряно-решітної машини при підготовці бункерного вороху гречки до його очищення на фотосепараторі було проведено дослідження [66]. Зразок бункерного пороху гречки, який містив 95,45 % цілого зерна гречки, 2,43 % обрушених зерен і 2,13 % домішок (з яких 0,19 % лушпиння), обробляли на парусному класифікаторі конструкції ВІМ. Відсоткове співвідношення отриманих у своїй фракцій наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл фракцій по аеродинамічних властивостях

Швидкість повітряного потоку, м/с	5,7	6,3	6,9	8,0	8,9	9,8
Відсоткове співвідношення фракцій, %	4,71	6,87	15,76	52,88	17,96	1,82

Склад фракцій, отриманих при обробці на вітрильному класифікаторі з різною швидкістю повітряного потоку, і посівні якості насіння, що виділяється при цьому, представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати обробки гречки на парусному класифікаторі

Найменування показників	Швидкість повітряного потоку, м/с					
	5,7	6,3	6,9	8,0	8,9	9,8
Склад фракцій, %:						
ціле зерно,	57,53	95,25	98,55	99,18	95,69	56,67
обвалене зерно,	4,53	3,16	1,20	0,64	3,99	41,31
домішки всього,	37,94	1,59	0,25	0,18	0,32	2,02
в тому числі: лушпиння	3,99	0	0	0	0	0
Вміст ядра у виділеному зерні, %	58,14	74,31	76,92	78,45	80,29	82,46
Маса 1000 зерен, гр.	10,88	22,23	26,23	29,85	33,81	35,85
Енергія проростання зерна, %	56	96	96	100	99	100
Лабораторна схожість зерна, %	62	97	96	100	100	100

З таблиці 3.1 видно, що з швидкості повітряного потоку 5,7 м/с виділено 4,71% від загальної маси зразка. При цьому дана фракція містила 57,53% цілого зерна гречки (табл. 3.2), 4,53% обвалених зернівок і 37,94%

домішок, з яких 3,99% становила лушпиння гречки у вільному вигляді. Луска при швидкості повітряного потоку 5,7 м/с виділилася повністю. Низькі показники вмісту ядра (58,14%), маси 1000 зерна (10,88 гр.) і лабораторної схожості (62%) насіння даної фракції свідчать про непридатність фракції для насінневих цілей. Тобто при швидкості повітряного потоку 5,7 м/с виділялися щуплі зернівки з низькими посівними якостями, тому цю фракцію цілдоцільно використовувати для згодовування тваринам.

У ході досліджень було виявлено, що за швидкості повітряного потоку 5 м/с відбувалося виділення всіх складових, крім обвалених зернівок. При цьому зерна гречки різко відрізнялися світлішим забарвленням і практично не містили ядра. Це означає, що фракцію, що виділяється при швидкості повітряного потоку 5 м/с, слід спрямовувати у відходи. Тому не було необхідності в глибокому аналізі даної фракції та інформація про неї не наведена у таблицях 3.1 та 3.2.

При подальшому збільшенні швидкості повітряного потоку від 63 до 89 м/с (включно) були отримані фракції з вмістом цілого зерна понад 90%. У цьому маса 1000 зернівок становила 22,23...33,81 гр., а лабораторна схожість – 97...100%. Це говорить про те, що дані фракції містять насіння гречки з високими посівними якостями.

Фракція, яка виділялася при швидкості повітряного потоку 9,8 м/с, склала 1,82% від маси всього зразка (табл. 3.1) і містила 56,67% цілого зерна гречки, 41,31% обрушеного зерна і 2,02% домішок (табл. 3.2).

З вищевикладеного слід, що з обробці даного зернового вороху швидкість повітряного потоку має перевищувати 5,7 м/с. При цьому виділятимуться: більша частина легковажних домішок, деяка частина обвалених зернівок гречки і вся лушпиння у вільному вигляді. Втрати повноцінних зернівок з високими посівними якостями будуть мінімальними.

Тому зразок зернової маси гречки був очищений за швидкості повітряного потоку 5,7 м/с. Потім очищений зразок був направлений на решітний класифікатор, обладнаний набором решіт з діаметром отворів від 2,5

до 6,5 мм з кроком 0,5 мм. Знизу було встановлене глухе решето. В результаті визначили відсоткове співвідношення отриманих фракцій, яке представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Розподіл фракцій за розмірами

Діаметр отворів сита, мм	Глухе сито	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Відсоткове співвідношення фракцій, %	0,6	0,33	0,56	2,12	18,52	48,67	24,5	4,06	0,57	0,07

Склад та якісні показники отриманих на решітному класифікаторі фракцій наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати обробки гречки на ситовому класифікаторі

Найменування показників	Діаметр отворів сита, мм									
	Глухе сито	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
Склад фракцій, %: ціле зерно,	0	0	0,53	30,73	97,41	99,94	99,85	99,46	99,18	93,17
пошкоджене зерно,	63,30	88,97	95,32	66,98	2,39	0,03	0	0	0	0
домішки всього,	36,70	11,03	4,15	2,29	0,20	0,03	0,15	0,54	0,82	6,83
Вміст ядра у виділеному зерні, %	–	–	0	81,58	78,35	79,09	77,44	73,61	78,08	72,26
Маса 1000 зерен, гр.	–	–	–	19,5	24,6	29,8	33,9	37,9	42	44,9
Енергія проростання зерна, %	–	–	–	–	96	97	99	96	94	–
Лабораторна схожість зерна, %	–	–	–	–	97	98	100	98	99	–

Аналіз таблиць 3.3 і 3.4 показує, що на решітках з діаметром отворів менше 3,5 мм відбувається виділення зернівок гречки, в яких відсутні ядра. Також через решето з діаметром отворів 3,5 мм проходить більшість дрібних домішок та деяка частина пошкоджених зернівок гречки.

На решеті з діаметром отворів 3,5 мм залишається невелика кількість

зернівок гречки (близько 0,65% від усього зразка), які відрізняються істотно меншою масою 1000 зернівок (19,5 гр.), У порівнянні з зернівками інших фракцій, що говорить про їх низькі посівні якості, тому їхню енергію проростання та лабораторну схожість не визначали. Насіння, що має високі посівні якості, залишається на решітках з діаметром отворів від 4,0 до 6,5 мм.

При цьому обвалені зернівки відсутні тільки на решітках з діаметром отворів 5 мм і більше.

Таким чином, результати досліджень показали, що аспірацією і на решітках без втрат насінневого матеріалу можна виділити лише малу частку обвалених зернівок гречки. Це пояснюється тим, що обрушені зерна мають велику подібні розміри та аеродинамічні властивості з повноцінним насінням. Однак вони різко різняться за кольором. Тому для виділення обвалених зернівок гречки доцільно застосовувати оптичний сепаратор, тим більше, що фотосепаратор не має робочих органів, які травмують насіння.

Проведені дослідження дозволяють скласти рекомендації щодо комплектації та налаштування двоаспіраційної фракційної повітряно-решітної машини для обробки зернового вороху гречки. А саме: швидкість повітряного потоку першої аспірації має бути (4,8...5,0) м/с; колосові грати повинні мати отвори діаметром не менше (7,0...7,5) мм; сортувальні решета необхідно встановлювати з діаметром отворів 4,0 мм, а підсівні (3,0...3,5) мм; швидкість повітряного потоку другої аспірації слід встановлювати (5,5...5,7) м/с. У цьому випадку втрати повноцінних зернівок з високими посівними якостями будуть мінімальними, а в зерновій масі гречки залишаться тільки важкі для відділення домішки, і фотосепаратор працюватиме найефективніше.

3.3. Перевірка адекватності математичної моделі руху часточок по скатному лотку

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі руху частинок з моменту їх потрапляння на скатний лоток до місця вибракування домішок було проведено дослід на фотосепараторі. Кут установки скатного

лотка фотосепаратора до горизонту був відомий: $\alpha=60^0$. Експериментально визначили коефіцієнт тертя повноцінних зернівок гречки по скатній поверхні – $f_2=0,338$.

В експерименті змінювали початкову швидкість зернівок гречки на скатному лотку V_{0i} , внаслідок чого змінювалася швидкість сходу гречки зі скатного лотка V_{cxi} і шлях, який проходять зернівки гречки по скатному лотку S_i . Швидкість сходу зернівок з лотка V_{cxi} у кожному i -му досліді визначали експериментально.

Для перевірки адекватності розробленої математичної моделі також розраховували теоретичну швидкість сходу зернівок зі скатного лотка (V_{cxi}^T).

Експериментальні та теоретичні значення деяких параметрів, а також їх розбіжності представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Експериментальні та теоретичні значення

Номер досліду	Експериментальні значення		Розрахункові значення швидкості сходження V_{cxi}^T , м/с	Розбіжність δ , %
	Початкової швидкості V_{0i} , м/с	Швидкості сходження V_{cxi} , м/с		
1	0,62	3,03	2,97	1,98
2	0,71	3,13	3,01	3,83
3	0,80	3,14	3,05	2,87
4	0,87	3,15	3,08	2,22
5	0,94	3,17	3,11	1,89

Для наочності, експериментальні та теоретичні значення швидкості сходу зернівок гречки зі скатного лотка в залежності від початкової швидкості зернівок на скатному лотку наведені у вигляді графіків на рис. 3.6.

Дані таблиці 3.5 та рис. 3.6 свідчать про те, що мінімальна розбіжність експериментальних та теоретичних значень швидкості сходу зернівок гречки зі скатного лотка становить 1,89 %, а максимальна розбіжність – 3,83 %. Тобто максимальна розбіжність експериментальних та теоретичних даних не перевищує 4 %.

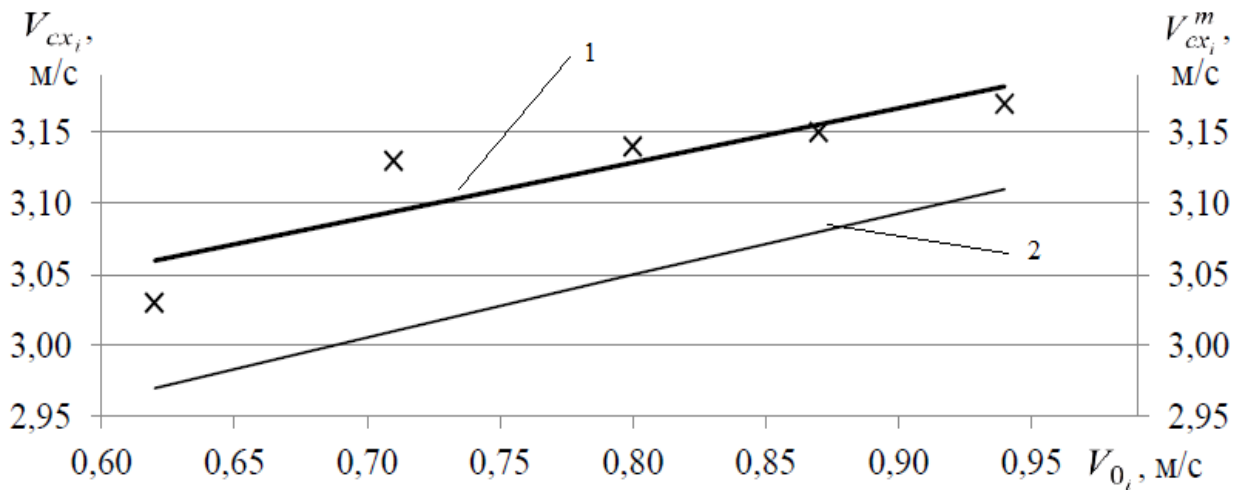


Рис. 3.6 – Експериментальні (1) та теоретичні (2) значення швидкості сходу насіння гречки зі скатного лотка: V_{cxi}^T – теоретична (розрахункова) швидкість сходу зерновок гречки зі скатного лотка, м/с; V_{cxi} – швидкість сходу зернівок гречки зі скатного лотка, визначена експериментально, м/с; V_{0i} – початкова швидкість зернівок гречки на скатному лотку, м/с

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують адекватність математичної моделі руху оброблюваних частинок у фотосепараторі з моменту їх попадання на скатний лоток до місця вибракування домішок і свідчать, що розроблена математична модель дозволяє отримувати досить точні результати.

3.4 Визначення раціональної довжини скатної поверхні лотка фотосепаратора

Для визначення раціональної довжини скатної поверхні при фотосепаруванні гречки проводили розрахунки з прикладу конкретного зернового вороху, використовуючи розроблену математичну модель. На фотосепараторі експериментально були встановлені наступні показники: початкова швидкість частинок на похилій площині – $V_0 = 0,952$ м/с; коефіцієнт тертя обрушених зернівок гречки по гладкій скляній скатній поверхні – $f_l = 0,359$; коефіцієнт тертя повноцінного насіння гречки по тій же скатній

поверхні – $f_2 = 0,338$ та відстань від краю (торця) скатного лотка до місця вибракування домішок – $B_B = 0,038$ м. Також було визначено середній розмір оброблюваних частинок (насіння гречки) – $r = 0,0045$ м.

У ході розрахунків, підбираючи значення довжини лотка, визначили максимальну довжину скатної поверхні $S_{max} = 1,04$ м, за якої виконувались умови, описані рівняннями (2.55) та (2.56) математичної моделі:

$$(S_{int}^{mp} = 8,43 \cdot 10^{-3}) > 0;$$

$$(S_{int_B}^{mp} = 5,8 \cdot 10^{-3}) > (S_{int_B}^{min} = 3,96 \cdot 10^{-3}).$$

Виконання цих умов означає, що повноцінне насіння гречки не повинно створювати перешкод при розпізнаванні домішок (обрушених зернівок) і не повинно потрапляти в повітряний струмінь при вибракуванні обвалених зернівок гречки.

Нижній поріг довжини скатної поверхні був визначений експериментально щодо погіршення якості очищення. Результати досліджень фотосепарування гречки за різної довжини скатної поверхні наведені у вигляді графіків на рис. 3.7.

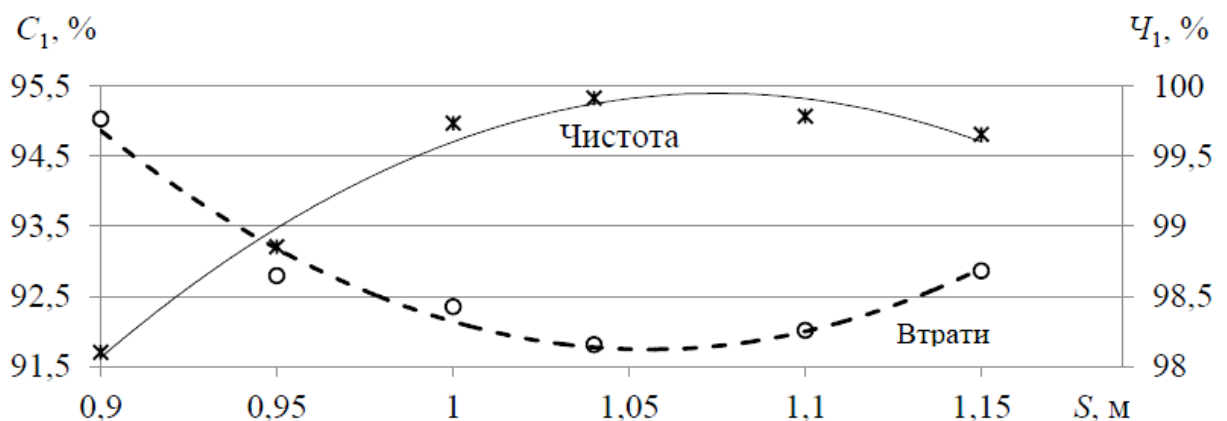


Рис. 3.7 – Фотосепарування гречки за різної довжини скатної поверхні: C_1 – вміст насіння гречки у товарній фракції, %; S – шлях оброблюваних частинок скатним лотком, м; Ч_1 – вміст цілих зернівок гречки в насінні (чистота насіння), %.

Як видно з графіків рис. 3.7, зі збільшенням довжини скатної поверхні

S понад значення, визначеного за допомогою математичної моделі $S_{\max} = 1,04$ м, спостерігається збільшення втрат придатного насіння у відходи і несуттєво знижується чистота одержуваного насіння. При скороченні довжини лотка S нижче значення $S_{\max} = 1,04$ м спостерігається значне зниження чистоти насінневої фракції та збільшення втрат насіння у відходи. Істотне збільшення втрат спостерігається за $S = 0,95$ м (рис. 3.7). Дослідження не проводили при довжині скатного лотка менше 0,9 м, тому що при цьому чистота насінневої фракції (98,1%) несуттєво відрізнялася від чистоти вихідного вороху (98,5%), тобто очищення не відбувалося.

Дослідження проводили з постійною продуктивністю фотосепаратора. При цьому була обрана максимальна продуктивність, яка забезпечувала суцільну (безперервну) одношарову подачу матеріалу на лоток. Одношаровість подачі контролювали візуально. Тому не виключена була можливість порушення одношарової подачі. Цим можна пояснити збільшення втрат придатного продукту у відходи та зниження чистоти насінневої фракції при скороченні довжини скатної поверхні менше 1,04 м. Можна припустити, що довжини лотка більше 1,0 м достатньо для вирівнювання в один шар і розподілу частинок, що обробляються по скатному лотку відносно одна одної при порушенні одношарової подачі. Тому не спостерігається суттєвого зниження чистоти одержуваного насіння при довжині лотка понад 1,0 м.

При скороченні довжини скатного лотка менше 1,0 м частинки не встигають вирівнюватися в один шар і розподілятися відносно один одного по скатному лотку, що призводить до погіршення розпізнавання дефектів і збільшення втрат при вибракуванні домішок, тобто до зниження якості фотосепарування.

При збільшенні використовуваної довжини похилої площини понад $S_{\max} = 1,04$ м частинки з меншим коефіцієнтом тертя по скатній поверхні (насіння гречки) «наздоганяють» частинки з великим коефіцієнтом тертя (обрушені зернівки), тобто при вибракуванні обрушених зернівок у повітряний факел потрапляє кондиційне насіння гречки. Тому спостерігається

збільшення втрат придатного продукту фракцію із відходів. При цьому насіння гречки може створювати перешкоди при розпізнаванні домішок, чим можна пояснити незначне зниження чистоти насінневих фракцій, отриманих при $S = 1,04$ м.

Аналізуючи графіки рис. 3.7, можна дійти невтішного висновку, що з фотосепарування даної зернової маси гречки кращою є довжина скатної поверхні не більше $(1,0 \dots 1,1)$ м. Найкращим її значенням є значення $S_{\max} = 1,04$ м, що визначене із використанням математичні моделі.

3.5 Вплив складу зернового вороху на якісні показники процесу сепарації

Для дослідження впливу складу зернового вороху на якість його фотосепарування було відібрано зразки гречки з низки господарств Вінницької області. Склад зразків був різним. Зразки очищали за однакових режимів роботи фотосепаратора [67, 47]. Результати очищення зразків на фотосепараторі наведено у таблиці 3.6. Відсоткове співвідношення отриманих при цьому фракцій наведено у таблиці 3.7, з якої видно, що при фотосепаруванні зразків гречки вихід насінневої фракції в середньому становив 87,94%, вихід товарної фракції при цьому становив від 5,99 до 32,57% (в середньому 12,06%) від вихідного вороху.

З таблиці 3.6 видно, що вихідна купа зразків гречки містила від 0,05 до 1,40% (в середньому 0,35%) обвалених зерновок і від 0,21 до 8,99% (у середньому 1,61%) домішок. В результаті обробки гречки на фотосепараторі насіннева фракція містила від 0 до 0,51% обрушеного зерна, що в середньому становило 0,08%. Тобто за допомогою фотосепарування вміст обваленого зерна скоротили в середньому більш ніж у 4 рази. При цьому вміст домішок було знижено в середньому більш ніж 2 рази (у середньому до 0,74%).

Для зниження втрат товарну фракцію часто обробляють повторно.

Однак, незважаючи на можливість ефективного очищення товарної фракції фотосепаратором [61], ми вважаємо, що в товарній фракції містяться

зернівки з нижчими посівними якостями, які краще використовувати для отримання крупи [68]. Тому ми рекомендуємо проводити операції, не пов'язані з отриманням насіння за межами насіння очисного агрегату (наприклад, на крупозаводі).

Таблиця 3.6 – Результати фотосепарування зразків зернової маси гречки

Фракція	Компонент	Вміст компонентів в зразках, %											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	С.з.
Вихідна	Ціле	99,15	98,74	98,49	90,42	97,81	97,59	99,29	99,12	99,46	98,86	99,48	98,04
	Обв.	0,14	0,13	0,53	0,59	1,40	0,09	0,10	0,20	0,05	0,30	0,31	0,35
	Дом.	0,71	1,13	0,98	8,99	0,79	2,32	0,61	0,68	0,49	0,84	0,21	1,61
Насіннева	Ціле	99,56	99,61	99,51	95,58	98,95	99,25	99,82	99,63	99,79	99,46	99,77	99,18
	Обв.	0,05	0,03	0,07	0,10	0,51	0	0,04	0,07	0	0,01	0,03	0,08
	Дом.	0,39	0,36	0,42	4,32	0,54	0,75	0,14	0,30	0,21	0,53	0,20	0,74
Товарна	Ціле	99,10	96,14	94,26	87,81	85,74	96,73	93,59	97,48	98,76	97,12	94,19	94,63
	Обв.	0,49	0,97	2,91	2,47	12,53	0,41	1,21	1,28	0,48	1,86	4,31	2,63
	Дом.	0,41	2,89	2,83	9,72	1,73	2,86	5,20	1,24	0,76	1,02	1,50	2,74

Таблиця 3.7 – Відсоткове співвідношення отриманих фракцій, %

№	Назва фракції	
	Насіннева	Товарна
1	92,31	7,69
2	92,07	7,93
3	87,89	12,11
4	67,43	32,57
5	87,11	12,89
6	83,71	16,29
7	89,81	10,19
8	88,52	11,48
9	92,98	7,02
10	91,62	8,38
11	94,01	5,99
Середнє по зразкам	87,94	12,06

У ході досліджень також було визначено збільшення обвалених зернівок гречки внаслідок фотосепарування кожного зразка. Результати

представлені у таблиці 3.8. Необхідно уточнити, що дані таблиці 3.8 враховують вплив тільки фотосепаратора, тому що завантаження проводили вручну без використання органів транспорту, застосовуючи пластикові контейнери.

Таблиця 3.8 – Руйнування гречки під час процесу сепарації співвідношення отриманих фракцій, %

Показник	Значення показника по зразкам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Середнє
Δ_{01} , %	0,01	0,04	0,02	0,07	0,09	0	0,06	0,01	0	0,01	0	0,03

Дані таблиці 3.8 дозволяють дійти невтішного висновку, що застосування фотосепаратора призвело до несуттєвого збільшення вмісту обрубаних зернівок.

При цьому збільшення вмісту обвалених зернівок спостерігалось у 8 зразках з 11 і в середньому склало 0,03%. Дуже важливо відзначити, що збільшення кількості обвалених зернівок відбувалося не в насінній фракції, а в товарній. Це пояснюється тим, що недозрілі та обрублені зернівки гречки, які виділяє фотосепаратор, можуть травмуватися при передачі імпульсу повітряним струменем, ударяючись об бічні поверхні приймального пристрою (стілки приймача товарної фракції). Зернівки, травмовані раніше, можуть обрушуватися внаслідок зіткнення зі стінками приймача. При цьому насіннева фракція не піддається впливу повітряного струменя і у вільному падінні рухається до приймача для збору очищеної фракції.

Дані результати досліджень показують, що для зниження травмування насіння, збільшення їх виходу та підвищення їх посівних якостей доцільно застосовувати фотосепаратор, тому що при фотосепаруванні практично не проявляється механічних впливів на насінний матеріал.

Також у ході досліджень, використовуючи дані таблиці 3.6, було визначено залежність вмісту повноцінних зернівок гречки у насінній фракції (чистоти насіння) від складу вихідного вороху, а саме від вмісту домішок та обрубаних зернівок гречки у загальній масі, яку подавали для очищення на

фотосепаратор. Ця залежність описується наступним рівнянням:

$$Ч_1 = 99,8924 - 0,2107 \cdot П - 0,2973 \cdot С_0 - 0,0761 \cdot П \cdot С_0 - 0,1303 \cdot С_0^2, \quad (3.1)$$

де $П$ – вміст домішок у вихідній масі, %.

Вираз (3.1) є остаточним рівнянням після виключення незначних коефіцієнтів регресії. Залежність, що описується рівнянням (3.1), більш наочно представлена, у вигляді графіка на рис. 3.8.

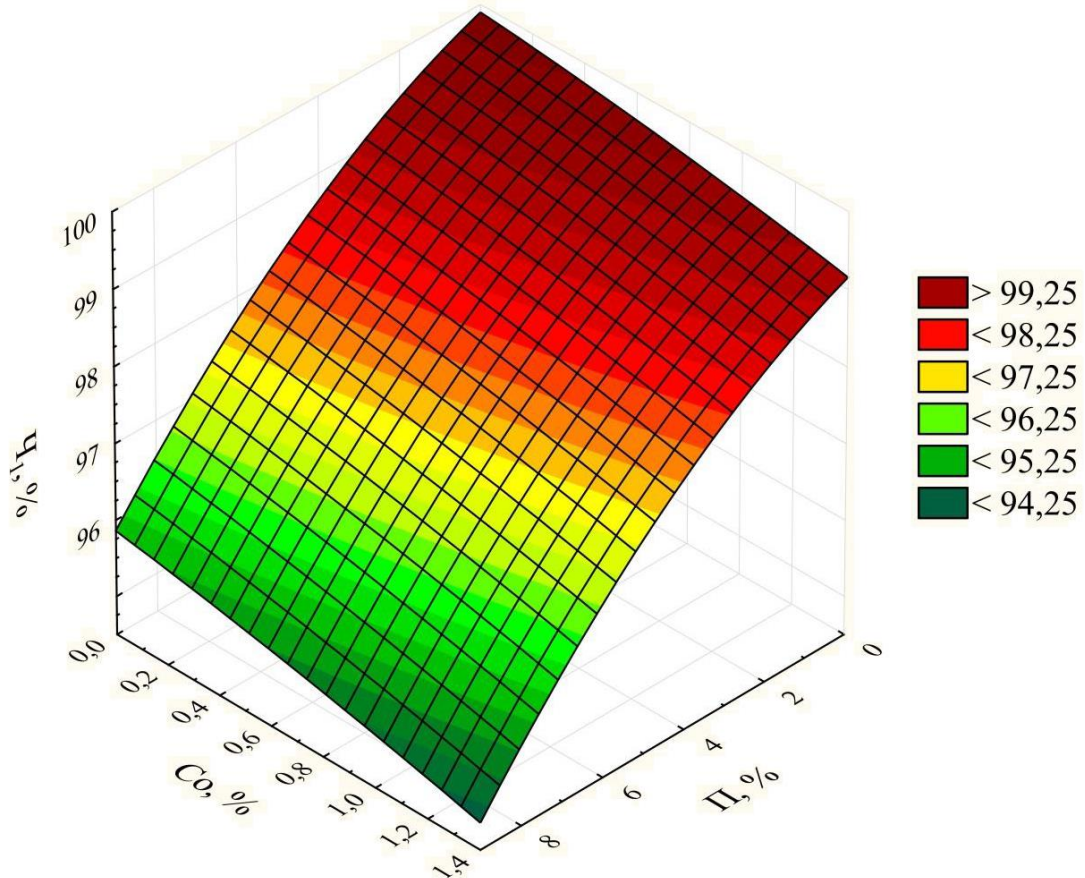


Рис. 3.8 – Залежність чистоти насіння від складу вихідного вороху: $Ч_1$ – вміст цілих зернівок гречки в очищеному насінні (чистота насіння), %; $П$ – вміст домішок у вихідній купі, %; $С_0$ – вміст обвалених зерновок гречки на вихідному купі, %

Аналізуючи графік на малюнку 3.8, стає ясно, що при повній відсутності або низькому вмісті домішок у вихідній купі вміст у ньому обрушених зернівок гречки до 1,4% буде незначно впливати на чистоту насіння, що одержується. У цьому випадку чистота насінневої фракції буде близькою до 100%.

Якщо ж відсоток домішок у вихідній купі високий, то навіть відсутність у ньому обвалених зерновок гречки не дозволить досягти високих результатів очищення насіння.

Користуючись рівнянням (3.1), можна розрахувати, що при фотосепаруванні зернового вороху гречки із вмістом обрушених зерен до 1,4% та наявності в ньому домішок до 3,3% можна отримувати насіннєву фракцію з чистотою близько 98%, що відповідає вимогам ГОСТу до репродукційного насіння [38].

У ході досліджень було визначено, що від складу вихідного вороху також залежить кількість насіннєвої фракції (вихід насіння). Цю залежність після виключення незначних коефіцієнтів регресії можна надати наступним рівнянням:

$$K_1 = 95,2818 - 2,8664 \cdot C_0 - 5,195 \cdot П - 0,5116 \cdot C_0 \cdot П + 0,2869 \cdot П^2. \quad 3.2$$

Залежність, що описується рівнянням (3.2), наведена у графічному вигляді на рис. 3.9.

Графік на рис. 3.9 показує, що на вихід насіннєвої фракції значний вплив надає вміст домішок у вихідній масі. При низькому вмісті або повній відсутності домішок у вихідній масі, кількість одержуваного насіння буде максимально високою. Це ще раз доводить необхідність очищення зернового купу перед фотосепаруванням.

Рівняння (3.2) дозволяє розрахувати, що фотосепарування зернової маси гречки, що містить до 1,4% обвалених зернівок гречки, може дозволити отримувати близько 85% очищеного насіння від маси вихідного вороху, якщо у вихідній масі вміст домішок не перевищуватиме 1,15%.

Для аналізу відповідності отриманого насіння вимогам ГОСТу було визначено їхню енергію проростання та лабораторну схожість. Результати порівняли з вихідною купою та вимогами ГОСТ Р 52325-2005. Середнє значення лабораторної схожості вихідного вороху зразків становило 91 %, що відповідає вимогам ГОСТу до репродукційного насіння, призначеним для

товарних цілей. Лабораторна схожість очищеного на фотосепараторі насіння, яка в середньому склала 97 %, перевищує вимоги ГОСТу для елітного та оригінального насіння (92 %) [38].

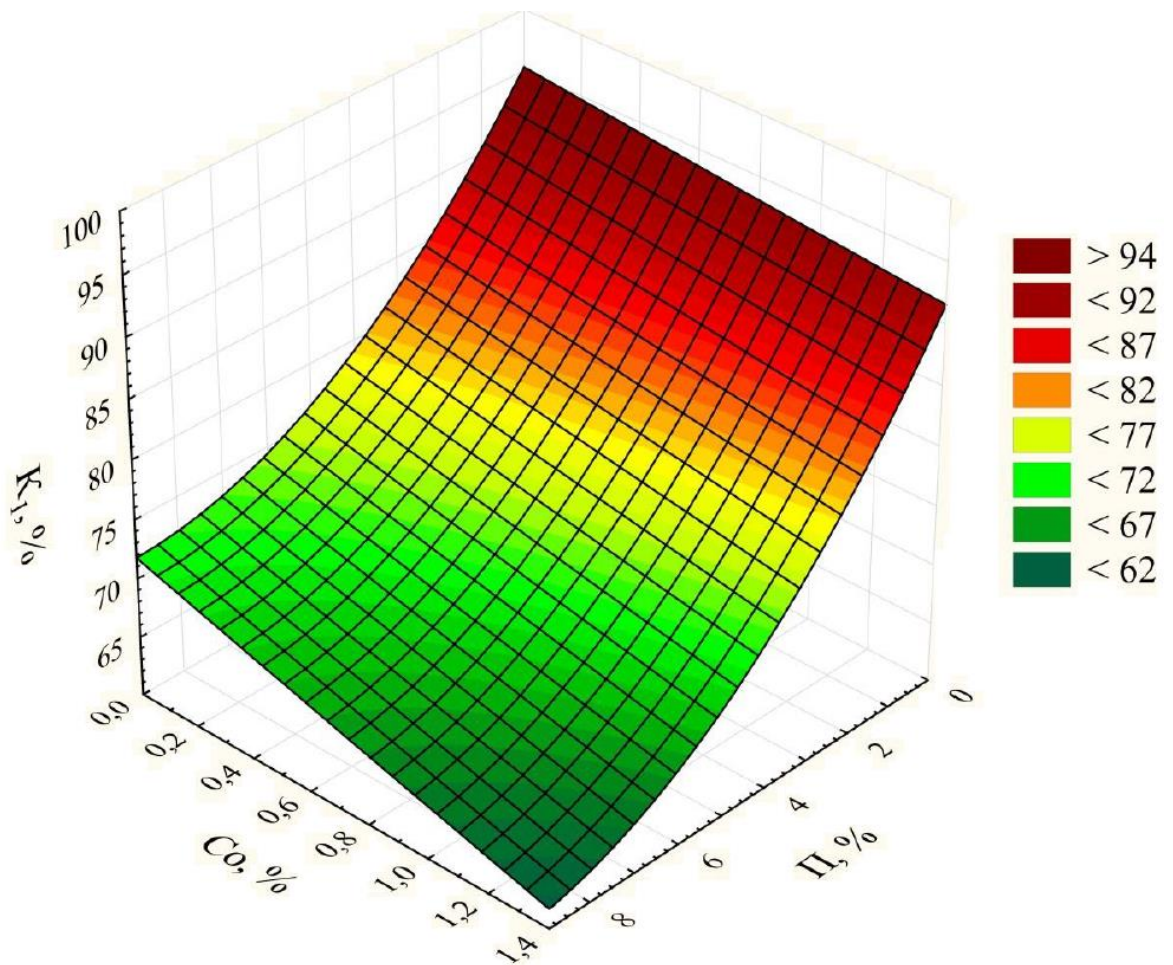


Рис. 3.9 – Залежність кількості насіння від складу вихідного вороху: K_1 – частка (кількість) насінневої фракції від вихідного вороху (вихід насіння), %; Π – вміст домішок у вихідній купі, %; C_0 – вміст обвалених зернівок гречки на вихідному купі, %

Застосування фотосепаратора може дозволити не тільки підвищити схожість одержуваного насіння, але і краще зберегти їх посівні якості. Цей ефект буде особливо явним при вирощуванні ярих культур.

Отримані в результаті досліджень залежності (3.1) і (3.2); рис. 3. і 4.4) наочно показують вплив складу зернового вороху на чистоту і кількість очищеного на фотосепараторі насіння і відображають характер зміни чистоти та кількості очищеної фракції від складу оброблюваного вороха. Отримані

залежності дозволяють визначити орієнтовні значення кількості та чистоти насінневої фракції до початку фотосепарування, знаючи склад зернового вороху, підготовленого до фотосепарування.

Аналіз результатів досліджень також говорить про те, що фотосепарування дозволяє підвищити схожість одержуваного насіння і може поліпшити їх збереження. Однак зернову масу необхідно готувати до обробки на фотосепараторі, максимально знизивши вміст домішок, не перевищуючи при цьому допустимі втрати цінного насіння. Це дозволить підвищити чистоту та збільшити вихід очищеного насіння.

3.6 Вплив конструктивних параметрів лотків на якісні показники процесу

Важливим робочим органом фотосепаратора є скатний лоток, який призначений для розгону, розосередження компонентів матеріалу, що обробляється відносно один одного і при необхідності вирівнювання їх в одношаровий потік. Скатні лотки можуть бути гладкими або рифленими. По гладкому лотку зернова маса може рухатися одношаровим потоком, використовуючи всю ширину лотка. По рифленому лотку, оброблюваний матеріал рухається жолобками, розділеними рифами, тобто. ширина лотка не повністю. Тоді, очевидно, що при однаково розрідженому потоці на виході зі скатного лотка та однакової ширині лотків більш високу продуктивність фотосепаратора забезпечує гладкий скатний лоток.

Характер руху оброблюваних частинок по скатному лотку впливає на якість його очищення залежить як від геометричних параметрів скатної поверхні лотка, і від коефіцієнта тертя оброблюваного матеріалу з ній. Вищий коефіцієнт тертя знижує прискорення зернівок по лотку, погіршує розподіл оброблюваних частинок і може викликати їх кочення по скатній поверхні. Це може знизити якість процесу.

Зернова маса гречки, взята від комбайнів, була очищена повітряно-решітною машиною. При цьому вміст повноцінного зерна становив 98,83%,

обваленого – 0,90% та домішок – 0,27%. Підготовлена зернова маса була розділена на 4 зразки для дослідження процесу сепарування з використанням чотирьох типів скатних лотків.

При очищенні гречки на фотосепараторі з вихідного вороху отримали очищене насіння та товарну фракцію. Кількісні результати обробки зразків гречки при встановленні на сепаратор кожного з досліджуваних лотків наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Відсоткове співвідношення фракцій при використанні різних лотків, %

Фракція	Варіанти лотків			
	Гладенький, №1	Дрібнорифлений, №2	Широкорифлений, №3	Глибокорифлений, №4
Вихідна	100,00	100,00	100,00	100,00
Очищена	94,32	92,50	91,38	87,34
Товарна	5,68	7,50	8,62	12,66

Для наочного представлення дані таблиці 3.9 зображені на рис. 3.10.

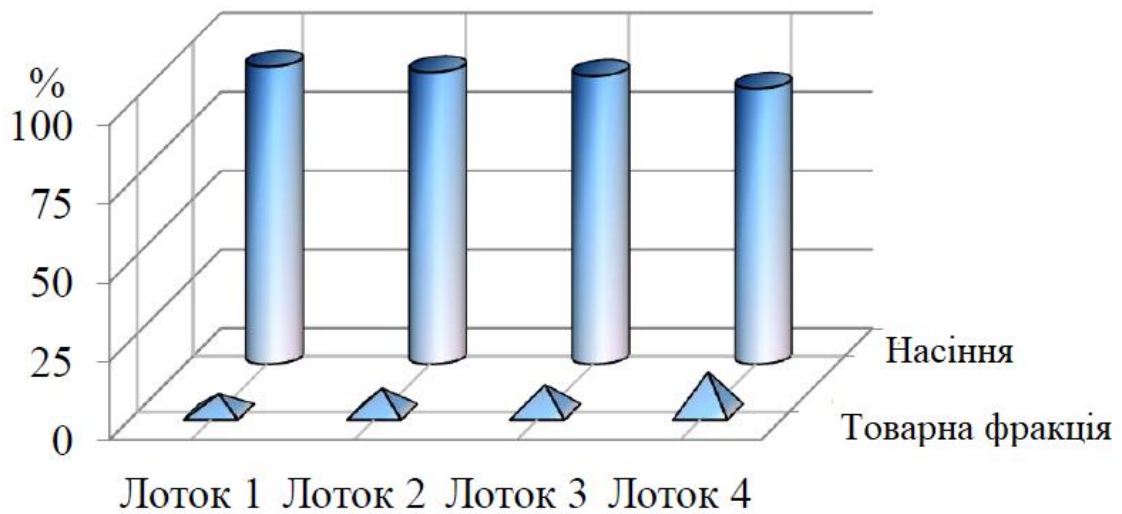


Рис. 3.10 – Вихід фракцій при використанні різних лотків

Аналіз даних таблиці 3.9 і рис. 3.10 показує, що при очищенні гречки на фотосепараторі з використанням гладкого лотка виділили найбільшу кількість очищеного насіння – 94,32%, тоді як при використанні лотків з дрібнорифленою робочою поверхнею було виділено 92,50% очищеної маси, з

широкорифленою скатною поверхнею – 91,38% та глибокорифленою – 87,34%.

Це може бути пов'язано, як з більш ефективним використанням робочої поверхні гладкого лотка, так і з нижчим коефіцієнтом тертя оброблюваного матеріалу по скляній поверхні, ніж по рифленим лоткам.

Аналіз якісних показників отриманих фракцій представлений у таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Результати фото-сепарації гречки на різних скатних лотках

Фракція	Лоток	Відсоток компонентів, %		
		Цільне	Очищене	Домішки
Вихідна маса		98,73	0,90	0,37
Насіння	1	99,92	0,01	0,07
	2	99,79	0,03	0,18
	3	99,77	0,03	0,20
	4	99,78	0,07	0,15
Товарна фракція	1	82,97	15,04	1,99
	2	85,45	13,28	1,27
	3	87,85	11,23	0,92
	4	92,71	6,56	0,73

Дані таблиці 3.10 свідчать про те, що застосування гладкого лотка дозволило отримати найбільш чисту насіннєву фракцію (99,92%) в порівнянні з іншими скатними лотками (99,77 ... 99,79%). При цьому найменший вміст пошкоджених зернівок в очищеному насінні (0,01%) було отримано також при використанні гладкого скатного лотка.

Використання гладкого скатного лотка також дозволило отримати товарну фракцію з вмістом цілих зернин гречки 82,97%, у той час як при використанні дрібнорифленого лотка в товарній фракції містилося 85,45% цілих зернин гречки; при використанні широкорифленого лотка вміст цілих зернин у товарній фракції становило 87,85%, а при використанні глибокорифленого скатного лотка – 92,71%. Тобто найменші втрати цілих зернин гречки були отримані при використанні гладкого лотка зі скляною поверхнею.

Таким чином, результати проведених досліджень показують, що

застосування гладкого скатного лотка дозволяє збільшити чистоту одержуваного насіння на 0,13 ... 0,15% і вихід насінневої фракції на 1,82 ... 6,98% в порівнянні з рифленими скатними лотками. При цьому спостерігається скорочення втрат насіння гречки на 2,48...9,74%.

3.7 Дослідження впливу продуктивності сепаратора на якісні показники процесу

Для визначення впливу продуктивності на якість процесу сепарації насіння зразок підготовленої зернової маси гречки розділили на п'ять рівних частин, і обробляли їх при 5 різних значеннях подачі матеріалу, що обробляється, на один скатний лоток фотосепаратора (W_i , т/год). Інші налаштування були незмінними [58]. В результаті з кожного зразка було отримано очищене насіння та товарна фракція. Кількісні та якісні показники оброблюваної зернової суміші та отриманих фракцій наведено у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Результати сепарації гречки за різної продуктивності сепаратора

Подача матеріалу, т/год	Частка компонентів, %				Маса 1000 зерн., гр.	Співвідношення фракцій, %
	Зерно гречки			Домішки		
	Ціле	Очищене	Пошкоджене			
Вихідна маса						
–	97,62	0,93	1,30	0,15	29,75	100
Насіння						
0,1	98,50	0,08	1,41	0,01	29,87	89,16
1	98,46	0,09	1,42	0,04	29,83	88,60
2	98,16	0,07	1,75	0,02	29,71	88,60
3	97,94	0,09	1,91	0,06	29,73	86,43
4	97,44	0,14	2,31	0,11	29,70	85,27
Товарна фракція						
0,1	80,26	16,42	2,42	0,90	27,74	10,84
1	81,65	15,17	2,53	0,65	27,89	11,40
2	83,40	13,25	2,46	0,89	28,17	11,40
3	86,00	11,38	1,96	0,66	28,41	13,57
4	88,05	9,18	2,29	0,48	28,64	14,73

Найменше досліджуване значення W_i відповідає дуже низькій

продуктивності (~100 кг/год), при якій вкрай рідко можуть використовувати фотосепаратор. Тому дослідження нижчих продуктивностей є недоцільним. При збільшенні подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора було виявлено, що при $W_i = 4$ т/год чистота одержуваного насіння виявилася нижчою, ніж чистота вихідної зернової маси (табл. 3.11). Тобто на цьому режимі фотосепаратор перестав виконувати своє безпосереднє призначення. Тому дослідження вищих значень його продуктивності є недоцільним.

З таблиці 3.11 видно, що зі збільшенням подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора з 0,1 до 4 т/год частка цілих зернівок гречки в насінні знижується з 98,50 до 97,44%. При цьому вміст цілих зернівок у товарній фракції зростає з 80,26 до 88,05%. Зміст очищених зернівок гречки в насінні зростає зі збільшенням продуктивності фотосепаратора, а товарної фракції – знижується.

Як видно з даних таблиці 3.11, найменший вміст домішок у насіннєвій фракції (0,01%) було отримано при мінімальній подачі матеріалу, що обробляється на скатний лоток фотосепаратора (0,1 т/год). Мінімальний вміст домішок (0,48%) у товарній фракції спостерігалось при $W_i = 4$ т/год. Також дані таблиці 4.12 показують, що зі збільшенням продуктивності маса 1000 насінин знижується з 29,87 до 29,70 гр., а товарної фракції зростає з 27,74 до 28,64 гр.

Аналізуючи дані таблиці 3.11, стає очевидним, що збільшення подачі оброблюваного матеріалу на лоток фотосепаратора з 0,1 до 4 т/год призвело до зниження виходу насіннєвої фракції з 89,16 до 85,27% від маси вихідної зернової маси.

Все це говорить про те, що зі збільшенням продуктивності втрати повноцінного насіння у відходову фракцію зростають, а чистота і вихід одержуваного насіння знижуються.

Користуючись даними таблиці 3.11, було визначено залежність

кількості та чистоти насінневої фракції від продуктивності фотосепаратора, що наведено на рис. 3.11.

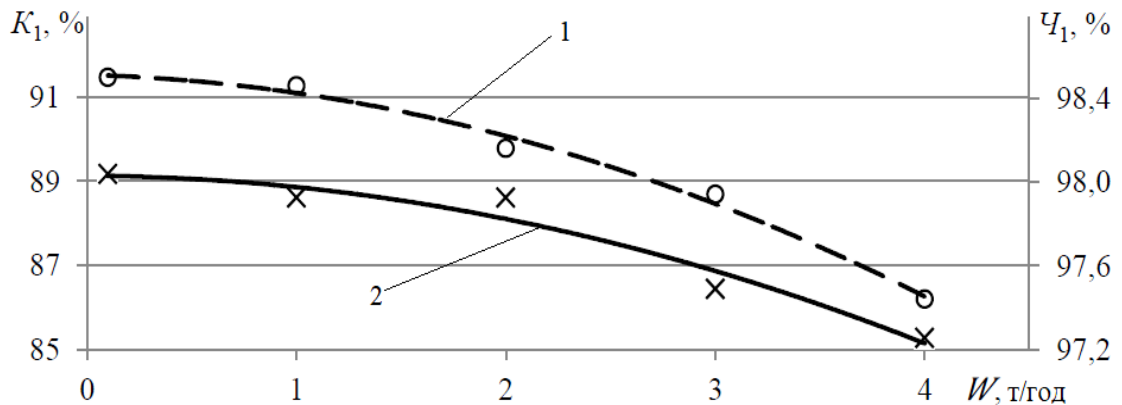


Рис. 3.11 – Залежності чистоти (1) та виходу (2) насінневої фракції від продуктивності фотосепаратора: K_1 – частка насінневої фракції від вихідного вороху, %; Ч_1 – вміст цілих зернівок гречки у насінні (чистота насіння), %; W – подача оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора, т/год.

Графіки на рис. 3.11 наочно показують, що зі збільшенням продуктивності фотосепаратора знижується відсоток (кількість) насінневої фракції (K_1), причому, чим вище подача оброблюваного матеріалу на скатний лоток сепаратора, тим швидше скорочується вихід насіння. Чистота насіння (Ч_1) має схожу залежність – зі збільшенням продуктивності чистота насіння знижується.

Залежності вмісту обвалених зернівок та домішок у насінні від продуктивності фотосепаратора представлені на рис. 3.12.

Під час аналізу графіків на рис. 3.12 стає ясно, що вміст очищених зернівок і домішок в одержуваному насінні (C_{o1} і П_1) мають пряму квадратичну залежність від подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора, тобто чим більше продуктивність, тим більше очищених зернівок і домішок залишається в насінній фракції.

У ході досліджень також було визначено залежність зміни маси 1000 зернівок у насінній фракції від подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора, яка наочно представлена на рис. 3.13.

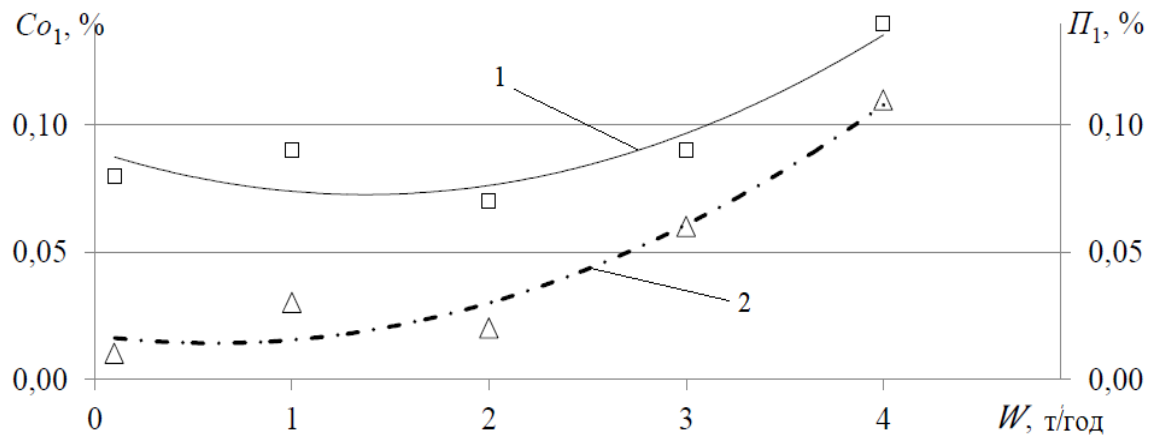


Рис. 3.12 – Залежності вмісту очищених (1) зернівок та домішок (2) у насіннєвій фракції від продуктивності фотосепаратора: C_1 – вміст обрушених зерновок гречки на насіннєвій фракції, %; Π_1 – вміст домішок у насінній фракції, %; W – подача оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора, т/год.

Графік на рис. 3.13 свідчить про те, що зміна маси 1000 насінин насіннєвої фракції має зворотну квадратичну залежність, тобто, зі збільшенням продуктивності маса 1000 зернівок очищеного насіння знижується.

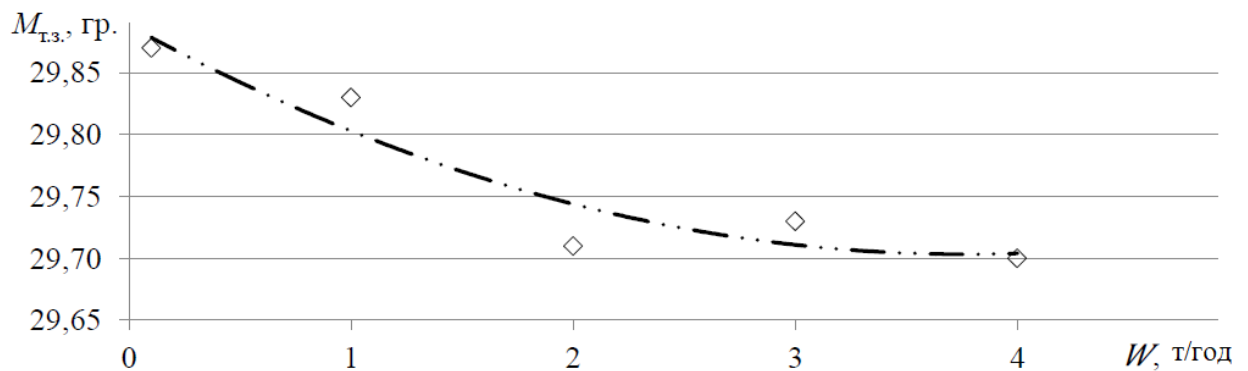


Рис. 3.13 – Зміна маси 1000 зернівок насіннєвої фракції від продуктивності фотосепаратора: $M_{т.з.}$ – маса 1000 зернівок насіннєвої фракції, гр.; W – подача оброблюваного матеріалу на скатний лоток, т/год.

Таким чином, результати досліджень показують, що при збільшенні

продуктивності зменшується кількість одержуваного насіння, і знижується їх чистота. Зниження маси 1000 насінин при збільшенні подачі оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора говорить про те, що зі збільшенням продуктивності найбільш зрілі, готові зернівки гречки більшою мірою направляються в товарну фракцію, знижуючи тим самим якість насіння і збільшуючи їх втрати. Якість насіння при збільшенні продуктивності фотосепаратора також знижується ще й тому, що при цьому збільшується кількість обрушених зернових гречки та домішок, що залишаються в насінні.

З цього випливає, що продуктивність фотосепаратора має прямий вплив на якість і кількість насінневої фракції, а також на втрати цінного насіння. Тому продуктивність фотосепаратора слід встановлювати таким чином, щоб забезпечувалася необхідна якість одержуваної продукції, не допускаючи втрат цінного насіння. Також можна зробити висновок, що для отримання потрібної якості готової продукції обробка добре підготовленого насінневого матеріалу дозволить встановити більшу продуктивність фотосепаратора, ніж при обробці непідготовленої або погано підготовленої зернової маси.

РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У фотосепараторі оброблюваний матеріал за допомогою вібрації віброживильника подають з бункера на лоток скатний (рис. 4.1) [58], де відбувається розгін і розосередження компонентів відносно один одного. Потім компоненти суміші потрапляють до зони обстеження, де сканується фотоелементами. При виявленні домішки відбувається видалення повітряним імпульсом.

Продуктивність фотосепаратора (кількість матеріалу, що подається в одиницю часу) регулюють рівнем вібрації віброживильника, змінюючи амплітуду коливань електромагнітного вібраційного при незмінній частоті коливань. Продуктивність фотосепаратора, що встановлюється, залежить від виду оброблюваного матеріалу і його засміченості.

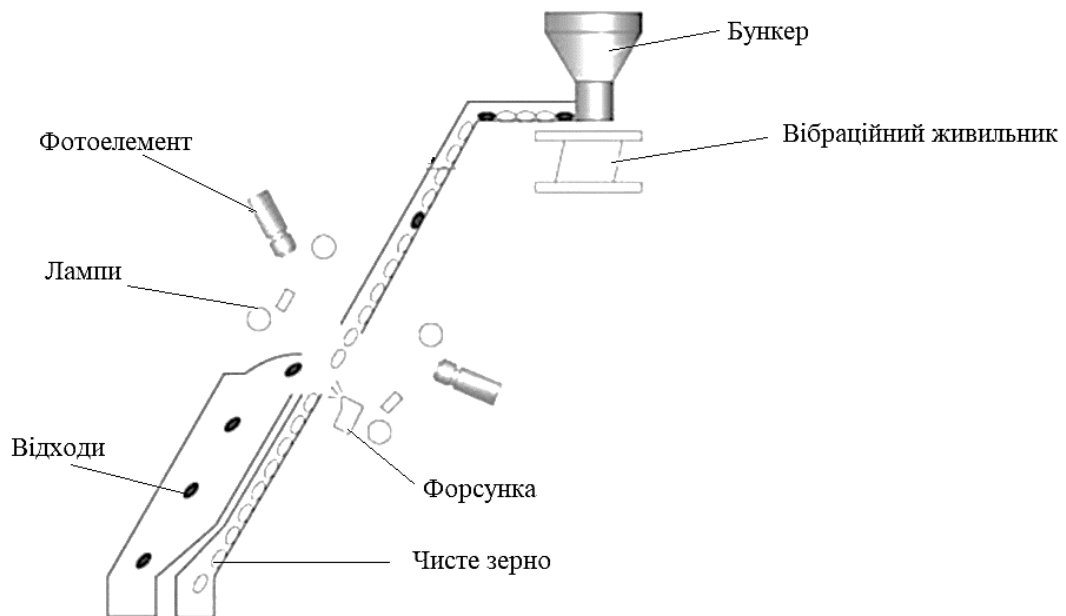


Рис. 4.1 – Принцип роботи фотосепаратора

З вищевикладеного випливає, що для отримання якісного насіння необхідно забезпечити первинну обробку зернового вороху, що надходить від

комбайнів без укладання його на струм [5, 9, 10, 63, 64, 69, 70, 71, 79], де на нього впливають мікроорганізми, а також при подальшому підборі зернометачем або підбирачем зерно додатково травмується [72]. При цьому рахунок збільшення травмування зерна істотно погіршуються посівні якості насіння.

Насінницькі господарства, як правило, мають невеликі обсяги виробництва та мале розмаїття оброблюваних культур. Тому пропонуємо технологічну лінію зерноочисного агрегату, схема якого зображена на рис. 4.2.

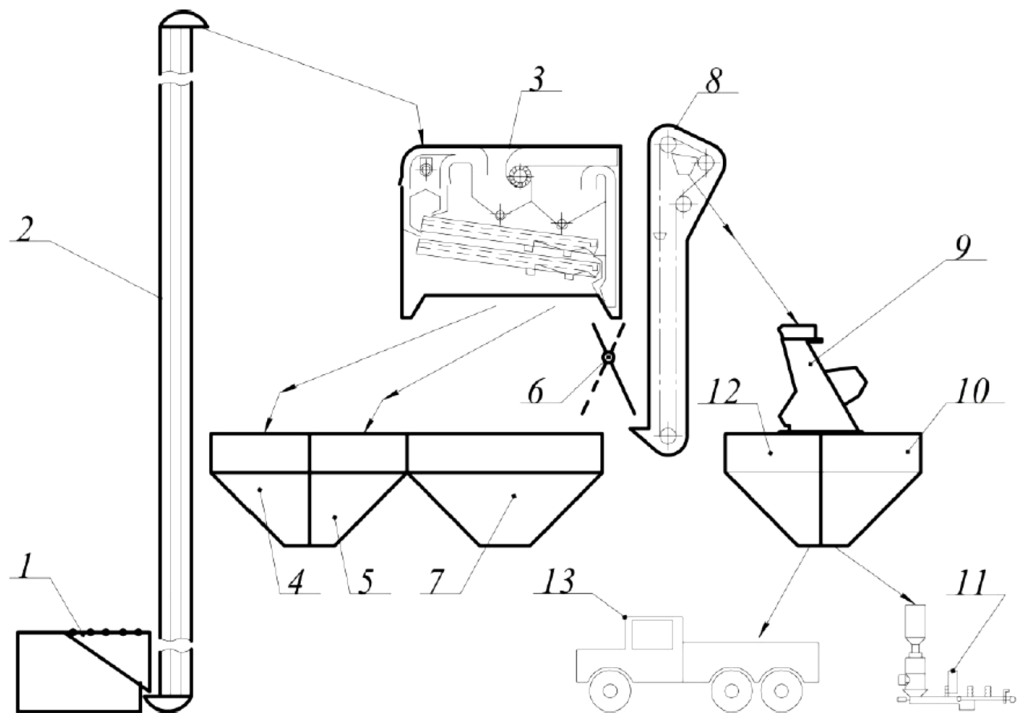


Рис. 4.2 – Технологічна лінія зерноочисного агрегату: 1 – приймальний пристрій (завальна яма); 2 – норія; 3 – двоаспіраційна повітряно-решітна фракційна зерноочисна машина; 4 – бункер для збирання відходів, що не використовуються; 5 – бункер для збирання фуражної фракції; 6 – напрямний клапан; 7 – бункер для збирання товарного зерна; 8 – тихохідна норія; 9 – фотосепаратор; 10 – бункер для збирання насіння; 11 – пункт затарювання насіння; 12 – бункер для збору товарної фракції, отриманої в результаті фотосепарування; 13 – транспортний засіб.

Зерноочисного агрегату (рис. 4.2) включає: приймальний пристрій 1 з

норією 2, двоаспіраційну повітряно-ситову фракційну зерноочисну машину 3, бункери для збору невикористовуваних відходів 4 і фуражної фракції 5, направляючий клапан 6, бункер для збору товарного тихохідну норію 8, фотосепаратор 9, а також бункери для збору очищеного насіння 10 і товарної фракції після фотосепаратора 12.

Працює зерноочисного агрегату наступним чином. Бункерний порошок з транспортного засобу вивантажується в приймальний пристрій 1 і далі подається норією 2 по самопливному пристрої в двох-аспіраційну повітряно-ситову фракційну зерноочисну машину 3.

За допомогою повітряно-решітної машини 3 в режимі фракціонування проводять первинне очищення оброблюваного матеріалу. При цьому легковагові і дрібні домішки направляються в бункер для збору відходів 4, що не використовуються, а фуражна фракція з машини 3 направляється в бункер для збору фуражу 5. На виході чистого продукту з зерноочисної машини 3 встановлений напрямний клапан 6.

При підготовці товарного зерна, коли зерно після первинного очищення не потребує подальшої обробки, клапан 6 встановлюють у положення, при якому очищений продукт з машини 3 направляється в зерновий бункер 7. При підготовці насіння клапан 6 встановлюють таким чином, що зерно, що пройшло первинне очищення, спрямовується в тихохідну норію 8, яка подає його для остаточної обробки на фотосепаратор 9. У міру заповнення бункера 12 товарне зерно відвантажується в транспортний засіб 13 для переміщення до місця зберігання або реалізації.

Дана технологічна лінія сім'яочисного агрегату дозволяє потоково обробляти бункерну купу сільськогосподарських культур у насінньо-горілчаних або невеликих фермерських господарствах. При цьому технологічна лінія включає мінімально необхідну кількість зерноочисних машин для підготовки насіння. Тип машин та транспортуючого обладнання підібраний таким чином, щоб максимально скоротити кількість та інтенсивність механічних впливів на насіння, з метою збереження їх посівних

якостей.

При великих обсягах виробництва краще використовувати схему зерноочисного агрегату, яка зображена на рис. 5.3.

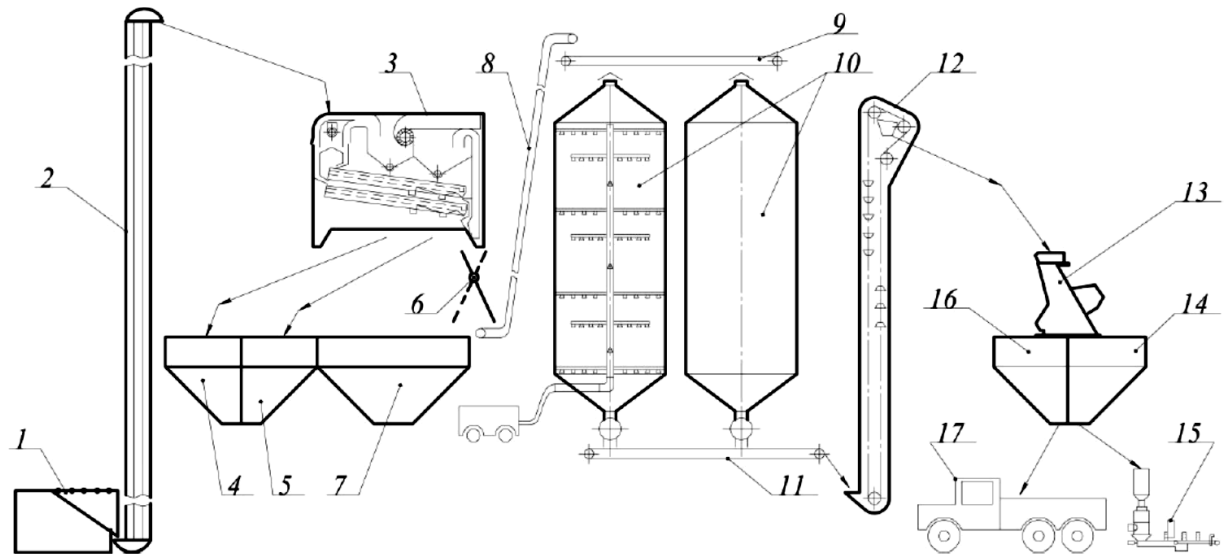


Рис. 4.3 – Схема зерноочисного агрегату для великих господарств: 1 – приймальний пристрій (завальна яма); 2 – норія; 3 – двох-аспіраційна повітряно-ситова фракційна зерноочисна машина; 4 – бункер для збирання відходів, що не використовуються; 5 – бункер для збирання фуражної фракції; 6 – напрямний клапан; 7 – бункер для збирання товарного зерна; 8 – похилий стрічковий транспортер; 9 – верхній стрічковий транспортер; 10 – силоси; 11 – нижній стрічковий транспортер; 12 – тихохідна норія; 13 – фотосепаратор; 14 – бункер для збирання насіння; 15 – пункт затаювання насіння; 16 – бункер для збирання товарної фракції, отриманої при фотосепаруванні; 17 – транспортний засіб

Схема зерноочисного агрегату, зображена на рис. 4.3 відрізняється від вищеприписаної схеми (рис. 4.2) наявністю відділення тимчасового зберігання, представленого силосами з конусним дном 10 (рис. 4.3). Також представлена схема, зображена на рис. 4.3 додатково включає стрічкові транспортери 8, 9 і 11 для завантаження силосів 10 і спрямування з силосів 10 в тихохідну норію 12.

При збиранні в стислі агротехнічні терміни великих обсягів урожаю необхідно встановлювати високопродуктивну повітряно-решітну машину 3. При цьому продуктивність фотосепаратора 13 може бути значно нижчою, ніж машини 3. У такому випадку, відділення тимчасового зберігання компенсує різницю продуктивності повітряно-решітної машини 3. В той же час у силосах можливо проводити сушіння або активне вентилявання насінневого матеріалу холодним, підігрітим повітрям або озono-повітряною сумішшю, що дозволить зберегти природні посівні якості насіння та підвищити врожайність культури.

Якщо продуктивності однієї повітряно-решітної машини 3 недостатньо, слід встановити необхідну кількість машин паралельно [72]. Паралельне розташування машин 3 дозволить потоково обробляти великі обсяги бункерного вороху, не збільшуючи травмування насіння, на відміну від їх послідовного розташування. При цьому також доцільно використовувати приймальне відділення з двосекційною завальною ямою та встановленням норій у кожній із секцій, що дозволить зменшити глибину завальної ями та ймовірність її заповнення ґрунтовими водами. Використання системи резервних зерно-проводів у відділенні первинного очищення підвищить надійність роботи зерноочисного агрегату [77]. У випадках, коли немає можливості використання двосекційного приймального пристрою і застосовується одна завантажувальна норія, краще використовувати сучасні дільники потоку.

Технологічна лінія зерноочисного агрегату, зображена на рис. 4.3, універсальна і підходить для підготовки зерна та насіння різних сільськогосподарських культур на підприємствах з великими обсягами виробництва. Однак при підготовці насіння в насінницьких або малих фермерських господарствах, ймовірно, вигідніше буде обробляти бункерну масу за схемою, представленою на рис. 4.2. При цьому використовується мінімально необхідна кількість машин та допоміжного обладнання, а їх тип підібраний таким чином, щоб мінімізувати травмування насіння.

ВИСНОВКИ

1. У ході математичного моделювання виявили вплив відмінностей у розмірних та фрикційних властивостях частинок зернової маси гречки на якість її сепарації та визначили максимальну довжину скатного лотка $S_{\max} = 1,04$ м.

2. Адекватність удосконаленої математичної моделі була підтверджена високою збіжністю (понад 96 %) результатів експериментальних та теоретичних досліджень. Експериментально визначено раціональну довжину скатного лотка в межах 1,0...1,1 м. Найкращим є її значення $S_{\max} = 1,04$ м.

3. Репродуктивне насіння гречки з виходом до 75 % можна отримати в результаті фотосепарації зернової маси, попередньо очищеної на повітряно-сиотвій машині. При цьому вміст пошкоджених зернівок становив не більше 1,4%, а домішок не більше 3,3%. Для отримання елітного насіння з виходом до 85% вміст домішок у матеріалі, що подається на фотосепаратор, не повинен перевищувати 1,15%, пошкоджених – зернівок – 1,4%.

4. Для отримання насіння гречки, рекомендується обладнати фотосепаратор гладким лотком зі скляною скатною поверхнею, що дозволить збільшити вихід насінневої фракції на 1,82...6,98 %, чистоту одержуваного насіння на 0,13...0,15% при скороченні втрат насіння гречки 2,48...9,74% проти рифленими скатними лотками.

5. Збільшення подачі оброблюваного матеріалу на лоток скатний фотосепаратора з 0,1 до 4 т/год зменшує вихід насінневої фракції з 89,16 до 85,27% і знижує чистоту насінневої фракції з 98,50 до 97,44 %. Тому при очищенні зернової маси гречки з чистотою 97,62 %, із вмістом обрубаних зернівок 0,93 % і домішок 1,30 % подачу оброблюваного матеріалу на скатний лоток фотосепаратора слід встановлювати не більше 2 т/год, щоб отримати репродукційні насіння.

6. Розроблено технологічну лінію зерноочисного агрегату, що включає двоаспіраційну фракційну повітряно-ситову зерноочисну машину первинного очищення та фотосепаратор для остаточного очищення насіння. Дана технологічна лінія дозволяє зменшити травмування оброблюваного матеріалу на 6,5% у порівнянні з базовим варіантом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54, №1. P. 95-104.
2. Aliev Elchin, Pryshliak Viktor, Yaropud Vitaly Research of physical and mechanical properties of oil seed crops. *MOTROL: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2017. Vol. 19., № 3. P. 103-108.
3. Borysiuk D., Spirin A., Kupchuk I., Tverdokhlib I., Zelinskyi V., Smyrnov Ye., Ognevyu V. 2021. The methodology of determining the place of installation of accelerometers during vibrodiagnostic of controlled axes of wheeled tractors. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 97, №10. P. 44-48. <https://doi.org/10.15199/48.2021.10.09> (In press)
4. FAO – Committee on Agriculture [Electronic resource] / Food and Agriculture Organization of the United Nations. – Mode of access: <http://www.fao.org/unfao/bodies/coag/coag15/X0075E.htm>.
5. Gunko I., Hraniak V., Yaropud V., Kupchuk I., Rutkevych V. 2021. Optical sensor of harmful air impurity concentration. *Przegląd Elektrotechniczny*. Vol. 97, №7. P. 76-79. <https://doi.org/10.15199/48.2021.07.15>
6. Hrushetskyi S., Yaropud V., Kupchuk I., Semenushena R. The heap parts movement on the shareboard surface of the potato harvesting machine. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*. 2021. Vol. 14 (63), № 1. P. 127-140. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2021.14.63.1.12>
7. Kaletnik H., Adamchuk V., Bulgakov V., Kyurchev V., Nadykto V. Main problems in the field of agricultural mechanization in Ukraine. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №3. С. 6-12.
8. Komaha V.P., S.A. Burlaka, Kupchuk I. M., Yatskovska R.O. Analysis of technologies of sowing and sowing. *Сільське господарство та лісництво*. 2018. №11. С. 123–131.

9. Kupchuk I. M., Solona O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55, № 2. P. 113–120.
10. Kupchuk I., Tokarchuk O., Hontar V., Zamrii M. The kinematic analysis of a vibration crusher for feed grain. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 1 (100). С. 32-38.
11. Mazur V., Tkachuk O., Pantsyreva H., Kupchuk I., Mordvaniuk M., Chynchyk O. Ecological suitability peas (*Pisum Sativum*) varieties to climate change in Ukraine. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32, №2. P.8. (In press)
12. Solona O., Kupchuk I. Dynamic synchronization of vibration exciters of the three-mass vibration mill *Przegląd Elektrotechniczny*. 2020. Vol. 96, №3. P. 161–165. <https://doi.org/10.15199/48.2020.03.35>
13. Yanovych V., Kupchuk. I. Development of movement mathematical model for executive bodies of gyroscope-type mill. *SWorld journal: Technical sciences*. 2017. Issue 13. С. 174-184.
14. Агулов І. І., Вознюк Л. Ф., Левчій О. В. Довідник по технічному обслуговуванню сільськогосподарських машин. Київ : Урожай, 1989. 252 с.
15. Алієв Е.Б., Яропуд В.М. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2. С. 19-23.
16. Бакум М. В., Нікітін С. П., Сергєєва А. В. Проектування сільськогосподарських машин : навч. посіб. Харків : Харк. держ. техн. ун-т с.-г., 2003. 336 с.
17. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. Київ : Аграр. наука, 2016. 816 с.
18. Булгаков В.М., Пилипака С.Ф., Яропуд В.М., Захарова Т.Н., Калетнік Г.М. Плоскі вертикальні криві, що забезпечують постійні тиск і швидкість руху матеріальної точки. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2014. Вип. 1, 73. С. 25-33.

19. Бурков А.И., Андреев В.Л. Технология очистки семян зерновых культур с фракционированием на решетках и отдельной обработкой воздушным потоком. *Науч. тр. ВИМ*. 2002. Т. 141. С. 103-111.
20. Бурков А.И., Глушков А.Л., Саитов В.Е. Машина для пневмофракционной технологии обработки зернового вороха. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. №11. С. 3-6.
21. Видмиш А.А., Возняк О.М., Купчук І.М., Бойко Д.Л. Дослідження медіанної фільтрації одновимірних сигналів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. №1 (96). С. 88-102.
22. Вірник М.М., Солоня О.В. Алгоритми кінематичного і силового аналізу важільних механізмів з гідроприводом. *Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2010. №4. С. 24-29.
23. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. вузів. Київ : Друк, 2005. 464 с.
24. Войтюк Д. Г., Яцун С. С., Довжик М. Я. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: навч. посіб. Суми : Унів. кн., 2008. 543 с.
25. Галкин А.Д., Галкин В.Д., Гузаиров А.М. Методы и средства повышения эффективности послеуборочной обработки зерна и семян. Пермь, 2001. – 84 с.
26. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів. Тернопіль : Терноп. акад. нар. госп-ва., 2002. 251 с.
27. Гиевский А.М., Оробинский В.И., Чернышов А.В. Обоснование схемы размещения и соотношения решет в решетных станах. *Лесотехнический журнал*. 2013. №3. С. 36-46.
28. Глотов В.П. О снижении механических повреждений зерна на поточной линии. *Науч. техн. бюл. ВИЭСХ*. 1969. №2(8). С. 32-36

29. Горячкин В. П. Собрание сочинений в 3 т. Москва : Колос, 1965. 1 т. 720 с.
30. ГОСТ 20915–2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. – Москва : Стандартинформ. 2013. 24 с.
31. ГОСТ 8.736-2011 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».
32. Граняк В.Ф., Купчук І.М., Гонтар В.Г. Метод та засіб прямого автоматизованого вимірювального контролю ізоляції обмоток електричних машин. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2020. №2 (109). С. 129-137.
33. Гуньо І.В., Браніцький Ю.Ю., Токарчук О.А. Засоби механізації процесу збирання та подрібнення біоенергетичних культур. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №2. С. 129-134.
34. Гуньо І.В., Коваль Л.Г. Енергоощадні безконтактні методи діагностування показників технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №3. С. 89-93.
35. Дринча В.М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж: Издательство НПО «МОДЭК», 2006. – 384 с.
36. Дринча В.М. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и комплексов КЗС. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. №3. С. 31-33.
37. Дринча В.М., Зубаилов И.Г. Качество зернового материала и эффективность послеуборочной обработки. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. № 9. С.31-34.
38. Дринча В.М., Суконин Л.М. Технология и комплекс машин для очистки зерна и семян. *Земледелие*. 1997. №3. С. 34-35.
39. ДСТУ 46.012-2000. Техніка сільськогосподарська. Методи економічної оцінки техніки. [Чинний від 2001.02.01]. К. : Мінагрополітики України, 2000. – III, 18 с. – (Галузевий стандарт України).

40. Дудак С.М., Грицака О.М., Спірін А.В. Кінетика процесу вимолоту зерна зернозбиральними комбайнами. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки*. 2015. №1, Т.1. С. 53-56.
41. Ермольев Ю.И., Шелков М.В., Московский М.Н. Фракционные технологии семенной очистки зерна. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. №6. С. 23-25
42. Еров Ю.В. Инновации в послеуборочной обработке зерна и семян. Казань: «Слово», 2009. – 128 с.
43. Зюлин А. Н., Чижиков А.Г. Перспективы механизации послеуборочной обработки и хранения семян. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2002. №6. С.10-14.
44. Іскович-Лотоцький Р.Д., Зелінська О.В., Н.Р. Веселовська, Веселовський Я.П. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу. *Техніка енергетика транспорт АПК*. 2017. №2. С. 109-114
45. Калетнік Г.М., Булгаков В.М., Черниш О.М., Кравченко І.Є., Солоня О.В., Цуркан О.В. Технічна механіка. Підручник. Київ : «Хай-Тек-Прес», 2011. 340 с.
46. Кінницький Я.Т., Харжевський В. О., Марченко М. В. Теорія механізмів і машин в системі MathCAD : навчальний посібник. Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. 324 с.
47. Ковбаса В.П., Солоня О.В., Спірін А.В., Цуркан О.В. Про спрощення критерію вигляду напружено-деформованого стану суцільного середовища. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №1, Т.1. С. 44-49.
48. Котов Б.І., Спірін А.В., Зозуляк О.В. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №1. С. 26-29.
49. Купчук І. М., Зубар І. В., Онищук Ю. В., Дідик А. М., Замрій М. А. Свідectво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма

«Harvesting Cereals Optimization v. 1.2» («Harvesting cereals v. 1.2»): Свідоцтво № 103729 від 05.04.2021. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 64, 2021. <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>

50. Купчук І. М., Шаргородський С. А., Телекало Н. В., Токарчук О. А. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Harvesting Cereals Optimization v.1.0» («Harvesting cereals v.1.0»): Свідоцтво № 100674 від 17.11.2020. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 62, 2021. <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>

51. Купчук І. М., Шаргородський С. А., Холодюк О. В., Левчук К. І., Гонтарук Я. В., Дідик А. М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Harvesting Cereals Optimization v. 1.1.5» («Harvesting cereals v. 1.1.5»): Свідоцтво № 102287 від 03.02.2021. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 63, 2021. <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>

52. Купчук І.М. Компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини при виробництві етилового спирту. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. №4. С. 91-100.

53. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3. С. 44-52.

54. Купчук І.М., Браніцький Ю.Ю. Розробка програмного алгоритму розрахунку кінематичних параметрів робочих органів віяльно-калібрувальної машини. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. № 2. С.80-87.

55. Купчук І.М., Шаргородський С.А., Твердохліб І.В., Телекало Н.В., Колесник Т.В., Дідик А.М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Комп'ютерна програма «Optimization of agricultural transportation v. 1.0» («Agro- transportation optimization v. 1.0»): Свідоцтво №107370 від 16.08.2021. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 66, 2021. <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>

56. Ланець О.С., Боровець В.М., Деревенько І.А. Визначення потужності приводів вібраційних машин з силовим та кінематичним збуренням. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3. С. 53-61.

57. Мазур В. А., Гончарук І. В., Дідур І. М., Панцирева Г. В., Телекало Н. В., Купчук І. М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Монографія «Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур» : Свідоцтво № 104195 від 21.04.2021. Авторське право і суміжні права. Офіційний бюлетень № 64, 2021. <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>

58. Мазур В.А., Балагура О.В., Журенко Ю.І. Вплив кількості технологічних операцій на фізико-механічні властивості біомаси люцерни при заготівлі сіна. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №4. С. 9-17.

59. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур: монографія. Вінниця: НІЛАН-ЛТД. 186 с.

60. Машины для предварительной очистки зерна [Электронный ресурс] <https://lektsii.org/13-18378.html>

61. Мельинвест, ОАО группа компаний [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Нижний Новгород, 2013. – Режим доступа: http://www.melinvest.ru/catalog/zernoochistitelnoe_oborudovanie

62. Московский М.Н., Бойко А.А. Оценка семенных схем очистки зерноочистительного агрегата в многоотраслевом производстве. Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс]: электрон. науч.- инновац. журн. – 2013. - № 2. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1599>

63. Ольшанський В.П., Сліпченко М.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М. Коливання імпульсно навантаженого осцилятора з квадратичним опором у складі дисипативної сили. *Вібрації в техніці та технологіях*. № 2 (101). С. 35-45.

64. Патент №120020, МПК В07В 4/02. Пневматический сепаратор для сипкого матеріалу. №а2012116693/03; заявл.: 24.04.2012; опуб. 10.09.2012. Бюл. № 25. С. 3.

65. Патент №135944, МПК В07В 4/00. Пристрій для розподілу сипких матеріалів на фракції. №u2013131485/03; заявл. 9.07.2013; опуб. 27.12.2013. Бюл. №36. С. 3.

66. Патент №146703, МПК А01F 12/00. Агрегат для очистки насіння. №u2014119451/13; заявл. 14.05.2014; опуб. 20.10.2014. Бюл. №29. С. 3.

67. Патент №165721, МПК А01F 7/00. Самопересувний агрегат для обмолоту та пневмосепарації зернового вороху. №u2016115197/13; заявл. 20.04.2016; опуб. 10.11.2016. Бюл. №31. С. 3.

68. Пришляк В. М., Ковальчук О. В. Сільськогосподарські машини: метод. вказівки для виконання лаб. робіт студ. фак. механізації с.-г. Вінниця : ВДАУ, 2005. 44 с.

69. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. 200 с.

70. Солоня О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.

71. Солоня О.В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3. С. 105-116

72. Солоня О.В., Купчук І.М. Практикум з Теорії механізмів і машин : навчальний посібник. Вінниця : Друк, 2020. 250 с.

73. Солоня О.В., Купчук І.М. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт. Вінниця : ВНАУ, 2017. 116 с.

74. Солоня О.В., Купчук І.М., Паламарчук В.І. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту. Вінниця : ВНАУ, 2017. 84 с.

75. Спирін А.В., Твердохліб І.В., Купчук І.М., Побережець Ю.М. Обґрунтування енергоефективних режимів процесу досушування продуктів

фракційної переробки люцерни. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2021. №2 (113). С. 142-151.

76. Тарасенко А.П. Влияние схемы размещения решет в решетном стане на фракционирование зернового вороха. *Техника в сельском хозяйстве*. 2006. №3. С. 32-34.

77. Тарасенко А.П. Фракционирование зернового вороха на решетках. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2012. №5. С. 26-29.

78. Твердохліб І.В. Дослідження процесу витирання насінневого вороху люцерни. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2017. №4. С. 77-83.

79. Труханська О.О. Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2018. №3. С. 109-119.

80. Хамуев В.Г., Гуляев А.А., Бойко А.А. Justification of the design of pneumatic sorting machine for the preparation of selection seeds MATEC Web Conferences.- 2018. – Vol. 224. – Номер статті 05010. – (International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2018), Sevastopol, Russia, September 10-14, 2018)/-URL: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/83/mateconf_icmtmte2_018_05010.pdf

81. Ярошенко Л.В., Замрій М.А., Купчук І.М. Розробка конструкції та дослідження технологічних параметрів машин для вібраційної відцентрово-планетарної обробки. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020. №2 (97). С. 41-50.