

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Підвищення ефективності сепарування зернових матеріалів з розробкою системи автоматичної ідентифікації розмірів біологічних об'єктів»

Виконав:

(підпис)

Андрієнко О.В.
(Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2302-1м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Харченко Ф.М.
(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

ЗМІСТ

Реферат.....	3
Вступ.....	4
1. Вплив властивостей насіннєвого матеріалу на їх біопотенціал.....	5
2. Методи ідентифікації розмірних характеристик.....	9
2.1. Класифікація методів ідентифікації.....	9
2.2. Принципи формалізації ознак.....	13
3. Теоретичні дослідження процесу поділу насіння.....	20
3.1. Розробка схеми обладнання.....	20
3.2. Розробка математичної моделі руху насінин.....	23
4. Технічна реалізація способу ідентифікації розмірів.....	43
5. Експериментальні дослідження.....	52
Висновки.....	67
Список використаних джерел.....	68
Додатки.....	72

РЕФЕРАТ

Обсяг дипломної роботи складає 74 сторінки основного матеріалу та 3 сторінок додатків, кількість ілюстрацій – 15 шт., таблиць – 12 шт., бібліографічних найменувань за переліком посилань – 46 шт.

В дипломній роботі проведено аналіз впливу розмірів насінневого матеріалу на їх репродуктивний потенціал, зокрема врожайність, визначено актуальність. Проведено аналіз методик ідентифікації геометричних параметрів об'єктів складної форми, визначено перспективи. Для забезпечення сталої та продуктивної роботи відповідного сепарувального обладнання проведено математичне моделювання пристрою. Встановлено рівняння щодо швидкості одношарового руху насінневого матеріалу по скатній поверхні, при якій можливе проведення ідентифікації розмірів. Розроблено технічну реалізацію ідентифікації розмірів та апробовано її на насінневому матеріалу озимої пшениці Подолянка. Результати роботи дозволили обґрунтувати можливість ідентифікації розмірів насіння при їх сепаруванні, що сприяє підвищенню їх якості.

Ключові слова: розміри, насіння, врожай, оптичний метод, похила робоча поверхня, ідентифікація, якість

ВСТУП

Виробництво зерна та його експорт в значних обсягах потребує відповідних техніко-технологічних новацій.

Стримуючим фактором підвищення обсягів виробництва є суттєва зношеність та застарілість обладнання, яке виконує післязбиральну обробку зерно. Це більш гостро стосується підготовки насінневого матеріалу, який визначає якість та кількість врожаю.

Забезпечення виробників сільськогосподарської продукції високоякісним посівним матеріалом є одним із важливих завдань у сучасному сільськогосподарському виробництві України. На сьогоднішній день весь посівний матеріал проходить обробку та калібрування, а посівні комплекси потребують все більш точного висіву та мінімального відхилення в розмірах. Для забезпечення достатньої продуктивності та якості сепарувального обладнання необхідно мати ефективні науково-технічні засоби для ідентифікації розмірів насіння, які є значущим фактором для отримання максимальної врожайності.

Метою роботи є науково-технічне обґрунтування схеми та засобів для ідентифікації розмірів насінневого матеріалу, що сприяє підвищенню його якісних показників.

Поставлені наступні завдання:

- провести аналіз впливу розмірів насінневого матеріалу на врожайність с.г. культур, підтвердити актуальність;
- провести аналіз способів ідентифікації розмірів об'єктів, визначити перспективність;
- провести технічне обґрунтування схеми поділу частинок за розмірами та відповідного обладнання;
- виконати експериментальні дослідження щодо ідентифікації розмірних характеристик насіння озимої пшениці сорту Подолянка.

1. Вплив властивостей насіннєвого матеріалу на їх біопотенціал

Для отримання дружних сходів і високих урожаїв велике значення має розмір і вага насіння [1-4]. Наприклад, крупне насіння є більш продуктивними рослинами, ніж дрібні. Вченими відмічено, що крупність насіння істотно позначається на початкових фазах розвитку рослини [2, 3]. Інтенсивне зростання коренів і надземної маси на перших фазах розвитку спостерігається при пророщуванні крупного насіння. У прямій залежності від цього знаходиться також утворення органічної речовини в рослинах. Чим більше насіння, тим вищий урожай с.г. культур різного виду [5 – 7].

Вчені відмічають [8, 9], що посів крупним насінням може надати подібний ефект щодо інтенсивного використання добрив.

Як розміри насіння впливають на якісні показники та кількість врожаю є загальновідомий і загальновизнаний.

В даний час думки вчених з цього питання розділилися, так одні з них вважають неефективним сепарувальний поділ, інші навпаки констатують - цю технологічну операцію. Деякі вчені вважають, що після видалення дрібного насіння подальший поділ на фракції проводити не варто.

Аналіз даних [10, 11], отриманих у численних дослідках, свідчить про те, що елітне насіння соняшнику різного розміру за своїми врожайними властивостями виявилось практично рівноцінним. У зв'язку з цим поділ по фракціях насіння, вирощених на насінневих ділянках за прийнятою методикою на високому агрофоні і добре відсортованих на очисних машинах, не веде до зростання врожаю. Це пояснюється тим, що в цьому випадку не підвищується їх біологічна цінність. Калібрування насіння має значення тільки для рівномірного розподілу їх у ґрунті висівними апаратами сівалки [12]. У дослідженнях [12] на рослинах рицини встановлено, що дрібне насіння (маса 1000 насінин 206-230 г) і велике (310-365 г), що мають високі посівні якості (перший клас), дають у потомстві майже однаковий врожай.

У деяких сільськогосподарських культурах відсутність відмінностей щодо елементів продуктивності рослин, вирощених з матеріалу що має високі показники геометричних параметрів та щільності середовища [13].

Крім того, важке насіння гірчиці, соняшнику та пшениці за показниками врожайності мало подібні (з мінімальним відхиленням) показники [13].

У нормальних кліматичних умовах продуктивність рослин при використанні дрібного та великого насіння приблизно однакова. Використання як посівний матеріал дрібного насіння соняшника більш вигідне, ніж крупного, оскільки при цьому зменшується норма висіву [14].

Деякими дослідниками [7] встановлено, що фракціонування насіння ярої суріпиці не підвищує врожайні властивості насіннєвого матеріалу.

Поряд із скептичною інформацією щодо впливу розмірів насіння на їх репродукції, існує протилежна думка. Так значна кількість вчених вважають, що більше насіння має суттєві переваги, що відзначено в роботах [15, 16].

Про позитивний вплив великого насіння на схожість та врожайність сої також відзначено в [17].

На підставі проведених експериментів в [17] встановлено що крупне насіння сої, їх схожість, виживанням рослин та врожай є безпосередньо визначальним від розмірів насінин. Найбільш ефективним і економічно доцільним є посів сої повноважним великим і середнім насінням.

Насіння соняшника, яке має значні розміри та вирощене по 1 рослині в гнізді, порівняно з дрібним насінням, вирощеним по 3 рослини в гнізді, дали урожай з більш високою олійністю (на 1,8 і 1,9%). Крупні та середні по величині насіння, одержане різними способами (вирощування рослин при збільшеній площі живлення та відбір більшого насіння шляхом сортування) мають рівноцінні посівні та врожайні властивості [18]. У деяких дослідках [18], зазначено, що значний урожай забезпечив посів насінням соняшника з високою масою та силою початкового росту. Різниця в порівнянні з дрібним насінням досягла 1,9 ц/га. Найбільшу силу зростання за показником маси рослин мали

найбільше насіння, а за кількістю проростків, що зійшло, насіння середньої крупності.

У дослідженнях [19] встановлено позитивний вплив крупності насіння 3-х сортів соняшнику на масу та довжину проростків, водночас енергія проростання та схожість була найвищою у насіння середньої фракції.

Багато дослідників і практики сільського господарства при роботі з насінням соняшнику, отриманим на товарних посівах, виявили, що крупне насіння має більш високі врожайні властивості порівняно з дрібними [20, 21]. Крупність насіння позитивно впливає на врожайність гібридів соняшника першого покоління.

В [10] встановлено, що найбільше насіння у рослин соняшнику було сформовано в середній і зовнішній частині кошика, маса їх 1000 штук становила 60,3 і 61,6 г відповідно, проти 50,2 г у насіння із центральної частини кошика. Показники лущиння насіння, енергії проростання, лабораторної та польової схожості також зменшилися з переходом від периферії до центру кошика. Найвищою продуктивністю потомства (врожайність і збирання олії) характеризувалося велике насіння з периферії кошика.

В [21], корелятивні зв'язки між величиною зерна та його врожайністю нестійкі, рухливі та крупність насіння не завжди визначає їх урожайні якості. Прямого методу відбору насіння за врожайним якість немає, бо ці якості визначаються складними спадковими та біохімічними особливостями кожного насіння окремо.

Незважаючи на існування багатьох методів поділу насіння по крупності, жоден з них не дає відповіді на запитання, яке насіння і скільки потрібно відбирати при сортуванні, щоб воно було дійсно високоврожайним. Особливо це має велике значення для насіння еліти, якість яких значною мірою визначає наступний урожай.

Виходячи із загальної закономірності, здавалося б, що в процесі сортування слід відбирати на посів насіння середнє і крупніше за середнє, що має стійку і високу врожайність. У цьому випадку сумарний відсоток цих двох фракцій і став

би граничним рівнем відбору насіння. Однак для насінневих цілей, у разі необхідності, можна використовувати і насіння дрібніше за середнє, вміст якого становить в середньому 10-15% ваги всієї насінневої партії.

Необхідно враховувати, що відсоток великого насіння часто буває дуже незначним (1-3 %), тому практично недоцільно видаляти їх у процесі сортування.

Поряд із зазначеним вище, не слід ігнорувати і той факт, що різні сортоутворювачі не рівнозначно реагують на поділ насіння за крупністю. Так в одних з них кращі результати за якістю насіння і продуктивності дає потомство великого, в інших середніх або навіть дрібних насіння.

Враховуючи відсутність єдиної думки з цього питання та/або недостатність відомостей про специфічні особливості насіння сортів та/або гібридів різного напрямку, вважаємо за доцільне проведення досліджень щодо встановлення оптимальних параметрів при сортуванні насіння та можливості практичного використання дрібного насіння у насінницькому процесі.

2. Методи ідентифікації розмірних характеристик

2.1. Класифікація методів ідентифікації

Процеси поділу компонентів за розмірами потребують чіткої ідентифікації розмірів їх компонентів. Це може бути корисно на наступних етапах: вихідний матеріал, в процесі сепарування, кінцевий матеріал.

Вихідною точкою у подібних дослідженнях є аналіз форми частинок сипкого матеріалу у вигляді графічних об'єктів з певної відстані з метою визначення їх силуетів (контурів). Також процес супроводжується попередньою обробкою зображення, виділення набору ознак, а потім ідентифікація параметрів об'єктів.

Попри дослідження подібної тематики основним їх напрямом є вичленування об'єкта зі сцени та аналіз його контурів за рядом формальних ознак або характеристик. Умовою є щоб форма цього об'єкта могла бути ідентифікована з певною, заздалегідь заданою точністю.

У такій постановці зрозуміло, що від якості та кількості вибраних ознак залежить надійність процесу розпізнавання частинок. Тому деякі автори досліджували питання, як оцінити якість розроблених методів [22].

Типові критерії оцінки методів опису форми об'єкту складається з наступних пунктів [23]:

- 1) трудомісткість алгоритмів;
- 2) типізація форм, тобто які форми можна ідентифікувати;
- 3) однозначність опису об'єктів з урахуванням двоспрямованості, тобто з урахуванням можливості відновлення об'єкта за його описом;
- 4) стабільність і чутливість як ступеня впливу малих змін форми на його опис або як можливість поділу об'єктів з невеликими відхиленнями форми.

Відповідно до завдань роботи, а саме ідентифікації розмірів насіння, сфокусуємося на 4 пункті критеріїв. Крім того, будуть окремо розглянуті способи оцінки якості для інших наведених методів ідентифікації.

Значна кількість досліджень приділена даному питанню: аналізу форм та їх ідентифікації, що пояснюється нестаріючою актуальністю до кінця не вирішеної задачі, оскільки остаточне її рішення пов'язане з проблемою пізнаваності світу. З іншого боку, широким попитом технічних, біологічних, медичних та інших напрямів досліджень, де ця проблема є актуальною та впливовою на значну кількість показників ефективності різних процесів.

Частина досліджень спирається на: перетворення об'єктів на зображенні до їх контурів, подальший їх аналіз, розпізнавання. Це можна пояснити тим, що цей напрямок досліджень заснований на низці фізіологічних особливостей зорового сприйняття людини і прямо чи опосередковано базується на результатах наукових праць, виконаних у наступних нематематичних напрямках:

- Теорія візуального сприйняття або теорія візуальних форм [24],
- Гештальтпсихологія [25], в основі якої лежить форма об'єктів, що розглядаються дуже ретельно. І незважаючи на той факт, що це уявлення не має обчислювальних аспектів і реального практичного застосування, проте в ньому є кілька принципів подання форми, які можуть бути корисними при формуванні ознак об'єктів.
- Біхевіоризм (як окремий випадок нейропсихології), наслідки якої послужили поштовхом до проведення досліджень, що стосуються проблем «перцептивного навчання», сенсорного голодування та впливу мозкової стимуляції, а також показали роль нейронних структур у механізмі візуального сприйняття. У цій теорії форма це лише частина цілого. Оскільки око сприймає лише прості елементи лінії та кути, введено термін «cell assemblies», в якому реакція окремих нейронів на поодинокі імпульси призводить до їхнього об'єднання в групи для опису об'єкта. У чистому вигляді ця теорія не мала практичного використання, але вплинула на багато напрямів теорії розпізнавання образів, у тому числі на нейронні мережі.
- Певний інтерес викликає теорія Гіббсона, в якій запропоновано модель «гіббсонівського світу», де простір не є геометричною або абстрактною

сутністю, але візуальна реальність є деяким набором просторових форм [62], які мають певну класифікацію.

- Марр [26] продовжив вивчення людського сприйняття на основі техніки “Shape from X”, тобто механізму сприйняття, в якому за зразок взято деякий шаблон “X” для створення скетчу сцени. Далі дослідження первинного сприйняття триває з урахуванням вивчення розривів перших і других похідних на зображенні, утворених яскравими перепадами з допомогою послідовних стадій аналізу. У [27] ця теорія розвинена з використанням лапласіанів.

- теорія М.Лейтона [28], за якою форма всіх об'єктів є спотворенням кола, яке зазнало таких операцій, як стиснення, зрушення, кручення, розтягування тощо.

Необхідно зауважити, що важливим об'єктом усіх цих досліджень є форма об'єкта, яка представлена у вигляді силуету або контурної лінії. І це не випадковість, оскільки сучасні дослідження підтверджують, що на першому місці у людини поставлено механізм виявлення перепадів яскравості, які згодом використовуються як контури візуальних образів, що розпізнаються. На другому місці знаходиться просторова орієнтація та класифікація одержаних ліній, і лише після розпізнавання самого об'єкта включаються процеси його кольорового та яскравого опису.

Незважаючи на те, що в математичному та обчислювальному аспектах праці з психофізіології не становлять значного інтересу, вони послужили передумовами для великої кількості математичних досліджень з ідентифікації форми графічних об'єктів.

Всі ці роботи поєднує послідовне виконання двох операцій:

1. 2 D форма дослідного об'єкта сприяє створенню одно вимірної функції $1d$ -функція.
2. Виконання узгодженості параметрів об'єкта та функції.

Методи перетворення $2d$ -форми в $1d$ -функцію подання кордону, серед яких найбільш відомі:

1) Функція тангенціального представлення кута, протилежного відрізка дуги, ця функція названа функцією повороту і надалі досліджена в [29].

2) Використання комплексної функції, як у [30], де функція визначена параметрично $x(t) + iy(t)$, а t є довжина дуги. Це надання функції в математичному аспекті аналогічно ланцюговим кодам Фрімана [31].

3) Сигнатурний аналіз (подання функції контуру щодо центру тяжкості) є найбільш поширеним та розвиненим підходом перетворення форми двовимірного контуру в одновимірну функцію.

При цьому існують такі варіанти:

- Функція точок кордону з рівномірним кроком вибірки $\Delta t = const$ $\Delta t = const$. Функція кутового повороту на рівній відстані між точками. Заміна кордону полігоном з рівними гранями та після цього обчислення функції відношення кута між стороною та радіусом-вектором до цієї сторони (варіантом є функція відстані між центром ваги та вершинами полігону або центрами кожної грані цього полігону).

- Функція відстані від центру до точок з високою кривизною (з прямим розрахунком кривизни або з отриманням полігональної апроксимації форми та використанням точок сполучення як вузлових з високою кривизною).

4) Метод, званий "Arc Height", можна віднести до сигнатурного аналізу. Він полягає в побудові функції, яка утворена перпендикуляром, проведеним від середини (точка O) якоїсь хорди AB до точки C на лінії контуру (див. рис. 2.1). Існує безліч різновидів цього методу.

Крім перерахованих методів для опису контурної функції досить широко застосовуються: ряди Фур'є; функції енергетичної напруги; напрямки, що використовують стохастичні методи, наприклад, кругову авторегресійну модель [32]; та багато інших.

Особливе місце посідає ланцюговий код Фрімана. У ньому опис контуру дається через напрямки руху при його обході відповідно до матриці суміжності. Існує безліч його варіацій, заснованих на обчисленні довжин ланцюжків, зворотного коду, прирощень тощо.

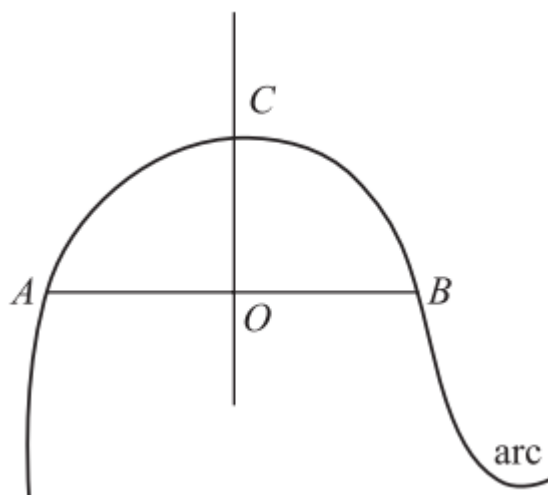


Рисунок 2.1 – Ілюстрація методу Arc Height

Незважаючи на велику кількість алгоритмів та їх різноманіття, слід зазначити, що не всі методи дають можливість ідентифікації об'єктів інваріантно до зсуву, масштабу, повороту та дзеркального відображення. Тут найперспективнішими можна вважати методи, що ґрунтуються на сигнатурному аналізі, проте при цьому для отримання опису форми об'єкта необхідно переходити від його вербального опису до жорсткої формалізації та ієрархічної побудови системи ознак.

2.2. Принципи формалізації ознак

Наведені методи (п.2.1) перетворення контуру в одновимірну функцію не можна назвати закінченими та вичерпними з наступних причин. По-перше, у літературі не відомі підходи, у яких формальні класифікації поєднували б ознаки, отримані внаслідок різних перетворень. По-друге, немає формального математичного опису методів сигнатурного аналізу, що має виняткове значення в сучасній теорії розпізнавання графічних образів. По-третє, результати численних досліджень показують, що, крім формального визначення об'єкта, необхідно вводити деяку ієрархію ознак, орієнтовану на застосування різних

методів, у тому числі тих, що використовують сигнатурне подання контуру об'єкта.

Розглянемо поняття інформаційної складової вектора властивостей, яке приписується деякому об'єкту. Нехай вона визначена як безліч ознак I , що складається з підмножин $I^{(i)} \subset I, i = \overline{0, \bar{n}}$. Індекс означає рівень підмножини. Так, наприклад, $I^{(0)}$ буде підмножиною первинних ознак, $I^{(i)}$ вторинних ознак і т. д. Таким чином, вся інформаційна частина вектора властивостей буде складатися з:

$$I = \bigcup_{i=0}^{\bar{n}} I^{(i)}; I^{(i)} \cap I^{(j)} = \emptyset; i \neq j. \quad (2.1)$$

Крім того, можлива ситуація, коли $I^{(i)} = F(I^{(i-1)}, I^{(i-2)} \dots)$.

Причому в реальних випадках деякі підмножини $I^{(i)}$ можуть бути порожні або не використовуватися, а процес розпізнавання може бути побудований з використанням ознак окремих рівнів, так і їх комбінацій.

Наведемо приклади опису підмножин $I^{(i)}$. Нехай безліч координат $(x_i, y_i), i = \overline{1, k}$, утворює контур деякого графічного об'єкта на площині (рис. 2.2).

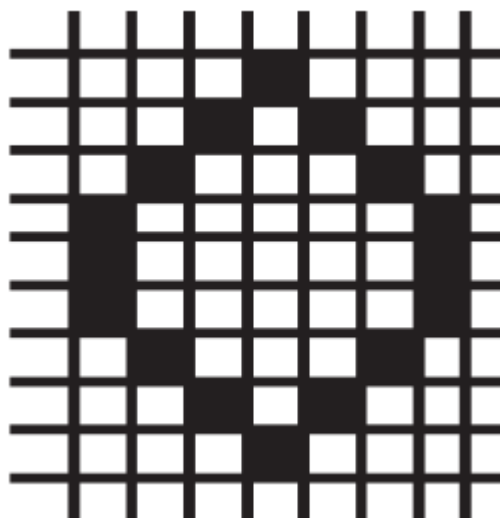


Рисунок 2.2 – Приклад об'єкта, складеного з 16 точок

Множина $I^{(0)}$ первинних векторів властивостей визначимо як безліч точок на площині:

$$I^{(0)} = \{i^{(0)} = (x_l, y_l), l = \overline{1, k}\} \quad (2.2)$$

утворюють контур графічного об'єкта, а k є кількість точок периметру цього об'єкта.

Нехай визначено множину $I^{(0)}$ деякого об'єкта. Назвемо елемент множини вторинних властивостей $\xi_0^{(1)} = v_0(I^{(0)}) \in I^{(1)}$ центром тяжкості об'єкта, якщо

$$\xi_0^{(1)} = \left(x_c = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k x_l, y_c = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k y_l \right). \quad (2.3)$$

Введемо формальний опис сигнатурної функції наступним чином. Нехай визначено елементи множин $I^{(0)}$ та $I^{(1)}$ для деякого об'єкта. Назвемо функціоналом перетворення сигнатури контуру:

$$r = v_3(v_2(v_1(I^{(0)}, I^{(1)}))) \quad (2.4)$$

наступну послідовність функцій v , що застосовуються до $I^{(0)}$ та $I^{(1)}$;

1. $I^{(0')} = v_1(I^{(0)}, I^{(1)})$, де v_1 функція перетворення декартових координат в полярні у вигляді $(R, \varphi) = \left\{ \left((x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 \right)^{1/2}, \arctg x / y \right\}$, тобто отримання набору $I^{(0)}$ у полярних координатах $I^{(0')} = (R_l, \varphi_l), l = \overline{1, k}$.

2. $I^{(0'')} = v_2(I^{(0')})$, де v_2 функція сортування множини $I^{(0')}$ по куту φ у порядку його зростання. Далі передбачається, що й зустрічаються дві і більше точок з R .

3. $r = v_3(I^{(0'')})$, де v_3 - функція інтерполяції точок об'єкта по всьому колу із заданим фіксованим кроком, визначеним як $\Delta\varphi = 0,5, 1, 2 \dots$ кутових градусів, що

дає 720, 360 та 180 ... точок розгортки досліджуваного контуру залежно від необхідної точності представлення об'єкта.

Очевидно, що перетворення v_1 і v_2 будуть однозначними лише для опуклих контурів графічних об'єктів. Проте слід зауважити, що ці перетворення здійснюються щодо центру тяжкості об'єкта. Поняття опуклості тут визначається через число ліній контуру об'єкта, які перетинатиме промінь, що йде від його центру тяжкості. Для опуклого в цьому сенсі об'єкта це число завжди повинне бути рівним 1. В іншому випадку виникають неоднозначності у виконанні перетворень v_1 і v_2 . Приклади розгортки контурних функцій наведено на рис. 2.3.

Нехай на $(0, 360^\circ)$ визначено функцію r . Нормованою функцією r_N будемо називати r -функцію, нормовану щодо прийнятого нею максимуму на інтервалі $(0, 360^\circ)$.

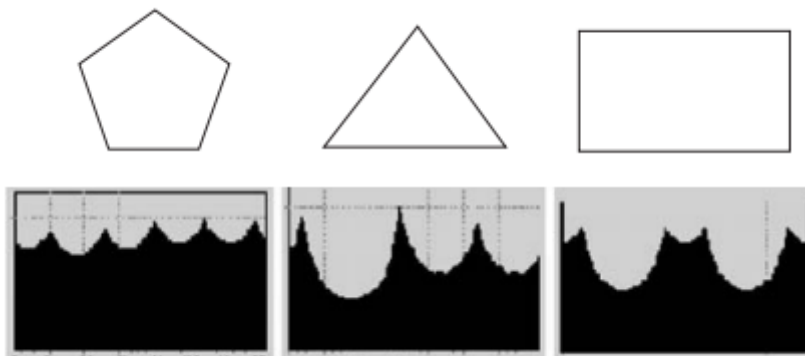


Рисунок 2.3 – Приклади розгортки контурних функцій

Коефіцієнтом нормування назвемо число $\eta = 1/r_{\max}$ де r_{\max} – максимальне значення, що приймається функцією r на інтервалі $(0, 360^\circ)$. Далі з метою спрощення запису опускатимемо індекс N , маючи на увазі, що функція r завжди нормована *. Введемо поняття узагальненої обробки зображень Im як деякої послідовності функцій:

$$\text{Im}_l = f_l(\text{Im}_{l-1}, \theta_{f_l}, t_{f_l}), l = \overline{1, L} \quad (2.5)$$

де f_l функції перетворення зображень, що утворюють множину F ; $\theta_{f_l} = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m)$ вектор параметрів функції f_l з безлічі θ ; а $r_f = (t_{f_1}, t_{f_2}, \dots, t_{f_L}) \in T$ - вектор номерів t_{f_l} , функцій f_l з F , що визначає послідовність їхнього відгуку. Безліч векторів властивостей об'єктів $\omega_{lm} = (\overline{x}, i = \overline{1, k})$, отриманих із зображення Im , будемо записувати:

$$\omega_{lm} = \{I_\eta, \theta_f, \tau_f\}, \eta = \overline{1, N} \quad (2.6)$$

де індекс η означає об'єкт безлічі ω_{lm}, I_η - інформаційну частину η -го вектора властивостей, а $\theta_f = \{\theta_{f_l}, l = \overline{1, L}\}$.

Запишемо тепер функцію розпізнавання λ , засновану на обчисленні деякої метрики у просторі ознак, таку що:

$$\lambda = \begin{cases} 1, \rho(x_{lm}, x_s) < \varepsilon, \\ 0, \rho(x_{lm}, x_s) \geq \varepsilon. \end{cases} \quad (2.7)$$

Тут x_{lm} і x_s вектори властивостей поточного та еталонного об'єктів; ρ деяка метрика, а ε - класифікаційний допуск розпізнавання. Якщо $\rho < \varepsilon$, то вважаємо, що вектор x_{lm} належить до класу ω_s , якщо $\rho \geq \varepsilon$, то не належить. Також будемо вважати, що процедурна частина вектора властивостей об'єкта x_{lm} цієї функції не використовується.

Нехай безліч ω_{lm} утворено векторами ознак усіх графічних об'єктів, виділених із зображення I_m . Представимо процес їх ідентифікації у вигляді послідовності застосування різних функцій розпізнавання λ до елементів множини ω_{lm}

$$\omega_{\text{Im}}^q = \lambda_q \left(\omega_{\text{Im}}^{q-1}, \bar{x}_S, \bar{\theta}_{\lambda_q}, \varepsilon_{\lambda_q} \right), q = \overline{1, Q}, \quad (2.8)$$

$$\omega_{\text{Im}}^q \subset \omega_{\text{Im}}^{q-1} \subset \dots \subset \omega_{\text{Im}}^0, \quad (2.9)$$

де ω_{Im}^{q-1} та ω_{Im}^q – підмножини з ω_{Im} на $q - 1$ -му та q -м етапах розпізнавання; λ_q – функції, що утворюють безліч методів розпізнавання Λ ; $\theta_{\lambda_q} = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_m)$ – вектор параметрів функції λ_q ; ε_{λ_q} – класифікаційний допуск для λ_q ; Q – кількість використовуваних методів розпізнавання. Вираз (2.9) означає, що нерозпізнані на кроці q об'єкти відкидаються у подальшому розгляді.

Порядок застосування функцій λ_q (2.8) будемо називати методом послідовного зважування (МПВ) і представляти як

$$\lambda_{\Sigma} = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_Q\}. \quad (2.10)$$

У (2.8) - (2.10) початкова безліч векторів ознак ω_{Im} приймається за ω_{Im}^0 , а результатом виконання (2.8) буде шукана безліч розпізнаних об'єктів ω_{Im}^R . Тепер вектор властивостей зразка можна записати у вигляді

$$\omega_S = \{I_S, \theta_{\lambda}, \tau_{\lambda}\}. \quad (2.11)$$

Тут $\tau_{\lambda} = (t_{\lambda_1}, t_{\lambda_2}, \dots, t_{\lambda_Q})$ – вектор номерів у послідовності методів λ_{Σ} з (2.6); I_S , інформаційна частина вектора зразка; $\theta_{\lambda} = \{\theta_{\lambda_1}, \theta_{\lambda_2}, \dots, \theta_{\lambda_Q}, \varepsilon_{\Sigma}\}$ – розширений вектор параметрів функцій λ_q , де $\theta_{\lambda_q} = (\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M)$; γ – параметри методу

розпізнавання λ_q , індекс M залежить від τ_{λ_q} і визначає кількість параметрів у функціях λ_q , а $\varepsilon_\Sigma = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_Q)$ - вектор класифікаційних допусків функцій λ_q .

Тепер процес розпізнавання, що полягає у віднесенні об'єктів зображення $x_{\text{Im}\eta}, \eta = \overline{1, N}, \forall x_{\text{Im}\eta} \in \omega_{\text{Im}}$ до деякого класу ω_S , можна записати:

$$\Phi(\omega_{\text{Im}}, \lambda_q, x_S), q = \overline{1, Q}, \quad (2.12)$$

де Φ - ф ункціонал ідентифікації, в якому визначено послідовність методів розпізнавання λ , задана τ_{λ_q} та для безлічі ω_{Im} .

Таким чином, отримані рівняння які є основним алгоритмом обчислення контуру частинки сипких матеріалів для ідентифікації їх розмірів. Наступним етапом дослідження є технічне компонування обладнання для автоматичного поділу компонентів.

3. Теоретичні дослідження процесу поділу насіння

3.1. Розробка схеми обладнання

Для поділу матеріалу за розмірами необхідно розробити схему сепарувального обладнання, яке буде базуватися на методиці ідентифікації (розділ 2). Крім того, потрібно врахувати технологічні особливості сепарування (кінцеву якість фракцій, повноту виділення та питому продуктивність), а також властивості сипкого матеріалу [33, 34].

Для дослідження прийнята технологічна схема обладнання (рис.3.1). Насінневий матеріал подається схилами, які утворені для більш рівномірного заповнення.

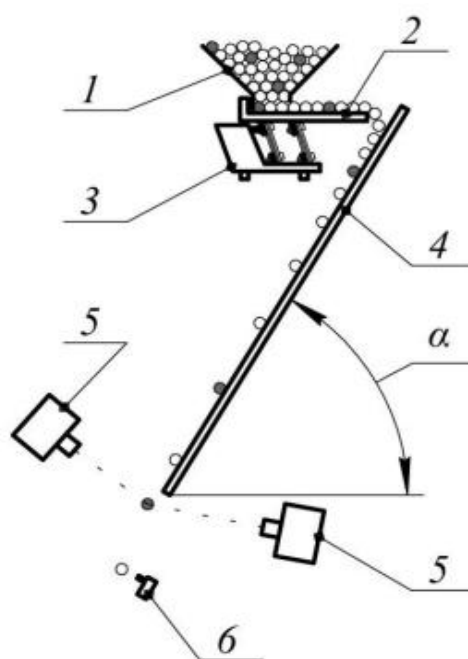


Рисунок 3.1 – Принцип сепарування матеріалу:

1 – накопичувальний пристрій; 2 – пристрій завантажувальний; 3 – вібраційний дозатор; 4 – поверхня робоча; 5 – пристрій для ідентифікації

Накопичувальний пристрій бункерного типу призначений для накопичення та дозованої подачі сипкого матеріалу до робочої зони сепарувального обладнання.

Для початку розглянемо принцип дії запропонованого сепарувального пристрою. Насінневий матеріал озимої пшениці подається для поділу у накопичувальний пристрій (поз.1, рис.3.1) бункерного типу. В нижній зоні цей пристрій має дозатор вібраційного типу (поз.2), який забезпечується за допомогою вібратора 3. За рахунок вібрації та сили тяжіння насінневий матеріал озимої пшениці починає рухатися та падати на робочу нахилену поверхню (поз.4).

Завантаження пристрою або кількість насінневого матеріалу, яка надходить до сепарувального пристрою регулюється за допомогою параметрів вібрації (поз.3, рис.3.1). Це дозволяє регулювати технологічну продуктивність, а якість визначити по кінцевому продукту. При цьому швидкість руху насіння на початку робочого лотка (поз. 4) залишається незмінною.

Після того як насіннина або домішка потрапила на робочу поверхню, вона змінює свої параметри руху завдяки її нахилу на кут α та наявності сили тяжіння. Це призводить до явища розподіленню частинок матеріалу по поверхні в один шар. Нахил поверхні утворює прискорення та певний розгін частинок до основної зони сепарування (поділу).

В цей момент, коли частинки матеріалу знаходяться в певному місці відбувається аналіз їх розмірних параметрів за допомогою пристроїв ідентифікації (поз.5, рис.3.1). Необхідного умовою щодо якісної ідентифікації розмірних параметрів насіння/домішки в заданій точці необхідно виконання наступних умов:

- необхідний діапазон швидкості частинок,
- наявність одного шару (найкраща видимість).

При невиконанні цих вимог, відсутність одношаровості і тим більше розрідженості сходу частинок матеріалу з робочого лотка (поз.4, рис.3.1) не може гарантувати якість.

Для дослідження обрано сипкий матеріал озимої пшениці сорту Подолянка.

Насіння цього сорту є поширеними та мають типові властивості для данної сільськогосподарської культури. Для визначення факторів що впливають на показники руху насіння пшениці озимої проведено відозьомка процесу та попереднє визначення діапазонів варіювання параметрів.

Запис подачі насінневого матеріалу пшениці віброживильником дозволив підтвердити впливовість конструктивних параметрів пристрою на динамічні параметри.

Кадри зйомки процесу руху насінневого матеріалу пшениці озимої наведено рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Кадри зйомки процесу руху насінневого матеріалу пшениці озимої

Аналіз рис. 3.2, підтверджує що необхідно використовувати рух матеріалу в один шар (одношаровий), щоб забезпечити необхідні показники руху для наступного сепарування. При цьому важливим є відсутність пропусків або подавання матеріалу суцільним шаром.

Також в результаті аналізу зображень вдалося підтвердити наявність ковзання, а не кочення частинок насінневого матеріалу озимої пшениці, що буде враховано в моделюванні.

Попередні випробування та аналіз зйомки дозволили зробити висновки про значущість параметрів нахиленої робочої поверхні. Це означає, що необхідно ретельно провести обґрунтування її конструктивно-технологічних параметрів.

3.2. Проведення моделювання процесу

На першому етапі моделювання розроблено загальну схему пристрою та введено відповідні параметри (рисунок 3.3).

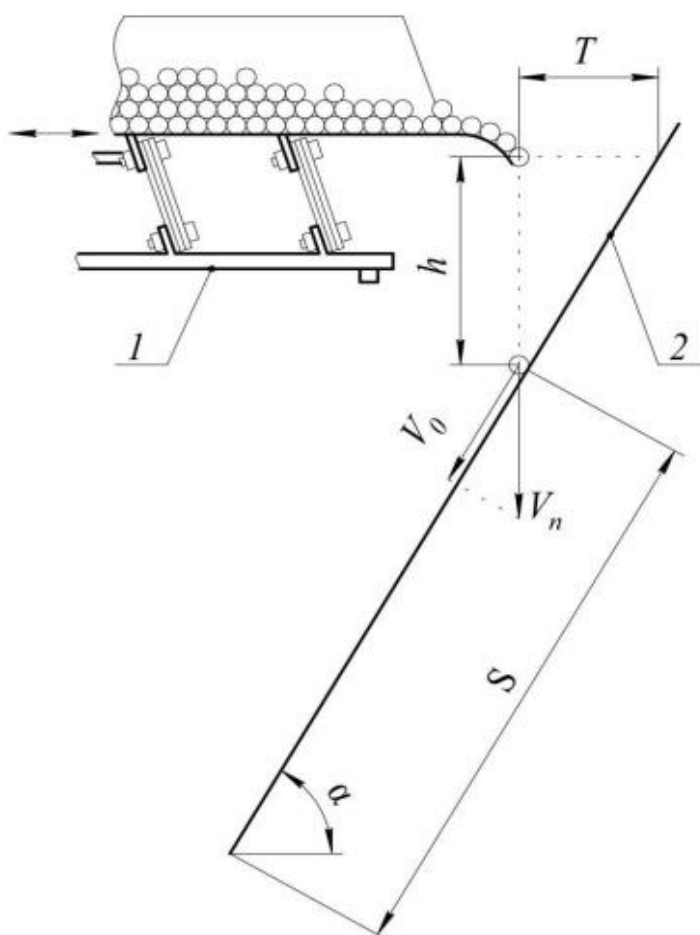


Рисунок 3.3 – Технологічний процес динаміки сипкого матеріалу по робочим поверхням: 1 – пристрій завантажувальний; 2 – поверхня робоча

Рух сипкого матеріалу по робочій поверхні буде представляти рух твердого тіла по дошці, що нахилена під кутом. При цьому розглядатимемо що тверді частинки рухаються за допомогою ковзання, а кочення їх відсутнє.

Для моделювання використаємо рівняння руху [34]:

$$m \cdot \frac{d^2 S}{dt^2} = m \cdot \frac{dV}{dt} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha, \quad (3.1)$$

де m – вага частинки насінневого матеріалу;

S – шлях насінини по лотку, м;

V – швидкість руху насінини похилою площиною, м/с;

t – час руху насінини по лотку, с ;

f – коефіцієнт тертя насінини [35]:

$$f = \tan \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi}, \quad (3.2)$$

де φ – кут тертя насінини.

Вираз щодо визначення швидкості руху будь-який момент часу буде дорівнювати:

$$V = V_0 + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g \cdot t \quad (3.3)$$

Також знаходимо рівняння пройденого насіниною шляху за якийсь проміжок часу, яке має вигляд:

$$S = V_0 \cdot t + \frac{\sin(\alpha - \varphi)}{2 \cos \varphi} \cdot g \cdot t^2. \quad (3.4)$$

В цих виразах маємо початкову швидкість насінин V_0 , відповідно до [34]:

$$V_0 = V_n \cdot \sin \alpha, \quad (3.5)$$

де V_0 – швидкість частинки на початку скатного лотка, м/с;

V_n - швидкість падіння насінин з живильника на лоток скат, м / с;

α – кут нахилу лотка до горизонту.

Швидкість падіння насінини V_n визначається наступним рівнянням:

$$V_n = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}, \quad (3.6)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g \approx 9,81$), м / с²;

Тепер для визначення швидкості сходу насіни з лотка скатного (V_{cx}) все необхідні показники відомі.

Швидкість сходу (V_{cx}) можна обчислити за виразом:

$$V_{cx} = V_0 + z \cdot t_k, \quad (3.7)$$

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

а для спрощення подання прийнято:

$$\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \cdot g = z. \quad (3.8)$$

Визначемо час руху насінин від місця їх падіння на лоток до його краю t_k :

$$t_k = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot z \cdot S} - V_0}{z}, \quad (3.9)$$

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

Рух насіння при сході з лотка можна описати наступними формулами:

$$S_x = x_0 + V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot t_{cn}, \quad (3.10)$$

$$V_x = V_{cx}^x = V_{cx} \cdot \cos \alpha, \quad (3.11)$$

$$a_x = 0 \quad (3.12)$$

та

$$S_y = y_0 + V_{cx} \cdot \sin \alpha \cdot t_{cn} + \frac{g \cdot t_{cn}^2}{2}, \quad (3.13)$$

$$V_y = V_{cx}^y + g \cdot t_{cn}, \quad (3.14)$$

$$V_{cx}^y = V_{cx} \cdot \sin \alpha, \quad (3.15)$$

$$a_y = g, \quad (3.16)$$

де S_x – координата (шлях) насінин по осі x під час їхнього вільного падіння, м;

x_0 – координата насінин по осі x в момент їх сходу зі скатного лотка (при розташування координатних осей, подібно до рисунка 2.5, $x_0 = 0$), м;

t_{cn} – час вільного падіння насінин від скатного лотка до місця вибракування домішок, с;

V_{cx}^x - швидкість сходу насінин з лотка, спроектована на вісь x , м/с;

a_x – прискорення руху насінин під час їхнього вільного падіння від лотка, спроектоване на вісь x , м/с²;

S_y – координата (шлях) насінин по осі y під час їхнього вільного падіння, м;

y_0 – координата насінин по осі y ;

V_{cx} – складова швидкості частинки, з якою вони сходять по відношенню до вісі y ;

a_y – прискорення частинок відносно вісі y .

Вираз, який узагальнює попередні формули, має:

$$V_B = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos)^2 + \left(V_{cx} \cdot \sin \alpha + \frac{g \cdot B_B}{V_{cx}} \right)^2}. \quad (3.19)$$

де V_B – швидкість насінини/домішки у точці сепарування.

Знайдемо час, який потребують частинки матеріалу щоб переміститися по робочому лотку (t_{cn}). Для цього використаємо наступну формулу:

$$t_{cn} = \frac{B_B \cdot \cos \alpha}{V_{cx} \cdot \cos \alpha} = \frac{B_B}{V_{cx}}, \quad (3.20)$$

де B_B – відрізок від робочого лотка до точки сепарування.

Отримані формули дозволяють описати рух насіння/домішок по запропонованому пристрою.

Як було сказано вище, робочий лоток визначає швидкість руху та якість очищення, а від його довжини, змінюють параметри одношарового середовища.

Динаміка середовища по робочому лотку залежить від відстані між його частинками, які мають прискорення по мірі руху. Це безпосередньо залежить від довжини робочого лотку та часу скільки частинки матеріалу перебувають на

ньому. Також впливовим є кут α , за яким нахилений робочий лоток, що вказує на величину сили тяжіння. Крім того швидкість падіння частинок на робочий лоток V_0 та подальший вплив тертя (f) на них також формують динамічні показники насіння/домішок досліджуємого матеріалу.

З урахуванням вищесказаного, довжина робочого лотка буде визначатися за допомогою величини комплексної та узагальнюючої у вигляді відстані між частинками.

Точка сепарування характеризується заданим параметрами у вигляді швидкості повітряного потоку та часу на його дію t_{eu} . Для цього необхідно мати умови, де частинка матеріалу попадає у точку сепарування під дію повітряного потоку. Його величина залежить від пристрою ідентифікації, що визначає заздалегідь геометричні параметри та згідно з довідковими базами встановлює необхідну швидкість повітряного потоку в точці сепарування.

Беззаперечно необхідно також мати розраховану величину відстані між частинками S_{int_B} , що забезпечити необхідне та якісне сепарування домішок від основного насіння:

$$S_{int_B}^{min} = \frac{V_B + V_{(t_B-t_0)}}{2} \cdot t_{eu}, \quad (3.21)$$

де $S_{int_B}^{min}$ – відстань між частинками в точці сепарування через термін часу $t_B = t_k + t_{cn}$), що у сукупності визначає дію сепарування 1 частинки;

$V_{(t_B-t_0)}$ – показник швидкості частинки, яка йде наступна в точці сепарування;

t_B – термін часу переміщення частинки до точки сепарування $(t_k + t_{cn})$;

t_{eu} – час дії потоку повітря в точці сепарування.

Час, який необхідний для ефективного сепарування або поділу компонентів (домішка/насіння) є t_{eu} і визначається параметрами налаштування сепаратора).

Швидкість $V_{(t_B-t_0)}$ можна визначити так:

$$V_{(t_B-t_0)} = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx} \cdot \sin \alpha + g \cdot [t_{cn} - t_0])^2}. \quad (3.22)$$

З урахуванням попередніх даних, отримаємо:

$$V_{(t_B-t_0)} = \sqrt{(V_{cx} \cdot \cos \alpha)^2 + \left(V_{cx} \cdot \sin \alpha + g \cdot \left[\frac{B_B}{V_{cx}} - t_0 \right] \right)^2}. \quad (3.23)$$

Таким чином, підсумовуючі вищесказане приймаємо для мінімізації втрат наступну умову:

$$S_{int_B} \geq S_{int_B}^{\min}, \quad (3.24)$$

де S_{int_B} – відстань між частинками матеріалу при їх сепаруванні у відповідній точці.

Ця відстань S_{int_B} може бути ідентифікована за формулою:

$$S_{int_B} = B_B - \frac{x_n}{\cos \alpha} - r, \quad (3.25)$$

де x_n – місце розташування частинки відносно вісі x при потраплянні її до точки сепарування.

Позицію x_n ідентифікуємо з даної формули:

$$x_n = x_0 + V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot (t_{cn} - t_0) = V_{cx} \cdot \cos \alpha \cdot \left(\frac{B_B}{V_{cx}} - t_0 \right). \quad (3.26)$$

Наведені вище формули адекватно описують процес у випадку коли маємо рівність коефіцієнтів тертя компонентів (домішка/насіння) відносно робочого лотку. В реальних виробничих умовах, очевидно, маємо різницю коефіцієнтів тертя домішкового компоненту та насіння. Це вимагає відповідного корегування наших розрахунків, бо впливає на якість сепарування.

Один з можливих випадків, буде спостерігатися коли частинка попередня має відмінний (зменшений) коефіцієнт порівняно з наступною частинкою. Це викликатиме нормальне вирішення задачі відповідно до наведених вище рівнянь, тому що частинки будуть рухатися одна за одною в одношаровому середовищі з відстанню S_{int} .

Іншою більш складною ситуацією є наявність різних за величиною коефіцієнтів, коли інтервал частинок може суттєво зменшуватися між ними. Тоді частинки можуть не рухатися одним шаром, а накопичуватися, що істотно погіршить сепарування у відповідній точці. Тоді використання отриманих формул є обмежене, що потребує відповідного корегування.

Проведемо відповідні розрахунки, що врахують такі умови та визначимо формули руху частинок з різними коефіцієнтами:

$$\frac{dV}{dt} = g \cdot (\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha) \quad (3.27)$$

Для спрощення подання формул позначимо:

$$g \cdot \sin \alpha - g \cdot f \cdot \cos \alpha = A. \quad (3.28)$$

Тоді для ідентифікації відстані двох частинок рівняння (3.28) матиме вигляд:

$$g \cdot \sin \alpha - g \cdot f_1 \cdot \cos \alpha = A_1; \quad (3.29)$$

$$g \cdot \sin \alpha - g \cdot f_2 \cdot \cos \alpha = A_2, \quad (3.30)$$

де f_1, f_2 – коефіцієнти, які враховують тертя двох частинок по робочому лотку.

Необхідно зауважити, що зміна величини тертя ($t_1 m a f_2$) безпосередньо торкнеться зміни їх швидкісних характеристик.

Так, швидкість переміщення двох частинок (з відповідними змінними умовами) по робочому лотку визначали наступними виразами:

$$V_1 = V_0 + A_1 \cdot t_1; \quad (3.31)$$

$$V_2 = V_0 + A_2 \cdot (t_1 - t_0^{mp}), \quad (3.32)$$

де V_1 і V_2 – швидкість переміщення двох частинок за умовою відмінного тертя;

t_1 – період часу переміщення частинки по робочому лотку;

t_0^{mp} – період часу, коли поступає послідовна частинка.

Для визначення часу t_0^{mp} , що містить інформацію відносно тертя знайдемо за наступною формулою:

$$t_0^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot r - V_0}}{A_1}. \quad (3.33)$$

Відрізок (S), який пройшли дві послідовно рухаючі частинки, від точки їх падіння на робочий лоток до його кінцевої зони, при цьому включно з тертям можна прорахувати за наступною формулою:

$$S = V_0 \cdot t_1^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2}; \quad (3.34)$$

$$S = V_0 \cdot t_2^{mp} + \frac{A_2 \cdot t_2^{mp^2}}{2}, \quad (3.35)$$

де t_1^{mp}, t_2^{mp} – період часу двох частинок, які рухаються одна за одною від точки падіння до кінцевої зони лотка робочого.

Проведемо перетворення (3.34) і знайдемо період часу переміщення частинки номер один (t_1^{mp}):

$$\frac{A_1}{2} \cdot t_1^{mp^2} + V_0 \cdot t_1^{mp} - S = 0 \Rightarrow t_1^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_1 \cdot S} - V_0}{A_1}. \quad (3.36)$$

Проведемо такі самі дії по відношенню до періоду часу (t_2^{mp}) та перетворивши формулу (3.35).

Тоді маємо:

$$\frac{A_2}{2} \cdot t_2^{mp^2} + V_0 \cdot t_2^{mp} - S = 0 \Rightarrow t_2^{mp} = \frac{\sqrt{V_0^2 + 2 \cdot A_2 \cdot S} - V_0}{A_2}. \quad (3.37)$$

Знайдемо швидкості, з якими частинки сходять з робочої поверхні (V_{cx_1} та V_{cx_2}) визначатиметься такими виразами:

$$V_{cx_1} = V_0 + A_1 \cdot t_1^{mp}; \quad (3.38)$$

$$V_{cx_2} = V_0 + A_2 \cdot t_2^{mp}, \quad (3.39)$$

де V_{cx_1} та V_{cx_2} – швидкість переміщення при сходженні частинок з кінцевої зони робочого лотка.

Відрізки (S_1 та S_2), який прийшли частинки визначаємо наступними рівняннями:

$$S_1 = V_0 \cdot t_1 + \frac{A_1 \cdot t_1^2}{2}; \quad (3.40)$$

$$S_2 = V_0 \cdot (t_1 - t_0^{mp}) + \frac{A_2 \cdot (t_1 - t_0^{mp})^2}{2}. \quad (3.41)$$

Проведемо наступне перетворення і замінимо у формулах (3.40) та (3.41) t_1 на t_1^{mp} . Це дозволить отримати відстань між компонентами в кінцевій зоні робочого лотку, при цьому буде враховано їх тертя.

Тоді маємо:

$$S_{int}^{mp} = V_0 \cdot t_0^{mp} + \frac{A_1 \cdot t_1^{mp^2}}{2} - \frac{A_2 \cdot (t_1^{mp} - t_0^{mp})^2}{2}, \quad (3.42)$$

де S_{int}^{mp} – відстань між компонентами в кінцевій зоні робочого лотку.

Проведемо побудову залежності показника відстані між частинками S_{int}^{mp} в кінцевій зоні робочого лотку від показників тертя дослідних частинок. Для комплексного аналізу використаємо відносний показник, а саме - різницю між тертям цих частинок.

Ми знаємо, що частинки домішок мають відмінний коефіцієнт тертя від частинок насіння. Тоді приймаємо наступні значення коефіцієнтів тертя: для насіння озимої пшениці – 0,3...0,4, а для домішок у діапазоні 0,41...0,45 [36, 37].

Для чисельних прорахунків прийmemo:

- кут нахилу робочого лотка відносно горизонту у розмірі: $\alpha = 60$ градусів;

- еквівалентний діаметр насіння $r = 0,004$ мм;
- відрізок від крайньої зони робочого лотка до точки сепарування матеріалу $V_B = 0,038$ м;
- період часу коли на частинки діє повітряний потік $t_{bu} = 0,001$ секунда;
- швидкість з якою частинки починають рухатися по робочому лотку $V_0 = 0,95$ м/с,
- відрізок переміщення частинок по робочому лотку $S = 1$ м;
- прискорення $g = 9,81$ м/с.

Для отримання залежностей використаємо три точки значень коефіцієнту тертя присутні в діапазонах, а саме $f_{1.1} = 0,43$; $f_{1.2} = 0,39$; $f_{1.3} = 0,36$. При цьому для іншої частинки матеріалу приймемо зміни її коефіцієнта для отримання більшої різниці (Δf).

Знайдемо відхилення (Δf) між коефіцієнтами за формулою:

$$(\Delta f) = f_1 - f_2, \quad (3.43)$$

де Δf – різниця між коефіцієнтами тертя частинок матеріалу, які переміщуються робочим лотком.

Таким чином, якщо ми віднімемо з Δf прийняте заздалегідь значення ($f_{1.1} = 0,43$; $f_{1.2} = 0,39$; $f_{1.3} = 0,36$) ми будемо мати коефіцієнт (f_2) для другої частинки.

Отримані значення коефіцієнту (f_2) другої частинки ми використаємо в наших формулах, що маємо. Тоді ми переходимо до визначення відстані між частинками S_{int}^{mp} .

В результаті розрахунків отримані залежності відстані між частинками, які переміщуються по робочому лотку, та залежать від відмінності у показниках їх тертя Δf (рисунок 3.4).

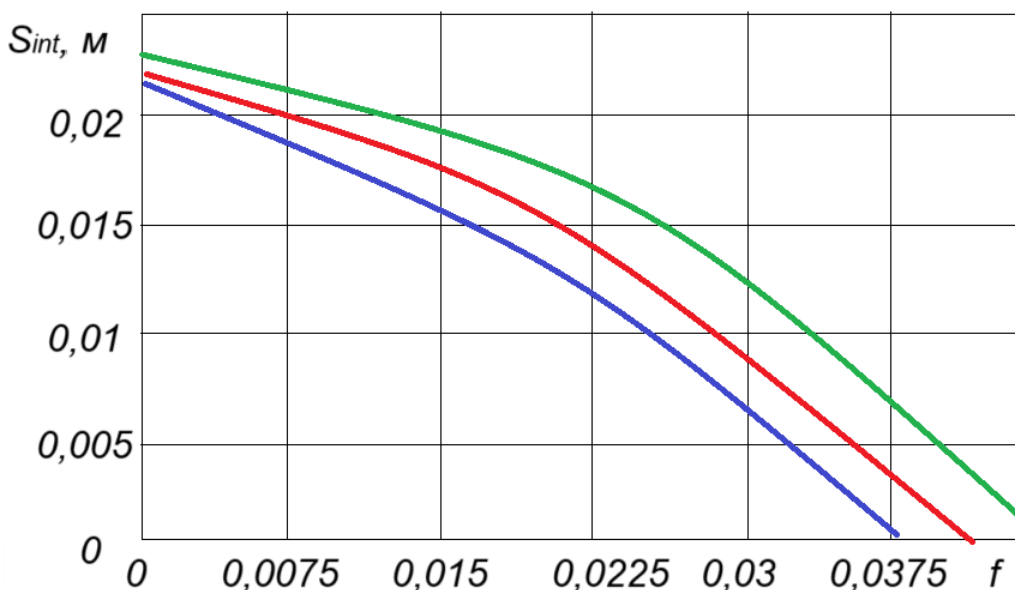


Рисунок 3.4 – Графіки відстані між частинками матеріалу S_{int} по відношенню до параметрів тертя: крива зеленого кольору $f=0,35$; червона крива $f=0,4$, синя крива $f=0,45$

Аналізуючи отримані залежності (рис. 3.4), можна стверджувати що з ростом відмінності тертя частинок (Δf), ми спостерігаємо пониження відстані між ними в кінцевій зоні S_{int}^{mp} .

У випадку, коли $\Delta f > 0,04$ відстань між частинками S_{int}^{mp} перетворюється на нуль. Це свідчить про відсутність інтервалу між ними, а значить накопичення та ускладнення умов щодо якісного їх поділу в точці сепарування.

Також, аналізом даних наведених на рисунку 3.4 встановлено, що мінімізація між показниками тертя частинок є позитивною по відношенню до відстані між ними в потоці та кінцевій якості поділу в точці сепарування.

Перейдемо до наступного питання, яке стосується сходження частинок з робочого лотка та потрапляння їх до точки сепарування.

Для моделювання даного питання використаємо типові рівняння падіння твердого тіла, а завданням, яке поставимо для себе, стане визначення швидкості (V_{cx1}, V_{cx2}) сходження частинок номер один і два з кінцевої зони робочого лотка. При цьому продовжимо враховувати різницю між показниками тертя.

З урахуванням вищесказаного, маємо формули для визначення часу t_{cn_1} , t_{cn_2} щодо спадання частинок з робочої поверхні:

$$t_{cn_1} = \frac{B_B}{V_{cx_1}}; \quad (3.44)$$

$$t_{cn_2} = \frac{B_B}{V_{cx_2}}, \quad (3.45)$$

де t_{cn_1} та t_{cn_2} – період часу сходження частинок (номер один та номер два, відповідно) від кінцевої зони до точки сепарування.

Відстань між частинками ($S_{int_B}^{min_1}$), з урахуванням її мінімальної межі, коли частинки знаходяться в точці сепарування визначали використавши наступну формулу:

$$S_{int_B}^{min_1} = \frac{V_{n_B} + V_2^1}{2} \cdot t_{ai}, \quad (3.46)$$

де $S_{int_B}^{min_1}$ – відстань між частинками за мінімальної межі коли частинки знаходяться в точці сепарування і відчувають на собі дію повітряного потоку;

V_{n_B} – швидкість переміщення частинки у точці сепарування, де діє повітряний потік;

V_2^1 – швидкість переміщення частинки номер два в точці сепарування.

Тоді, для наших умов маємо формули для ідентифікації швидкостей у почці їх потенціального поділу:

$$V_{np_B} = \sqrt{(V_{cx_1} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_1} \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot t_{cn_1})^2}; \quad (3.47)$$

$$V_{m_H} = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha \cdot g \cdot t_{cn_2})^2}, \quad (3.48)$$

де V_{npB} – швидкість частинки з урахуванням різних коефіцієнтів її тертя, м/с.

Для наших прийнятих умов маємо те, що тертя другої частинки по відношенню до першої є меншим. Тоді період часу (t_2^{mp}) на переміщення другої частинки до крайньої зони робочого лотку буде значно меншим від періоду часу t_1^{mp} . Це означає, що період часу на сходження другої частинки до ситуації, коли перша дійде до точки сепарування ($t_{cn_2} - t_0^{mp}$) буде рівняти ($t_1^{mp} - t_2^{mp}$).

З урахуванням (3.47, 3.48), можемо визначити швидкість V_2^1 за наступною формулою:

$$V_2^1 = \sqrt{(V_{cx_2} \cdot \cos \alpha)^2 + (V_{cx_2} \cdot \sin \alpha + g \cdot [t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp})])^2}. \quad (3.49)$$

Проведені розрахунки дозволяють стверджувати наступне. За умови коли $S_{int}^{mp} \leq 0$, друга частинка доганяє першу в кінцевій зоні робочого лотку заданих розмірів. Це говорить про утворення негативних умов щодо якісного поділу насіння/домішки в точці сепарування.

Тому робимо висновки щодо реалізації якісного поділу частинок та формуємо відповідні умови:

$$S_{int}^{mp} > 0 \quad (3.50)$$

$$S_{int_B}^{mp} \geq S_{int_B}^{\min_1} \quad (3.51)$$

де $S_{int_B}^{mp}$ – відстань між частинками, яка отримана в результаті розрахунків, при досягненні точки сепарування.

Інтервал x_n^{mp} знайдемо використавши наступний вираз:

$$S_{\text{int}_B}^{mp} = B_B - \frac{x_n^{mp}}{\cos \alpha} - r, \quad (3.52)$$

де x_n^{mp} – розташування частинки, що йде наступна, по відношенню до осі x у момент влучення попередньої насінини.

Координату x_n^{mp} ми визначимо використавши математичний вираз:

$$x_n^{mp} = V_{cx_2} \cdot \cos \alpha \left[t_{cn_2} - t_0^{mp} + (t_1^{mp} - t_2^{mp}) \right] \quad (3.53)$$

Проведемо аналіз отриманого рівняння. З точки зору впливовості на значення відстані $S_{\text{int}_B}^{mp}$ виділимо наступні параметри: еквівалентний діаметр частинок (r), період часу t_0^{mp} . Приведемо приклади. Якщо сепарування суміші насіння та домішок проводиться для частинок з еквівалентним діаметром r_1 , то маємо відстань між частинками $S_{\text{int}_B}^{mp}$. Подібна відстань буде відрізнятися тоді, коли ми використовуємо середовище з частинками r_2 .

Проведемо чисельні розрахунки та подуємо залежності відстані $S_{\text{int}_B}^{mp}$ у точці сепарування від еквівалентного діаметру частинок (r). При цьому врахуємо різницю між тертям частинок.

Для прорахунку отриманих рівнянь приймемо наступні параметри:

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\alpha = 60^\circ$; $B_B = 0,038 \text{ м}$; $t_{\text{бу}} = 0,001 \text{ с}$; $V_0 = 0,95 \text{ м/с}$; шлях насіння скатним лотком $S = 1 \text{ м}$ [34].

Для врахування тертя частинок приймемо відповідні значення коефіцієнтів та різницю між ними: $f_{1.1} = 0,43$, $f_{2.1} = 0,39$; $f_{1.2} = 0,39$; $f_{2.2} = 0,35$; $f_{1.3} = 0,36$, $f_{2.3} = 0,32$; $\Delta f = 0,04$.

Також при чисельних прорахунках приймемо характерні для насіння озимої пшениці та її домішок розмірні параметри, а саме еквівалентний діаметр від $0,004 \dots 0,008 \text{ м}$.

В результаті чисельних розрахунків за вказаними параметрами та отриманими формулами вдалося побудувати залежності відстані між частинками матеріалу $S_{\text{int}_B}^{mp}$ від їх геометричного параметру.

Результати розрахунків відображені на графіках рисунка 3.5.

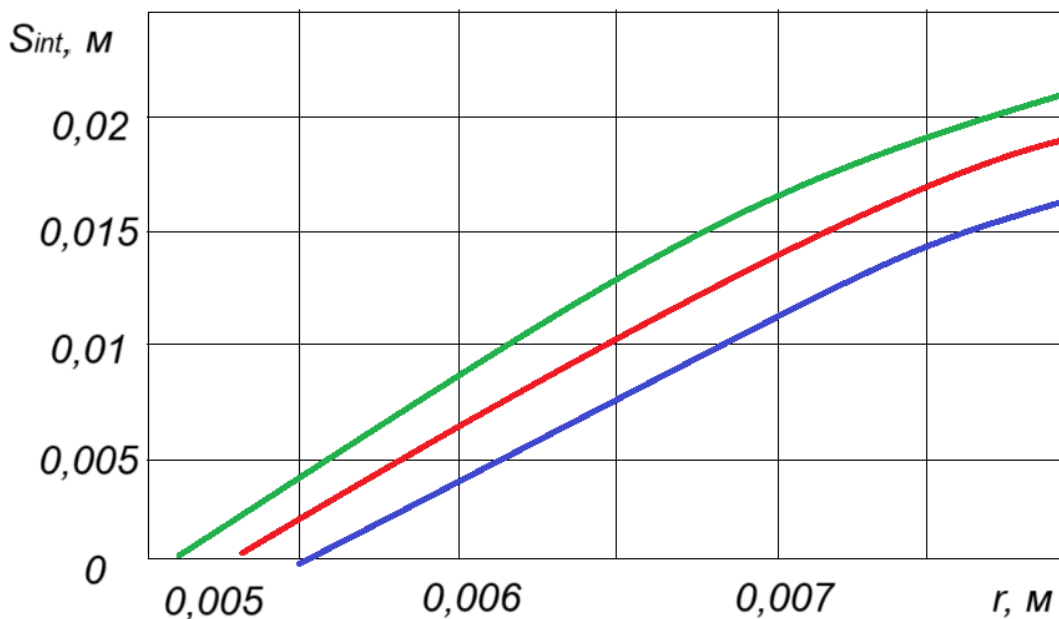


Рисунок 3.5 – Графічна залежність відстані між частинками матеріалу $S_{\text{int}_B}^{mp}$ від їх геометричного параметру: крива синього кольору $f_{1,1}=0,35$, $f_{2,1}=0,39$; червона крива $f_{1,2}=0,39$, $f_{2,2}=0,35$, зелена крива $f_{1,3}=0,36$, $f_{2,3}=0,32$

Аналізом залежностей (рис. 3.5) встановлено, що відстань між частинками $S_{\text{int}_B}^{mp}$ прямопропорційно залежить від еквівалентного діаметру частинки (r). Збільшення діаметру частинок призводить до збільшення відстані між ними в точці сепарування. Крім того, було встановлено, що зниження показників тертя частинок по робочому лотку призводить до збільшення відстані між ними в точці сепарування.

Наявність різнорозмірного матеріалу, що має відмінні діаметри частинок на практиці ускладнює процес їх поділу. За умови сепарування змішаних за розмірами частинок (крупні / дрібні а далі дрібні/крупні), то навіть якщо будемо

мати рівні умови тертя – отримаємо в точці сепарування величину відстані не постійну в часі, або неоптимальну до умов сепарування - $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\text{min}_1}$.

В такому випадку, один зі способів намагатися контролювати одношаровість переміщення матеріалу по робочому лотку за допомогою реалізації суцільної подачі оброблюваного матеріалу з живильника на лоток скатний.

Крім того, спосіб корегування або наближення до оптимальної умови $S_{\text{int}}^{mp} > 0$ та $S_{\text{int}_B}^{mp} \geq S_{\text{int}_B}^{\text{min}_1}$ є варіювання довжини робочого лотка. Це також дозволить отримати одношаровий суцільний рух.

Отримані формули є способом розрахунку динаміки частинки (насіння/домішка) від точки їх падіння до сходження з робочого лотку, потрапляння до точки сепарування з урахування значущих властивостей розміри та тертя частинок.

Реалізація розрахункового процесу потребує розуміння наступних параметрів:

- кут (α) робочого лотка відносно горизонту;
- коефіцієнти ($f_1 m a f_2$), що відображають тертя частинки номер один та номер два по робочому лотку;
- кут (φ), що відображає тертя матеріалу по лотку;
- еквівалентний діаметр частинки (r);
- відрізок (B_B) від крайньої зони робочого лотка до точки сепарування;
- період часу ($t_{\text{ви}}$) від впливу повітря;
- швидкість (V_0) стартування переміщення частинки по робочому лотку;
- відстань (S) переміщення по робочому лотку.

Алгоритм розрахунків починається з ідентифікації вищенаведених параметрів необхідних для моделювання, а далі визначаємо період часу t_0^{mp}

через який рухається частинка і переходимо до визначення швидкостей сходження V_{cx_1} V_{cx_2} частинок з робочого лотка.

Наступним кроком є визначення відстані $S_{int_B}^{mp}$ між частинками та встановлення періоду часу сходження частинок t_{cn_1} і t_{cn_2} з робочого лотка. Далі ми переходимо до розрахунку швидкості переміщення частинок в точці сепарування V_{np_B} і V_{nv} .

Після цього переходимо до визначення мінімальної відстані $S_{int_B}^{mp}$ між частинками в точці сепарації, що визначає якість процесу сепарування компонентів насіння/домішка.

Проведене моделювання проведено при низці припущень. Це потребує проведення додаткових експериментів щодо уточнення параметрів та ефективності використання даних результатів в практичній площині.

Тоді, з вищенаведеного можна зробити наступні висновки:

а. висока якість сепарування може бути забезпечена тільки за умови одношарової подачі насінневого матеріалу;

б. розроблена математична модель описує рух насінин, в тому числі у випадку, коли домішка має більший коефіцієнт (тертя) по відношенню до наступного за нею повноцінне насіння;

в. аналіз математичної моделі дозволяє зробити висновок, що довжину скатного лотка слід набувати максимального значення, за якого виконуються такі умови: $S_{int}^{mp} > 0$ та $S_{int_B}^{mp} \geq S_{int_B}^{\min_1}$;

- розрахунки показали, що при $\alpha = 60^0$; $r = 0,005 м$; $S = 1 м$; $V_0 = 0,95 м/с$; $f_1 = (0,36...0,43)$; $f_2 = (0,3...0,4)$; $B_B = 0,038 м$ та $t_{eu} = 0,001 с$ для зниження втрат та скорочення перешкод при розпізнаванні дефектів різниця $\Delta f = f_1 - f_2$ має бути не більше 0,04;

- оскільки розробки математичної моделі було прийнято ряд припущень, необхідно довести експериментально її достовірність.

4. Технічна реалізація способу ідентифікації розмірів

Використання статистичних методів або методів машинного навчання, підходи на основі зображень виявилися ефективним способом досягти автоматичної інспекції та ефективного оцінювання [38]. Досліджено методи, які засновані на машинному зорі та цифровій обробці зображень для оцінки якості насіння с.г. культур, які є швидкими, неруйнівними, точними та економічно ефективними порівняно з традиційними методами [39].

Для того, щоб знайти підходящий параметр насіння та підвищити точність класифікації, необхідно вибрати декілька ключових ознак, які точно описують його властивості.

Ринкова цінність насіння залежить від репродуктивних та фізичних властивостей насіння. Співвідношення довгої /маленької вісі насінини вважається ключовою характеристикою насіння, яка може ідентифікувати його властивості комплексно [40].

На сьогоднішній день кілька досліджень повідомили про покращення точності класифікації насіння с.г. культур за допомогою машинного зору та методів обробки зображень [41, 42].

На практиці оптимізація мереж обмежується обмеженою навчальною вибіркою і здійснюється за допомогою стохастичного процесу навчання, який дає можливість уникати застрягання в локальних мінімумах. З іншого боку, цей стохастичний процес навпаки, цей стохастичний процес робить оптимізацію мереж емпіричною і схильною до сильного впливу статистичних варіацій [43]. Для подолання цих проблем було запроваджено гібридний підхід з використанням нечіткої системами. Нечіткі системи досить добре справляються з невизначеностями і можуть інтерпретувати зв'язок між входом і виходом, виробляючи правила.

Запропонований метод класифікації порівнюється зі стандартними методами машинного навчання, а саме: машиною опорних векторів та класифікатором k-найближчих сусідів.

Схематичний робочий процес запропонованого методу складається з наступних етапів.

а. Підготовка зразка полягала на використанні візуальних показників насіння.

б. Система візуалізації та отримання зображень

Схематичне зображення системи отримання зображень показано на рисунку 4.1. Як правило, система технічного зору складається з освітлювального компонента для освітлення досліджуваного зразка; камери для отримання зображення; комп'ютера для отримання зображення; персонального комп'ютера або мікропроцесорної системи для забезпечення дискового зберігання зображень і обчислювальних можливостей.

У системі отримання зображень вибір правильної стратегії освітлення залишається складною проблемою оскільки не існує конкретних рекомендацій щодо інтеграції освітлення та застосування машинного зору.

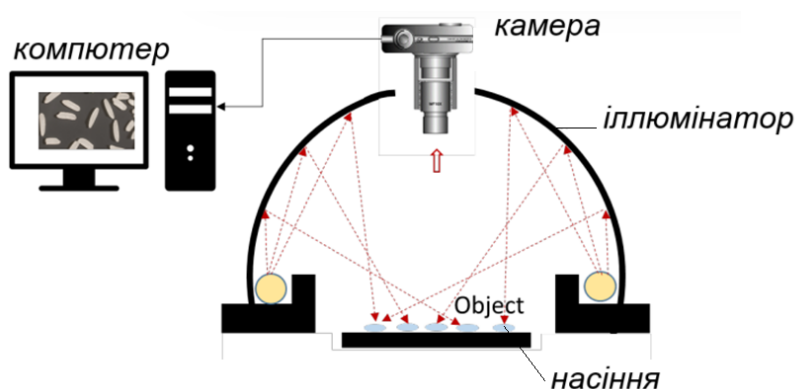


Рисунок 4.1 – Принципова схема системи отримання зображення

Компактна флуоресцентна лампа 25-40 кГц кільцеподібне компактне флуоресцентне світло були використані для освітлення в цій установці. Окрім освітлювача, дифузорна геометрія поверхні також має важливе значення при проектуванні освітлення.

Подібна установка є ефективною для аналізу насіння с.г. культур з показником успішності, що майже досягає 100% [44].

Система була розміщена в темній камері, щоб запобігти впливу розсіяного світла. Цифрову камеру (Canon EOS 1300D) встановлено в ручному режимі для отримання зображень з ISO 400 і витримкою 1/30 с. Зображення були зроблені на чорному тлі для зразка насіння озимої пшениці сорту Подолянка. Діафрагму та фокус камери були відрегульовані таким чином, щоб на зображенні можна було розрізнити окремі межі зерен.

в. Обробка зображень проводилася за допомогою MATLAB для отримання даних про особливості. Спочатку отримане RGB-зображення було розділене на один канал R, G та B у відтінках сірого. Потім сіре зображення кожного каналу було перетворено в бінарне зображення. Цей метод перетворює зображення у відтінках сірого у бінарне зображення на основі кластеризації зображень відповідно до порогових значенням. Це порогове значення оптимально визначається між 0 і 1.

Рівень сірого нормалізується від 0-255 до 0-1. Потім метод розділяє нормалізоване зображення на два класи з нижчим або вищим рівнем сірого за порогове значення. Кожному пікселю присвоюється білий колір (1) якщо рівень сірого перевищує порогове значення, інакше - чорний (0). Таким чином, сегментація зображення передбачає ідентифікацію об'єктів на зображенні за допомогою алгоритму виявлення країв який визначає межі окремого об'єкта і позначає центр кожного об'єкта для подальшої обробки. Зрештою, положення кожного насіння фіксується, і воно позначається відповідно до його положення за допомогою процесу сегментації.

Потім шум кожного зображення усувається за допомогою морфологічного процесу. За ним слідує операція морфологічного відкриття зі структурним елементом типу «диск» з подальшим заповненням отворів та чіткими межами.

Операція розкриття усуває об'єкти, які не можуть повністю вмістити структуруючий елемент. Таким чином вона видаляє шум із зображення. Потім кожен об'єкт був маркований з подальшим підрахунком об'єктів.

Виділення ознак передбачає отримання кількісної інформації з сегментованих зображень.

Тут вилучення параметрів, таких як ексцентриситет, еквівалентний діаметр, площа, периметр, довжина великої осі та довжину малої осі було додатково облічено. Співвідношення сторін, тобто довжина великої осі до довжини малої осі, було оцінено з набору ознак об'єкта.

Алгоритм обробки зображення (насіння озимої пшениці) показано на рисунку 4.2.

г. Особливості насіння. Фізичні властивості насіння пшениці характеризуються за допомогою морфологічних ознак. Насіння пшениці зазвичай розглядається як еліпс, рисунок 4.3.

Виходячи з цього припущення про об'єкт, можна виділити відповідні морфологічні ознаки об'єкта:

- довжина головної осі: кількість пікселів між крайніми точками вздовж головної осі насіння;

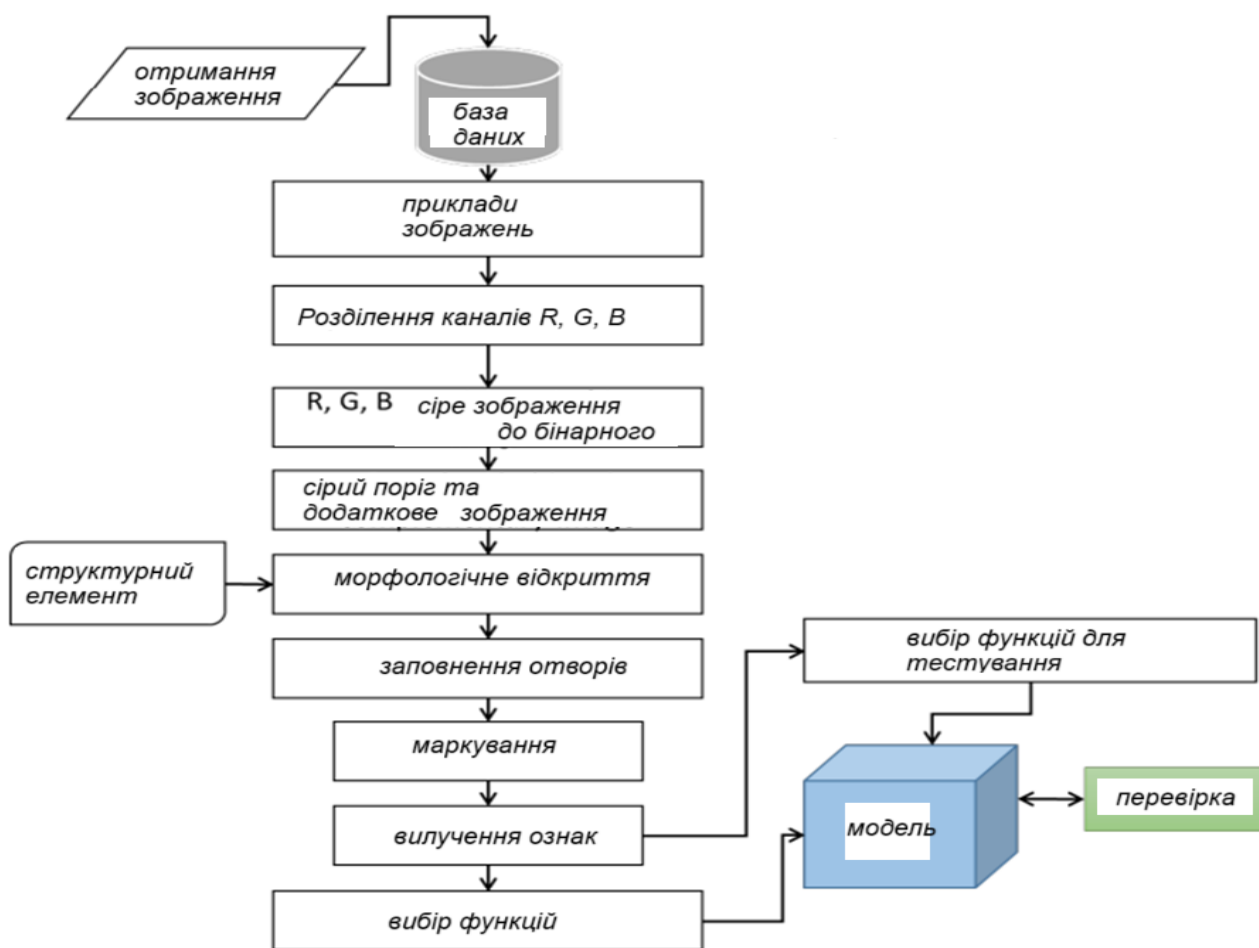


Рисунок 4.2 – Алгоритм обробки зображень

- довжина малої осі: вимірює кількість пікселів між крайніми точками вздовж малої осі насіння;
- периметр: загальна кількість пікселів вздовж межі насіння;
- площа: це загальна кількість пікселів в об'єкті насіння;
- співвідношення сторін (a/b): відношення довжини великої осі до довжини малої осі насіння;
- ексцентриситет: ексцентриситет обчислюється як частка від кількості пікселів між головною великою віссю і центром еліпса, що містить насіння. Значення ексцентриситету знаходиться в діапазоні від 0 до 1;
- еквівалентний діаметр: еквівалентний діаметр насіння розраховується за формулою:

$$E_d = \sqrt{(4S)/\pi}, \quad (4.1)$$

Ці параметри були отримані за допомогою методів обробки зображень.

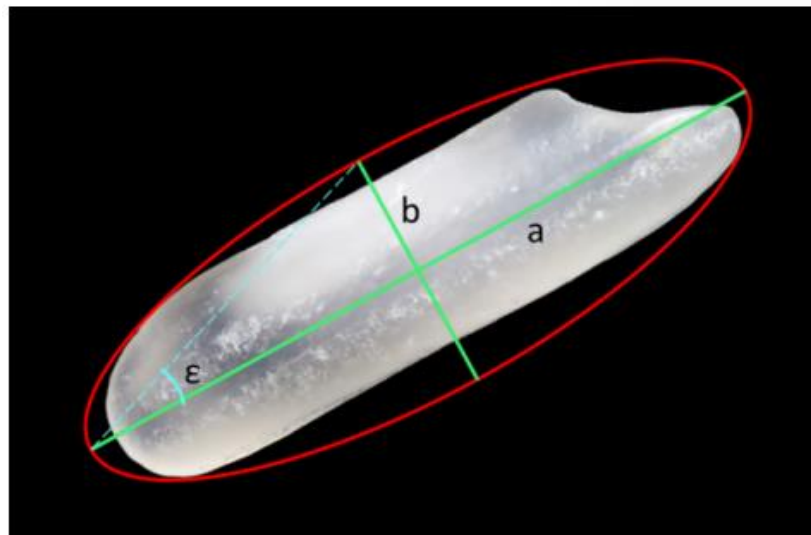


Рисунок 4.3 – Геометричні властивості насіння

Система нечіткого виводу включає в себе знання експерта, під час проектування моделі між вхідними та вихідними параметрами. Зв'язок між вхідними та вихідними параметрами визначається набором нечітких правил.

Нечітке логічне міркування передбачає присвоєння функції належності вхідним та вихідним параметрам; та базу правил, яка обробляє ці значення.

Точний вибір цих функцій належності та правил є один з найбільш важливих етапів, який потребує експертних знань

Порядок проведення був наступний. Були отримані зображення зразків насіння озимої пшениці (загалом 40 зображень). Серед них, ознаки, отримані з 30 зображень були використані для подільшої обробки, а ознаки, отримані з решти 10 зображень, були використані для тестування. Згодом точність класифікації було оцінено за фактичним класом тестових даних та вихідними результатами.

Приклад оброблених зображень показано на рисунку 4.4.

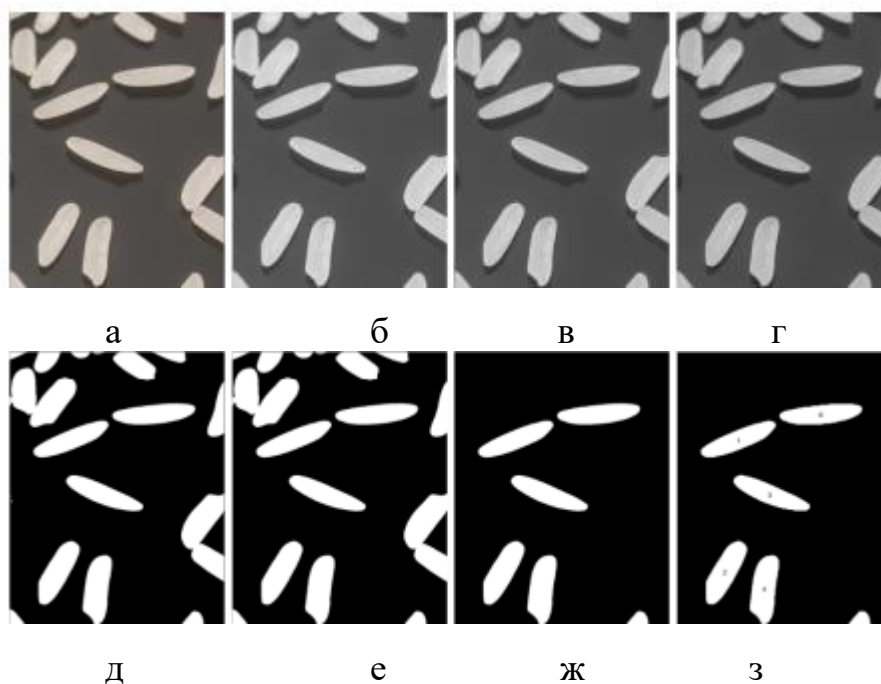


Рисунок 4.4 – Зображення, які в подальшому обробляються

Ці зображення були використані для вилучення ознак, які були використані для побудови нечіткої моделі.

Зображення мають, як насіння, так і домішковий компонент.

Після сегментації та морфологічних операцій, кожен об'єкт окремого зображення був позначений.

Під час аналізу була знайдена тестова помилка (рис.4.5). На графіку помилок тестування сині крапки – фактичний результат.

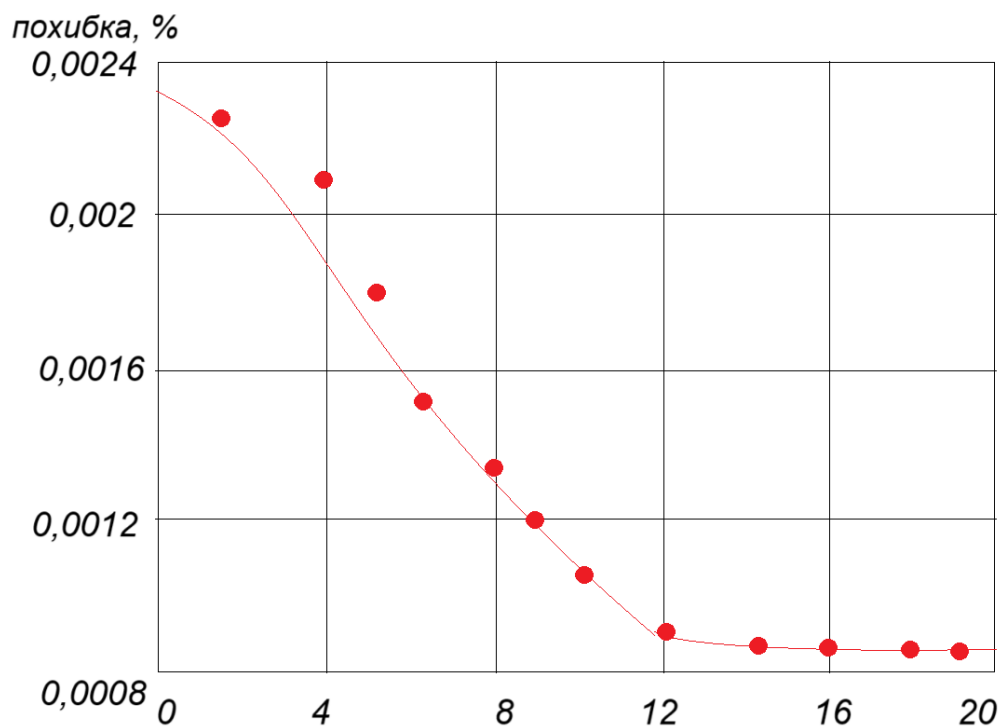


Рисунок 4.5 – Помилка аналізу зображень

На рис. 4.6 ілюструє аналіз на основі тестового зображення. На ньому чітко видно відмінність між фізичними параметрами насіння та домішок.

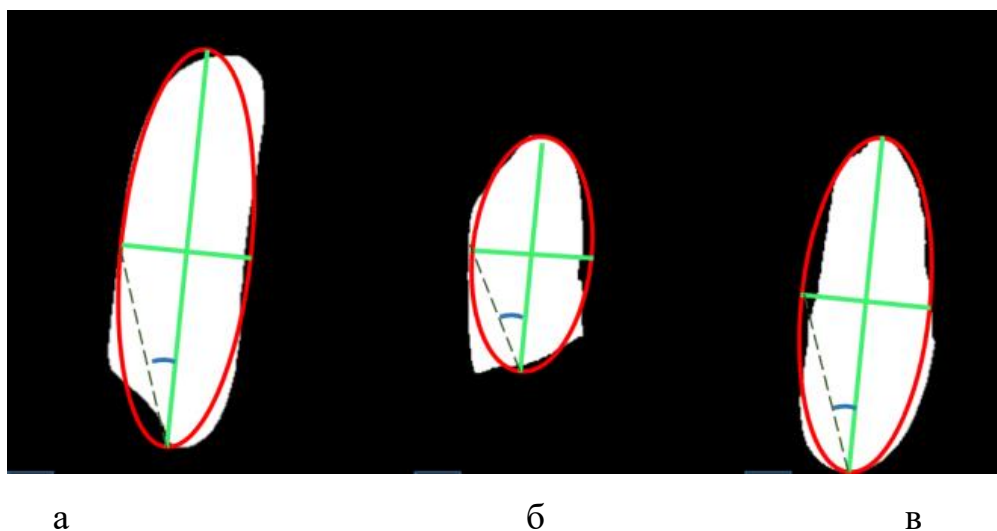


Рисунок 4.6 – Варіації розмірів між насінням (а) та домішками (б, в)

З експериментальних результатів видно, що аналіз за запропонованим методом дає точність ідентифікації $>98,5\%$ (рис.4.7).

Однак порівняльний аналіз з базовими методами [000] є менш сприятливими з точністю $<95\%$ (рис.4.7).

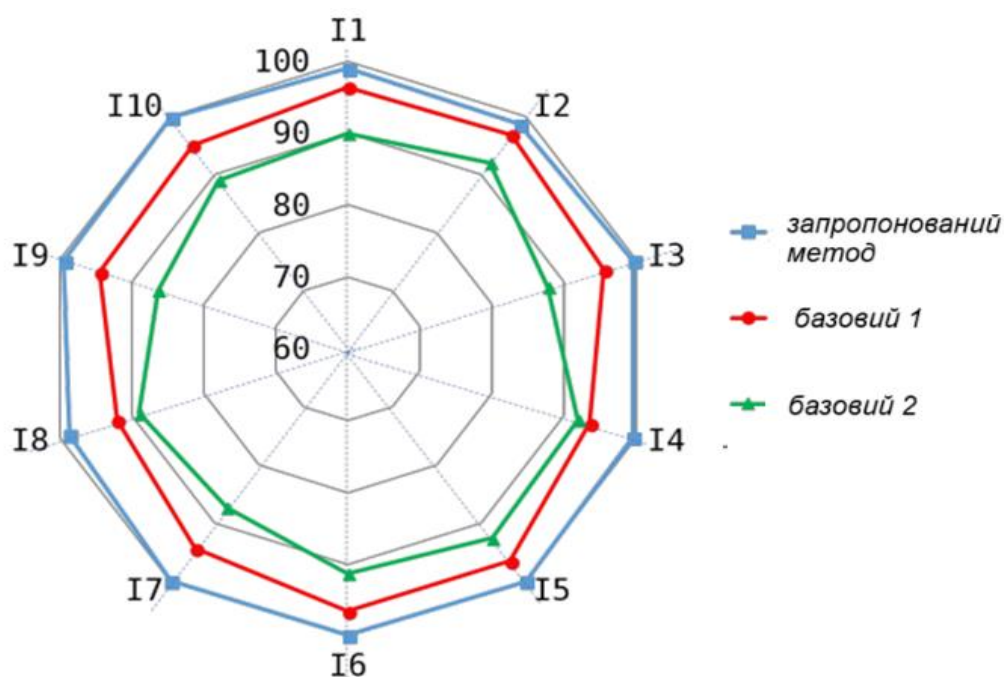


Рисунок 4.7 – Ефективність ідентифікації зразків зображень (I1-I10 - ідентифікатори тестових зображень)

Аналіз ознак, отриманих з об'єктів дослідження показані на рисунку 4.7. Усі ознаки позитивно зміщені, що представляє позитивний зв'язок із розміром насіння.

Поява ексцентриситету $>0,9$. Подібні результати також показані у випадку площі, периметра та довжини великої осі. З результатів тестового зображення кількість насіння склало 17 з 22 об'єктів, в той час як домішки (биті об'єкти) становлять = 5 з 22 об'єктів. Тому відсоток насіння складає $(17/22) \times 100 = 77,27\%$.

Далі було визначено ефективність, яка становить $\sim 77,3\%$ зі стандартним відхиленням (σ) 1,5.

Таким чином, стандартна техніка ідентифікації рідко включає знання предметної області, пов'язані з фізичними властивостями насіння озимої пшениці. Запропонована методика враховує фізичні властивості насіння, розроблені на основі методу аналізу зображень для класифікації повноцінного насіння та домішок.

Точність ідентифікації зображень склала $>98,6\%$, що перевищує показники стандартних методів ($<95\%$).

5. Експериментальні дослідження

У процесі проведення експерименту були проведені виміри довжини, ширини та товщини насіння озимої пшениці та проведено аналіз геометричних характеристик посівного матеріалу. Даний аналіз дозволить обрати ознаки поділу, які потрібно використовувати для відділення якісного насіння на пристрою (розділ 3).

Виміри проводилися за допомогою запропонованого обладнання (розділ 4) з точністю виміру 0,001 мм. Дані всіх вимірів заносилися до таблиці. За допомогою математичної статистики [45] вони були оброблені, і на підставі отриманих даних побудовано графіки та знайдені функції розподілу за кожному із вимірюваних параметрів.

При проведенні будь-якого експерименту необхідно керуватися заданою точністю та необхідною кількістю вимірів [45]. Оскільки обсяг вибірки має відповідати всім вимогам і описувати параметри, що вивчаються, із заданою точністю, то його необхідно визначити з такою ж точністю. Необхідний обсяг вибірки визначали за формулою (5.1):

$$n = \left(\frac{t \cdot v}{S_{\bar{x}}} \right)^2, \quad (5.1)$$

де n – необхідний мінімальний обсяг вибірки;

t – критерій Стюдента;

v – коефіцієнт варіації;

$S_{\bar{x}}$ – відносна помилка вибіркової середньої.

У сільському господарстві під час проведення експерименту найчастіше використовується 95%-ний довірчий інтервал, тому при проведенні вимірів ми також користувалися 95% довірчим інтервалом. Отже, для визначення об'єму вибірки брали нескінченно велику кількість ступенів свободи при 95% довірчому

інтервалі, тоді табличний критерій Стюдента приймали рівним 1,96. Коефіцієнт варіації під час проведення експериментів сільському господарстві зазвичай лежить у проміжку 10 – 20 %, визначення нашої вибірки приймали $\nu = 15\%$, а відносну помилку вибіркової середньої – з достатньою точністю, рівної $S_{\bar{x}} = 3$.

Підставивши описані вище параметри формулу (5.1), визначили необхідний обсяг вибірки:

$$n = \left(\frac{1,95 \cdot 15}{3} \right)^2 = 96,04. \quad (5.2)$$

Для спрощення обчислень та дотримання умов точності приймали обсяг вибірки, рівний $n = 100$. Після обчислення необхідного обсягу вибірки проводили виміри трьох геометричних розмірів (довжина, ширина та товщина) посівного матеріалу озимої пшениці сорту Подолянка. За кожним із досліджуваних параметрів було проведено по 100 вимірів, після чого були обчислені такі характеристики вибірки, як: розмах, похибка середня, коефіцієнт варіації, відносна помилка вибіркової середньої, дисперсія [46].

Для кожної з трьох вибірок було визначено всі перераховані вище характеристики за наступною методикою. Розмах отриманих значень визначали за такою формулою:

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (5.3)$$

де R – розмах отриманих значень;

x_{\max} – максимальне значення, отримане при вимірах;

x_{\min} – мінімальне значення, отримане при вимірах.

Потім визначали середнє значення за відомою формулою:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (5.4)$$

де \bar{x} – середнє значення вибірки, мм;

x_i - фактичне значення вимірюваної величини, мм;

n – кількість вимірів, $n = 100$.

Далі всі отримані значення вимірів були розділені на 5 інтервалів, а значення кожного інтервалу визначали за формулою:

$$i = \frac{R}{k}, \quad (5.5)$$

де i – величина інтервалу, мм;

k – кількість інтервалів, $k = 5$.

Стандартне відхилення знаходили за такою формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (5.6)$$

де S – стандартне відхилення.

З метою спрощення розрахунків стандартне відхилення визначали за формулою (5.6), пов'язаною з частотою влучення в задані інтервали:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f \cdot (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (5.7)$$

де f – частота влучення випадкової величини у заданий інтервал.

Помилку вибіркової середньої визначали за формулі:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (5.8)$$

де S_x – помилка вибіркової середньої.

Коефіцієнт варіації знаходили за такою формулою:

$$V = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (5.9)$$

де V - коефіцієнт варіації.

Відносну помилку вибіркової середньої знаходили за формулою:

$$S_{x\%} = \frac{S_x}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (5.10)$$

де $S_{x\%}$ – відносна помилка вибіркової середньої.

Дисперсію визначали як квадрат стандартного відхилення та обчислювали за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}. \quad (5.11)$$

Для кожного з трьох досліджуваних параметрів проведемо окремі досліді. З метою систематизації даних усі отримані виміри геометричного параметра довжина (100 значень) представлені у таблиці 5.1.

Усі необхідні розрахунки проводили за допомогою програми Microsoft Excel 2010.

Таблиця 5.1 – Дані вимірювання за довжиною

№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення
1	4,52	21	5,72	41	5,00	61	4,96	81	5,12
2	4,84	22	5,78	42	5,44	62	5,58	82	5,32
3	5,46	23	5,68	43	5,78	63	4,92	83	4,96
4	5,12	24	5,22	44	5,24	64	5,26	84	5,20
5	4,58	25	5,28	45	4,82	65	4,72	85	4,78
6	5,18	26	4,98	46	5,22	66	4,82	86	5,74
7	5,34	27	4,60	47	4,90	67	5,14	87	4,58
8	5,32	28	5,12	48	4,98	68	5,48	88	4,94
9	5,28	29	5,18	49	4,98	69	5,86	89	5,10
10	4,78	30	5,18	50	5,24	70	5,74	90	5,22
11	5,62	31	5,12	51	5,22	71	4,86	91	4,72
12	4,92	32	5,26	52	5,25	72	5,54	92	5,54
13	4,82	33	4,78	53	5,72	73	5,08	93	4,82
14	5,28	34	5,32	54	5,20	74	4,74	94	5,22
15	4,52	35	5,30	55	4,64	75	5,46	95	5,44
16	4,92	36	5,32	56	4,68	76	5,18	96	4,84
17	5,16	37	5,72	57	5,00	77	5,28	97	4,66
18	4,82	38	4,66	58	5,38	78	5,12	98	4,82
19	4,86	39	5,08	59	5,08	79	5,12	99	5,14
20	5,62	40	5,0	60	5,14	80	5,36	100	5,14

Для початку статистичної обробки даних визначали максимальне та мінімальне значення, які рівні $x_{\max} = 5,86$ та $x_{\min} = 4,52$ відповідно; використовуючи формулу (5.2), визначили розмах отриманих значень:

$$R = 5,86 - 4,52 = 1,34 \text{ мм.} \quad (5.12)$$

Для визначення величини інтервалів при розбитті всіх отриманих значень на групи скористалися формулою (5.4):

$$i = \frac{1,34}{5} = 0,268. \quad (5.13)$$

Для зручності розрахунків деякі розрахункові дані були зведені в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку суми квадратів відхилень за довжиною

Інтервал		Частота f	\bar{x}_l	$f \cdot \bar{X}_l$	$\bar{X} - \bar{X}_l$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)^2$
початок	кінець						
4,52	4,79	15	4,65	69,81	0,48	7,203	3,459
4,79	5,06	23	4,92	113,21	0,21	4,881	1,036
5,06	5,32	36	5,19	186,84	-0,06	-2,009	0,112
5,32	5,59	16	5,46	87,33	-0,32	-5,181	1,678
5,59	5,86	10	5,73	57,26	-0,59	-5,918	3,502

Використовуючи формулу (5.7), визначили стандартне відхилення; для спрощення розрахунків квадратів відхилень використовували суму значень $f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)^2$:

$$S = \sqrt{\frac{9,786}{100-1}} = 0,314. \quad (5.14)$$

Підставивши значення стандартного відхилення у формулу (5.8), знаходили помилку вибірковою середньою:

$$S_x = \frac{0,314}{\sqrt{100}} = 0,031. \quad (5.15)$$

Для визначення коефіцієнта варіації спочатку необхідно визначити середнє значення одержаних експериментальних даних:

$$\bar{x} = \frac{513,42}{100} = 5,134. \quad (5.16)$$

Для встановлення ступеня варіювання вимірюваних величин, що характеризує мінливість набутих значень, визначали коефіцієнт варіації за формулою (5.9):

$$V = \frac{0,314}{5,134} \cdot 100\% = 6,124\%. \quad (5.17)$$

Використовуючи формулу (5.10), визначали відносну помилку досвіду:

$$S_{x\%} = \frac{0,314}{5,134} \cdot 100\% = 0,612\%. \quad (5.18)$$

Отримані значення коефіцієнта варіації та відносної помилки досвіду відповідали передбачуваному (20% і 3% відповідно) при розрахунку необхідного обсягу вибірки, отже, кількість повторень вимірів була достатньою.

Визначили дисперсію досвіду, яка становила:

$$D = \frac{9,786}{100-1} = 0,099. \quad (5.19)$$

За отриманими даними було збудовано полігон емпіричного розподілу, а також шляхом проведення апроксимації було знайдено функцію розподілу отриманих даних.

На рисунку 5.1 точками показано експериментальний розподіл вимірюваних величин, а лінією – теоретичний розподіл, знайдений при допомоги апроксимації отриманих експериментальних даних [45, 46].

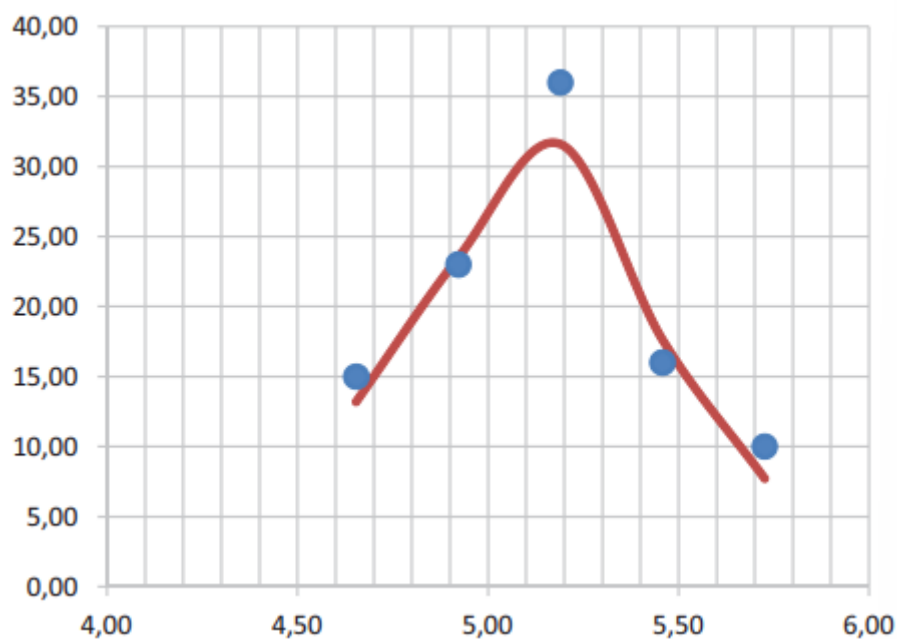


Рисунок 5.1 – Емпіричний розподіл насіння пшениці по довжині

Знайдена експериментальна функція мала наступний вид:

$$y = \frac{1}{1,101 \cdot x^2 + 45,756 \cdot \ln(x) - 20,226 \cdot x}. \quad (5.20)$$

Далі, використовуючи наведену вище методику, визначали всі необхідні показники для двох інших величин.

З метою систематизації даних усі отримані виміри геометричного параметра ширина (100 значень) було зведено таблицю 5.3.

Необхідні розрахунки проводили за допомогою програми Microsoft Excel 2010, максимальна і мінімальне значення дорівнюють $x_{\max} = 3,72$ і $x_{\min} = 3,00$ відповідно; використовуючи формулу (5.2) визначили розмах одержаних значень:

$$R = 3,72 - 3,00 = 0,72 \text{ мм}. \quad (5.21)$$

Для визначення величини інтервалів при розбивці всіх отриманих значень використовували формулу (5.4):

$$i = \frac{0,72}{5} = 0,144. \quad (5.22)$$

Результати розрахунку суми квадратів відхилень насіння по ширині представлені таблиці 5.4.

Використовуючи формулу (5.6), визначили стандартне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{2,965}{100-1}} = 0,173. \quad (5.23)$$

Таблиця 5.3 – Дані вимірів насіння по ширині

№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення
1	3,36	21	3,42	41	3,40	61	3,38	81	3,42
2	3,40	22	3,38	42	3,44	62	3,56	82	3,34
3	3,56	23	3,54	43	3,52	63	3,36	83	3,38
4	3,20	24	3,48	44	3,18	64	3,32	84	3,44
5	3,42	25	3,24	45	3,36	65	3,54	85	3,64
6	3,16	26	3,38	46	3,72	66	3,16	86	3,68
7	3,20	27	3,64	47	3,02	67	3,16	87	3,32
8	3,22	28	3,64	48	3,28	68	3,48	88	3,58
9	3,08	29	3,14	49	3,68	69	3,14	89	3,22
10	3,72	30	3,46	50	3,14	70	3,22	90	3,18
11	3,44	31	3,36	51	3,34	71	3,44	91	3,32
12	3,38	32	3,44	52	3,32	72	3,36	92	3,38
13	3,56	33	3,48	53	3,36	73	3,16	93	3,44
14	3,22	34	3,22	54	3,46	74	3,18	94	3,50
15	3,54	35	3,20	55	3,48	75	3,62	95	3,38
16	3,00	36	3,54	56	3,12	76	3,62	96	3,56
17	3,08	37	3,62	57	3,62	77	3,08	97	3,28
18	3,70	38	3,46	58	3,02	78	3,40	98	3,72
19	3,48	39	3,26	59	3,34	79	3,72	99	3,20
20	3,18	40	3,48	60	3,10	80	3,48	100	3,48

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку суми квадратів відхилень насіння за шириною

Інтервал		Частота f	\bar{x}_l	$f \cdot \bar{X}_l$	$\bar{X} - \bar{X}_l$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)^2$
початок	кінець						
3,00	3,14	11	3,07	33,79	0,31	3,390	1,045
3,14	3,29	21	3,22	67,54	0,16	3,448	0,566
3,29	3,43	32	3,36	107,52	0,02	0,646	0,013
3,43	3,58	22	3,50	77,09	-0,12	-2,724	0,337
3,58	3,72	14	3,65	51,07	-0,27	-3,749	1,004

Дисперсія досвіду становила:

$$D = \frac{2,965}{100-1} 0,029. \quad (5.24)$$

За отриманими даними було збудовано полігон емпіричного розподілу, а також шляхом проведення апроксимації було знайдено функцію розподілу отриманих даних. На рисунку 5.2 точками показано експериментальне розподіл вимірюваних величин, а лінією – теоретичний розподіл, знайдений при допомоги апроксимації отриманих експериментальних даних.

Знайдена експериментальна функція мала наступний вид:

$$y = \frac{1}{\frac{88,944}{e^x} - \frac{34,793}{x} + 7,2975}. \quad (5.25)$$

Результати систематизації отриманих вимірів товщини (100 значень) представлені таблиці 5.5.

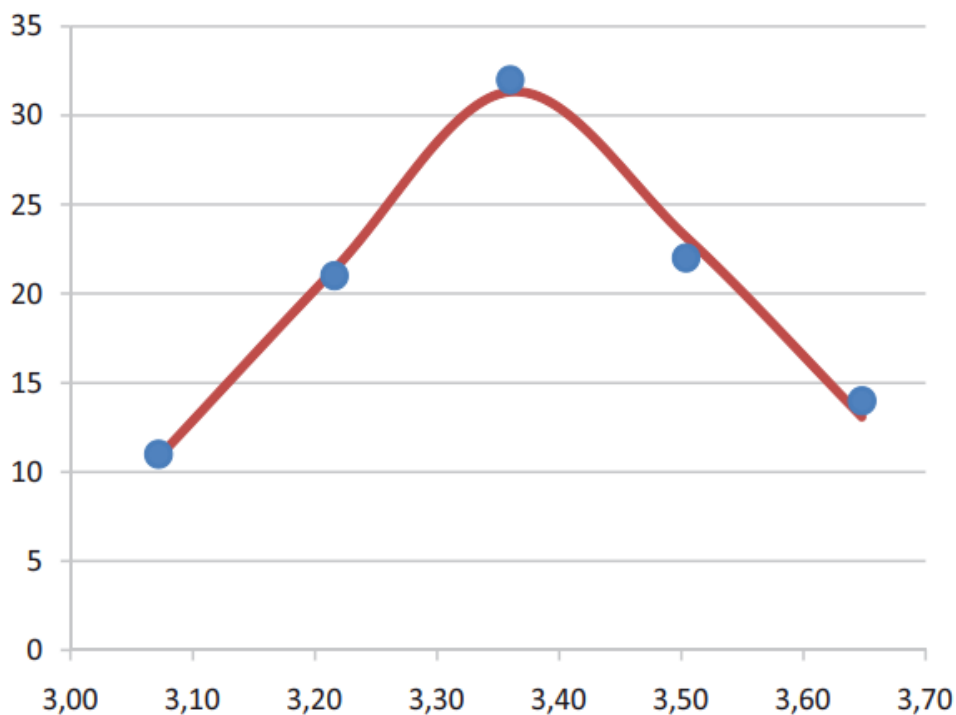


Рисунок 4.2 – Емпіричний розподіл насіння по ширині

Необхідні розрахунки, як і попередніх дослідів, проводили за допомогою програми Microsoft Excel 2010; максимальне та мінімальне значення дорівнювали $x_{\max} = 3,52$ і $x_{\min} = 2,86$ відповідно. Використовуючи формулу (4.2), вираховували розмах отриманих значень [45]:

$$R = 3,52 - 2,86 = 0,66 \text{ мм.} \quad (5.26)$$

Для визначення величини інтервалів при розбитті всіх отриманих значень на групи використовували формулу (5.4):

$$i = \frac{0,66}{5} = 0,132. \quad (5.27)$$

Використовуючи формулу (5.6), отримали стандартне відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{2,300}{100-1}} = 0,152. \quad (5.28)$$

Результати розрахунку суми квадратів відхилень за шириною показані у таблиці 5.6.

Таблиця 4.5 - Дані вимірів насіння за товщиною

№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення	№	Значення
1	3,14	21	3,22	41	2,92	61	3,16	81	2,96
2	3,20	22	3,00	42	3,12	62	3,12	82	3,16
3	3,04	23	3,08	43	3,48	63	3,24	83	3,02
4	3,22	24	3,06	44	3,02	64	3,00	84	3,20
5	3,02	25	2,94	45	3,18	65	3,42	85	3,34
6	2,94	26	3,38	46	3,38	66	2,92	86	3,22
7	3,34	27	3,48	47	3,00	67	3,34	87	3,22
8	3,22	28	3,24	48	3,08	68	3,28	88	3,32
9	3,34	29	3,24	49	3,32	69	3,36	89	3,22
10	3,28	30	3,18	50	3,28	70	3,30	90	3,30
11	3,50	31	3,52	51	2,94	71	3,04	91	3,20
12	3,02	32	3,48	52	3,18	72	3,28	92	3,02
13	3,06	33	3,44	53	3,52	73	3,22	93	3,18
14	3,00	34	3,02	54	3,04	74	3,08	94	2,96
15	3,04	35	2,92	55	3,24	75	3,34	95	3,08
16	3,14	36	3,14	56	3,12	76	3,24	96	3,46
17	3,18	37	3,18	57	3,18	77	2,96	97	3,18
18	3,26	38	3,24	58	3,34	78	3,28	98	3,00
19	3,22	39	2,96	59	3,36	79	3,48	99	2,86
20	3,00	40	3,20	60	3,22	80	3,52	100	3,32

Підставивши значення стандартного відхилення у формулу (5.8), знаходили помилку вибірковою середньої:

$$S_x = \frac{0,152}{\sqrt{100}} = 0,015. \quad (5.29)$$

Для визначення коефіцієнта варіації насамперед знаходили середнє значення отриманих експериментальних даних :

$$\bar{x} = \frac{318,90}{100} = 3,189. \quad (5.30)$$

Для встановлення ступеня варіювання вимірюваних величин, що характеризує мінливість одержаних значень, коефіцієнт варіації обчислювали за формулою (5.9):

$$V = \frac{0,152}{3,189} \cdot 100 \% = 4,780 \%. \quad (5.31)$$

Таблиця 4.6 – Результати розрахунку суми квадратів відхилень насіння за шириною

Інтервал		Частота f	\bar{x}_l	$f \cdot \bar{X}_l$	$\bar{X} - \bar{X}_l$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)$	$f \cdot (\bar{X} - \bar{X}_l)^2$
початок	кінець						
2,86	2,99	11	2,93	32,19	0,26	2,893	0,761
2,99	3,12	22	3,06	67,28	0,13	2,882	0,378
3,12	3,26	34	3,19	108,46	0,00	-0,034	0,000
3,26	3,39	22	3,32	73,08	-0,13	-2,926	0,389
3,39	3,52	11	3,45	37,99	-0,27	-2,915	0,772

Використовуючи формулу (5.10), визначали відносну помилку досвіду:

$$S_{x\%} = \frac{0,015}{3,189} \cdot 100 \% = 0,478 \%. \quad (5.32)$$

Аналогічно першому та другому випадкам, отримані значення коефіцієнта варіації і відносної помилки досвіду відповідали передбачуваному (20% і 3%

відповідно) під час розрахунку необхідного обсягу вибірки, отже, кількість повторень вимірів було достатньо [46].

Дисперсія досвіду склала:

$$D = \frac{2,300}{100-1} = 0,023. \quad (5.33)$$

За отриманими даними було збудовано полігон емпіричного розподілу, а також шляхом проведення апроксимації було знайдено функцію розподілу отриманих даних. На рисунку 5.3 точками показано експериментальний розподіл вимірюваних величин, а лінією – теоретичний розподіл, знайдений при допомоги апроксимації отриманих експериментальних даних.

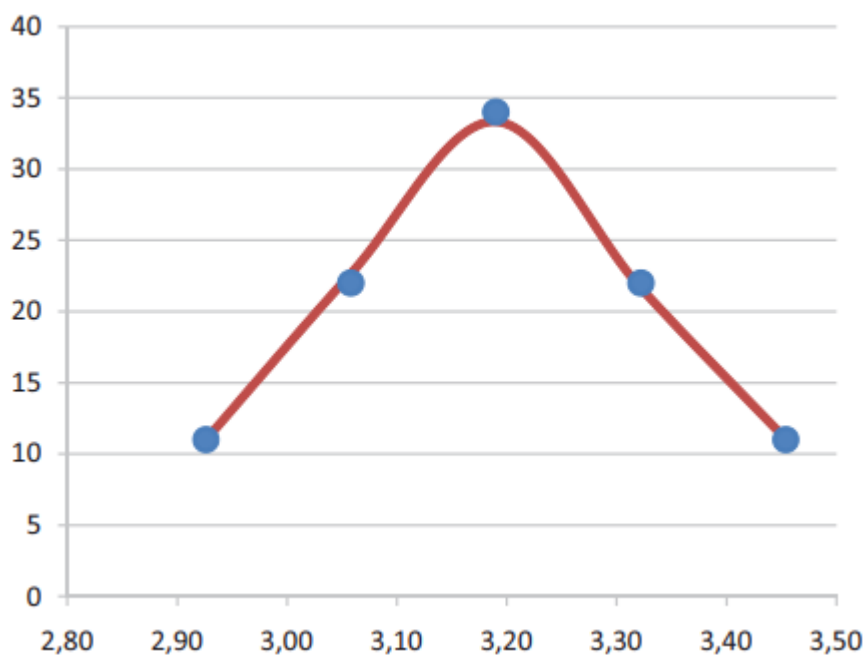


Рисунок 4.3 – Емпіричний розподіл насіння за товщиною

Знайдена експериментальна функція мала наступний вид:

$$y = \frac{1}{\frac{23,152}{e^x} + 392,85 \cdot 10^{-3} x^2 + 1,5426 \cdot x}. \quad (5.34)$$

Для всіх трьох знайдених функцій емпіричного розподілу також були знайдені квадрати відхилень, які становили довжиною, шириною і товщиною. Представлені ні функції були перевірені на достовірність за критерієм Кохрена, а результати порівняння показали повноту достовірності отриманих функцій [46].

Таким чином, можна зробити наступні висновки:

1. Отримані дані геометричних параметрів (довжина, ширина, товщина) озимої пшениці сорту Подолянки, які були оброблені за допомогою статистичного методу.
2. За даними експериментальних досліджень з допомогою апроксимації було знайдено функції емпіричного розподілу.
3. В результаті проведення дослідів було розроблено методику математичної обробки посівного матеріалу для наочного демонстрування калібрування, яке надалі можна застосовувати для проведення дослідів.
4. Визначено можливості відділення повноцінного високо-врожайного насіння, яке складає 25% від загального обсягу та має розміри:
 - довжина 4,9-5,3 мм,
 - ширина 3,25-3,50 мм,
 - товщина 3,05-3,35 мм.

ВИСНОВКИ

1. Проведено дослідження, які направлені на підвищення якості насінневого матеріалу шляхом відбору насіння більших розмірів.
2. Проведено аналіз досліджень щодо впливу розмірів насінневого матеріалу на врожайність с.г. культур, їх репродуктивні властивості, визначена актуальність.
3. Проведено аналіз способів та методів ідентифікації розмірів об'єктів, визначено перспективність оптичних напрямків.
4. Проведено обґрунтування параметрів похилої робочої поверхні для ідентифікації розмірів в потоці та подальшому використанні для сепарування. При цьому враховано властивості насінневого матеріалу.
5. Проведено технічне обґрунтування схеми та обладнання для ідентифікації розмірів насіння. Запропонована методика та схема її технічної реалізації враховує фізичні властивості насіння озимої пшениці, та базується на основі методу аналізу зображень для класифікації повноцінного насіння та домішок. Точність ідентифікації зображень склала $>98,6\%$, що перевищує показники стандартних методів ($<95\%$).
6. Виконати експериментальні дослідження щодо ідентифікації розмірних характеристик насіння озимої пшениці сорту Подолянка, визначено можливості відділення повноцінного високо-врожайного насіння.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пузік Л.М., Пузік В.К. Технологія зберігання і переробки зерна: навчальний посібник. Харків: ТОЧКА, 2013. 312 с.
2. Бугай С.М., Савченко І.М. Рослинництво. К.: Вища школа. 1996. 342 с.
3. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво. К.: Аграрна освіта, 2001. 382 с.
4. Черенков А. В., Шевченко М. С., Романенко О. Л. та ін. Якість зерна озимої пшениці на півдні України та шляхи її підвищення. Бюл. Ін-ту зернового госп-ва. 2009. № 37. С. 8–12.
5. Станкевич Г.М., Овсянникова Л.К., Соколовська О.Г. Обробка та зберігання дрібнонасіньових олійних культур: монографія. Одеса: КП ОМД, 2016. 128 с.
6. Господаренко Г. М., Любич В. В., Полянецька І. О. Передумови формування якості зерна пшениць і продуктів його перероблення: моногр. Київ: ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2019. 336 с.
7. Селекція, насінництво і технології вирощування зернових колосових культур у Лісостепу України. / За ред. В.Т. Колючого, В.А. Власенка, Г.Ю. Борсука. К.: Аграрна наука, 2007. 800 с.
8. Любич В.В. Хлібопекарські властивості зерна сортів пшениці озимої залежно від видів, норм і строків застосування азотних добрив. Вісник Дніпропетровського ДАЕУ. №2. 2017. С. 35–41.
9. Алімов Д.М. Технологія виробництва продукції рослинництва/ Д.М. Алімов, Ю.В. Шелестов. К.: Вища школа, 1995. 274 с.
10. Технічні засоби післязбиральної обробки насіння соняшнику: монографія / Є. В. Михайлов, С. В. Кюрчев, О. С. Колодій [та ін.]. Мелітополь: Форвардпрес, 2019. 204 с.
11. Овсянникова Л. Ефективне очищення насіння від важковідокремлюваних домішок / Л. Овсянникова, С. Орлова, Г. Гончарук. Зерно і хліб. 2007. № 2. С. 24–25.

12. Науково-технічне обґрунтування технології поліпшення біопотенціалу сільськогосподарських культур: монографія / Харченко С.О., Панкова О.В., Харченко Ф.М., Сировицький К.Г., Шуляк М.Л., Зубко В.М., Соколік С.П. Харків: ФОП Панов А.М., 2023. 157 с.

13. Сайко В.Ф. Наукові основи ведення зернового господарства / В.Ф.Сайко, М.Г. Лобас, І.В. Яшовський. К.: Урожай, 1994. 336 с.

14. Aquirrazabd, L. A. N., Cardaneli T.G., Orioli L.D., Teatoni, L.S. Influencia tomene de aguenio sobre orecimiento rendimiento de la planto de girsol [*Helianthus annuus L.*] actes . 11 Intern. Sunflower conf. - Buenos aires, 1985. - 1.: 39-43.

15. Шелепов В.В. Селекція, насінництво та сортознавство пшениці / В.В. Шелепов, М.М.Гаврилюк. Миронівка, 2007. 405 с

16. Kaunfmann M.L, Mc Fadden A.D. The influence of seed size on resultsf of barley yield trials. Canad Y. Plant Sci. 1963. No 1. 43.

17. Дерев'янський В. П. Соя. К. : УкрИНТЭИ, 1994. 216 с.

18. Донец М. М. Насінництво з основами селекції. К.: М. М. Донец, 2007. 337 с.

19. Marcovic B. Uticaj mase semena nekih sorta suncokreta na klijavost i masu klijanasa . Arh poljoprivr. Nauke. 1981. T. 42. No 147:361-372.

20. Жатова Г. О. Загальне насінництво: навч. посібн. Суми : Університетська книга, 2011. 273 с.

21. Їжик М.К. Сільськогосподарське насіннезнавство. Реалізація потенційних можливостей насіння. Харків, 2001. 117 с.

22. Pavlidis T. A Review of Algorithms for Shape Analysis. Comp. Graphics and Image Processing. 1978. No. 7. 243-258.

23. Marr D., Nishihara H. K. Representation and Recognition of the Spatial Organization of Three-Dimensional Shapes. Proc. Roy. Soc. of London B. 1978. V. 200. 269- 294.

24. Mario V. Filtering of the Input Image and Visual Perception of Geometrical Fig- ures. Biocybernetics of Vision: Integrative Mechanisms and Cognitive Processes / Ed. C. Taddei-Ferretti. Singapore, 1997. V.2. 94-103.

25. Zusne L. Contemporary Theory of Visual Form Perception: III. The Global Theories. Acad. Press, 1970. Ch. 4. 108-174.
26. Marr D. Vision. Freeman Publ., 1982.
27. Marr D., Hildreth E. Theory of Edge Detection. Proc. Roy. Soc. of London. 1980.
28. Leyton M. Symmetry-Curvature Duality Computer Vision. Graphics and Image Processing. 1987, 38: 327-341.
29. Chew P.P. et al. Geometric Pattern Matching under Euclidean Motion. Proc. of the Fifth Can. Conf. on Comp. Geometry. Univ. of Waterloo, Ontario, 1993. 151-156.
30. Hoffman D. D., Richards W. A. Parts of Recognition, Cognition. 1984. V. 18: 65-96.
31. Pavlidis T. Algorithms for Graphics and Image Processing. Berlin: Springer-Verlag, 1982.
32. Kashyap R., Chellappa R. Stochastic Models for Closed Boundary Analysis: Representation and Reconstruction. IEEE Trans. on Information Theory. 1981. V.27(5): 627-637.
33. Моделювання технологічних процесів в типових об'єктах післязбиральної обробки і зберігання зерна (очищення, сепарація, сушіння, активне вентилявання, охолодження): монографія / Котов Б. І. [та ін.]. Київ; Ніжин : Лисенко М. М., 2017. 551 с.
34. Теорія сепарування зерна: монографія / В. П. Ольшанський та ін. Харків: ХНТУСГ, 2017. 802 с.
35. 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.
36. 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.

37. Гевко Р. Б., Ткаченко І. Г., Павх І. І. *Машини сільськогосподарського виробництва: навч. посіб. для студ. вузів.* Тернопіль : Терноп. акад. нар. госпва., 2002. 251 с.

38. Zheng, C.; Sun, D.W.; Zheng, L. Recent developments and applications of image features for food quality evaluation and inspection—A review. *Trends Food Sci. Technol.* 2006, 17, 642–655.

39. Cheng, F.; Ying, Y.B. Machine vision inspection of rice seed based on Hough transform. *J. Zhejiang Univ. Sci. A* 2004, 5, 663–667.

40. Vaingankar, N.M.; Kulkarni, P.R. A cooking quality parameter as an indicator of adulteration of Basmati rice. *J. Sci. Food Agric.* 1989, 48, 381–384.

41. Zareiforush, H.; Minaei, S.; Alizadeh, M.R.; Banakar, A. Qualitative classification of milled rice grains using computer vision and metaheuristic techniques. *J. Food Sci. Technol.* 2016, 53, 118–131.

42. Liu, J.; Tang, Z.; Xu, P.; Liu, W.; Zhang, J.; Zhu, J. Quality-related monitoring and grading of granulated products by weibull-distribution modeling of visual images with semi-supervised learning. *Sensors* 2016, 16, 998.








43. Jiang, Y. Uncertainty in the output of artificial neural networks. *IEEE Trans. Med. Imaging* 2003, 22, 913–921.

44. Paulsen, M. Using machine vision to inspect oilseeds. *Int. News Fats Oils Relat. Mater.* 1990, 1, 50–55.

45. Єщенко В.О. *Основи наукових досліджень* / В.О. Єщенко, П.Г. Копитко, В.П. Опришко, П.В. Костогриз. К.: Дія. 2005. 288.

46. *Основи наукових досліджень: навч. посіб. / за заг. ред. Т. В. Гончарук.* Тернопіль, 2014. 272 с.

ДОДАТКИ

-  Сумський національний аграрний університет
-  Національний технічний університет «ХП»
-  Політехніка Свентокржинська в Кельцах (Польща)
-  ТОВ «ТРІЗ»
-  Сумський державний університет
-  Державний біотехнологічний університет
-  Українська технологічна академія



ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ІНДУСТРІЇ 5.0

Збірник тез за матеріалами 30^{ої} міжнародної науково-
практичної конференції
(21-23 жовтня 2024 р.)

Частина I

Секції: «Інноваційні технології на транспорті»,
«Інноваційні технології в сільському господарстві»,
«Інноваційні технології в харчовій промисловості»,
«Інноваційні технології в промисловості»

Суми – 2024

Котлярівський І.В. аспірант, Андрієнко О.В. студент, Рябка Д.О. студент, Харченко Ф.М., к.т.н., доцент, СНАУ, Суми, Україна

ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПРИ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ

Основними причинами, що викликають руйнування та травмування зерна, є механічні впливи робочих органів машин, а також знарядь для післязбиральної обробки насіння, їх сушіння та транспортування. При цьому травмування буде тим більшим, чим більше буде швидкість переміщення насіння. На травмування зерна під час збирання та післязбиральної обробки впливають такі фактори: досконалість конструкції збиральних машин, режими роботи машин та їх робочих органів, терміни та способи збирання, фізико-механічні властивості зерна в момент обмолоту та очищення на очисних машинах. У момент обмолоту суттєве вплив на якість насіння має вологість зерна, яка залежить від погодних умов у момент збирання та термінів збирання.

Найчастіше активні робочі органи очисних машин деформують зерна без пошкодження поверхневих шарів зерновок. Коли навантаження знято із зернівки, відбувається відновлення її розмірів за рахунок пружних властивостей і зовні здається неушкодженою, проте внутрішні тканини у своїй травмовані. Посівні якості насіння знижуються не тільки від наявності видимих травм, а й від пошкодження внутрішніх тканин при їх деформації, на які суттєвий вплив буде надавати вологість зерна.

Зерно, що надходить на обробку, може мати 22,3% зовнішніх пошкоджень, а після очищення, сортування та сушіння – до 55,2% пошкоджень. Враховуючи те, що більше 10% травмованого насіння потрапляє у відходи, загальна кількість травмованих зерен потоковою лінією може становити до 43%. Від цієї кількості понад 50% пошкоджень припадає на транспортні операції, при цьому на частку самопливних труб припадає понад 30% і близько 20% на частку технологічного обладнання.

Дослідженнями встановлено, що матеріал, оброблений на одній насінноочисній машині або на потокової очисної лінії, у своєму складі може мати від 1 до 92% травмованих зерен. Великий розкид та високий рівень травмування зерна при післязбиральній обробці обумовлений наявністю великої кількості як зовнішніх, так і внутрішніх факторів.

Тому для вдосконалення технологічного процесу обробки насінневого матеріалу шляхом зниження його травмування насамперед необхідно виявити ті машини та ті робочі органи машин, які завдають зерну найбільшого пошкодження.

У момент збирання та післязбиральної обробки зерна отримують різні види травм, що по-різному впливають на посівні якості насіння. Дослідження під мікроскопом зразків насіння пшениці показують, що найчастіше зустрічаються такі види пошкоджень: внутрішні тріщини ендосперму, тріщини та зриви оболонки, пошкодження зародка аж до його повної втрати, ушкодження ендосперму.

У середньому в зібраному зерновому матеріалі міститься: - 0,92% - зерна з вибитим зародком, - 1,64% – з пошкодженим зародком, - 8,44% - з пошкодженою оболонкою зародка, - 14,3% – з пошкодженою оболонкою зародка та ендосперму, - 1,1% – з пошкодженням ендоспермом, - 29,9% - з пошкодженою оболонкою ендосперму, - 10,1 % – подрібненого зерна, яке не може використовуватись для насінневих цілей, - 34,4% - непошкодженого.

Посівні якості насіння з різними видами мікротравм представлені у табл. 1.

Таблиця 1 – Лабораторна схожість насіння за видами травм

Вид травм	Лабораторна схожість насіння, %
Пошкоджено зародок	50,8
Пошкоджено ендосперм	60,6
Пошкоджено оболонку зародка	85,6
Пошкоджено оболонку зародка та ендосперму	83,4
Пошкоджено оболонку ендосперму	94,4
Без пошкоджень	99,0

З таблиці видно, що висока лабораторна схожість є у неушкодженого насіння, що дорівнює 99% і відповідає I класу посівні кондиції. Інші види травм знижують суттєво лабораторну схожість насіння. Найнижча схожість у насіння з пошкодженням зародком (50,8%) та ендоспермом (60,6%).

У процесі післязбиральної обробки матеріалу необхідно мінімізувати перепустки через зерноочисні машини, т.к. кожен наступний пропуск через машину призводить до підвищення травмування зерна на 2-3%.

УДК 631.3

Ширяев Д.О., магістр, Зубко В.М., д.т.н., професор, СНАУ, Суми, Україна

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ У РОБОТІ КОЛІСНИХ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ

Впровадження супутникових навігаційних систем у роботу колісних машинно-тракторних агрегатів (МТА) має значний вплив на ефективність агрономічних процесів. Системи СНС надають безліч переваг, які суттєво змінюють підходи до сільськогосподарського виробництва. Розглянемо основні переваги їх використання.

Однією з ключових переваг використання СНС є їх здатність забезпечувати високу точність позиціонування техніки. Це дає можливість:

- Уникати перекриттів: Завдяки точному наведенню, колісні МТА можуть працювати з мінімальними перекриттями, що зменшує витрати на пально-енергетичні ресурси та оптимізує обробіток ґрунту.
- Контролювати поля з високою точністю: Технології дозволяють аграріям точно налаштувати параметри обробітку (глибина, ширина, швидкість), що є критично важливим для досягнення оптимальних результатів.

Системи СНС дозволяють істотно скоротити час, необхідний для виконання агрономічних завдань:

Оптимізація маршрутів: завдяки автоматизованому плануванню маршрутів, колісні МТА можуть працювати ефективніше, що зменшує загальний час на виконання робіт на полі.

Автоматизація процесів: системи автоматичного керування зменшують втручання людини, що дозволяє зменшити затримки в роботі.

Використання СНС допомагає аграріям зменшити витрати на ресурси, що є важливим аспектом для підвищення рентабельності:

- Зменшення витрат на паливо: Завдяки точному наведенню та оптимізації маршрутів, аграрії можуть знижувати витрати пального на 10-30%.
- Ефективне використання добрив: СНС дозволяють здійснювати внесення добрив і засобів захисту рослин за змінними нормами, що може знизити витрати на 20-30% без зниження врожайності.

Супутникові навігаційні системи позитивно впливають на продуктивність колісних МТА:

Зменшення зносу техніки: точні системи управління зменшують навантаження на механізми, що призводить до зниження ймовірності поломок і витрат на обслуговування.

Збільшення терміну служби: оптимізація роботи техніки дозволяє продовжити термін її експлуатації, що є важливим чинником для зниження загальних витрат.

Впровадження СНС надає аграріям доступ до даних, що дозволяють приймати обґрунтовані рішення:

- Аналіз даних: Системи збору даних на основі навігації дозволяють аграріям отримувати інформацію про стан полів, що сприяє ефективнішому управлінню ресурсами.

- зерна.: <http://socrates.vsu.org/b04213/html/cards/getfile.php/29527.pdf>
4. Очищення зерна: одна з передумов його якісного і довготривалого зберігання.: <https://propozitsiya.com/ua/ochishchennya-zerna-yak-odna-iz-peredumov-yogo-yakisnogo-i-dovgotrivalogo-zberigannya>
5. Обладнання для очищення зерна.: <https://simo.com.ua/ua/obladnannya/trieryi/trier-bthm>

Заплюсвіка А.В., студент, Андрієнко О.В., студент, Рябка Д.О., студент, Карченко Ф.М., к.т.н., доцент, СНАУ, Суми, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА ПІСЛЯ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРУ

Механічні ушкодження призводять до травмування зародків насіння та зменшують запаси поживних речовин в ендоспермі. Також травми призводять до проникнення мікроорганізмів із ґрунту всередину насіння, цим пошкоджуючи їх тканини. Через це приблизно половина травмованого насіння гине в полі, а з іншої половини висіяного насіння розвиваються ослаблені рослини. Зріджені посіви призводять до низької врожайності, а також наявність у посівному матеріалі пшениці 10 % травмованого насіння спричиняє зниження врожаю більш ніж на 1 ц/га. Якщо у посівному матеріалі знаходиться більше половини пошкодженого насіння, то схожість знижується нижче 90%, і тоді доводиться дорогий насіннєвий матеріал застосовувати для продовольчих цілей.

Для того, щоб знизити пошкодження насіння при збиранні, транспортуванні, очищенні та сушінні необхідно: під час збирання застосовувати м'які режими обмолоту; при транспортуванні самопливом підтримувати заповнення зернопроводів щонайменше 60 %, т.к. вільне падіння призводить до сильних ударів насіння. Також потрібно мати обладнання так, щоб забезпечити мінімальну висоту підйомів і падінь насіння. На всьому шляху руху насіння необхідно місця вигинів та поворотів покрити листовою гумою. Обов'язково усунути гострі задирки, виступи та зайві переміщення.

Високоякісне насіння можна отримати при збиранні та післязбиральної обробки в тому випадку, якщо вологість зерна буде не понад 22%. У такому разі механічні дії знарядь машини не наносять суттєві пошкодження матеріалу та не призводять до зниження посівних якостей насіння.

Встановлено, що скребковий транспортер завдовжки 2,3 м за швидкості ланцюга 1,15 м/с ушкоджує насіння за одну перепустку на 1,5 %. При збільшенні перепусток через такий транспортер призведе до приросту пошкоджень насіння на 0,5%.

Результати пошкодження зерна шнековим транспортером залежно від продуктивності та частоти обертання шнека представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Травмування зерна після шнеку

Продуктивність, т/год	Частота обертання шнека, хв ⁻¹				
	110	170	230	290	350
	Пошкодження зерна, %				
1,8	17,3	14,2	8,6	9,4	14,4
2,3	10,5	13,0	7,2	7,0	11,5
2,8	6,8	11,8	5,9	6,9	8,6
3,3	4,6	10,0	5,0	7,3	5,6
3,8	3,4	7,7	8,2	8,2	2,3

Наведені дані показують, що травмування зерна зменшується із збільшенням продуктивності шнека та мінімальне його пошкодження спостерігається при частоті обертання 230 хв⁻¹. При вологості зерна 11,9% зі збільшенням числа перепусток через шнек травмування також збільшується. Зміна вологості з 21,9 до 11,9% за частоти обертання шнека 230 хв⁻¹ викликає

збільшення дроблення зерна в 2,85 разу. Це пояснюється тим, що сухе зерно більш тендітне. Травмування зерна шнеком зростає і зі збільшенням довжини переміщення. При переміщенні зерна пшениці оптимальна частота обертання шнека становить 155-280 хв⁻¹, причому менша частота обертання відповідає вологості 12-14% і більша - 17-19%.

УДК 631.1

Мікуліна М.О. к.е.н. доцент, Пилипенко Д.В. магістрант, СНАУ, Суми

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА КОНСТРУКЦІЇ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЇ ПОДРІБНЕННЯ РОСЛИННИХ РЕШТОК

Ефективне управління рослинними рештками є важливим компонентом сучасного сільськогосподарського виробництва, що сприяє збереженню родючості ґрунту, покращенню структури посівного шару та зниженню потреби в хімічних добривах. Подрібнення рослинних решток дозволяє прискорити їх розкладання та збагачення ґрунту органічними речовинами, що підвищує врожайність сільськогосподарських культур. Для досягнення оптимальної ефективності операцій подрібнення важливим є обґрунтування параметрів та конструктивних особливостей ґрунтообробного агрегату.

Основною метою дослідження є визначення оптимальних параметрів роботи ґрунтообробного агрегату, який забезпечує якісне подрібнення рослинних решток і рівномірний розподіл їх по поверхні ґрунту. Розробка включає наступні аспекти:

Вибір конструктивних параметрів – аналіз основних елементів агрегату, таких як робочі органи, механізм приводу, системи регулювання глибини та швидкості обертання подрібнювальних елементів. Зокрема, визначення оптимальних розмірів та форми ріжучих елементів для забезпечення якісного подрібнення та зменшення енергоспоживання.

Аеродинамічні та гідравлічні аспекти – обґрунтування конструкції робочих органів для забезпечення рівномірного розподілу подрібнених частинок по поверхні ґрунту, що сприяє покращенню умов для подальших агротехнічних операцій. Також розглядаються способи зниження вітрових втрат подрібненого матеріалу.

Адаптація агрегату до різних типів ґрунтів і умов експлуатації – дослідження впливу різних властивостей ґрунтів на ефективність подрібнення та можливість зміни параметрів роботи агрегату в залежності від умов експлуатації (щільність ґрунту, кількість рослинних решток, вологість).

Підвищення надійності та довговічності – вибір матеріалів і конструкційних рішень для забезпечення високої зносостійкості робочих органів агрегату, особливо в умовах інтенсивної експлуатації.

Енергетична ефективність – розробка систем управління, що забезпечують оптимізацію енергоспоживання за рахунок регулювання режимів роботи, в залежності від щільності рослинних решток та стану ґрунту.

Технологічні експерименти та моделювання – проведення польових досліджень для оцінки ефективності подрібнення рослинних решток, визначення оптимальних швидкостей руху агрегату, частоти обертання робочих органів та інших конструктивних параметрів.

Автоматизація та інтеграція з системами точного землеробства – для підвищення ефективності роботи ґрунтообробного агрегату доцільно розглянути можливість його інтеграції з системами точного землеробства, що дозволить автоматизувати регулювання параметрів роботи в реальному часі. Використання GPS-навігації та сенсорних систем для контролю стану ґрунту і кількості рослинних решток забезпечить точне налаштування робочих органів агрегату, що сприятиме зменшенню витрат на паливо та оптимізації технологічного процесу.

Екологічні аспекти – використання ґрунтообробного агрегату, що забезпечує якісне подрібнення рослинних решток, сприяє зниженню потреби в хімічних добривах та поліпшенню екологічного стану ґрунтів. Рівномірний розподіл органічної маси на поверхні ґрунту сприяє його збагаченню поживними речовинами та покращенню структури.

