

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:  
заст. завідувача кафедри  
Труханська Олена Олександрівна

---

«\_\_» листопада 2021 р.

ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ  
РОБОТИ СЕПАРАТОРА БАШТАННИХ КУЛЬТУР

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»  
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»

Виконав: студент групи 73-Аі  
Диченко Ігор Сергійович

---

Керівник: к.т.н., доцент  
Полевода Юрій Алікович

---

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет  
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Затверджую:

заст. завідувача кафедри

Труханська О.О.

\_\_\_\_\_

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту Диченку Ігорю Сергійовичу

на тему:

«Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи сепаратора  
баштанних культур»

затверджену наказом від «02» березня 2021 р. № 25-м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТЕІ, тощо).
5. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

## Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг сторінок	Термін підготовки	Підпис керівника
Анотація		1-2		
Вступ		2-5		
РОЗДІЛ 1	СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГАРБУЗА ПОВІТРЯНИМИ СЕПАРАТОРА	20-35		
РОЗДІЛ 2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА	20-35		
РОЗДІЛ 3	МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА	20-25		
РОЗДІЛ 4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАТОРА	10-15		
Загальні висновки		1-2		
Список використаних джерел		2-4		

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

Завдання видав керівник " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2021 р.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГАРБУЗА ПОВІТРЯНИМИ СЕПАРАТОРА.....	10
1.1 Аналіз вирощування плодів гарбуза.....	10
1.2 Механіко-технологічні властивості насіння гарбуза.....	12
1.3 Обґрунтування типу сепаруючої поверхні.....	26
1.4 Висновки до першого розділу .....	29
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА .....	30
2.1 Модель аеродинамічного сепаратора.....	30
2.2 Математичне моделювання роботи аеродинамічного сепаратора .....	32
2.3 Визначення основних показників роботи сепаратора.....	37
2.4. Висновки до другого розділу.....	42
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА .....	43
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	43
3.2 Розроблена експериментальна установка .....	45
3.3 Методика дослідження впливу режимів роботи сепаратора на відбір насіння з певною масою.....	50
3.4 Вплив режимів роботи сепаратора на розподіл маси тисячі насінин в приймальних лотках.....	51
3.5 Методика проведення багатофакторного експерименту .....	53
3.6 Висновки до третього розділу.....	56

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАТОРА.....	59
4.1 Результати визначення кута початку ковзання насіння з різною масою.....	59
4.2 Визначення співвідношення частоти обертання робочого органу і швидкості повітряного потоку для відбору насіння з певною масою.....	61
4.3 Результати впливу режимів роботи сепаратора на розподіл маси тисячі насінин в приймальних лотках.....	63
4.4 Порівняння теоретичних і експериментальних результатів досліджень.....	66
4.5 Результати багатofакторного експерименту роботи сепаратора.....	68
4.6 Раціоналізація параметрів технологічного процесу сепарації насіння гарбуза.....	69
4.7 Висновки до четвертого розділу .....	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	72

## АНОТАЦІЯ

Диченко І. С. Обґрунтування конструктивних параметрів і режимів роботи сепаратора баштанних культур. – Рукопис.

Робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 Агроінженерія. – Вінницький національний аграрний університет. – Вінниця, 2021.

В магістерській роботі проаналізовано сучасний стан питання сепарації насіння баштанних культур. Встановлено, що підвищення ефективності сепарації насіння гарбуза по масі досягається шляхом вдосконалення аеродинамічного сепаратора з активною циліндричною сепаруючою поверхнею.

Магістерська робота присвячена обґрунтуванню робочих конструктивно-технологічних параметрів аеродинамічного сепаратора. Експериментально і теоретично визначені наступні конструктивно-технологічні параметри: швидкість повітряного потоку; частота обертання барабана; енергоємність технологічного процесу сепарації; пропускна здатність сепаратора; коефіцієнт використання робочої площі решета; коефіцієнт живого перетину решета, діаметр отворів, крок установки отворів.

Доведено адекватність математичної моделі, де розбіжність між теоретичними і експериментальними дослідженнями кута установки розділяючої перегородки та енергоємності сепарації становить 4-6%.

Виготовлений промисловий зразок аеродинамічного сепаратора насіння гарбуза, який має продуктивність 250 кг / год і споживає потужність 0,7 кВт / год.

*Ключові слова:* сепаруюча поверхня, насіння гарбуза, процес сепарації, повітряний потік, математична модель, конструктивно-технологічні параметри.

## ANNOTATION

Dychenko I. S. – Substantiation of design parameters and modes of operation of the separator of melons.

Work to obtain a master's degree in 208 Agricultural Engineering. – Vinnytsia National Agrarian University. – Vinnytsia, 2021.

The master's thesis analyzes the current state of the issue of separation of melon seeds. It is established that increasing the efficiency of pumpkin seed separation by weight is achieved by improving the aerodynamic separator with an active cylindrical separating surface.

The master's thesis is devoted to the substantiation of working structural and technological parameters of the aerodynamic separator. The following design and technological parameters have been experimentally and theoretically determined: air flow rate; drum speed; energy consumption of the technological process of separation; separator capacity; the coefficient of utilization of the working area of the sieve; the coefficient of living cross section of the sieve, the diameter of the holes, the step of installation of holes.

The adequacy of the mathematical model is proved, where the discrepancy between theoretical and experimental studies of the angle of installation of the partition and the energy consumption of the separation is 4-6%.

An industrial design of an aerodynamic pumpkin seed separator with a capacity of 250 kg / h and a power consumption of 0.7 kW / h has been manufactured.

*Keywords:* separating surface, pumpkin seeds, separation process, air flow, mathematical model, design and technological parameters.

## ВСТУП

Баштанні культури в сільському господарстві України займають важливе місце. Урожайність баштанних культур залежить багато в чому від якості посівного матеріалу. Шляхом аналізу доведено, що відбір насіння баштанних культур з найбільшою масою дозволяє виділити насіння з великим запасом поживних речовин, що дозволяє отримувати більшу врожайність плодів. Аналізуючи інформаційні джерела встановлено, що існуючі засоби механізації для сепарації насіння гарбуза з метою відбору насіння з підвищеними посівними властивостями, мають ряд недоліків (підвищену енергоємність, не стабільна якість поділу на фракції). На підставі проведеного аналізу доведено, що сепарація в горизонтальному повітряному потоці є найбільш перспективною, але випадковий характер переміщення насіння в повітряному потоці в процесі сепарації призводить до часткових втрат якісного насіння.

Одним з перспективних напрямків підвищення ефективності процесу сепарації насіння гарбуза по масі аеродинамічним сепаратором є застосування активної циліндричної сепаруючої поверхні для досягнення орієнтованого положення насіння гарбуза щодо сил повітряного потоку, одношарове розташування насіння, і утримання його на поверхні решета силами повітряного потоку. Сепарація насіння баштанних культур аеродинамічним сепаратором з активною циліндричною сепаруючою поверхнею в умовах додаткового вакуумного притиснення насіння до отворів сепарує решета, вимагає подальшого дослідження.

Метою досліджень є підвищення ефективності технологічного процесу сепарації насіння баштанних культур аеродинамічним сепаратором.

Виходячи з поставленої мети, необхідно вирішити такі завдання дослідження:

- проаналізувати сучасний стан питання сепарації насіння баштанних культур і визначити шляхи вдосконалення технологічного процесу сепарації;
- обґрунтувати і розробити конструктивно-технологічну схему



аеродинамічного сепаратора насіння гарбуза з активною циліндричною сепаруючою поверхнею, здатного забезпечувати якісне розділення насіння;

- теоретично обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри аеродинамічного сепаратора насіння гарбуза;

- розробити математичну модель;

- провести експериментальні дослідження і визначити раціональні конструктивно-технологічні параметри сепаратора насіння гарбуза з активною циліндричною сепаруючою поверхнею;

- виготовити промисловий зразок аеродинамічного сепаратора насіння баштанних культур.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сепарації насіння гарбуза по масі, який виконується новим аеродинамічним сепаратором з активною циліндричною сепаруючою поверхнею.

Предмет дослідження – закономірності технологічного процесу сепарації насіння гарбуза по масі, який виконується новим аеродинамічним сепаратором з активною циліндричною сепаруючою поверхнею.

Наукова новизна отриманих результатів:

- отримана математична модель процесу сепарації насіння гарбуза по масі в сепараторі з активною циліндричною сепаруючою поверхнею;

- вперше отримані раціональні конструктивно-технологічні параметри нового аеродинамічного сепаратора з активною циліндричною сепаруючою поверхнею, які враховують якісні показники процесу сепарації насіння гарбуза.

# РОЗДІЛ 1

## СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ ГАРБУЗА ПОВІТРЯНИМИ СЕПАРАТОРА

### 1.2 Аналіз вирощування плодів гарбуза

Вирощування гарбуза рекомендується на ґрунтах з чорноземом звичайним, повторність культури на одному і тому ж ділянці раз в 4-5 років. Обробляють посіви гарбуза набором агрегатів для просапних культур. Готують до посіву насіння поділом за розмірами, аеродинамічними властивостями і сортуванням по густині або масі. В Україні для посіву на технічні цілі в основному використовуються сорти гарбуза: Українська багатоплідна, Волзька сіра. Для сорту «Волзька сіра» міжряддя має становити 1,4 м, густина стояння рослин від 3 до 10 тис. / га [3]. Гарбуз вологолюбна культура, встановлено, що при нормі зрошенні 350 м<sup>3</sup> / га води, врожайність збільшується до двох разів [6]. Вихід насіння «Волзька сіра» без застосування добрив становить близько 420 кг / га, із застосуванням оптимальних доз мінеральних добрив до 800 кг / га, урожайність цієї культури сягає 80 ц / га [6]. Під час збирання врожаю, плоди скачують у валки машиною УПВ-8 де вони дозрівають, після чого їх збирають машиною ПБЗ-1, поступово переробляють плоди на насіння, а відходи лінією машин ОСБ-20, насіння промивають машиною МОС-300 і доводять до кондиційної вологості сушінням. Для підвищення продовольчих і посівних якостей насіння їх сортують [18]. Встановлено, що із зменшенням площі живлення рослин гарбуза з 4 м<sup>2</sup> до 1 м<sup>2</sup> вихід насіння збільшується і при цьому не погіршується їх якість, але зменшується вихід м'якоті, що використовується в тваринництві [21].

Завдання післязбиральної обробки насіння – довести матеріал до кондицій продовольчого або насінневого призначення з використанням найменшої кількості ресурсів із збереженням необхідної якості насіння.

Завдання передпосівної підготовки насіння гарбуза довести їх до кондицій вологості, чистоти, схожості. Схожість насіння має бути швидкою і дружною, чим

вище показник, тим рівномірніше визрівають рослини і це дозволяє проводити якісний механізований догляд за ними. Готують до посіву насіння гарбуза сортуванням, пророщуванням, загартовуванням.

Насіння гарбуза після доведення до кондиційної вологості очищають від легких домішок, далі сортують для підвищення продовольчих або посівних якостей. Основні ознаки поділу, що використовуються в сортуванні насіння гарбуза: геометричні параметри, густина, сила набутого електричного заряду, аеродинамічні властивості, маса. Середні показники маси тисячі насіння гарбуза основних сортів вирощуваних в Україні [19, 20], наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Середні показники маси тисячі насіння гарбуза різних сортів

Сорт	Маса 1000 насінин, г
Волжська сіра	240
Стофунтова	340-370
Роза	273

Посівні якості насіння баштанних культур в тому числі гарбуза нормуються ГОСТ 52171-2003 [13], для насіння категорій: ЕС, РС їх оцінюють за показниками схожості, чистоти і вологості, чисельні значення стандарту наведені в табл. 1.2.

Шляхом аналізу літературних джерел встановлено, що насіння яке використовують для посіву має мати якомога вищий і більш рівномірний показник польової схожості для одночасного його дозрівання. Існує материнська, генетична, екологічна різноякісність насіння сільськогосподарських культур. Материнська залежить від місця розміщення насіння в плоді, властивостей самої материнської рослини, екологічно залежить від ґрунтово-кліматичних умов вирощування культури. Досягається рівномірність польової схожості, сортуванням насіння за розмірами і масою на фракції, які висіваються на різних полях. Відбір насінневого матеріалу з високим показником маси тисячі насінин дозволяє відібрати із загальної маси насіння з високим вмістом поживних речовин, збільшення їх сили росту, схожості [18, 21].

## Посівні якості насіння гарбуза

Клас гарбуза	Категорія	Посіви	Чистота, %	Домішки насіння рослин, %		Схожість, %	Вологість, %
				Всього, %	Бур'янів, %		
Великоплідний звичайний	ЭС, РС 1	насінневі	99	0,20	0	95	10
мускатний	РС (1-2)	товарні	96	0,40	0,20	80	10

Є екологічні передумови для отримання якісного насіння. Насіння є самостійним організмом зі своїми біологічними особливостями. Біологічні особливості деяких культур впливають на польову схожість.

В період формування рослини, вирощування, збирання плодів, зберігання насіння, на них впливають: абіотичні фактори, засоби обробки землі, терміни посіву, норма внесення добрива і ін. Насіння має бути пристосоване до району вирощування. При вирощуванні насінневого матеріалу необхідно створити умови для реалізації його потенціалу. Дослідниками встановлено що на отримання 100% врожаю впливають: 35% – норма внесення добрива, 25% – рівень обробки землі, 40% – якість посівного матеріалу [20]. Отже посівний матеріал повинен володіти хорошими властивостями.

Покращують властивості насіння гарбуза як посівного матеріалу: дражуванням, обробкою мікроелементами, ферментуванням, збагаченням киснем, загартуванням, витримкою в електричному полі, під ІЧ і УФ променями, відбором більш біологічно повноцінного насіння із загальної кількості.

Дослідниками [3, 27] були визначені основні фактори, які впливають на схожість насіння сільськогосподарських культур: травмування, густина, розмір, розміщення насіння в рослині. Повноцінне і велике насіння не завжди дає високу польову схожість, тому його стимулюють.

Розрізняють стимуляції насіння до проростання хімічні, біологічні та фізичні. Маса тисячі насінин це показник крупності насіння виражений масою, він залежить від сорту, погодних умов, технології вирощування, збору врожаю, стиглості рослин. Густина насіння залежить від його будови і хімічного складу. Якщо розглядати насіння баштанних культур то недорозвинені мають збільшений вміст оболонки і повітряних порожнин і меншу масу, ніж повноцінне насіння. Щоб справлятися з умовами навколишнього середовища і краще проростати, зародки насіння мають бути забезпечені найбільшою кількістю поживних речовин. Відомо, що використання великих насінин впливає на польову схожість і якість насіння.

Багатьма вченими досліджувався вплив посіву великих насіння на врожайність, це Б. І. Котов, О. В. Цуркан, С. П. Степаненко [17, 24]. А. Т. Болотов заявляв про необхідність посіву великих насінин для збільшення врожайності сільськогосподарських культур, але не завжди розмір насіння говорить про їх властивості, так наприклад, при розгляді здавалося б однакових по геометричним параметрам насіння гарбуза одне може бути важче, середина його повністю заповнена і насіння має велику густину, менша кількість повітряних порожнин. Тому для оцінки якості насіння ввели показник густини і питомої маси.

Вивчали також зміну маси 1000 насінин, густини і зробили висновок: густина насіння пропорційна масі проб 1000 насінин, вибірка насіння по густині дозволяє відбирати найбільш цінне насіння з великою кількістю поживних речовин.

Відомо що травмоване насіння і частково уражене мікроорганізмами при посіві дають сходи, але вони можуть загинути. Якщо використовувати таке насіння, спочатку знижується схожість і в кінцевому підсумку врожайність. Для посіву найбільш придатні не травмовані з високою енергією проростання і схожістю насіння.

Отже, після доведення насіння до посівних норм, якість матеріалу можна поліпшити відбором більш продуктивних насіння. Для цього необхідно

проаналізувати типи конструкцій сепараторів здатних відбирати найбільш продуктивне насіння гарбуза і провести його порівняльну оцінку.

## 1.2 Механіко-технологічні властивості насіння гарбуза

Під час технологічного процесу сепарації, насіння гарбуза взаємодіє з повітряним потоком і сепаруючими поверхнями сепараторів, також піддається взаємодії сил тертя, повітряного потоку і індивідуально реагує на ці дії в залежності від його механіко-технологічних властивостей.

Залежно від розмірів насіння і маси, насіння гарбуза відносяться до категорії дуже великі, з вмістом насіння від 10 шт. / 1 г [2, 3].

При проектуванні і створенні нових конструкцій сепаруючих машин для баштанних культур необхідно знати механіко-технологічні властивості насіння: геометричні параметри, властивості поверхні, масу 1000 насінин, густину, коефіцієнт парусності, вологість, аерацію, і ін.

Форма насіння гарбуза є овально-яйцеподібна, овальна, плоска, поверхня матова шорстка, покрита тонкою плівкою. Насіння складається із зародка, ендосперму і оболонки. Вміст насіння в одному плоді від 80 до 120 шт., від 3 до 8 тис. / кг насіння, натура 370-400 г / л, індекс форми 1,7 - 2, аерація – 1700 - 1300 мл / кг насіння [3, 4].

## 1.3 Аналіз засобів механізації при сепарації насіння гарбуза

Сепарацію насіння гарбуза проводять за такими ознаками: по ширині, на обертових циліндричних вібраційних решетах з круглими отворами або плоскими, по товщині на решетах з витягнутими прямокутними отворами, по довжині на циліндричних і дискових трієрах з внутрішніми осередками, за критичної швидкості витання і аеродинамічній силі пневматичними сепараторами [7, 10]. Після доведення насіння гарбуза до кондиційної вологості проводять первинне очищення на повітряно-решітних машинах: ОВ-10, ОВП-20А, ОСМ-3У,

«Petkus» 218/1, «Petkus» K531 / 1 (Німеччина), ОСВ-10, ОС-4,5, ВС-2 [3, 14]. Від легких домішок і неповноцінного насіння очищають повітряним вертикальним потоком, важкі і великі домішки видаляють сортуванням за розмірами на решетах. Механічне сортування насіння гарбуза на металевих решетах призводить до його травмування та зниження посівних якостей, а саме схожості, тому доцільно використовувати для сортування в якості робочого агенту повітряний потік.

У табл. 1.3 представлені основні засоби механізації, які використовуються для сепарації насіння гарбуза [3, 26].

Таблиця 1.3

Комплекс машин для сепарації насіння гарбуза

Сепаратори	Кількість фракцій	Робочі органи	Аналіз фракцій
Признак деления: масса семян			
ССП-1,5; ПСС-2,5; СПС-5	4	повітря	Л.п; Щ.с; В.с <sub>1</sub> ; В.с <sub>2</sub> ; В.п
СД-3-2; СДЛ-1	2	сила струму	В.с; Щ.с+Л.п
Ознака поділу: критична швидкість, маса насіння			
ОПС-2; СП-4У-Р	2	повітря	В.с; Щ.с+Л.п
ЗАВ-40.02.000	3		В.с <sub>1</sub> ; В.с <sub>2</sub> ; Щ.с+Л.п
ПСПБ-10; ПСМ-5	3		В.с; Щ.с; Л.п
САД-5; УПС-500	5		В.п; В.с <sub>1</sub> ; В.с <sub>2</sub> ; Щ.с; Л.п
Комплекс ознак: критична швидкість, товщина, ширина			
ОС-4,5; ОСВ-10; ОВП-20А; «Petkus» 218/1 (Германія); ВС-2; ОС-1; ОВ-10	5	повітря решета	Л.п; Щ.с В.п; Д.п; Т.с.
Комплекс ознак: критична швидкість, товщина, довжина, ширина			
«Petkus» К-212 (Германія); К-213; К-531/1 ОСМ-3У	7	повітря решета трієр	Л.п; Щ.с; В.с К.п; Д.п; Д.п; Кор.п.

Л.п – легкі домішки; Щ.с – щупле насіння; В.с<sub>1</sub> – перша фракція важкого насіння; В.с<sub>2</sub> – друга фракція важкого насіння; В.п – важкі домішки; К.п – великі домішки; М.п – дрібні домішки; Д.п – довгі домішки; Кор.п – короткі домішки.

Провести сортування насіння гарбуза можна за допомогою повітряного потоку. Сепаратори в залежності від матеріалу, який поділяється, мають чотири напрямки повітряних потоків: горизонтальний, похилий, вертикальний і комбінований, які за способом надходження повітря в канали поділяються на всмоктувальні і нагнітальні [25].

Сепарацію з використанням різних значень критичних швидкостей витання компонентів суміші проводять вертикальними сепараторами: аспіраційними колонами, пневматичними сепараторами із закритою і напівзакритою камерою сепарації. Принцип дії машин цього типу, це подача матеріалу в камеру сепарації на похилу сітку продувається знизу повітряним потоком, який відносить легкі домішки і щупле насіння з меншою критичною швидкістю, ніж повноцінне насіння основної культури. Перевага вертикальних всмоктуючих потоків в хорошій якості очищення від щуплого насіння при малих подачах, ширина струменя повітряного потоку дорівнює довжині сепаруємого каналу, зменшується можливість випадкового положення частинок при входженні в повітряний потік в порівнянні з горизонтальним повітряним потоком. Недолік: при сепарації значно більше зіткнень часток між собою в порівнянні з горизонтальним потоком повітря, хаотичність зміни положення насіння.

Розділення по масі проводять похилими і горизонтальними повітряними сепараторами, принцип їх дії: аеродинамічна сила повітряного потоку відносить насіння на різні відстані по горизонтальній осі пропорційно аеродинамічним і масовим властивостям насіння і домішок. Якщо розглядати рух частинок в повітряному потоці то на них впливають в основному сила тяжіння  $F_T$  і поверхневі повітряні сили. При сепарації в повітрі важких частинок домінує сила тяжіння, а легких і середніх, аеродинамічна сила, на яку впливають геометричні та масові параметри частинок, сила і параметри повітряного потоку [30]. Перевага цього способу в тому, що сила тяжіння і аеродинамічна сила не збігаються за напрямком, що спрощує подачу матеріалу, загальне зіткнення частинок не значне. Недолік цього способу в тому, що для підвищення якості розділення насіння необхідно збільшувати швидкість повітряного потоку, його ширину, а це призводить до збільшення енергетичних витрат.

Проводять розділення за різницею в масі насіння з використанням пневматичних сортувальних столів ПСС. Використання ПСС дозволяє відокремити від насіння, крім бур'янів домішок, недорозвинене насіння основної культури [31]. Суміш розділяється під дією повітряного потоку і коливань робочої



сітчастої поверхні деки. Недолік у тому, що багато показників впливають на продуктивність, і чіткість поділу за масою насіння (частота і амплітуда коливань деки, поперечний і поздовжній нахил деки, швидкість і рівномірність по площині повітряного потоку, правильна установка ділильних лотків). В даний час є зарубіжні конструкції пневматичних сортувальних столів, які проводять автоматичне регулювання роботи за допомогою датчиків і комп'ютерних програм, але не кожне господарство в змозі його придбати.

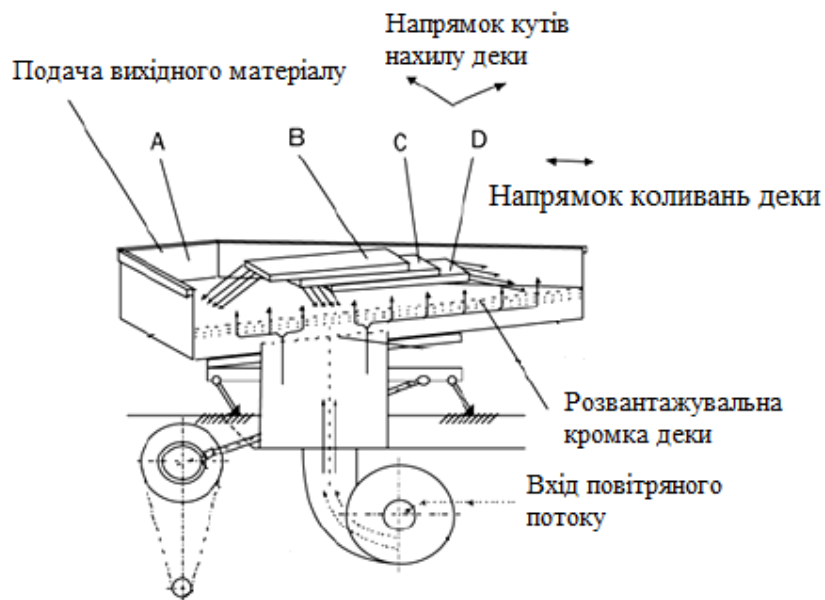
Сортування за величиною зарядів, яке набуває насіння і провідності, проводять за допомогою електричних сепараторів, в полі електростатичного розряду. При сепарації насіння подаються на робочий орган-електрод, в полі електричного розряду насіння набуває певного заряду і поділяється відривом в певних кутах повороту робочого органу в залежності від маси. Удосконалення цього способу: установка діелектричного барабана, додавання пульсуючого струму, додаткового електрода для усунення пилу і ворсу, попереднє нагрівання насіння ІЧ променями, використання відцентрових сепараторів та ін. [3, 29, 34].

З аналізу типів конструкцій визначено, що відбір фракції з високим показником маси насіння необхідно проводити по корелюючим ознакам поділу: по критичній швидкості витання або коефіцієнту парусності, силі придбаного електричного заряду. Сформуємо групи сепараторів в типи, які необхідно порівняти для вибору найбільш перспективного напрямку дослідження: пневматичні (вібраційні, вертикальні, горизонтальні) і електросепаратори.

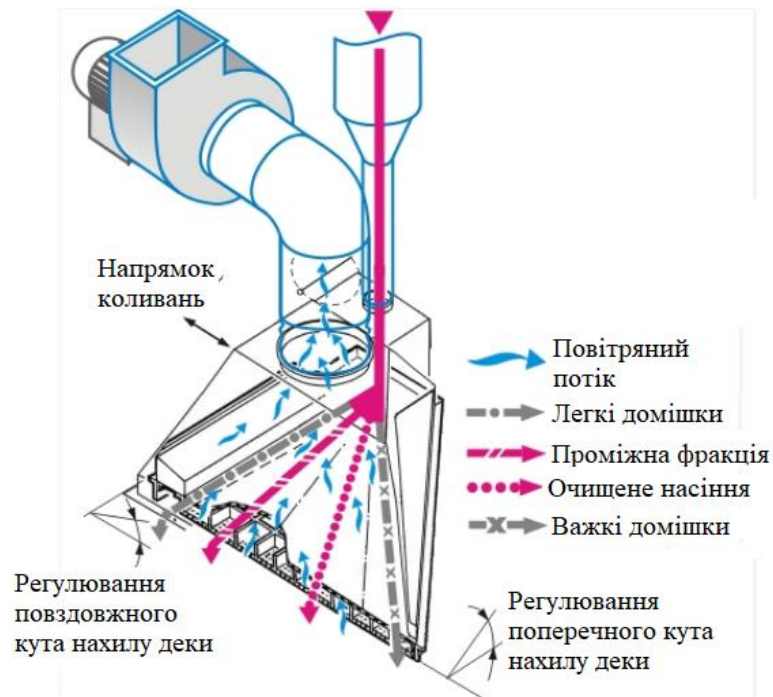
До вібраційно-пневматичних типів конструкцій відносять пневматичні сортувальні столи, основні марки нагнітального типу: ПСС-2,5, ПСС-1 (Росія), його зарубіжні аналоги Cimbria HEID GA 31 (Данія), Акюрек G.MAC-010 / PLC (Туреччина), Petkys G 40 (Німеччина) і всмоктувального типу: СПС-5, МОС-9Н (Росія), Акюрек T.MAC-009 / PLC (Туреччина) [3, 38, 41]. Сортувальні столи всмоктуючого типу мають меншу металоємність і велику продуктивність. Принцип роботи сортувального столу всмоктуючого типу МОС-9Н (рис. 1.1, б) це зрідження матеріалу повітряним потоком на робочій поверхні столу, коливання деки з певною амплітудою і поділ по густині на чотири фракції, завдяки

регулюванню поздовжнього і поперечного кутів відбувається розподіл в приймачі продуктів розділення. Поздовжній кут нахилу деки визначає рух верхнього шару, тобто легких частин. Поперечний кут нахилу деки регулює товщину шару матеріалу, зі зменшенням кута нахилу товщина шару збільшується, швидкість руху матеріалу зменшується. Швидкість повітряного потоку регулюється заслінкою шляхом поступового її відкриття, необхідно довести матеріал до ефекту «повітряного кипіння». Недоліком сепараторів цього типу є висока матеріаломісткість і вібрації що впливають на конструкцію.

Відмінною особливістю сепаратора Cimbrja HEID GA 31 (рис. 1.1, в) є менший рівень вібрації, прямокутний вид деки для збільшення часу перебування матеріалу, точність розділення до 5%. Основним недоліком є, висока вартість, в порівнянні з аналогами. Сепаратор Акюрек Т.МАС-009 / PLC (Туреччина) є одним з передових аналогів, оскільки комплектується комп'ютерним управлінням, яке налаштовує і контролює параметри обладнання.



а)



б)



в)

Рис. 1.1 - Схеми роботи пневматичних сортувальних столів: а) з трапецієподібної декою ПСС - 2,5; б) МОС - 9Н; в) з прямокутною декою Сіmbрія GA 31

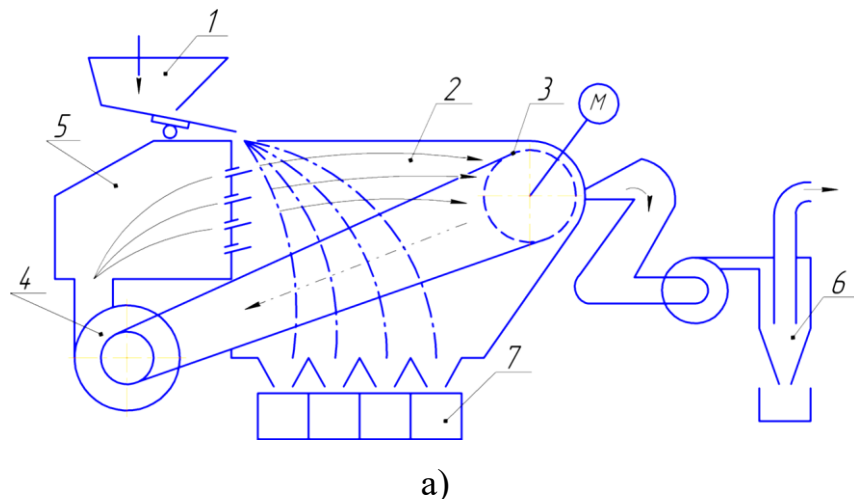
Для розділення насіння баштанних культур по масі використовують сортувальні столи, що працюють за принципом відмінностей насіння по пружних властивостях і масі. Один з перспективних сортувальних столів є марка SORLA 54F фірми Damas (Данія), що розділяє насіння на дві фракції: легку і важку (рис.

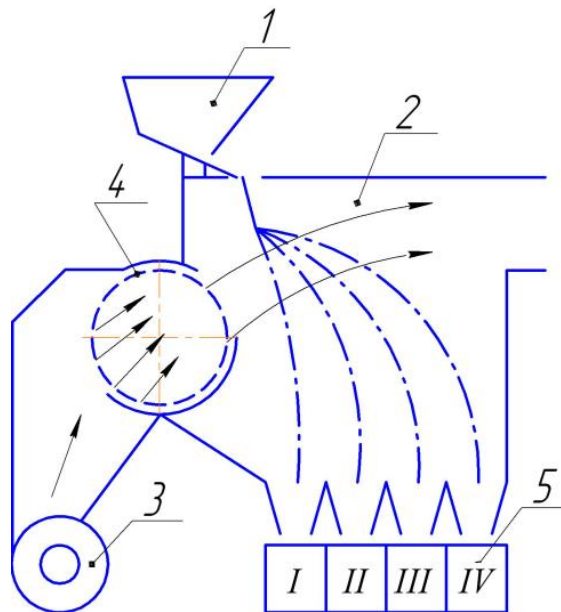
1.2). Легке насіння відбиваючись об рифлену поверхню під дією коливань направляється в верхню частину столу, а важке насіння в нижню частину. Недоліком даного типу сепаратора є те, що під дією ударів об робочі поверхні насіння може травмуватися, сепаратор має велику енергоємність і матеріаломісткість.



Рис. 1.2 - Сортивальний стіл SORLA

Горизонтальні повітряні сепаратори набули найбільшого поширення це аеродинамічні сепаратори САД, УПС-500, зерноочисні машини АКН-200 «Нарле» (Німеччина), «Сimbria» (Данія) [3]. У сепараторі САД [3, 32] поліпшення техніко-експлуатаційних властивостей досягають розміщенням в кінці сепаруючої камери 2 фільтруючого елемента 3 з очищувачем твердих домішок пов'язаного з циклоном 6 і приводним вентилятором 4. Завдяки цьому повітря насичується легкими домішками, що покращує якість роботи сепаратора (рис. 1.3, а). Поліпшення якості розділення насіння на фракції досягається шляхом формування нової конструкцією пустотілого активного барабана (рис. 1.3, б) рухомих систем струменів, які створюють рівновеликі циркуляційні зони.





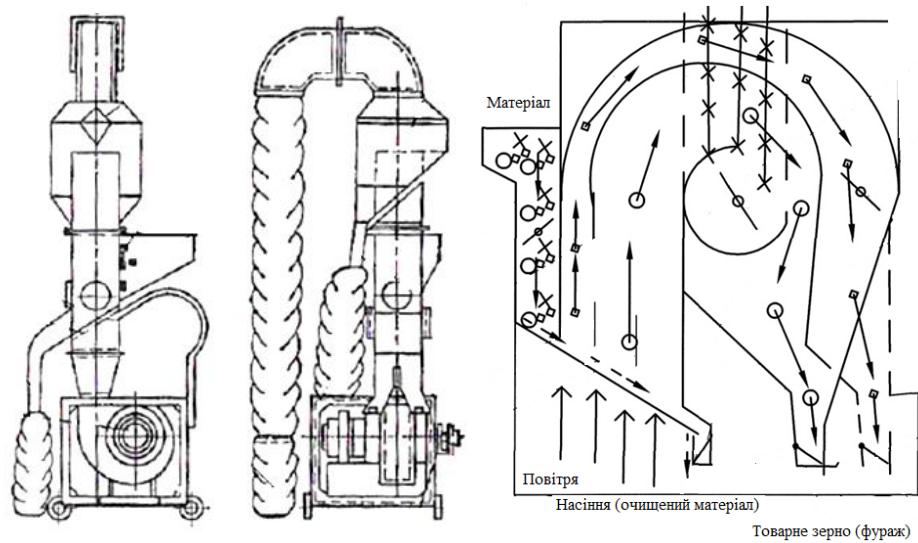
б)

Рис. 1.3 - Схема роботи сепараторів САД: а) з ефектом насичення повітря домішками б) з активним струменевим барабаном

Перевага горизонтальних і похилих сепараторів в тому, що сила тяжіння і аеродинамічна сила повітряного потоку не збігаються, це спрощує подачу матеріалу, загальне зіткнення частинок під час сепарації не значне. Недолік сепараторів в тому, що насіння гарбуза в процесі гравітаційної сепарації може змінювати площу перетину на яку діє сила повітряного потоку, що погіршує якість розділення.

Сортування по критичній швидкості витання і масі проводять аспіраційними колонами і пневматичними сепараторами. Існують вертикальні сепаратори ОПС-2, СП-4У-Р, К-527А10 «Petkus» (Німеччина), SM-120 «Самас» (Швеція) [3, 33], які використовуються для розділення сипких матеріалів на дві фракції, що відрізняються критичними швидкостями витання. Більшу продуктивність і якість роботи мають пневматичні сепаратори ПСПБ-10 (Росія) і К-560 «Petkus» (Німеччина). Пневматичний канал сепарації сепаратора ПСПБ додатково обладнаний поворотними бар'єрами для поліпшення розшарування матеріалу на похилій сепаруючій поверхні і при збільшенні часу сепарації, відбувається поділ на 3 фракції. Пневматичний канал сепаратора ПСПБ-10 розділений на дві частини: спочатку відбувається віднесення легкої частини, до

другої частини каналу відносяться середня фракція, третя фракція найбільш повноцінне насіння сходять з похилої сітки (рис. 1.4, б).



а)

б)

Рис. 1.4 - Схема роботи сепараторів: а) ОПВ-2, б) ПСПБ - 10

Цей тип сепараторів має недолік в тому, що при накопиченні на поверхні сітки матеріалу шаром більше 20 мм сітка практично не продувається. Обмежена інтенсифікація процесу сепарації, оскільки швидкість і товщина матеріалу при розділенні на сепаруючій поверхні гранична, збільшення продуктивності досягається збільшенням габаритів сепаратора [36].

За властивостями придбання і віддачі електричного заряду, електропровідності проводять сортування обладнанням марки сепараторів ЕЛКОР-1 (Росія), електростатичними, діелектричними СДЛ-1, СД-3-2 (Росія) сепараторами [3]. Схема сепаратора СД-3-2 який отримав в даний час найбільшого поширення наведено на рис. 1.5.

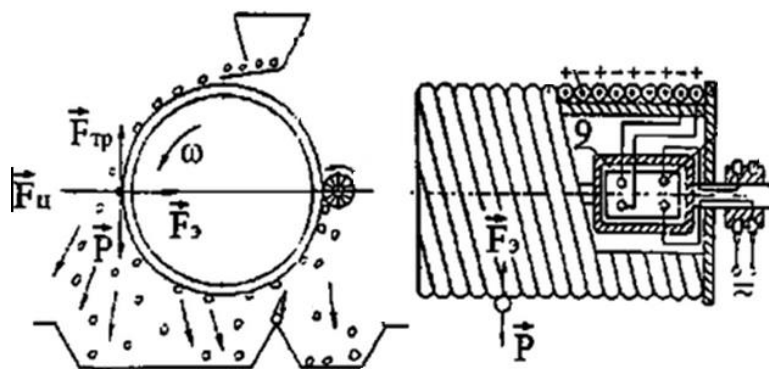


Рис. 1.5 - Схема сепаратора СД-3-2



За результатами багатокритеріальної оцінки найбільш наближений до ідеального є горизонтальний сепаратор САД-5, подальші дослідження будуть спрямовані на підвищення ефективності пневматичної сепарації насіння гарбуза горизонтальними сепараторами.

В подальших дослідженнях поліпшення якості сепарації насіння сільськогосподарських культур в горизонтальному повітряному потоці, досягається шляхом примусового гальмування швидкості сходження насіння з похилої сітки під час подачі, це дозволяє встановити залежність швидкості насіння і його густини при вході в горизонтальний повітряний потік (рис. 1.6, а).

З метою підвищення ефективності сепарації в сепаруючій камері повітряний потік рухається не рівномірно і описує параболу (рис. 1.6, б). Це досягається пристосуванням з набором регулюючих пластин розміщених перед робочою камерою сепарації.

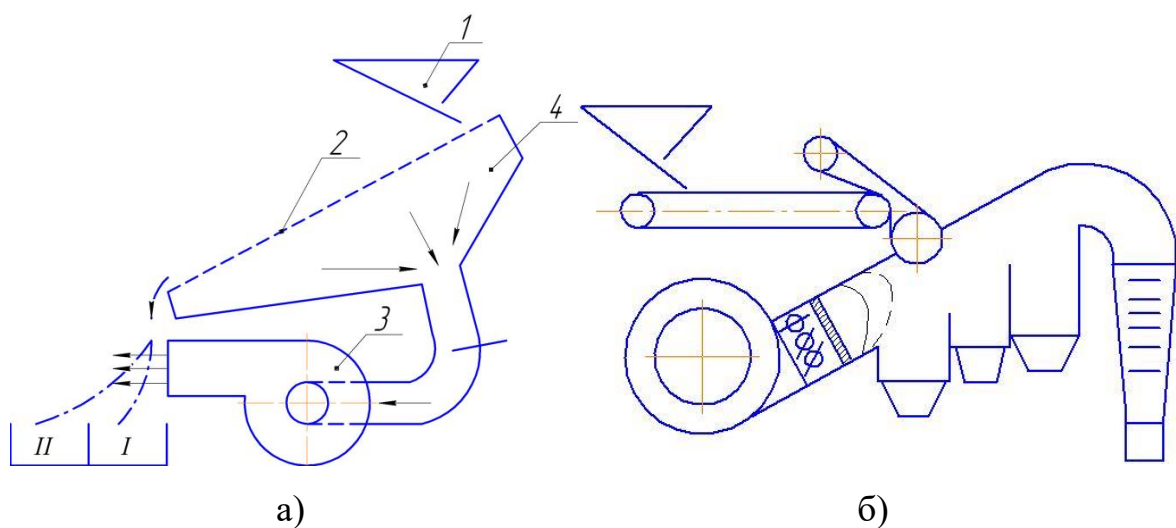


Рис. 1.6 - Схеми горизонтальних сепараторів: а) з похилою сіткою; б) регульованим напрямком повітряного потоку

З метою збільшення продуктивності сепарації запропоновано конструкції повітряно-інерційних сепараторів (рис. 1.7). Сепаратор (рис. 1.7, а) має повітряний колектор з соплами, які створюють повітряні струмені одного тиску і ширини, дільник 4 розташований практично вертикально [37]. Потік матеріалу, рухається по кривій 3 за рахунок сил інерції і продувається повітряними струменями. Конструкція інерційного сепаратора (рис. 1.7, б) має транспортер

розташований знизу камери сепарації, подаючи матеріал назустріч нагнітаючому повітряному потоку.

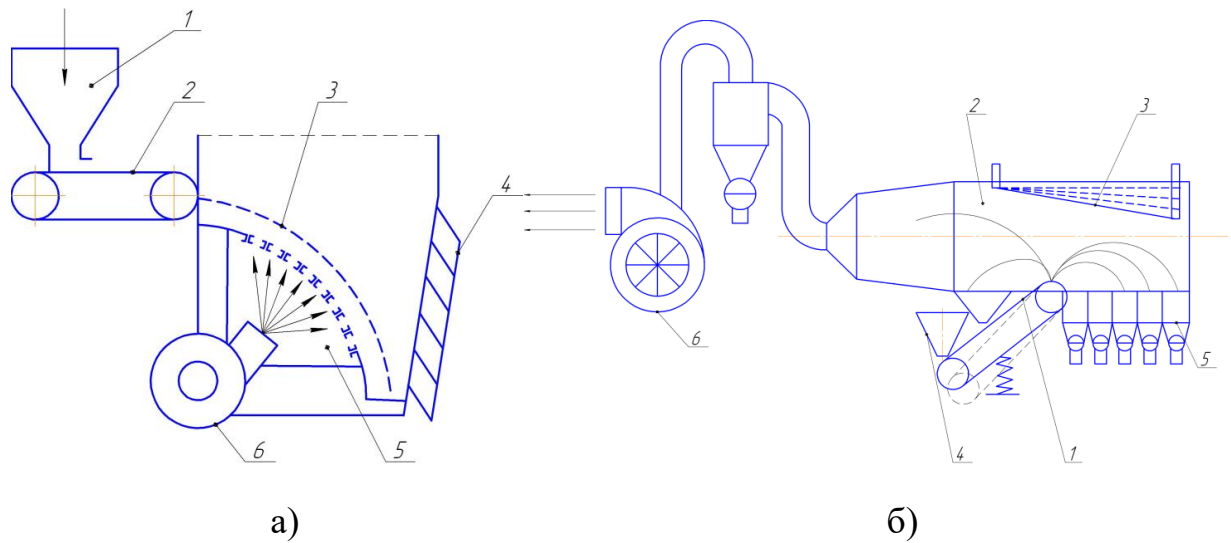


Рис. 1.7 - Схема пневматичних інерційно-гравітаційних сепараторів: а) нагнітаючої дії; б) всмоктувальної дії

У пристрої (рис. 1.8, а) поліпшення якості класифікації досягається завдяки паралельній роботі двох вентиляторів 3, поєднанню сопла з бункером і бічним повітропроводом, поєднанню отворів жалюзійних ґрат 5 з додатковим вивідним каналом 6. Використання в сепараторі замкнутої сепаруючої камери 1, бункера 3 і збірників фракцій 2 з шлюзовими затворами, пристосування 4 для рівномірного розподілу повітряного потоку з вентилятора, похилого фільтра 5, сприяє поліпшенню якості розділення насіння і усунення пиловиділення (рис. 1.8, б). Недоліком конструкції є збільшення витрат енергії на створення рівномірних струменів повітряного потоку, а також не сталість тиску повітряного потоку зі збільшенням засміченості фільтра 5.

Поліпшення розділення насіння за аеродинамічними властивостями досягається пристроєм, який складається з чотирьох паралельно працюючих вентиляторів, що змінюють напрямок повітряного потоку жалюзійними заслінками (рис. 1.9). Оптимальна висота горизонтального каналу 1,2 м.



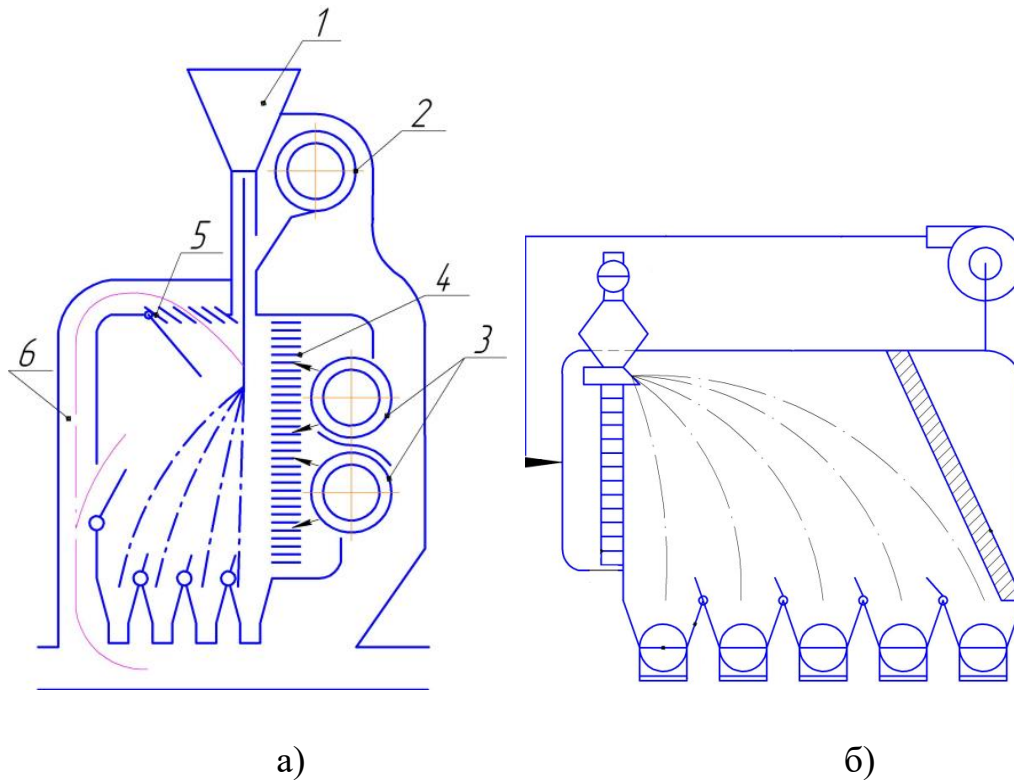


Рис. 1.8 - Схема роботи струменевих сепараторів: а) з двома паралельно працюючими вентиляторами; б) з похилим фільтром

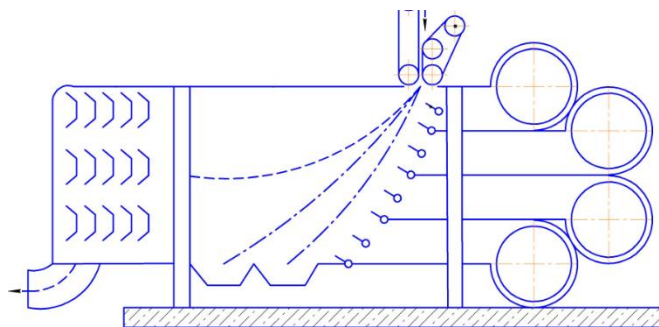


Рис. 1.9 - Схема пневмо-інерційного сепаратора з чотирма вентиляторами

Недоліками наведених горизонтальних сепараторів є випадковий характер переміщення насіння в повітряному потоці в процесі сепарації, що призводить до часткових втрат якісного насіння у фракцію з не якісним.

Існує також відцентрово-пневматичний тип сепараторів, які розділяють по комбінації відцентрової сили і аеродинамічної сили присмоктування насіння до циліндричної сітчастої сепаруючої поверхні. Сепаратори поділяють насіння на три фракції: очищене повноцінне насіння, менш повноцінне і легкі домішки [5]. Одне з позитивних властивостей сепараторів цього типу, в тому, що процес розділення в них більш якісний. Найбільшого поширення з представників

відцентрово-пневматичного типу сепараторів є сепаратор ЗАВ-40-02.000 (рис. 1.10).

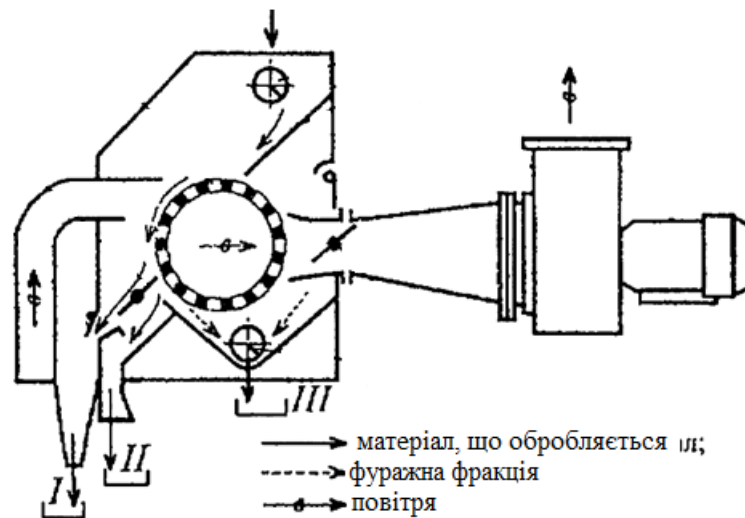


Рис. 1.10 - Схема роботи сепаратора ЗАВ-40-02.000

Сепаратор працює наступним чином: з бункера по похилій дошці насіння подається на горизонтальний циліндричний барабан, який обертається з певною швидкістю, на поверхні якого утворюється певна швидкість повітряного потоку. Вентилятор через прямокутний канал висмоктує повітря з бічної сторони барабана. Насіння притискається повітряним потоком і далі, відцентровою силою, величина якої задається обертанням барабана, відривається в певних кутах повороту барабана і розноситься по лотках розташованим під барабаном.

Недоліком сепаратора є те, що повітряний потік проходить через всю площу сітчастого циліндричного барабана, завдяки боковому відведенню повітря, що збільшує його аеродинамічний опір зі збільшенням частоти обертання, і як наслідок, призводить до підвищення витрат енергії, а так само використання сітчастої поверхні барабана призводить до нестабільного руху частинок по цій поверхні.

У наступному пристрої (рис. 1.11, а). використовується одночасно електрична і аеродинамічна сили, які змінюються в протилежних напрямках. При попаданні насіння з живильника 1 в сепаруючу камеру 5 на нього діють сила електричного поля між електродами 2, 3, а також сила повітряного потоку, яка

поступово збільшується, це дозволяє зменшити втрати повноцінного насіння в відходи.

Для одночасного розділення по електричним, фрикційним, відцентровим силам і поліпшенню розділення насіння, конструкція робочого органу (рис. 1.11, б) має канавки розміщені по радіусу обертання і натягнуте на барабан тонке діелектричне полотно з розміщеним на ньому двох незалежних електродів. Недоліком сепаратора є не велика продуктивність, мала робоча зона сепарації.

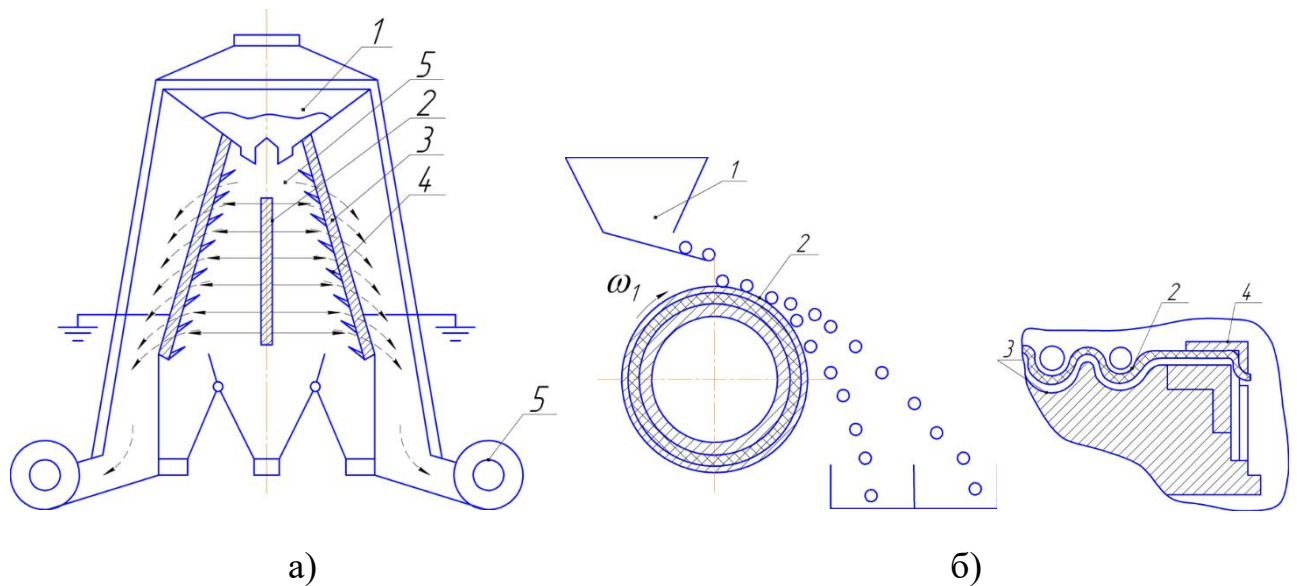


Рис. 1.11 - Схеми роботи електрокоронних сепараторів: а) гравітаційний комбінований; б) з тонким діелектричним полотном

Для узагальнення сепараторів для сортування насіння гарбуза запропоновано їх класифікацію (рис. 1.12).

Для розробки нової більш ефективної конструктивно-технологічної схеми сепаратора насіння гарбуза, необхідно провести теоретичне дослідження технологічного процесу сепарації і теоретично обґрунтувати раціональні конструктивні і робочі параметри сепаратора.

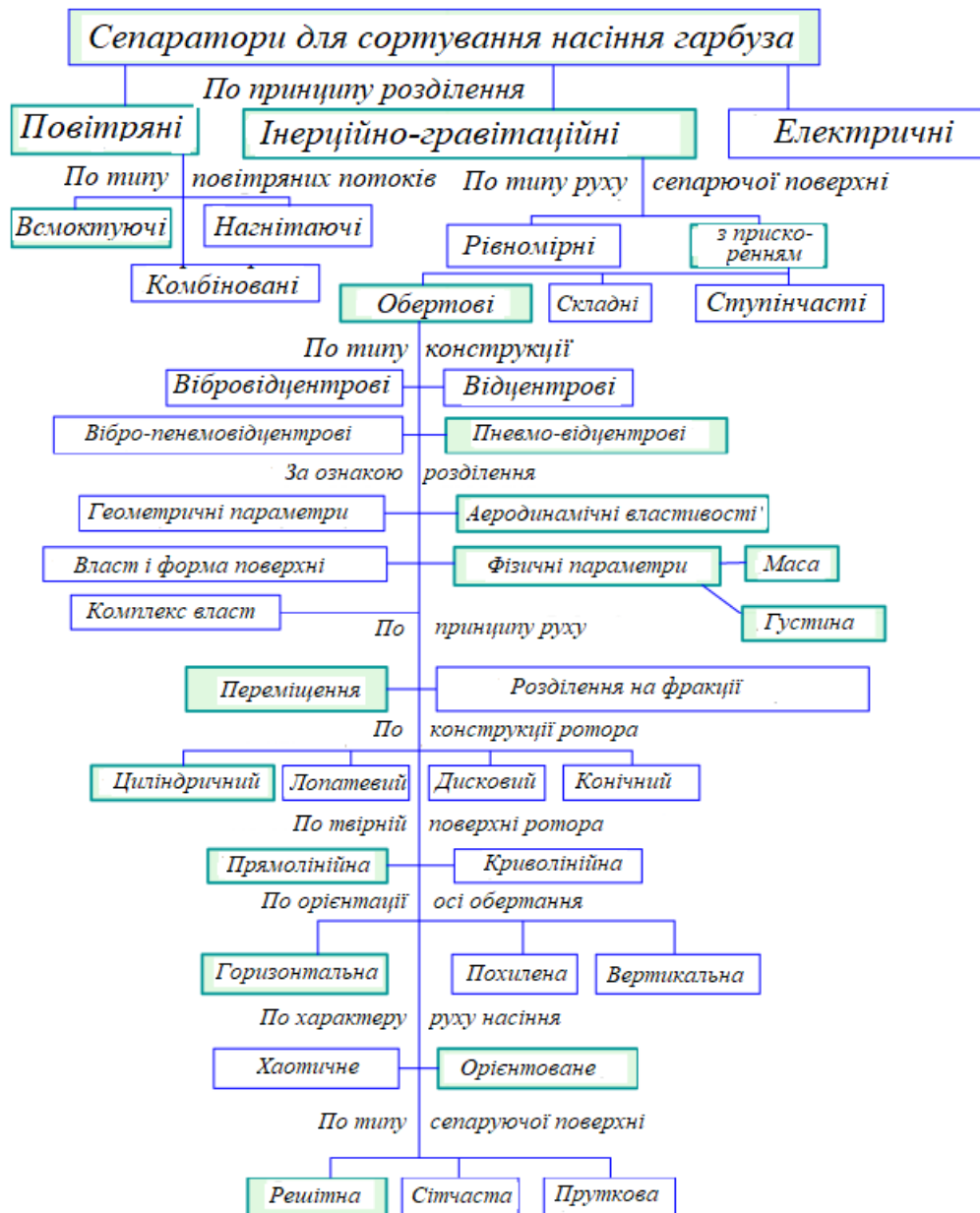


Рис. 1.12 - Класифікація сепараторів для сортування насіння гарбуза

### 1.3 Обґрунтування типу сепаруючої поверхні

Основні типи сепаруючих поверхонь, що випускаються промисловістю для пневматичних зерночисних машин: плетена дротова сітка, перфоровані полотна, пруткове решето (рис. 1.13, 1.14). З них повітропроникними поверхнями, що застосовуються в пневматичних каналах є: дротова сітка, перфороване полотно з круглими отворами розташованими по кутах шестикутника (рис. 1.13). Також застосовуються певні перешкоди повітряному потоку для вирівнювання його поля швидкостей.

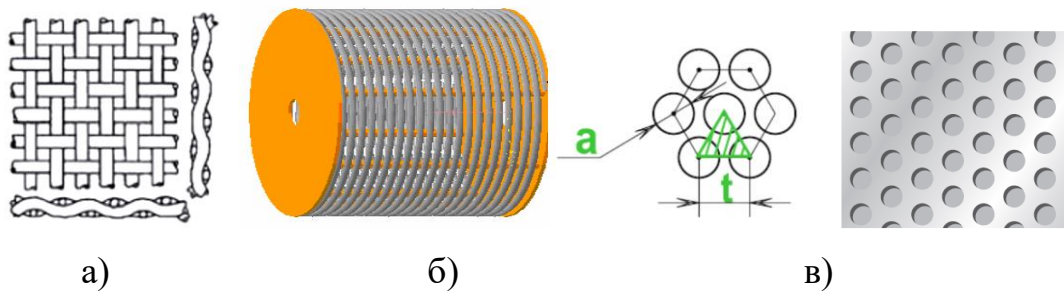


Рис. 1.13 - Загальний вигляд сепаруючих поверхонь: а) тканинна металева сітка, б) пруткова решітка, в) перфороване полотно

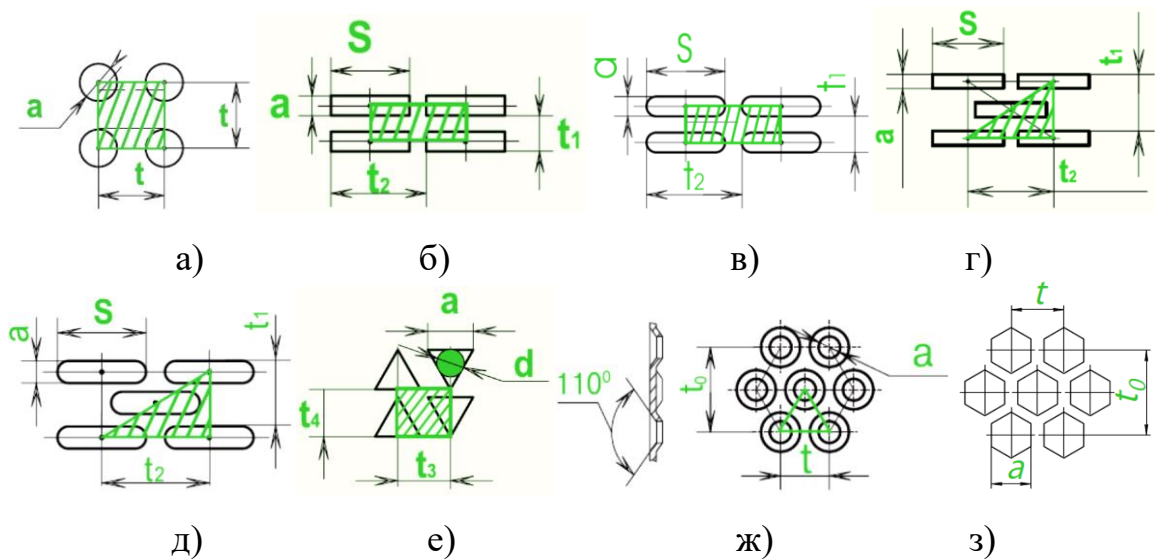


Рис. 1.14 - Основні види перфорованих решіт, які випускаються виробництвом для зерноочисних сепараторів

При аналізі перфорованих решіт, які випускаються виробництвом (рис. 1.14) для зерноочисних сепараторів визначені основні види перфорації:

- а) отвори круглої форми розміщені по квадрату;
- б) отвори прямокутні розміщені рядами;
- в) отвори прямокутні розміщені рядами з округленими торцями;
- г) отвори прямокутні розміщені симетрично;
- д) теж саме, але з округленими торцями;
- е) отвори у вигляді трикутника;
- ж) отвори круглі розташовані у вигляді лунок;

з) решето з отворами, що мають вигляд трикутника, і перфороване полотно з круглими отворами, розташованими по шестикутнику.

Сепаруюча поверхню, яка буде використовуватися в конструкції досліджуваного аеродинамічного сепаратора з циліндричною сепаруючою поверхнею, має забезпечувати максимальну рівномірність поля швидкостей повітряного потоку по її ширині, насіння гарбуза має залишатися постійно на сепаруючій поверхні, живий перетин решета має максимально взаємодіяти з площею перетину насіння. Сепаруюча поверхня повинна мати якомога менший коефіцієнт опору динамічному тиску  $\xi$ , що дозволить економити енергію повітряного потоку.

Проаналізуємо типи сепаруючих поверхонь, при цьому поставимо обмеженнями діаметра перфорації. У господарствах нашої країни найбільшого поширення набув гарбуз сорту «Волзька Сіра», є дані по варіації геометричних параметрів насіння цієї культури: довжина – від 18,5 до 21,25 мм, ширина – від 11 до 12,75 мм. При підборі сепаруючої поверхні ми не враховували ознаку товщини насіння. Виходячи з наведених даних, приймемо максимально допустимий діаметр: перфорації отворів сепаруючих поверхонь  $a = 7$  мм. Крім того сепаруюча поверхня характеризується коефіцієнтом живого перетину, відомо, що чим вище цей показник, тим більше впливає аеродинамічна сила на матеріал, що сепарується, проте зменшується жорсткість сепаруючої поверхні [11, 22].

Розглянемо сепаруючі поверхні, які поширені в повітряних сепараторах. Проаналізувавши тканинну полотняну сітку з прямокутними отворами (ГОСТ 3826-82), що випускається промисловістю (рис. 1.13, а), відібрали з максимально допустимими параметрами: а) діаметр дроту  $d = 1,8$  мм, довжина сторони просвіту осередку  $l = 4,5$  мм, коефіцієнт живого перетину сітки,  $k_{ж.с} = 0,77$ . Наступний тип сепаруючої поверхні, яку ми розглядаємо пруткове решето. Проаналізувавши існуючі пруткові решета нашим критеріям відповідає: діаметр прутка  $a = 3$  мм, зазор між прутами  $b_{пр} = 2,5$  мм,  $k_{ж.с} = 0,45$ .

Наступний тип перфорованого полотна з круглими отворами, розміщеними по шестикутнику (рис. 1.16, в), виходячи з вимог описаних вище найбільш

вдалими є полотна з характеристиками: а) діаметр отвору  $a = 7,5$  мм, крок  $t = 11$  мм, коефіцієнт живого перетину  $k_{ж.с} = 0,42$  ; б)  $a = 5$  мм,  $t = 6$  мм,  $k_{ж.с} = 0,63$ .

Проаналізувавши тип решіт з отворами розміщеними по квадрату (рис. 1.14), що випускаються заводами виробниками можна зробити висновок, що вони не задовольняють нашим вимогам, при максимально допустимому діаметрі отворів до  $a = 7$  мм, коефіцієнт живого перетину становить  $k_{ж.з} = 0,14$ , що досить мало, оскільки відомо, що зменшення живого перетину сепаруючої поверхні призводить до зменшення питомого навантаження на сепаруючу поверхню, і значного збільшення опору решета повітряному потоку.

Якщо використовувати в якості сепаруючої поверхні решето, що складається з прямокутних перфорованих отворів (рис. 1.14, б - д), то при подачі на них, можливо, відбудеться заклинювання насіння, зміна робочої площі живого перетину насіння і погіршення чіткості розділення насіння по масі. Розглянувши тип решіт з трикутними отворами (рис. 1.14, е), що випускаються промисловістю, підходить решето з розмірами: довжина сторони  $a = 7,5$  мм, діаметр окружності  $d = 4,3$  мм, нижній і верхній крок,  $t_3 = 6,1$  ,  $t_4 = 8,9$  мм, коефіцієнт живого перетину  $k_{ж.с} = 0,42$ . Використання цього решета малоймовірно буде вирівнювати повітряний потік по робочій ширині сепаруючої поверхні і буде приводити до травмування насіння.

Після розгляду зупинимося на дослідженні сепаруючих поверхонь, з перфорованого полотна з параметрами: а)  $a = 7,5$  мм,  $t = 11$  мм,  $k_{ж.з} = 0,42$ ; б)  $a = 5$  мм,  $t = 6$  мм,  $k_{ж.с} = 0,63$ .

В результаті аналізу приймаємо в якості сепаруючої поверхні перфороване решето з круглими отворами, розміщеними по кутах трикутника.

#### 1.4 Висновки до першого розділу

На підставі вивчення сучасного стану питання сепарації насіння гарбуза були зроблені наступні висновки [28]:

- встановлено, що підвищення врожайності баштанних

сільськогосподарських культур для України є важливим питанням, і відповідно розробка нових засобів для підготовки насіння до сівби шляхом сепарації їх за значенням маси є актуальним;

- шляхом аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі засоби механізації для сепарації насіння гарбуза мають ряд недоліків (складність настройки, підвищена енергоємність, низька якість розділення), тому розробка нової вдосконаленої конструкції аеродинамічного сепаратора з циліндричною сепаруючою поверхнею для насіння баштанних культур є актуальним завданням.



## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

#### 2.1 Модель аеродинамічного сепаратора

Теоретичні дослідження необхідні для математичного обґрунтування процесу сепарації насіння гарбуза по аеродинамічних властивостях і масі та для визначення конструктивно-технологічних параметрів запропонованого аеродинамічного сепаратора.

До основних, що визначаються конструктивних параметрів сепаратора для розділення насіння гарбуза по масі відносимо: параметри циліндричної сепаруючої поверхні (тип поверхні, коефіцієнт живого перетину  $k_{ж.с}$ , діаметр  $D$  і робоча ширина  $B$ ), кут установки ділильної перегородки  $\varphi_d$ , параметри дозуючого пристрою (параметри бункера, ширина і кут установки скатної дошки). До основних технологічних параметрів відносимо: частоту обертання циліндричного решета  $n_b$ , швидкість повітряного потоку в отворах решета  $V_{в.п.}$ , швидкість руху матеріалу при подачі на решето  $V_m$ , пропускна здатність сепаратора  $Q_c$ , енергоємність сепарації  $E$ . Визначаючи параметри повітряної системи нового сепаратора визначали потужність вентиляторів для створення певних параметрів повітряного потоку на поверхні перфорованого решета.

З аналізу переваг та недоліків сепараторів, які дозволяють проводити сортування насіння гарбуза по масі насіння знайдений найбільш перспективний тип конструкції, аеродинамічний сепаратор з циліндричною сепаруючою поверхнею. Один із шляхів отримання раціональної конструктивно-технологічної схеми сепаратора насіння – використання системного аналізу [12, 13] і побудова структурної системи сортування насіння гарбуза аеродинамічним сепаратором з циліндричною сепаруючою поверхнею.

Збільшення продуктивності аеродинамічних сепараторів з циліндричною сепаруючою поверхнею можливо досягти зменшенням опору сепаруючої поверхні повітряному потоку. Повітряному потоку для взаємодії з сепаруючим

матеріалом треба пройти дві сепаруючі поверхні (подвійне опір), зменшення опору сепаруючої поверхні можливо досягти, якщо буде використовуватися тільки робоча зона циліндричної поверхні.

При розташуванні сепаруючих поверхонь в кілька рядів перпендикулярно всмоктуючому факелу повітряного потоку, їхній коефіцієнт опору  $\xi$  збільшується пропорційно кількості рядів, а збільшення коефіцієнта опору призводить до зниження швидкості повітряного потоку в повітряному каналі. Ми пропонуємо проводити відсмоктування повітряного потоку через внутрішню частину сепаруючого барабана, при цьому не робочу зону циліндра закрити кожухом.

Розглянувши переваги і недоліки конструкцій сепараторів аналогів пропонується конструктивно-технологічна схема аеродинамічного сепаратора з циліндричною перфорованою поверхнею для розділення насіння гарбуза за значенням маси тисячі насінин (рис. 2.1).

Технологічний процес сортування насіння гарбуза відбувається наступним чином: після калібрування насіннєвий матеріал подається скатної дошкою 2 на сепаруючу поверхню тобто циліндричний барабан 1 де він укладається в один шар, далі відбувається притиснення насіння до барабану силою повітряного потоку. Під дією відцентрової сили, яка з'являється завдяки обертанню циліндричної сепаруючої поверхні, і відмінності в масі насіння, відбувається розділення відривом при різних кутах повороту барабана і рознесення насіння по фракціях, щуплі насіння залишаються на барабані і зчищаються щіткою 5 в останню фракцію.

Розробимо модель функціонування аеродинамічного сепаратора. Його основні частини: зона подачі матеріалу ПМ, зона розділення ЗР, зона прийняття розділеного матеріалу ПЗМ (рис. 2.2).

Початкові умови роботи запропонованої конструктивної схеми: рівень подачі матеріалу  $g_n$  (кг / год), швидкість насіння при подачі  $V_m$  (м / с) і товщина матеріалу при сходженні з похилої дошки  $h_m$  (м).

На показники зони подачі матеріалу ПМ впливають: швидкість руху матеріалу при сходженні з похилої дошки  $V_m$  (м / с); товщина матеріалу  $h_m$  (м);

механіко-технологічні властивості  $f(t)$ : початкове значення маси тисячі насінин, варіація насіння за масою в вихідному матеріалі, варіація насіння за коефіцієнтом парусності, коефіцієнт тертя по похилій площині.

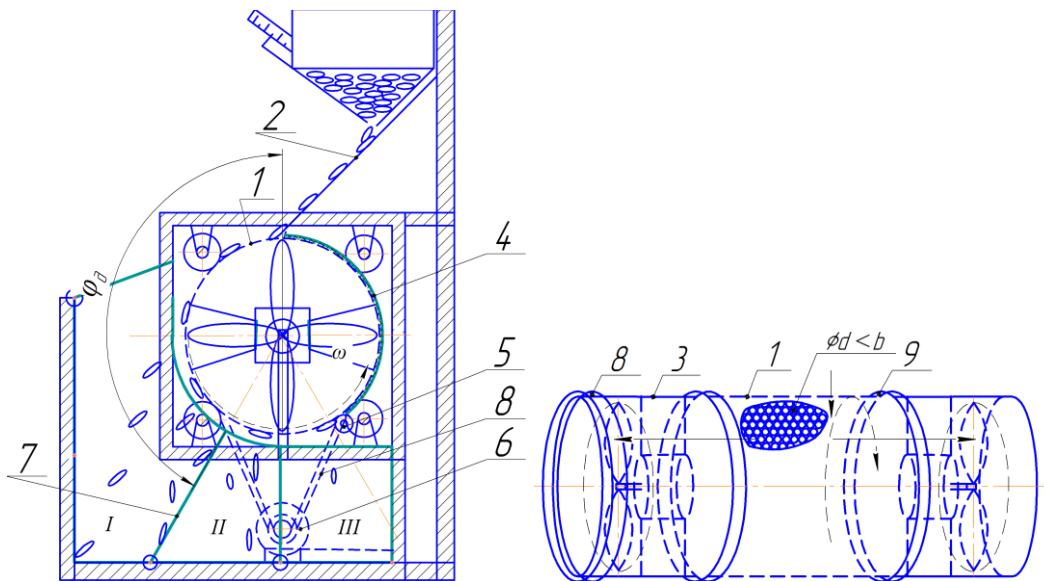


Рис. 2.1 - Конструктивно-технологічна схема аеродинамічного сепаратора:  
 1 – сепаруюча поверхня; 2 – скатний лоток; 3 – камера з вентиляторами;  
 4 – пристосування для закриття неробочих частини сепаруючої поверхні;  
 5 – очисна щітка; 6 – привод сепаруючої поверхні; 7 – приймачі розділеного матеріалу; 8 – паз під пас; 9 – паз під роликотідшипники

На показники зони розділення ЗР впливають: частота обертання циліндричної сепаруючої поверхні  $n_b$  ( $\text{хв}^{-1}$ ); коефіцієнт живого перетину  $k_{ж.с}$ ; коефіцієнт тертя по сепаруючій поверхні; коефіцієнт варіації швидкості повітряного потоку по площі сепаруючої поверхні  $k_{в.с}$ ; коефіцієнт використання робочої площі сепаруючої поверхні  $k_u$ . На показники зони прийому матеріалу ПЗМ: кут установки розділяючої заслінки  $\varphi_d$ . Загальна витрата енергії  $E$  на технологічний процес сепарації насіння гарбуза, це відношення суми витраченої потужності двигуна для обертання робочого органу, і витрати потужності двигунів вентиляторів для створення необхідної швидкості повітряного потоку на поверхні решета, до пропускної спроможності сепаратора.

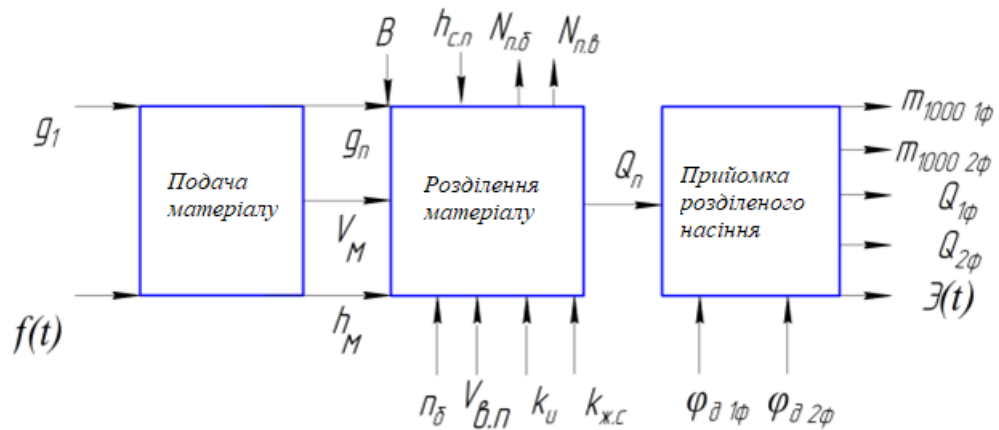


Рис. 2.2 - Модель функціонування аеродинамічного сепаратора насіння

Функція взаємодії між параметрами технологічного процесу сепарації насіння гарбуза виражається рівнянням:

$$f(g_n, V_M, h_M, f(t), h_{c,n}, n_{\delta}, k_{ж,с}, k_u, k_{в,с}, \mathcal{E}(t), m_{1000}, Q_n, Q_{1ф}, Q_{2ф}) = 0. \quad (2.1)$$

Ефективність процесу сепарації насіння гарбуза по масі з представленої моделі функціонування можливо оцінити по вихідним сигналам: питома енергоємність  $\mathcal{E}(t)$  кВт · год / т; маса тисячі насінин  $m_{1000}$  кг; кількість розділеного матеріалу з певною масою тисячі насінин  $Q_{1ф}, Q_{2ф}$  (%); пропускна здатність сепаратора  $Q_n$  кг / с.

## 2.2 Математичне моделювання роботи аеродинамічного сепаратора

Спираючись на дослідження вчених, для обґрунтування раціональних параметрів аеродинамічного сепаратора, необхідно провести теоретичні дослідження і отримати аналітичні залежності.

Розглянемо процес сепарації насіння досліджуванним сепаратором. Різні за масою і аеродинамічними властивостям, але близькі по геометричних розмірах насіння гарбуза подаються рівномірно по всій робочій ширині  $B_{раб}$  сепаруючого циліндра, де укладається шаром насіння  $h_{c,n}$ , без дії додаткових сил притиснення їх до циліндра (вентилятори вимкнені). При створенні на робочій сепаруючій поверхні однакової по ширині швидкості повітряного потоку, насіння будуть утримуватися різною силою повітряного потоку, яка залежить від аеродинамічних

і масових характеристик насіння. На відрив насіння від сепаруючої поверхні в певних кутах, будуть впливати співвідношення сил: аеродинамічної, вакуумної сили присмокування насіння до отворів решета, сили тяжіння, відцентрової сили, сили тертя, сили лобового опору.

При теоретичному дослідженні зробимо такі припущення:

- силою взаємодії насіння одне з одним на поверхні барабана під час сепарації нехтуємо;
- розрідження повітряного потоку в усіх отворах робочої площі решета, що використовується в якості сепаруючої поверхні однакове;
- рух насіння розглядається в одній площині, в тому числі і після відриву від робочого органу.

Розглянемо рух насіння гарбуза по поверхні циліндра (перфорованого барабана), сили діють на насіння, яке перебуває на поверхні циліндра, що обертається представлені на рис. 2.3.

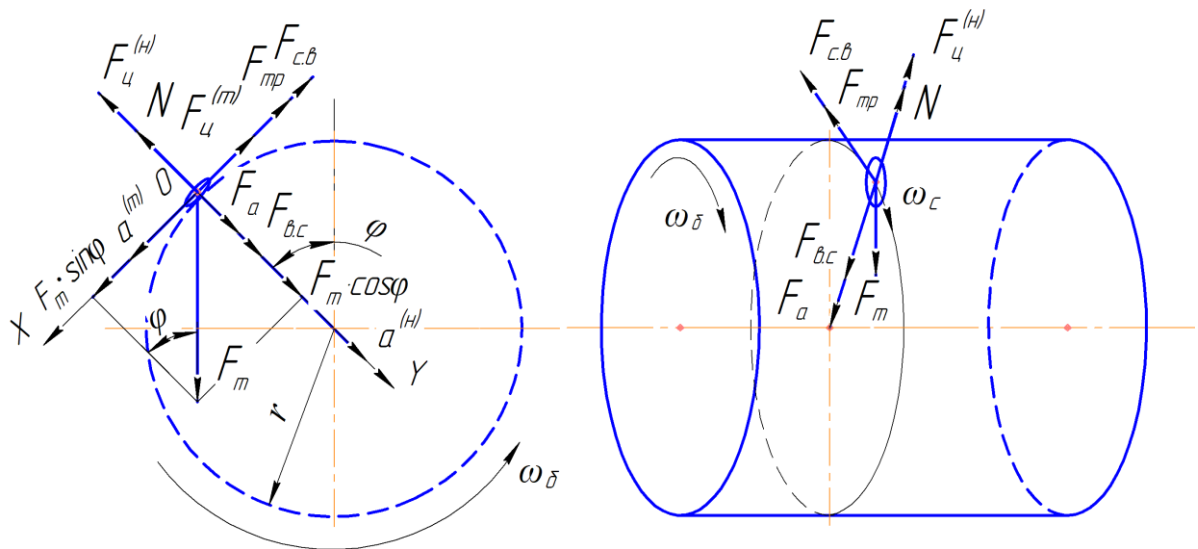


Рис. 2.3 - Схема сил, що діють на насіння гарбуза при русі по циліндричній сепаруючій поверхні

Аеродинамічні властивості насіння визначаються площею, на яку впливає повітряний потік, масою насіння, коефіцієнтом опору, який визначається формою і фрикційними властивостями поверхні насіння, це складові коефіцієнта парусності  $k_n$ . Як відомо, відбір біологічно повноцінного насіння за допомогою сили повітряного потоку проводять по відмінності насіння в їх швидкості витання

$V_{\text{вiт}}$  і за певної умови коефіцієнт парусності  $k_n$  розраховується з  $V_{\text{вiт}}$ , зі збільшенням значення швидкості витання насіння зменшується коефіцієнт парусності, тобто насіння повної ваги має коефіцієнт парусності менший в порівнянні з легким по масі.

Сила повітряного потоку, що діє на насіння, складається з двох складових: аеродинамічної сили і сили вакуумного присмоктування насіння до отворів решета. Чим плоскіша форма насіння гарбуза, тим більше на неї діє сила вакуумного присмоктування, тобто велика кількість отворів решета утримують насіння.

Необхідно отримати кути відриву насіння від сепаруючого робочого органу з певними аеродинамічними властивостями і масою, в залежності від співвідношень утримуючих і відриваючих сил. Спроекуємо розглянуті сили на дотичну до поверхні сепаруючого циліндра і складемо диференціальне рівняння руху насіння гарбуза в проекціях на осі рухомої системи координат  $OXY$  [15, 35]:

$$\begin{cases} mr\ddot{\varphi} = mg \cdot \sin \varphi + fN - mk_n V_c^2; \\ N = mg \cdot \cos \varphi + \Delta p s + mk_n V_{\text{в.н}}^2 - mr\dot{\varphi}^2. \end{cases} \quad (2.1)$$

де  $m$  – маса насіння, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\varphi$  – кут відриву насіння, °;

$r$  – радіус циліндра, м;

$V_c$  – окружна швидкість переміщення насіння, м/с;

$f$  – коефіцієнт тертя по перфорованому полотну;

$N$  – нормальний тиск, який створює насіння на сепаруючу поверхню, Н;

$k_n$  – коефіцієнт парусності;

$V_{\text{в}}$  – швидкість потоку повітря на поверхні робочого органу, м/с;

$\Delta p$  – вакуумне розрідження всередині робочого органу, Н/м<sup>2</sup>;

$s$  – площа всмоктуючих отворів для одної насінини, м<sup>2</sup>.

Зробивши ряд припущень і провівши складні математичні розрахунки отримаємо рівняння для пошуку кута відриву насіння від поверхні барабана:

$$\begin{aligned}
N = mg \cdot \cos \varphi - \Delta ps - mk_n V_{e.n}^2 - mr \left( \frac{1}{4f^2 + 1} (\cos \varphi + 2f \sin \varphi) + \right. \\
\left. + \frac{1}{1-4f^2} (\sin \varphi - 2f \cos \varphi) - \frac{D}{f} + \left( \frac{D}{f} + \frac{2f}{1-4f^2} - \frac{1}{4f^2 + 1} \right) e^{2f\varphi} \right).
\end{aligned}
\tag{2.2}$$

Для пошуку кута відриву будемо вирішувати рівняння:

$$\begin{aligned}
mg \cdot \cos \varphi - \Delta ps - mk_n V_{e.n}^2 - mr \left( \frac{1}{4f^2 + 1} (\cos \varphi + 2f \sin \varphi) + \right. \\
\left. + \frac{1}{1-4f^2} (\sin \varphi - 2f \cos \varphi) - \frac{D}{f} + \left( \frac{D}{f} + \frac{2f}{1-4f^2} - \frac{1}{4f^2 + 1} \right) e^{2f\varphi} \right) = 0.
\end{aligned}
\tag{2.3}$$

Отримане рівняння будемо вирішувати чисельно. Параметри зміни кута від 0 до  $\frac{5\pi}{4}$ , точність  $\varepsilon = 0,01$ . З метою перевірки отриманої моделі досліджуємо відділення повноцінного насіння з початкового сепаруючого матеріалу, при положенні відокремлюючої заслінки в куту  $\varphi = 135^\circ$ , (рис. 2.4, а). Визначимо значення швидкостей повітряного потоку при початковій умові потрапляння насіння в другу фракцію на різних частотах обертання барабана. Необхідною умовою будемо вважати потрапляння насіння з масою 0,3 г в другу фракцію. Для досягнення цієї мети підставляємо в рівняння (2.3) різні значення аеродинамічної сили зі збільшенням частоти обертання перфорованого барабана, отримаємо зміну швидкості повітряного потоку на поверхні решета. Середнє значення сили вакуумного присмоктування до перфорованого решета визначено експериментально становить  $F_{v.c} = 0,00298$  Н для насіння гарбуза сорту «Волзька сіра» з масою від 0,3 г [12, 23]. Для теоретичного дослідження (рис. 2.4, б) приймаємо насіння гарбуза з параметрами: маса  $m_c = 0,0003$  кг, площа живого перетину насіння  $F_{m.c} = 0,000191$  м<sup>2</sup>, коефіцієнт парусності  $k_n = 0,1$ .

Для частоти обертання перфорованого решета  $n_\sigma = 50$  хв<sup>-1</sup>, швидкість повітряного потоку, при якій буде відбуватися умова відриву насіння з масою 0,3 при куті установки дільника  $\varphi = 135^\circ$  становить 2,73 м / с. Проведені експерименти підтвердили правильність побудованої моделі [3, 16].

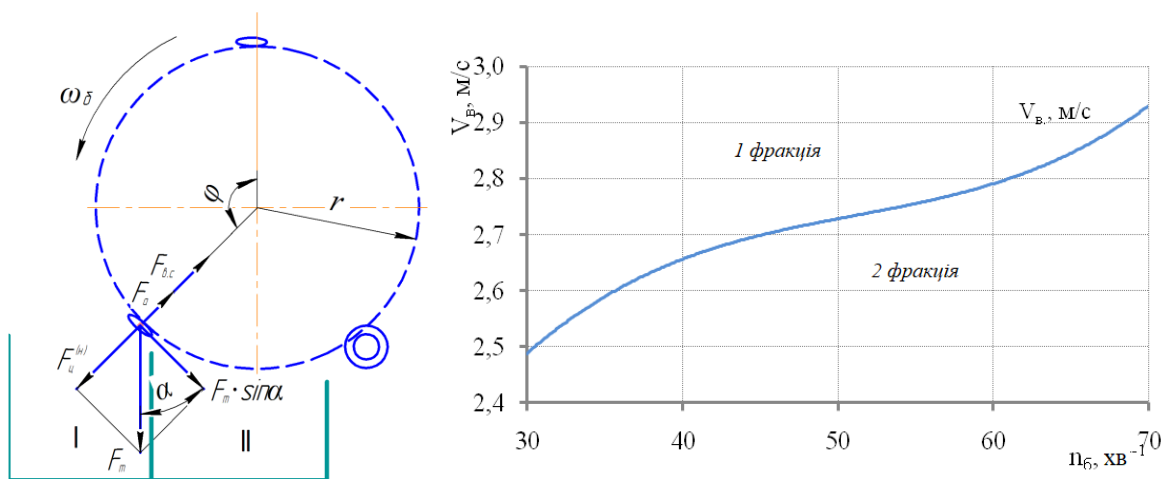


Рис. 2.4 - Дослідження умови відриву насіння масою 0,3 г в проміжному куті  $\varphi = 135^\circ$  між першою і другою фракцією: а) схема установки ділильної перегородки; б) теоретична залежність, що визначає необхідну швидкість повітряного потоку на сепаруючій поверхні при збільшенні частоти її обертання

Одної умови відриву насіння від поверхні решета мало для того, щоб отримати кут установки дільника для відділення певної маси тисячі насінин.

При сепарації насіння гарбуза сорту «Волзька сіра», частоті обертання циліндричного робочого органу 50 хв<sup>-1</sup>, швидкості повітряного потоку  $V = 2,5$  м/с; діаметрі сепаруючого циліндра  $D_{\delta} = 0,32$  м, діаметрі отворів решета  $a = 5$  мм, ширині сепаруючої поверхні  $L = 0,1$  м, отримана теоретична залежність значення маси тисячі насінин  $m_{1000}$  і кількості насіння з цим значенням  $Q_n$ , від кута установки дільника (рис. 2.5).

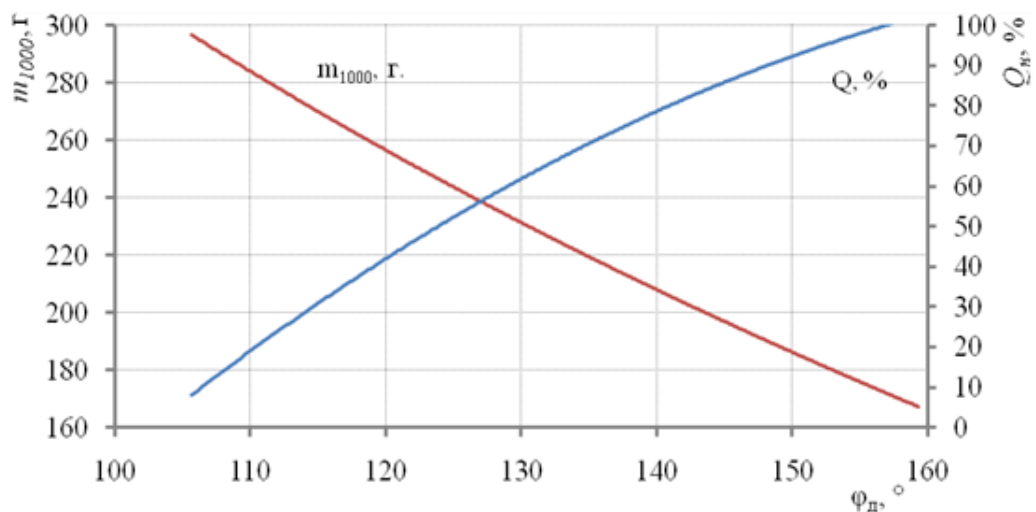


Рис. 2.5 - Теоретична залежність значення маси тисячі насінин  $m_{1000}$  і кількості насіння з цим значенням  $Q_n$ , від кута установки дільника при  $n_6 = 50$  хв<sup>-1</sup> і швидкості повітряного потоку 2,5 м / с



Згідно з отриманими даними, для отримання насіння з масою тисячі  $m_{1000} = 260$  г, необхідно встановити ділильну перегородку в кутовому положенні  $118^\circ$ , при цьому кількість насіння з цією масою складе 39% від початкової кількості.

Задавшись характеристиками насіння гарбуза сорту «Волзька сіра», встановлено, що для матеріалу, що характеризується значеннями  $m_{1000} = 280 \dots 240$  г для повноцінного,  $m_{1000} = 240 \dots 180$  г – для товарного, і  $m_{1000} < 180$  г – для неповноцінного насіння, діапазони кутів установки роздільних перегородок складають:  $\varphi_\delta^{(n.n)} = 110^\circ \dots 127^\circ$ ,  $\varphi_\delta^{(m.n)} = 127^\circ \dots 153^\circ$ ,  $\varphi_\delta^{(неп.н)} > 153^\circ$ , що дозволяє розмежовувати фракції при установці роздільних перегородок у відповідних положеннях.

Також було досліджено, як змінюється кут установки ділильної перегородки  $\varphi_\delta$  від значення маси тисячі насінин, при різних діаметрах решітних барабанів (рис. 2.6).

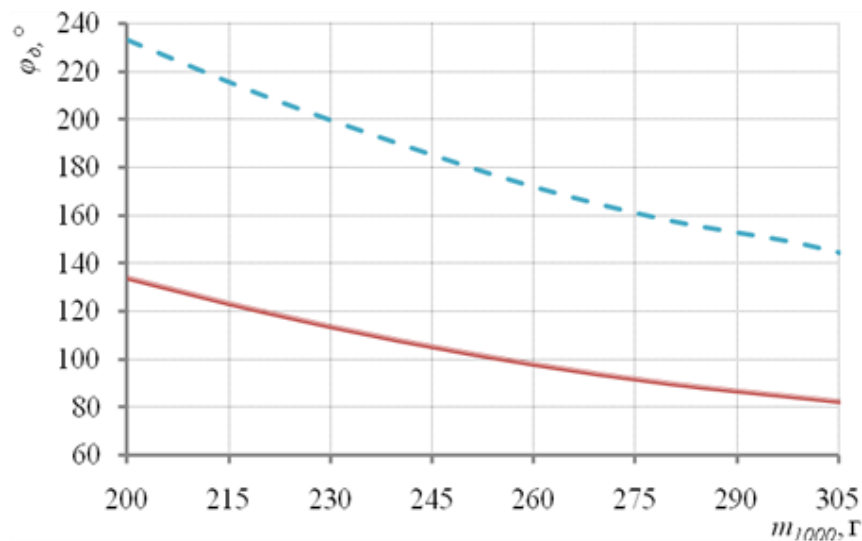


Рис. 2.6 - Теоретична залежність кута установки ділильника  $\varphi_\delta$  від маси тисячі насінин  $m_{1000}$ , для різних діаметрів решітних барабанів, при швидкості повітряного потоку  $V = 2,5$  м / с і частоті обертання циліндричного решета  $n_\delta = 50$  хв<sup>-1</sup>

При розділенні насіння гарбуза сорту «Волзька сіра» і закладанні в програмі необхідності відбору насіння з масою тисячі  $m_{1000} = 240$  м, кути установок роздільників становитимуть  $\varphi_\delta = 108^\circ$ ,  $\varphi_\delta = 185^\circ$ , відповідно при діаметрах

решітних барабанів  $D_6 = 0,2$  м і  $D_6 = 0,315$  м (діапазон змін діаметрів корпусів осьових вентиляторів). При зменшенні діаметра решітного барабана, спостерігається збільшення значення кута установки дільника до граничного значення ( $\varphi_0 < 180^\circ$ ), процес розділення буде не якісним, тому необхідно збільшувати швидкість повітряного потоку в отворах решета, що призведе до зменшення зони дії повітряного потоку на насіння в порівнянні з решетом більшого барабана ( $D_6 = 0,315$  м).

### 2.3 Визначення основних показників роботи сепаратора

Для якісного поділу насіннєвого матеріалу по різниці в аеродинамічних властивостях і масі, необхідно дотримуватися умов одношарового розміщення насіння гарбуза по робочій ширині решета з урахуванням коефіцієнта використання його робочої площі, оскільки перекриття живого перетину решета призводить до зростання сили повітряного потоку на його поверхні. Для одношарового розміщення матеріалу на решеті, необхідно дотримувати взаємозв'язок між початковою швидкістю, кількістю шарів насіння при подачі, і швидкістю переміщення решета.

Зі збільшенням кількості шарів насіння при подачі, необхідно буде пропорційно збільшувати швидкість переміщення решета, при цьому буде спостерігатися прослизання насіння проти руху решета, що погіршить якість розділення, для того, що б цього уникнути, швидкість матеріалу при подачі і швидкість переміщення решета, повинні бути рівними.

Визначили значення пропускної здатності сепаратора при рівності швидкостей введення матеріалу на решето зі швидкістю переміщення решета, дотримуючись умови одношарового розташування насіння на решеті, з урахуванням коефіцієнта  $k_n$ . При розрахунках брали значення постійних величин: коефіцієнт  $k_n = 0,8$ ; діаметр решета  $D_6 = 0,32$  м; товщина насіннєвого матеріалу на решеті  $h_{c.n} = 0,0035$  м, об'ємна вага насіння сорту «Волзька сіра» і «Стофунтова» відповідно становили  $\rho_{c.n} = 316,4$  кг / м<sup>3</sup>,  $\rho_{c.n} = 250,5$  кг / м<sup>3</sup>, змінною величиною

була швидкість сходу матеріалу з похилій площині (рис. 2.7).

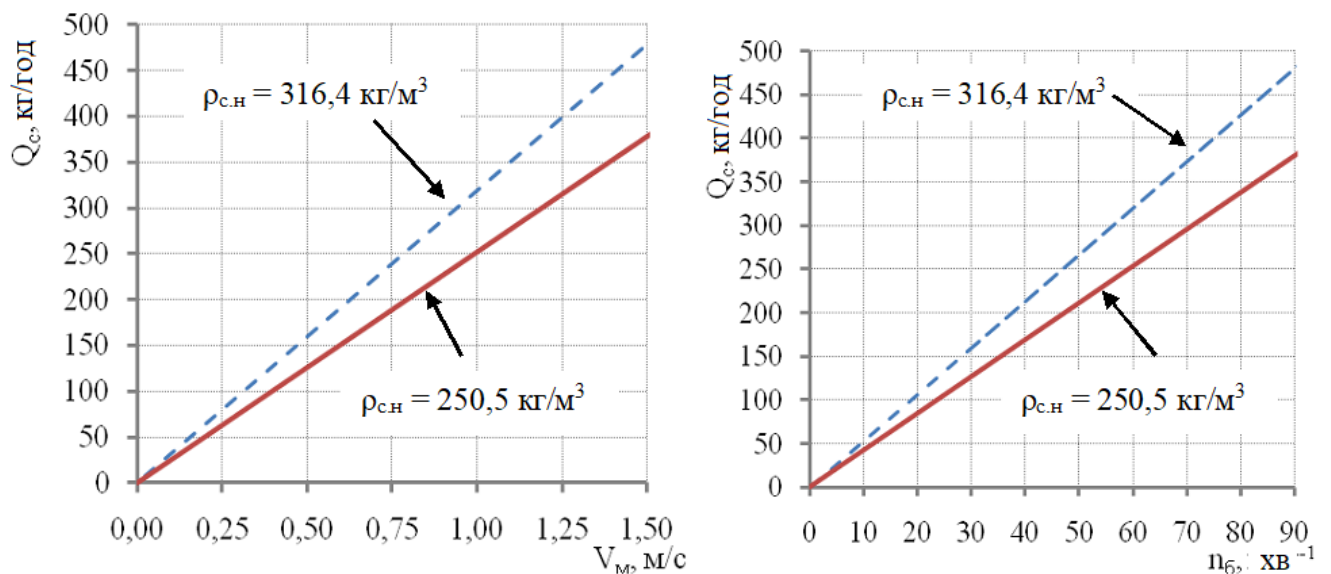


Рис. 2.7 - Залежність пропускної здатності сепаратора: а) від швидкості сходу матеріалу з похилої площини; б) від частоти обертання робочого органу

Підвищення швидкості сходу матеріалу з похилої площині від 0,5 до 1,5 м/с при одношаровій подачі насіння (рис. 2.7, а), призводить до збільшення частоти обертання робочого органу, відповідно від 30 до 90  $\text{хв}^{-1}$  (рис. 2.7, б) і збільшення пропускної здатності від 160 до 480 кг / год для насіння сорту «Волзька сіра».

При коефіцієнті запасу потужності вентилятора  $j = 1,1$ ; повному ККД вентилятора  $\eta = 0,7$ , повному тиску повітряного потоку  $H = 75 \text{ Па}$ , витраті повітря  $Q_6 = 1700 \text{ м}^3 / \text{год}$ , отриманий графік (рис. 2.8) необхідної потужності осьових вентиляторів від швидкості повітряного потоку в отворах решета.

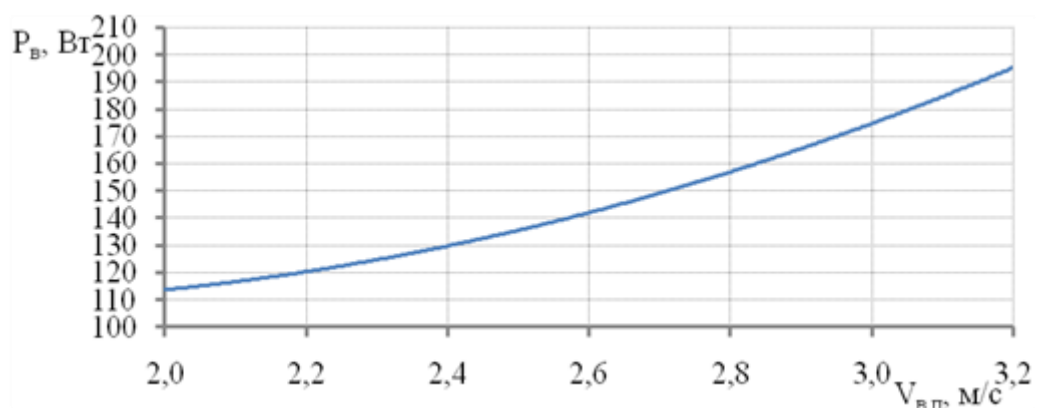


Рис. 2.8 - Споживання потужності вентиляторів від швидкості повітряного потоку на поверхні циліндричного решета

Побудований графік (рис. 2.9) загальної енергоємності процесу сепарації

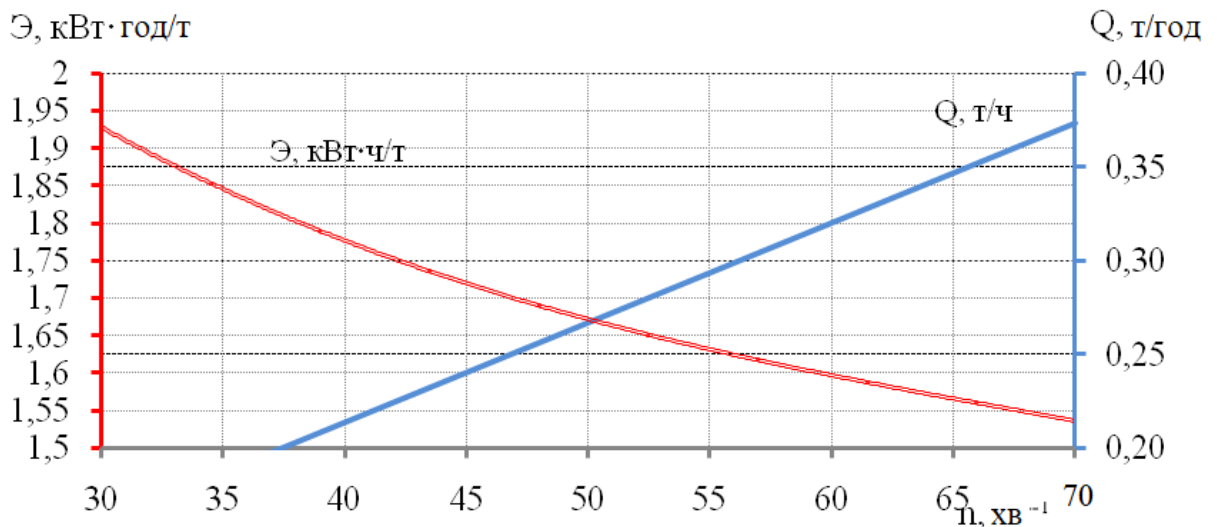


Рис. 2.9 - Графічні залежності зміни енергоємності та пропускної здатності сепаратора від частоти обертання робочого органу

З графічної залежності видно, для частоти обертання перфорованого барабана  $n_b = 45 \text{ хв}^{-1}$ , енергоємність сепарації складає  $\mathcal{E} = 1,72 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$ , а пропускну здатність  $Q_c = 0,24 \text{ т} / \text{год}$ .

## 2.4 Висновки до другого розділу

1. Розроблено й обгрунтовано конструктивно-технологічну схему нового аеродинамічного сепаратора насіння баштанних культур. Створено схему сил діючих на насіння гарбуза при його русі по циліндричній перфорованій поверхні, на її підставі складено цільове рівняння руху насіння по поверхні барабана.

2. Встановлено вплив факторів на процес сепарації насіння гарбуза циліндричної сепаруючої поверхні. Побудована математична модель спільного руху насіння і барабана, знайдені параметри точки відриву насіння від барабана; розглянуто рух насіння після відриву від барабана, проведено розрахунок кутового положення приймача.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

#### 3.1 Програма експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження технологічного процесу сепарації насіння гарбуза по масі аеродинамічним сепаратором з активною циліндричною сепаруючою поверхнею були проведені з метою перевірки адекватності розробленої математичної моделі, також визначався ступінь впливу основних факторів на продуктивність і якість розділення сепарованого матеріалу.

Для проведення експерименту передбачалася програма:

- визначити механіко-технологічні властивості сепарованого насіння гарбуза, побудувати варіаційні та інтегральні криві розподілу насіння по масі, геометричним параметрам, визначити масу 1000 насінин вихідного матеріалу;
- розробити і виготовити експериментальну установку для загального дослідження розділення насіння гарбуза, підібрати необхідне вимірювальне обладнання;
- визначити розподіл швидкостей повітряного потоку по площі сепаруючої поверхні;
- провести загальне дослідження розділення насіння за масою 1000 насінин при певних величинах швидкості повітряного потоку в отворах сепаруючого решета і частот обертання робочого органу;
- встановити положення дільника фракцій для отримання, необхідної маси 1000 насіння гарбуза.

#### 3.2 Розроблена експериментальна установка

Для дослідження розподілу насіння гарбуза масою 1000 насінин була сконструйована експериментальна установка, яка складається з наступних

основних частин: пристрою для подачі, розділення, прийому розділеного матеріалу, а також вимірювальних і реєструючих приладів.

Пристрій подачі складається з бункера вертикального повітряного сепаратора ОПС-2 і похилої оцинкованої скатної дошки, певна величина подачі задавалася відкриттям заслінки на бункері.

Характеристика пристрою: обсяг бункера  $0,05 \text{ м}^3$ ; межі зміни кута нахилу скатної дошки  $25^\circ \dots 40^\circ$ .

Головний блок для розподілу матеріалу масою 1000 насінин це сепаруючий робочий орган, який складається з двох осьових вентиляторів, які працюють послідовно з циліндричними корпусами і перфорованим решетом розміщеним між ними. Вентилятори створюють певне розрідження і швидкість повітряного потоку в отворах решета [3]. Використовувалася сепаруюча поверхня (перфороване полотно з круглими отворами) 1-4,0-250×1000×0,6 ТУ 23.2.2068-94.

Параметри сепаруючої поверхні:

- діаметр отвору перфорацій  $d_{от}$  ..... 5 мм;
- крок розташування отворів  $t$  ..... 6 мм;
- товщина листа оцинкованої сталі  $b$  ..... 0,6 мм;
- коефіцієнт живого перетину  $k_{ж.с}$  ..... 0,63.

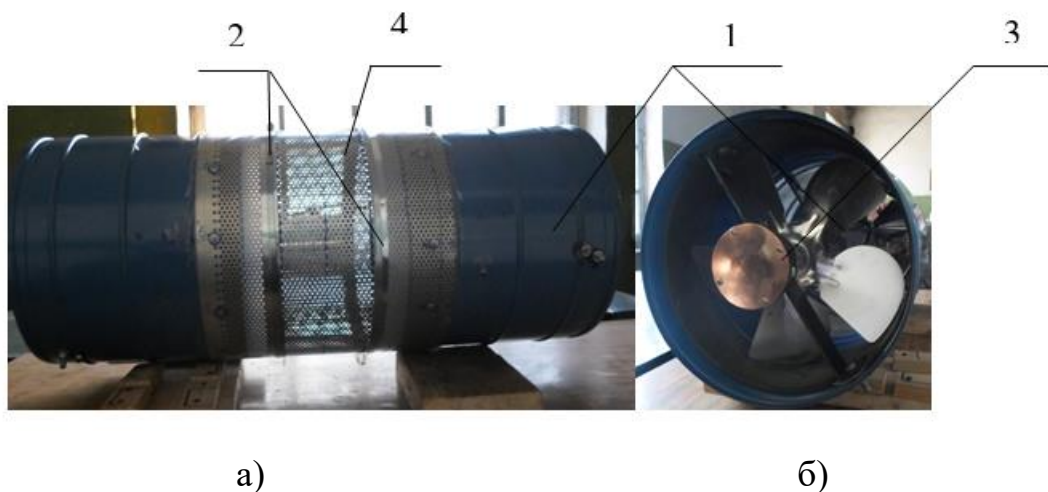


Рис. 3.1 - Робочий орган досліджуваного сепаратора: а) – загальний вигляд, б) – вид збоку: 1 – осьовий вентилятор «Vkom 315»; 2 – обмежувач робочої ширини; 3 – провідник струму; 4 – перфороване полотно

### Технічна характеристика осьового вентилятора:

Марка вентилятора .....	Vents «Vkom 315»;
- потужність двигуна .....	0,11 кВт;
- споживаний струм .....	0,75 А;
- частота обертання валу .....	1300 хв <sup>-1</sup> ;
- витрата повітря .....	1700 м <sup>3</sup> / год;
- робочий тиск .....	100 Па;
- діаметр вхідного всмоктуючого каналу .....	315 мм;
- довжина корпусу .....	278 мм.

Певна швидкість повітряного потоку в отворах решета задавалася за допомогою зміни частоти обертання валів двигунів осьових вентиляторів, регулятором потужності фірми «Вентс» з діапазоном зміни напруги від 10 до 300 В (рис. 3.2).



Рис. 3.2. -Загальний вигляд регулятора швидкості повітряного потоку

Привод барабана здійснювався клинопасовою передачею між стаціонарно закріпленим електродвигуном з редуктором і шківом. На корпусі барабана встановлено шків з канавкою під відповідний пас. Регулювання частоти обертання електродвигуна здійснюється за допомогою регулятора швидкості.

Частоту обертання робочого органу контролювали пристроями [3, 13]. На початку всмоктуючого патрубку вентилятора на корпусі встановлений диск з однаковими по ширині прорізами, всього двадцять прорізів, з внутрішньої сторони якого жорстко закріплений світлодіод з споживаною потужністю 3 Вт, а з зовнішнього боку сонячна батарея. При обертанні робочого органу промінь світла переривається за один оберт барабана двадцять разів, осцилограф «HPS - 40» фіксує значення частоти переривання світлового променя і виводить дані на

персональний комп'ютер через USB вхід, (рис. 3.3).

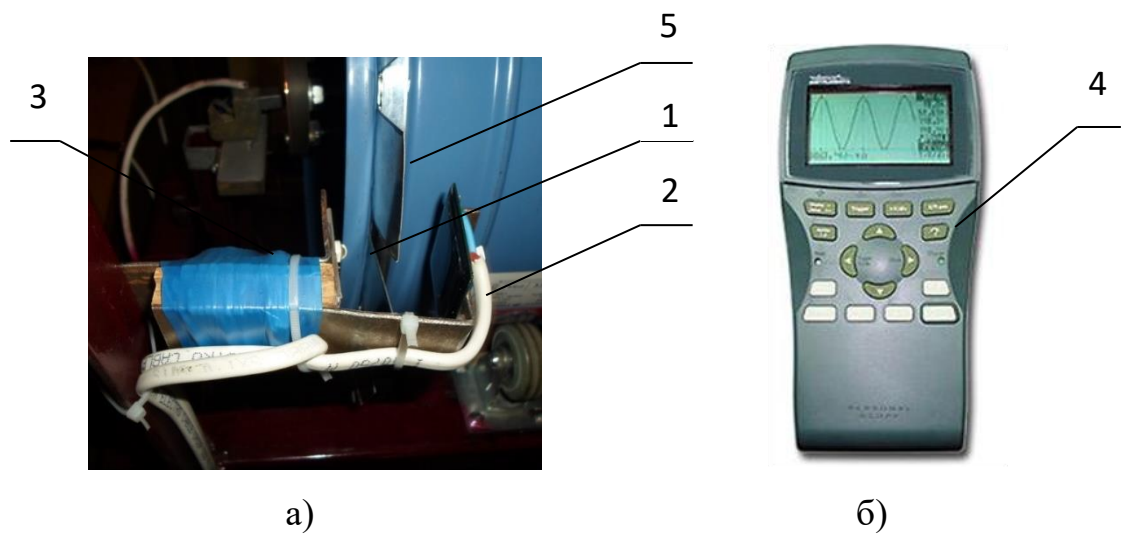


Рис. 3.3 - Комплект обладнання для визначення частоти обертання барабана:  
а) датчик частоти обертання; б) вимірювальний пристрій; 1 – світлодіод;  
2 – сонячна батарея; 3 – блок живлення світлодіода; 4 – портативний осцилограф  
HPS - 40; 5 – диск з прорізами

Робочий орган сепаратора для вільного обертання поставлений на прогумовані роликові опори з підшипниками ковзання.

Основні регулювання експериментальної установки:

- подача матеріалу  $Q$  (кг / с) регулюється відкриттям заслінки на бункері і кутом нахилу оцинкованої площини, рівень подачі визначається попередніми дослідженнями;
- швидкість матеріалу при сходженні з похилої площини  $V_m$ , м / с задається кутом її нахилу;
- частота обертання робочого органу  $n_b$ ,  $xv^{-1}$  здійснюється зміною обертів приводного електродвигуна і контролюється електронним осцилографом «HPS - 40»;
- швидкість повітряного потоку в отворах сепарованого решета  $V_{c.p.}$ , м/с змінюється регулятором частоти обертання валу вентиляторів, режими швидкостей повітряного потоку задаються електронним тахометром, рис. 3.4;
- кути нахилу  $\alpha$  розподільників продуктів розділення.

Пристрій прийому розділених насіння за масою 1000 од. складається з 4



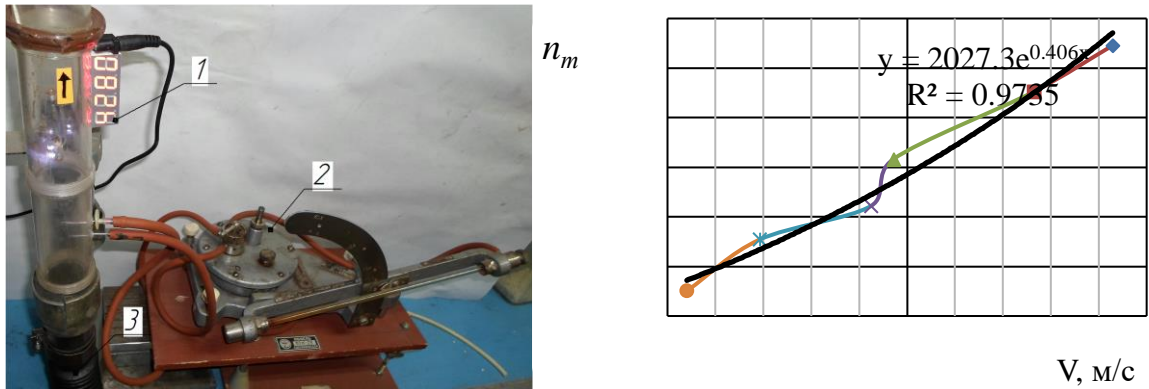


Рис. 3.4 - Лабораторна установка по тарування електронного анемометра і отримана залежність, показань тахометра анемометра від швидкості повітряного потоку: 1 – електронний анемометр; 2 – мікроманометр ММН; 3 – джерело повітряного потоку

розподільників, з відсіками розташованими через тридцять градусів, розміщеними під робочим органом сепаратора. Кількість переривання лопатями світлового променя у анемометра змінювалася від 4000 до 10000 разів, цей проміжок був розбитий на шість ділянок, на кожній з ділянок записувалися відповідні показники. За результатами тарування отримано графічну залежність кількості переривань світлового сигналу  $n_m$  лопатю анемометра від швидкості повітряного потоку  $V_{в.п}$ , що проходить через тахометр (зростання швидкості повітряного досягається збільшенням витрати повітря через прохідний перетин анемометра).



Рис. 3.5 - Експериментальний аеродинамічний сепаратор з циліндричною сепаруючою поверхнею: 1 – бункер; 2 – лоток; 3 – камера з вентиляторами; 4 – привод барабана; 5 – датчик частоти обертання барабана; 6 – бункер розділеного насіння; 7 – решето; 8 – щиток керування

Потужність потрібну на привод робочого органу і привод вентиляторів для створення певної швидкості повітряного потоку на сепаруючій поверхні заміряли за допомогою вимірювальної апаратури К-505 (рис. 3.6), з технічною характеристикою:

1. Ваттметр ГОСТ 8476-60:

- клас точності .....0,5;
- напруга .....75 ... 600 В;
- клас точності .....1;
- напруга .....30 В;
- межі вимірювання .....0 ... 24 кВт;
- номінальний струм паралельного ланцюга .....3 мА.

2. Амперметр ГОСТ 8711-60:

- клас точності .....0,5;
- межі вимірювання ... .....0 ... 100 А;
- частота струму .....40 ... 65 Гц.



Рис. 3.6 - Обладнання К-505 для вимірювання споживаної потужності експериментальної установкою

Зважування насіння в процесі експериментів проводилися на терезах ВЛКТ-500-М з технічною характеристикою [3]:

- межі вимірювання .....0,00001...0,5 кг;
- напруга .....220 В;
- частота струму ..... 50 Гц;

- температурний режим ..... + 10 ... + 40°C.

Терези ВЛКТ-500-М перевірені в центрі стандартизації та метрології згідно з графіком Державної повірки.

### 3.3 Методика дослідження впливу режимів роботи сепаратора на відбір насіння з певною масою

З метою перевірки теоретичних положень, досліджували насіння з масою більше 0,29 г з початкового матеріалу. При цьому встановлювали положення відокремлюючої заслінки при куті  $\varphi_0 = 135^\circ$  як показано на рис. 3.7.

Для досліджень брали три насінини гарбуза з однаковою власною масою 0,3 г з відхиленнями геометричних параметрів в межах 5%, встановлювали мінімальну швидкість повітряного потоку в отворах сепаруючої поверхні і послідовно подавали їх на обертовий барабан з частотами обертання 20, 40, 60, 70  $\text{хв}^{-1}$ , збільшували швидкість повітряного потоку до тих пір, поки насіння не починало потрапляти в фракцію II. Так ми визначили значення швидкостей повітряного потоку при початковій умові потрапляння насіння з масою 0,3 г в другу фракцію при різних частотах обертання робочого органу.

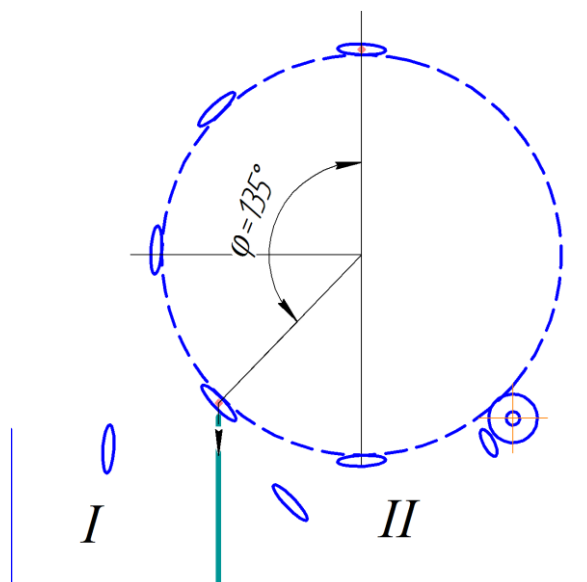


Рис. 3.7 - Установка ділильної перегородки при куті  $\varphi = 135^\circ$

### 3.4 Вплив режимів роботи сепаратора на розподіл маси тисячі насінин в приймальних лотках

Досліджували якість розділення насіння гарбуза по масі 1000 штук при різних швидкостях повітряного потоку в отворах сепаруючої поверхні  $V_{в.н}$  і частотах обертання робочого органу  $n_{б}$  при постійній подачі матеріалу  $q_{в}$ . У першій серії експериментів вихідним матеріалом було насіння гарбуза сорту «Волзька сіра» після сушки, значно засмічені щуплим насінням. В експерименті використовувалося 500 г насіння, початкова маса 1000 насінин 244,3 г. Досліджували частоти обертання барабана  $n_{б} = 35; 50; 70 \text{ хв}^{-1}$ . Для частоти обертання барабана  $n_{б} = 35 \text{ хв}^{-1}$ , швидкість повітряного потоку приймалася  $V_{в.н} = 2,2; 2,5; 2,7 \text{ м / с}$ , для  $n_{б} = 50 \text{ хв}^{-1}$ ,  $V_{в.н} = 2,3; 2,6; 2,9 \text{ м / с}$ , для  $n_{б} = 70 \text{ хв}^{-1}$ ,  $V_{в.н} = 2,7; 2,85; 3 \text{ м / с}$ . У дослідях величину подачі брали постійної  $Q = 120 \text{ кг / год}$ , при цьому кут нахилу лотка становив  $\varphi = 32^\circ$ . Приймачі розділеного матеріалу склалися з перегородок розташованих через  $30^\circ$  з кутовими діапазонами до  $120^\circ$ , від  $120^\circ$  до  $150^\circ$ , від  $150^\circ$  до  $180^\circ$ , від  $180^\circ$  до  $210^\circ$ , схема розташування лотків представлена на рис. 3.8, зазор між решетом і приймальним лотком 70 мм.

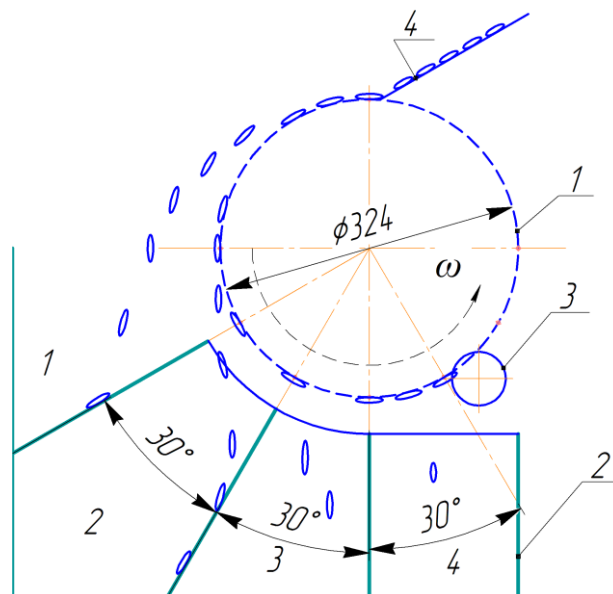


Рис. 3.8 - Розташування приймальних лотків: 1 – сепаруюча поверхня; 2 – приймальні лотки; 3 – очисна щітка; 4 – скатний лоток

### 3.5 Методика проведення багатфакторного експерименту

При постановці багатфакторного експерименту вибирали фактори в кількості 3-х і знаходили раціональні поєднання цих факторів. У нашій роботі функцією відгуку є показник маси 1000 насінин,  $m_{1000}$ , г. Фактори, які найбільш впливають на функцію відгуку, є: частота обертання робочого органу  $n$ ,  $\text{хв}^{-1}$ ; швидкість повітряного потоку  $V$  м / с; кут установки ділильної перегородки  $\alpha$ , °.

Планування, проведення та обробка багатфакторного експерименту проводилося поетапно за допомогою методики [1, 3, 9, 39]:

1. Вибір функції відгуку.
2. Вибір факторів, що надає значущий вплив на об'єкт дослідження.
3. Кодування факторів з вибором інтервалів варіювання цих факторів, за формулами:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (3.1)$$

$$\varepsilon = \frac{X_i^B - X_i^H}{2}, \quad (3.2)$$

де  $x_i$  – безрозмірне кодоване значення фактору, верхній рівень позначається (+1), а нижній (- 1), нульовий рівень (0) знаходиться в центрі експерименту;

$X_i$  – натуральне значення фактору;

$X_{0i}$  – натуральне значення фактору, що знаходиться на нульовому рівні;

$\varepsilon$  – інтервал варіювання фактору;

$X_i^B$  – величина фактору в верхньому рівні;

$X_i^H$  – величина фактору в нижньому рівні.

4. Знаходження кількості повторень дослідів.
5. Рандомізація дослідів.
6. Створення матриці планування експериментів.
7. Проведення експериментальних досліджень.
8. Розрахунок коефіцієнтів регресії, з загальновідомого рівняння регресії:

$$y(x_1, \dots, x_k) = b_0 + \sum_1^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_i^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.3)$$

де  $y(x_1, \dots, x_k)$  – апроксимуюча функція;

$b_0, b_i, b_j, b_{ii}, b_{ij}$  – регресійні коефіцієнти при змінних, які одержані в результаті статистичного пошуку;

$x_i, x_j$  – фактори;

$k$  – кількість факторів.

### 3.6 Висновки до третього розділу

Розроблено методику експериментальних досліджень основних параметрів аеродинамічного сепаратора з активною циліндричною сепаруючою поверхнею: раціональної швидкості повітряного потоку, частоти обертання циліндричної сепаруючої поверхні, енергоємності сепарації, пропускної спроможності сепаратора.

2. Для обґрунтування і раціоналізації конструктивно-технологічних параметрів аеродинамічного сепаратора для розділення насіння гарбуза по масі була спроектована і виготовлена експериментальна установка.

3. При проведенні дослідів використовувалося стандартне обладнання, з метою підвищення точності досліджень розроблена нова конструкція пристрою для визначення частоти обертання решітного барабана.

## РОЗДІЛ 4

### РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СЕПАРАТОРА

#### 4.1 Результати визначення кута початку ковзання насіння з різною масою

Досліджено зміну кута початку ковзання для п'яти насінин гарбуза з масою від 0,19 до 0,51 г, і помічено, що зі зростанням швидкості повітряного потоку, збільшується значення кута ковзання  $\Delta\alpha$ . Зі збільшенням швидкості повітряного потоку від 2,4 до 3,2 м / с для насіння гарбуза з масою 0,27 г, кут початку ковзання змінився від  $100^\circ$  до  $201^\circ$  і відповідно різниця в кутах ковзання склала  $100^\circ$ , для насіння з масою 0,41 г, різниця в кутах початку ковзання склала  $33^\circ$ , а для насіння з масою 0,51 г –  $10^\circ$ .

Таблиця 4.1

Визначення кута початку ковзання насіння гарбуза по сепаруючій поверхні

Маса насіння $m_c$ , г	Без повітряного потоку, $^\circ$	Швидкість повітряного потоку $V_{в.п}$ , м/с				
		2,42	2,62	2,84	3,05	3,22
0,27	28	100,9	128,8	158,8	201,2	201,2
0,41	30,1	92,9	88,2	98,2	131,2	103,5
0,51	24,5	41,2	44,7	45,3	51,8	51,8

Аналізуючи отримані дані (рис. 4.1) бачимо, що у насіння легкої і важкої фракції значно відрізняється кут початку ковзання по сепаруючій поверхні. Площа живого перетину насіння була однаковою, і відрізнялася лише масою. Насіння легкої фракції (0,27 г) раніше насіння важкої фракції (0,51 г) втрачають стійкість і починають відриватися від сепаруючої поверхні, отже сепаратор здатний розділяти насіннєвий матеріал по відмінності маси насіння шляхом установки ділільних перегородок в певних кутових положення.

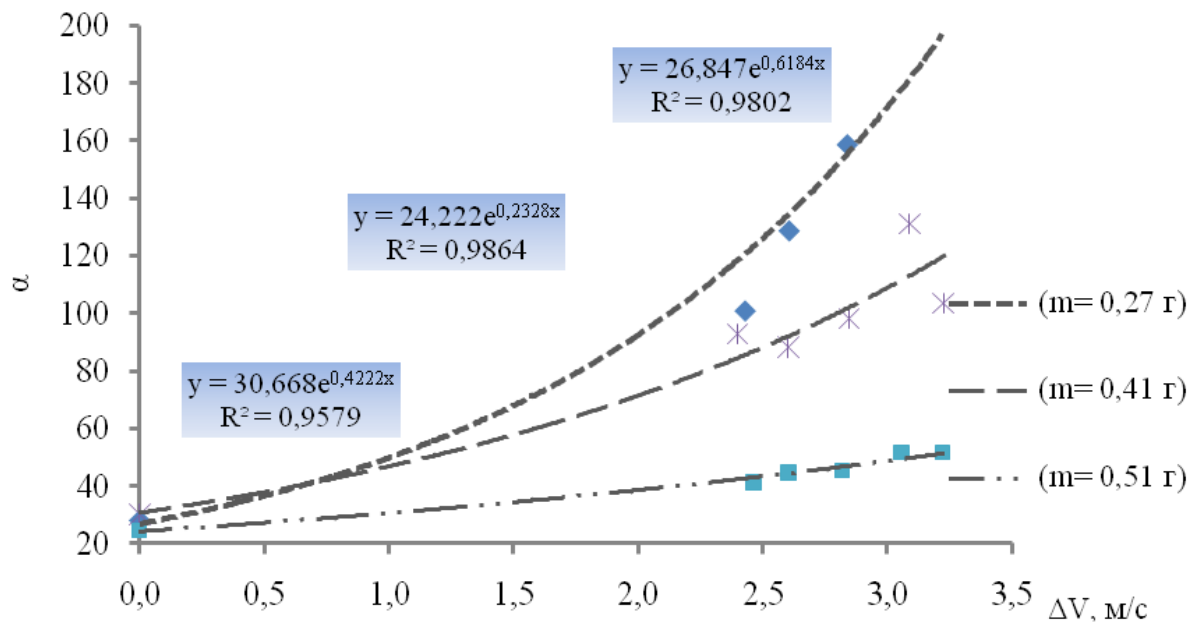


Рис. 4.1 - Залежність зміни кута початку ковзання насіння по сепаруючій поверхні від збільшення швидкості повітряного потоку

#### 4.2 Визначення співвідношення частоти обертання робочого органу і швидкості повітряного потоку для відбору насіння з певною масою

Проведений експеримент, по відділенню насіння гарбуза з масою менше 0,3 г і площею живого перетину 178 мм<sup>2</sup> в другу фракцію, отримали лінійну залежність між обертами робочого органу і швидкістю повітряного потоку на сепаруючій поверхні (рис. 4.2). При початковій умові потрапляння насіння з масою 0,3 г в другу фракцію і установці заслінки вертикально при куті  $\varphi = 135^\circ$ , зі збільшенням частоти обертання робочого органу від 20 до 70 хв<sup>-1</sup>, необхідно збільшувати швидкість повітряного потоку на сепаруючій поверхні від 2,45 до 2,9 м / с.

На основі проведеного дослідження ми бачимо, що при збільшенні частоти обертання барабана, необхідно збільшувати швидкість повітряного потоку через решітну поверхню, це призведе до того що, не змінюючи ніяких конструкційних параметрів установки, ми добиваємося попадання насіння з масою більше 0,3 г в першу фракцію.



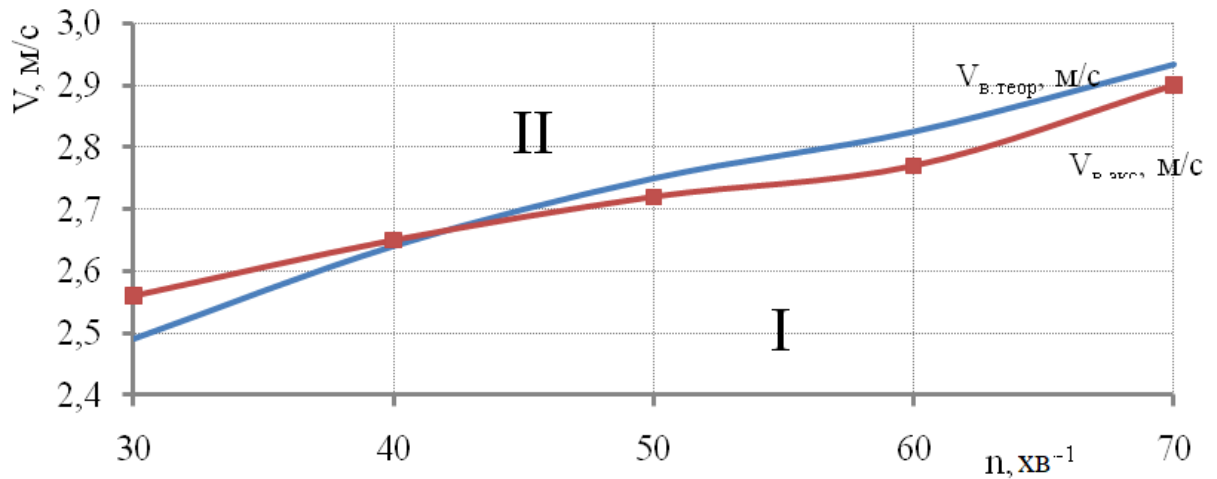


Рис. 4.2 - Теоретична і експериментальна залежність швидкості повітряного потоку на сепаруючій поверхні від частоти обертання робочого органу за умови початку попадання насіння з масою 0,3 г в другу фракцію

#### 4.3 Результати впливу режимів роботи сепаратора на розподіл маси тисячі насінин в приймальних лотках

Досліджувався вплив частоти обертання робочого органу і швидкості повітряного потоку на зміну маси тисячі насінин в залежності від кута установки приймальних лотків. З метою визначення положення заслінок, що дозволяють відбирати насіння з підвищеними посівними властивостями, тобто з масою 1000 штук більше початкового значення, або ж відділення з початкового матеріалу щуплого насіння (насіння без ендосперму або з ендоспермом малої маси).

На трьох наведених графіках представлена границя між початковою масою тисячі насінин, що рівна 244,3 г і отриманою, межа якої позначена горизонтальною пунктирною лінією. Шляхом аналізу визначили положення заслінок, що відокремлюють насіння на не придатні для посівних і товарних цілей, тобто третя фракція, це насіння з масою рівній 130 г, в другу фракцію потрапить насіння, що використовується в товарних цілях.

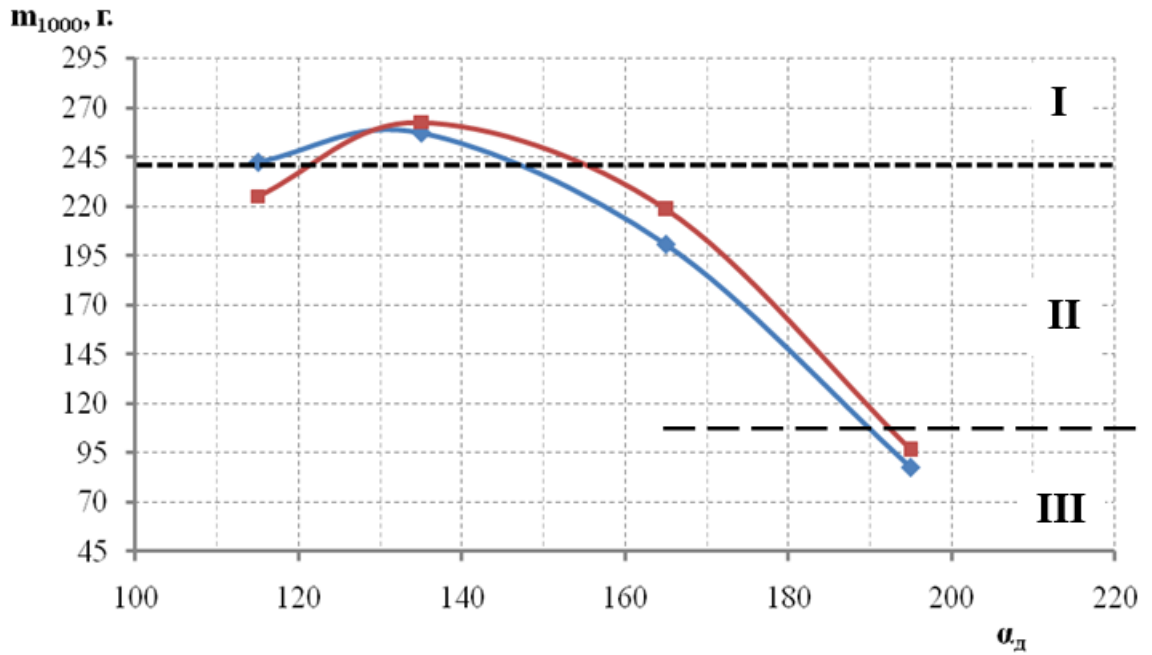


Рис. 4.3 - Залежність розподілу маси тисячі насінин від кута установки дільника, при частоті обертання барабана  $35 \text{ хв}^{-1}$  і швидкості повітряного потоку:  $\diamond - 2,5$ ;  $\square - 2,7 \text{ м / с}$

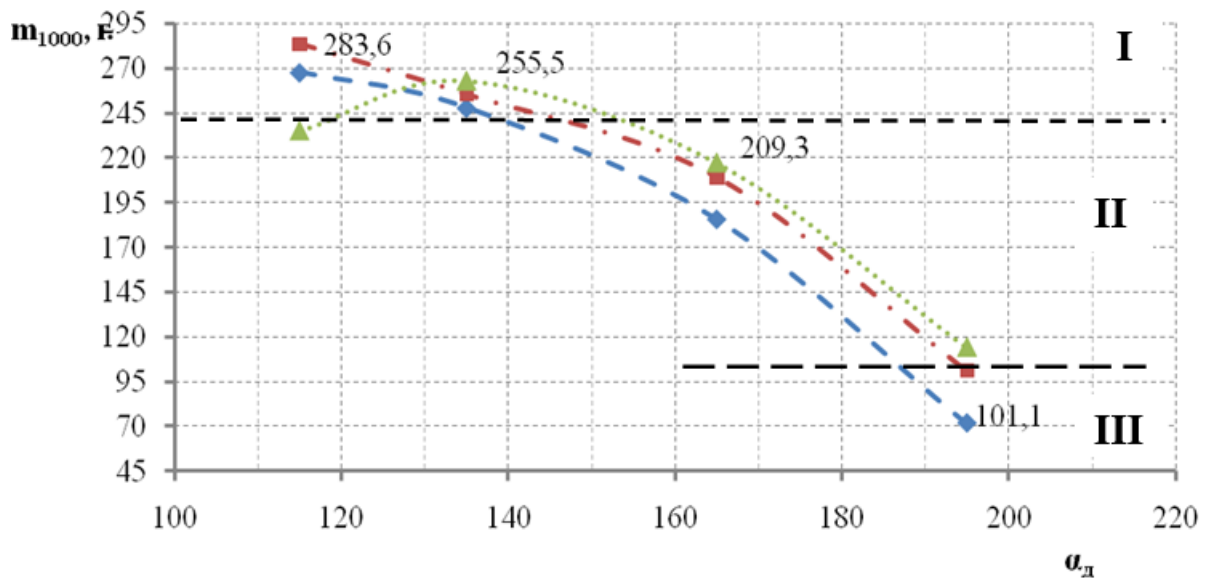


Рис 4.4 - Залежність розподілу маси тисячі насінин від кута установки дільника, при частоті обертання барабана  $50 \text{ хв}^{-1}$  і швидкостях повітряного потоку:  $\diamond - 2,3$ ;  $\square - 2,6$ ;  $\Delta - 2,9 \text{ м / с}$

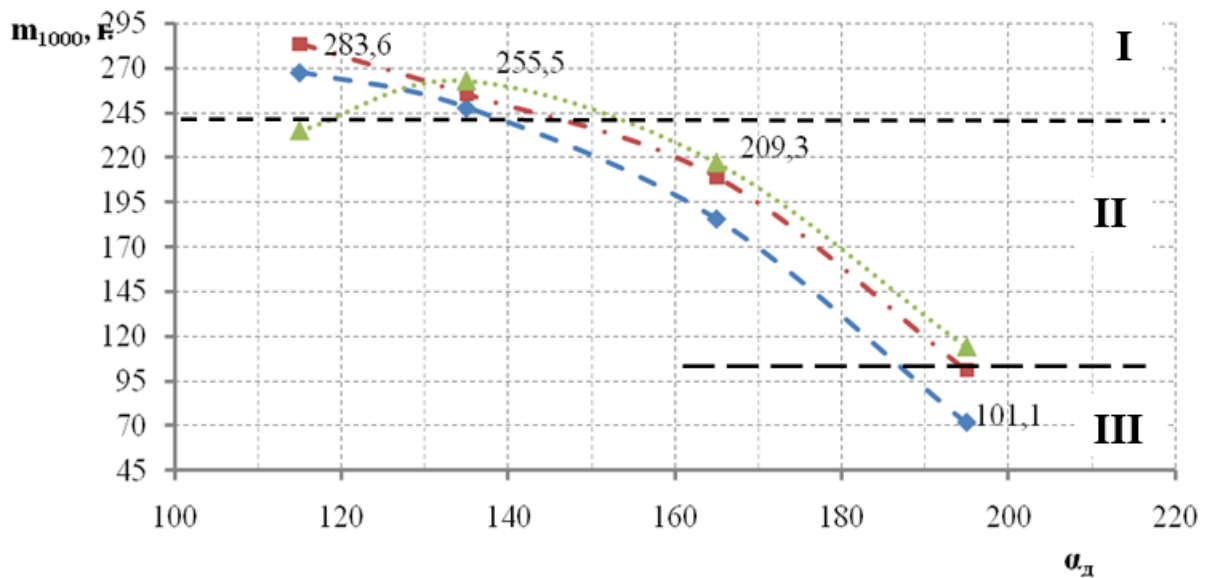


Рис. 4.5 - Залежність розподілу маси тисячі насінин від кута установки дільника, при частоті обертання барабана  $70 \text{ хв}^{-1}$  і швидкостях повітряного потоку:  $\Delta$  – 2,7;  $\diamond$  – 2,85;  $\square$  – 3 м / с

Аналізуючи розподіл мас тисячі насінин по графічним залежностям видно, що експериментальна установка забезпечує відбір із загальної маси більш продуктивного насіння (перша фракція) з масою тисячі до 283,6 г, тобто її підвищення до 16%, при режимі роботи сепаратора  $n_b = 50 \text{ хв}^{-1}$ , швидкості повітряного потоку  $V_{v.n} = 2,6 \text{ м / с}$ , положенні дільника на  $115^\circ$ . Також сепаратор відокремлює насіння з масою тисячі штук від 50 м, тобто насіння без ендосперму.

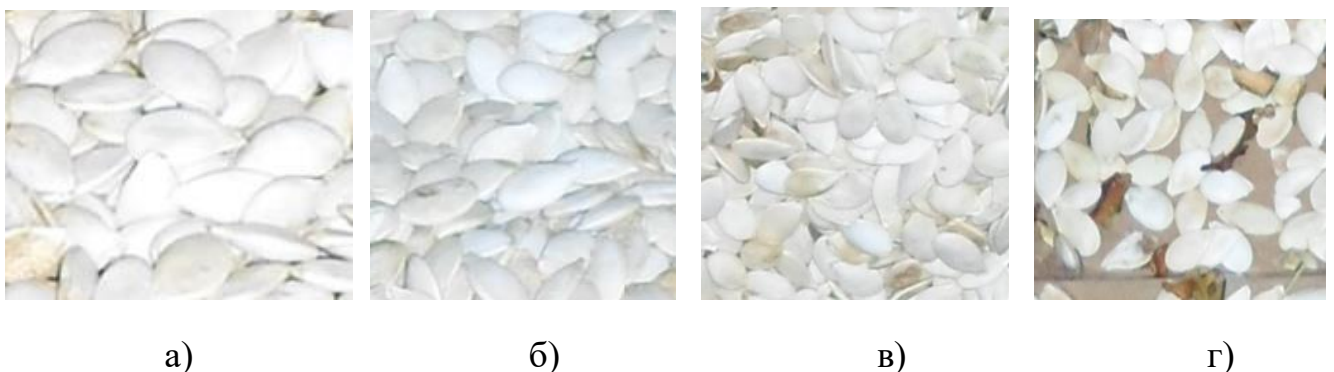
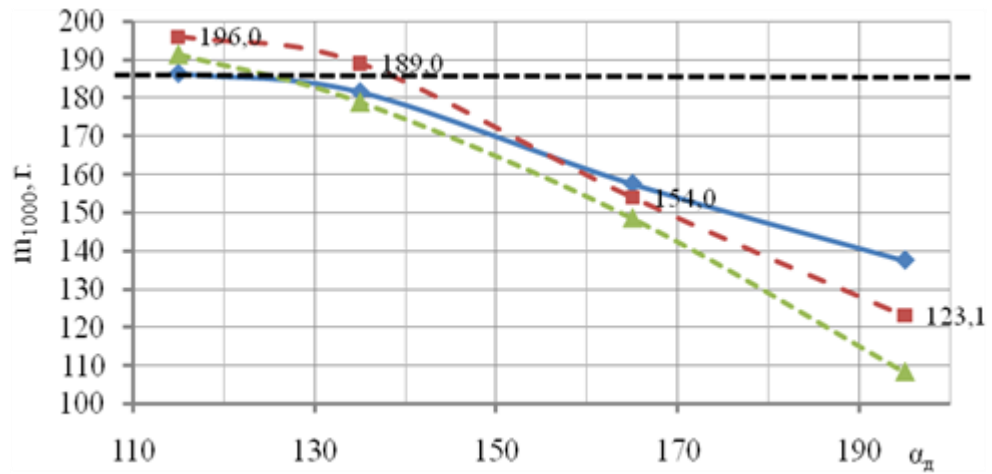
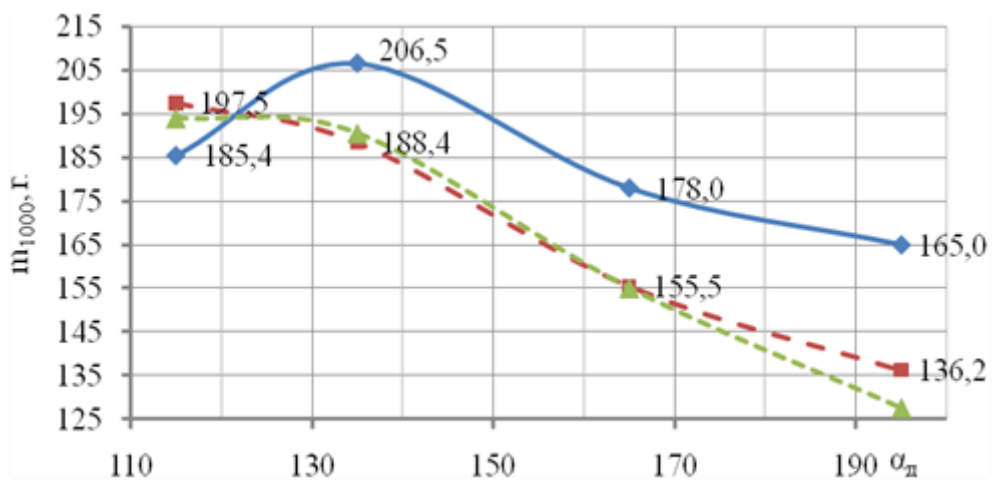


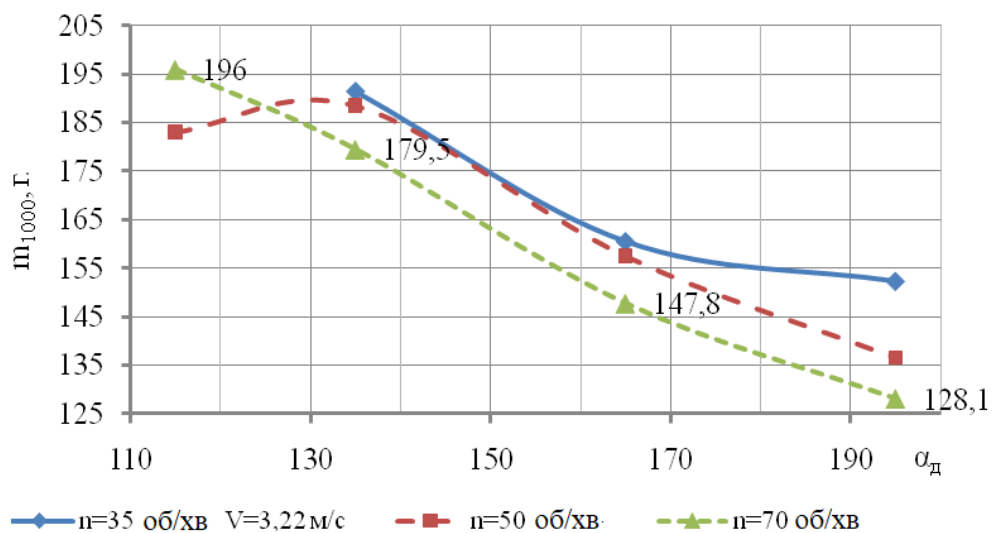
Рис. 4.6 - Результати рознесення насіння по чотирьом прийомним лотках при оптимальному режимі роботи сепаратора: а)  $m_{1000} = 283,6 \text{ г}$ ; б)  $m_{1000} = 255,5 \text{ г}$ ; в)  $m_{1000} = 209,3 \text{ г}$ ; г)  $m_{1000} = 101,1 \text{ г}$



a)



б)



в)

Рис. 4.7 - Залежність розподілу маси тисячі насінин від кута установки ділильної перегородки, при частоті обертання барабана 35, 50, 70  $\text{хв}^{-1}$  і швидкості повітряного потоку: а) 2,9 м / с; б) 3,1 м / с; в) 3,22 м / с

Проводили границю, що дозволяє відбирати насіння з масою тисячі штук більше ніж 184,3 г, (у вигляді горизонтальної пунктирної лінії), яка визначає положення ділильної перегородки. З графічних залежностей рис. 4.7 можна зробити висновок, що експериментальна установка здатна виконувати відбір насіння з великим запасом поживних речовин, з масою тисячі штук більше початкового значення до 12%, тобто 206,5 г, при режимі роботи  $n_6 = 35 \text{ хв}^{-1}$ ,  $V_{6,n} = 3,2 \text{ м / с}$ .

Експериментальну установку можна використовувати як з метою відбору посівної фракції з підвищеними посівними якостями, так і для видалення з початкового матеріалу не придатних для посіву та товарних цілей насіння.

#### 4.4 Порівняння теоретичних і експериментальних результатів досліджень

Для перевірки і визначення розбіжності між теоретичними і експериментальними залежностями проводили серію дослідів. За результатами проведених експериментів, відхилення теоретичних досліджень від експериментальних за визначенням значення маси тисячі насінин від кута установки дільника при  $n_6 = 50 \text{ хв}^{-1}$ ,  $V_{cm} = 2,6 \text{ м / с}$  і значенні тисячі насіння  $m_{1000} = 255 \text{ г}$  становить:

$$\Delta = \left| \frac{T - \mathcal{E}_1}{T} \right| \cdot 100 = \left| \frac{161 - 156}{156} \right| \cdot 100 = 3,2\%. \quad (4.1)$$

Відхилення теоретичного значення від експериментального, по кількості насіння з масою тисячі  $m_{1000} = 250 \text{ г}$ , становить:

$$\Delta = \left| \frac{T - \mathcal{E}_1}{T} \right| \cdot 100 = \left| \frac{85,5 - 90}{90} \right| \cdot 100 = 5\%. \quad (4.2)$$

За результатами проведених експериментів оцінено енергоємність сепарації насіння гарбуза, для частоти обертання циліндричного барабана  $40 \text{ хв}^{-1}$ , енергоємність становить  $E = 1,83 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$ , теоретичне її значення становить  $1,78 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}$ , тобто відхилення теоретичних досліджень від експериментальних складає:

$$\Delta = \left| \frac{T - \mathcal{E}_1}{T} \right| \cdot 100 = \left| \frac{85,5 - 90}{90} \right| \cdot 100 = 5\%. \quad (4.3)$$

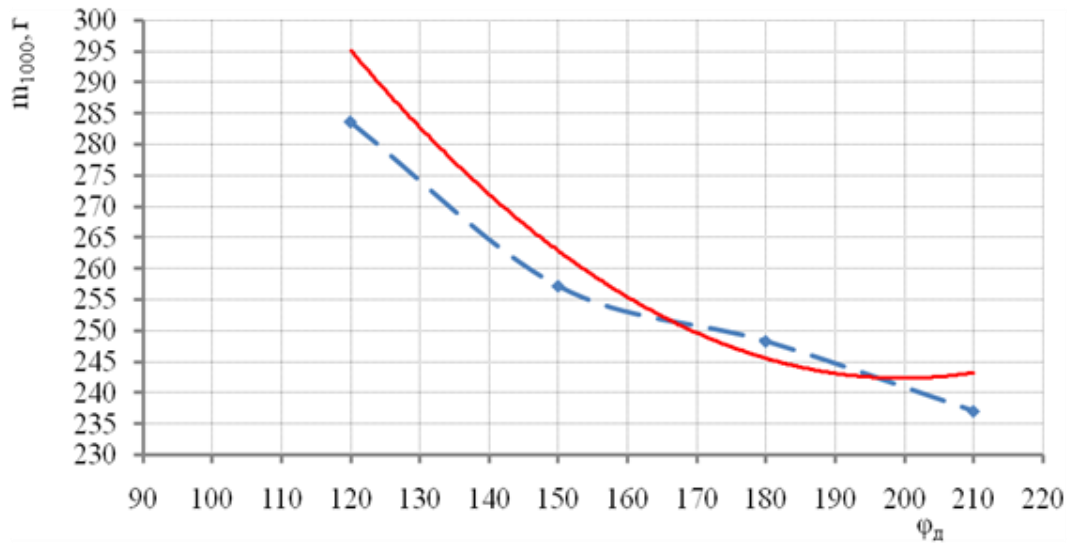


Рис. 4.8 - Теоретична і експериментальна залежність значення маси тисячі насінин від кута установки дільника при  $n = 50 \text{ хв}^{-1}$ ,  $V = 2,6 \text{ м / с}$

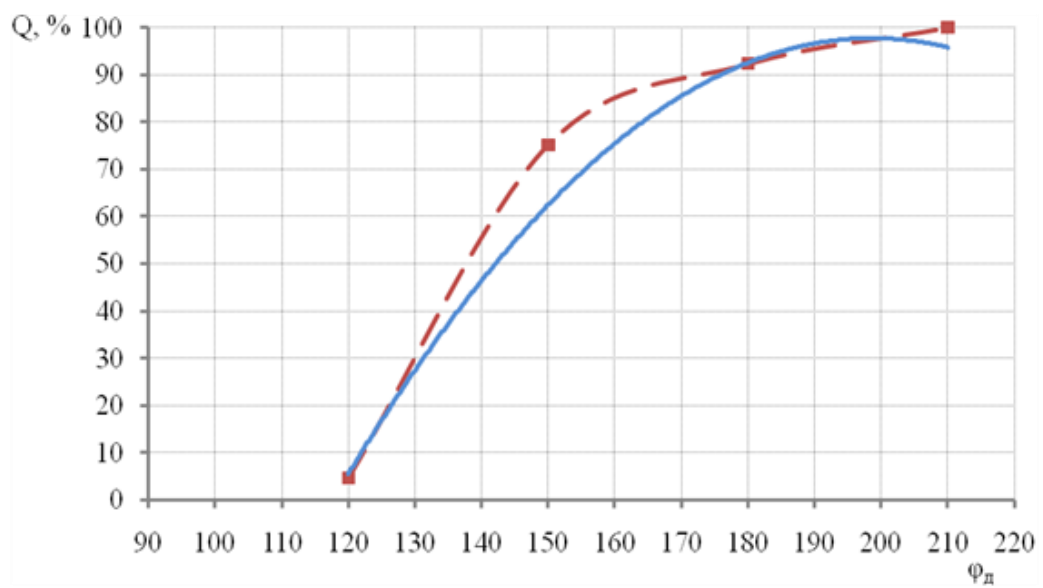


Рис. 4.9 - Теоретична і експериментальна залежність кількості насіння  $Q$ , від кута установки дільника при  $n = 50 \text{ хв}^{-1}$  і  $V = 2,6 \text{ м / с}$

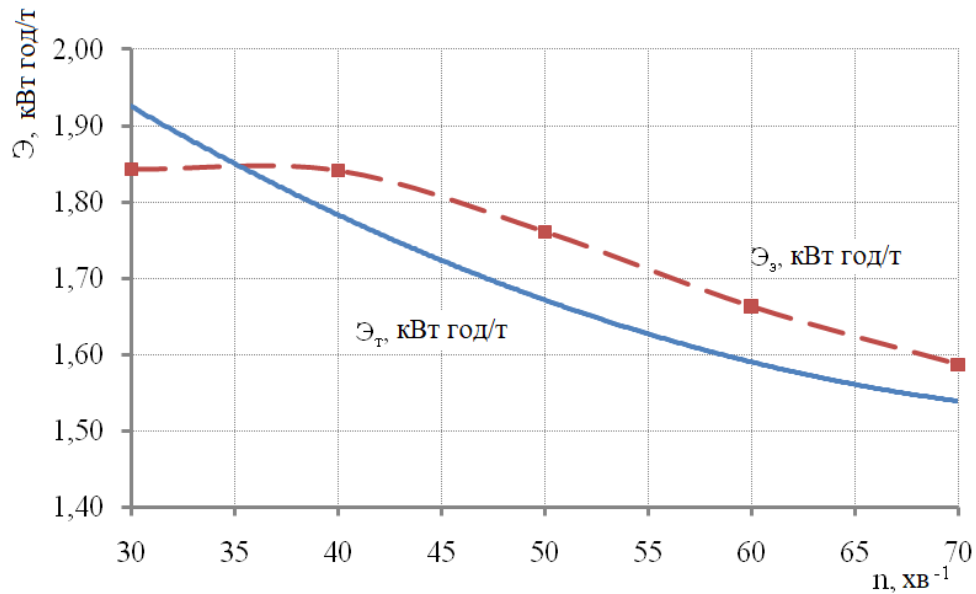


Рис. 4.10 - Експериментальна і теоретична залежність енергоємності сепарації насіння гарбуза від частоти обертання барабана

#### 4.5 Результати багатofакторного експерименту роботи сепаратора

Багатofакторний експеримент проводився для отримання математичного опису технологічного процесу сепарації насіння гарбуза, а також функції відгуку, що дозволяє отримати раціональні конструктивні і режимні параметри сепаратора, які забезпечують відбір насіння з найбільшим значенням маси тисячі насінин [37, 40, 42].

Ефективність роботи сепаратора насіння гарбуза оцінюється за показником маси тисячі насінин, яка була обрана критерієм оптимізації.

Розглянемо основні групи факторів що впливають на ефективність розділення насіння гарбуза по масі тисяча насінин:

- технологічні: подача насіння на решето, вологість насіння;
- механічні: частота обертання сепаруючої поверхні, швидкість повітряного потоку в отворі решета, початкова швидкість матеріалу при подачі на робочий орган;
- конструктивні: коефіцієнт живого перетину сепаруючої поверхні, діаметр перфорацій, діаметр циліндра сепаруючої поверхні, відсоток задіяної робочої площі сепаруючої поверхні, кут нахилу прийомних лотків, робоча ширина

решета.

Вологість насіння гарбуза, становила 10%. Подача насіння гарбуза на сепаруючу поверхню робочого органу задавалася з умови одношарового розташування насіння гарбуза з урахуванням коефіцієнта використання робочої площі решета, загальновідомо, що розташування насіння на сепаруючій поверхні в два і більше шарів, погіршить якість розділення. Для сепарації насіння гарбуза по масі тисяча насінин брали подачу  $q = 120$  кг / год.

Частота обертання робочого органу, як і швидкість повітряного потоку в отворах решета, є основними факторами, які впливають на показники якості відбору насіння за масою. За результатами попередніх експериментів сепарації насіння гарбуза, раціональна частота обертання сепаруючої поверхні становить  $n_6 = 40-70$  хв<sup>-1</sup>. Раціональна швидкість повітряного потоку на сепаруючій поверхні, отримана за попередніми експериментами склала  $V_{в.п} = 2,6-3,3$  м / с.

Швидкість руху матеріалу при подачі на робочий орган, брали рівною лінійній швидкості руху сепаруючої поверхні  $V_{с.п} = 0,92$  м / с при частоті обертання барабана 55 хв<sup>-1</sup>. Кут нахилу скатного лотка  $\varphi = 32^\circ$ .

Коефіцієнт живого перетину сепаруючої поверхні, пояснювався в теоретичному розділі і складає  $k_{ж.с} = 0,63$ , діаметр перфорації  $d_n = 5$  мм, крок розстановки отворів  $t = 6$  мм. Діаметр циліндра сепаруючої поверхні підібраний виходячи з діаметра всмоктуючого патрубка стандартного осьового вентилятора  $D_{с.п} = 0,32$  м.

Робоча ширина сепаруючої поверхні приймалася за результатами розрахунку  $B_{раб} = 0,12$  м .

Коефіцієнт використання робочої площі сепаруючої поверхні становить 0,8.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень були обрані основні чинники і інтервали, їх варіювання. Інші фактори були зафіксовані на раціональних значеннях.

В експериментах ми використовували насіння гарбуза сорту «Волзька сіра», що пройшли повітряно-решетне очищення і відповідають вимогам ДСТУ 2240-93 за посівними властивостями. Наведемо список факторів в табл. 4.2.



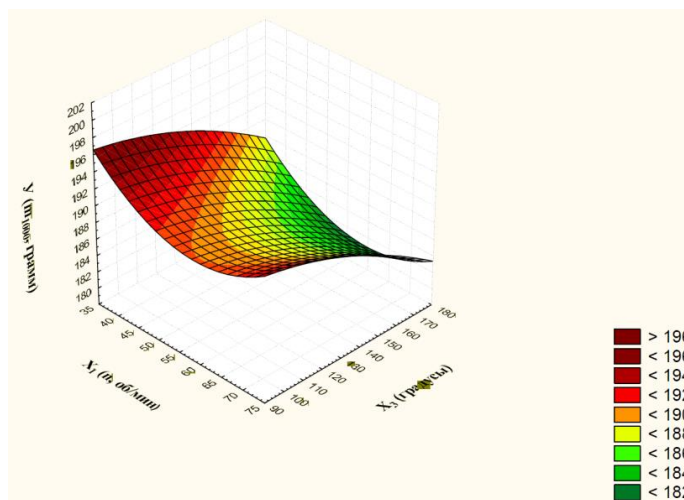
Список факторів і інтервали їх варіювання

Фактори	Позначення	Насіння гарбуза сорту «Волжська Сіра»	Примітки
1. Частота обертання робочого органу, $\text{хв}^{-1}$	$X_1$	40...70	Рівні фактору задаються по результатам теоретичних і експериментальних досліджень
2. Швидкість повітряного потоку, м/с	$X_3$	2,6...3,3	
3. Кут дільника, $^{\circ}$	$X_2$	100...170	

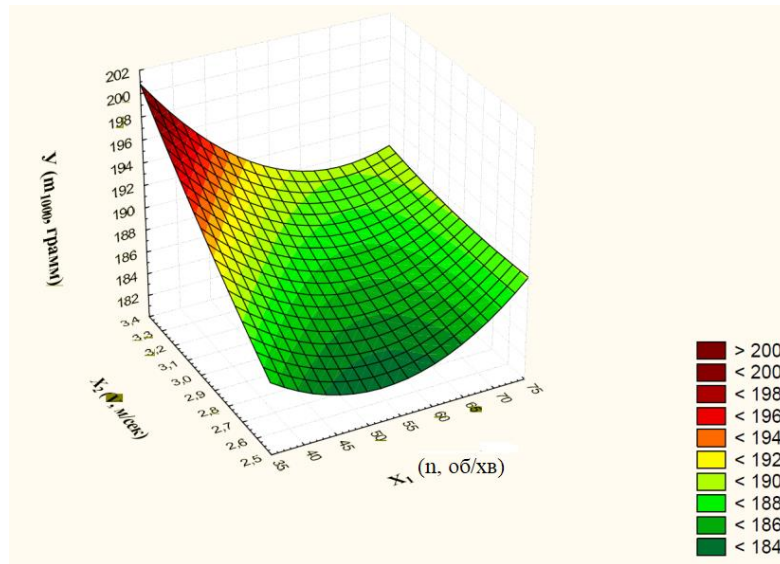
#### 4.6 Раціоналізація параметрів технологічного процесу сепарації насіння гарбуза

Для отримання математичної моделі технологічного процесу сепарації насіння гарбуза був використаний некомпозиційний трирівневий план для трьох факторів, який в порівнянні з іншими планами вимагає найменшої кількості дослідів (15 шт.) [3, 23]. Головна відмінність некомпозиційного плану є те, що в матриці є три рядки, в яких фактори знаходяться на нульових рівнях. Це дозволяє в одній серії експериментів визначати дисперсію відтворюваності.

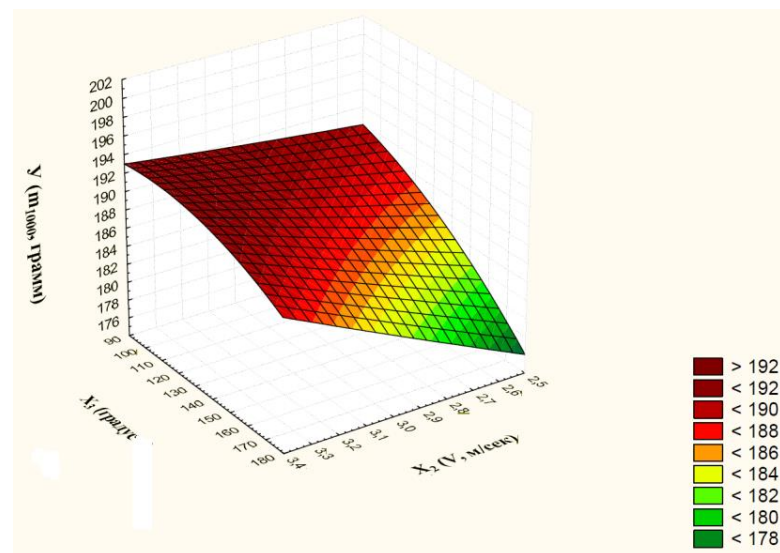
При обробці даних були побудовані поверхні відгуку для розглянутих режимів роботи (рис. 4.11).



а)



б)



в)

Рис. 4.11 - Графіки поверхні відгуків для показника  $Y$  ( $m_{1000}$ , г):  
 а) –  $Y=f(x_1x_2)$ ; б) –  $Y=f(x_1x_3)$ ; в) –  $Y=f(x_2x_3)$

Аналізуючи поверхні відгуку можна зробити висновок: у разі впливу першого і другого чинників на критерій оптимізації  $Y$  його максимальне значення прагне до двохсот грамів. Рациональні значення по частоті обертання робочого органу ( $X_1$ ) знаходиться в діапазоні від 40 до 48  $xv^{-1}$ , швидкості повітряного потоку ( $X_2$ ) від 3,0 до 3,3 м / с, для цих діапазонів маса тисячі насінин змінювалася від 196 до 201 г.

На другому графіку (рис. 4.11, б), рациональне значення першого фактору

частоти обертання робочого органу ( $X_1$ ) змінюється від 40 до 65 хв<sup>-1</sup>, а третього фактору ( $X_3$ ) кута установки дільника в яких зосереджується максимальний діапазон маси тисячі насінин змінюється від 100° до 145°. Зона максимальних значень маси тисячі для цих діапазонів змінюється від 192 до 197 г.

Аналізуючи вплив швидкості повітряного потоку  $V$  ( $X_2$ ) і кута установки дільника  $\alpha$  ( $X_3$ ) спостерігається більш широка зона раціональних параметрів цих факторів, для третього фактору вона змінюється від 90° до 140°, для другого фактору від 2,6 до 3,3 м / с. В цьому випадку виходили майже на горизонтальну ділянку поверхні відгуку зі значенням маси тисячі насінин від 190 до 193 г.

Проаналізувавши графіки поверхонь відгуку на рис. 4.11 найбільші значення маси тисячі насінин досягається при таких значеннях факторів:

$$X_1 \rightarrow 40 - 48 \text{ хв}^{-1};$$

$$X_2 \rightarrow 3,0 - 3,3 \text{ м / с};$$

$$X_3 \rightarrow 100^\circ - 150^\circ.$$

#### 4.7 Висновки до четвертого розділу

Проведено експериментальні дослідження з використанням насіння гарбуза сорту «Волзька сіра», в результаті яких встановлено основні раціональні конструктивно-технологічні параметри нового сепаратора: швидкість повітряного потоку в отворах решета  $V_e = 3,0...3,3$  м / с; частота обертання робочого органу  $n_6 = 40 - 48$  хв<sup>-1</sup>.

Встановлено пропускну спроможність сепаратора  $Q_c = 250$  кг / год, енергоємність сепарації складає  $E = 1,46$  кВт · год / т. Режим роботи  $n = 35$  хв<sup>-1</sup>,  $V = 3,2$  м/с, при цьому кут встановлення заслінки складає  $\alpha = 135^\circ$ .

Експериментальна установка здатна відбирати насіння гарбуза з підвищеними посівними властивостями, а так само проводити сепарацію насіння для товарних цілей.

Отримано розбіжність між теоретичними і експериментальними дослідженнями в межах 5%.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан питання сепарації насіння баштанних культур. Встановлено, що підвищення ефективності сепарації насіння гарбуза по масі досягається шляхом вдосконалення аеродинамічного сепаратора з активною циліндричною сепаруючою поверхнею.

2. Створено математичну модель роботи сепаратора. Встановлено вплив чинників на технологічний процес сепарації насіння, які раніше не враховувалися. Аналіз закономірностей руху насіння гарбуза по решітчастій поверхні активного барабана і після відриву від барабана дозволили отримати діапазони кутів установки роздільних перегородок для:  $\varphi_{\partial} = 110^{\circ}-127^{\circ}$  повноцінного насіння з значенням маси тисячі насінин  $m_{1000} = 280-240$  г;  $\varphi_{\partial} = 127^{\circ}-153^{\circ}$  товарного насіння з значенням маси тисячі насінин  $m_{1000} = 240-180$  г;  $\varphi_{\partial} > 153^{\circ}$  неповноцінного насіння.

3. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень. Експериментально і теоретично визначені наступні конструктивно-технологічні параметри: швидкість повітряного потоку 3,0-3,3 м / с; частота обертання барабана 40 - 48 хв<sup>-1</sup>; енергоємність технологічного процесу сепарації 1,65 кВт · год / т; пропускна здатність сепаратора 250 кг / год; коефіцієнт використання робочої площі решета 0,8; коефіцієнт живого перетину решета 0,63, діаметр отворів 5 мм, крок установки отворів 6 мм; розбіжність між теоретичними і експериментальними дослідженнями кута установки розділяючої перегородки та енергоємності сепарації становить 4-6%.

4. Виготовлений промисловий зразок аеродинамічного сепаратора насіння гарбуза, який має продуктивність 250 кг / год і споживає потужність 0,7 кВт / год. Проведено наближений розрахунок економічної ефективності впровадження розробленого сепаратора у виробництво, що дозволить отримати річний ефект 67600 грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агафонов С. А., Герман А. Д., Муратова Т. В. Дифференциальные уравнения. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 348 с.
2. Бушуев Н. М. Семяочистительные машины. Теория, конструкции и расчет. Москва. Свердловск: Машгиз, 1962. 238 с.
3. Ильченко А. А. Обоснование конструктивно-технологических параметров аэродинамического сепаратора семян бахчевых культур: дис. кандидата техн. наук : 05.05.11 - Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. Луганск, 2014. 169 с.
4. Бакум М. В., Ольшанський В. П., Кречот М. М. Дослідження руху часток в квазігоризонтальному плоскому каналі пневматичних сепараторів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кіровоград, 2009. Вип. 39. С. 216–222.
5. Берник П. С., Стоцько З. А., Паламарчук І. П. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. Київ : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. 336 с.
6. Белик В. Ф. Бахчеводство. М.: Колос, 1982. 175 с.
7. Ольшанський В. П., Любін М. В. Апроксимації розподілу пористості в шарі зерноsumіші на плоскому віброрешеті. *Всеукраїнський науково-технічний журнал Вібрації в техніці та технологіях*. № 2 (82) 2016. С. 94–100.
8. Твердохліб І. В. Динаміка руху частинки в сипкому зерновому середовищі. *Всеукраїнський науково-технічний журнал Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. № 3 (86). С. 128–135.
9. Бабак В. П., Марченко Б.Г., Фриз. М. С. Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика: Підручник. К.: Техніка, 2004. 288 с.
10. Василенко П. М. Теорія руху частинки по шорстким поверхням сільськогосподарських машин. К.: УСХА, 1960. 263 с.

11. Васильковський О. М., Гончаров В. В., Петренко Д. І., Лещенко С. М. Аналітичне дослідження якості розділення зерносуміші відцентрово-пневматичним сепаратором. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кіровоград: КНТУ, 2011. Вип. 41. С. 141–147.
12. Васильковський О. М., Гончаров В. В., Петренко Д. І., Лещенко С. М. Математична модель роботи відцентрово-пневматичного сепаратора зерна. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь: ТДАТУ. 2010. Вип. 10. Т.8. С. 94–104.
13. Єрмак В. П. Обґрунтування способу сепарування насіння соняшника у повітряних потоках: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Луганськ, 2003. 21 с.
14. Єрмак В. П. Концепція аеродинамічної сепарації насіння сільськогосподарських культур та засоби для її реалізації: дис.... доктора тех. наук: 05.05.11. Луганськ, 2008. 362 с.
15. Єрмак В. П., Богданов Є. В., Ільченко А. А. Побудова розрахункової моделі функціонування сепаратора насіння гарбуза. *Збірник наукових праць Львівського національного аграрного університету*. Серія: Агроінженерні дослідження. Львів: ЛНАУ, 2012. №16. С.179–189.
16. Ильченко А. А. Результаты экспериментальных исследований работы воздушно-центробежного приспособления для сепарации семян тыквы. *Науковий вісник Луганського національного аграрного університету*. Серія: Технічні науки. Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2013. № 51 С. 135–141.
17. Котов Б. І., Степаненко С. П., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С. 53–59.

18. Лихацький В. І. Баштанництво. Навч. Посіб. К.: Вища шк., 2002. 166 с.
19. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. ДСТУ 4138–2002. [Чинний від 2004-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.
20. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови: ДСТУ 2240-93. [Чинний від 09. 09. 1993]. К.: Держспоживстандарт України, 1994. 73 с.
21. Петренко Д. І. Обґрунтування параметрів відцентрово-пневматичного сепаратора зерна: дис.... кандидата. тех. наук: 05.05.11. «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва». Кіровоград, 2011. 157 с.
22. Полотна решетні зерноочисних машин. Технічні умови: ТУ-23.2.2068-94. [Чинний від 14.05.2002]. Харків.: Держстандарт України, 2002. 19 с.
23. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки. Житомир: ЖІТІ, 2001. 612 с.
24. Степаненко С. П. Дослідження процесу пневматичної сепарації насіння в кільцевому зигзагоподібному сепараторі. *Механізація сільськогосподарського виробництва Вісник ХНТУСГ*. Харків.: ХНТУСГ, 2008. С. 59–65.
25. Тищенко Л. М., Мандрика О. В. Методика моделювання процесу сепарування системи решето – зерновий потік. *Науковий вісник НАУ*. Київ, 1998. С. 154–157.
26. Tathagata Ghosh. «Modeling of air-based density separator» : Doctoral Dissertation -Mining Engineering: *Mining Engineering* / Tathagata Ghosh. University of Kentucky., 2013. 153 с. ([UKnowledge@lsv.uky.edu](mailto:UKnowledge@lsv.uky.edu).)
27. Пришляк В. М., Завальнюк П. Г. Використання теплової енергії при сушінні зернових конвективно-кондуктивним методом. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету* №2 (45) т.4, ч. II. Науково-теоретичний збірник. м. Житомир, 2014. С. 368–372.
28. Бандура В. М., Курило В. Л., Серeda Л. П., Пришляк В. М., Швець

Л. В. Методичні рекомендації до написання й оформлення магістерських робіт магістрантами денної та заочної форм навчання інженерно-технологічного факультету спеціальності 208 «Агроінженерія» галузі знань 20 «Аграрні науки та продовольство». Вінниця: ВНАУ, 2019. 39 с.

29. Цуркан О. В., Римар Т. І., Станіславчук О. В. Гідродинаміка процесу фільтраційного зневоднення свіже очищеного насіння гарбуза з вібраційною активацією. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях»* №2 (74). 2014. С. 138–144.

30. Котов Б. І., Деревенько І. А., Степаненко С. П., Попадюк І. М. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решеті вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2016. №3(83) С. 175–180.

31. Спирін А. В., Котов Б. І., Калініченко Р. А. Тепло- і масообмін при сушінні сільськогосподарських рослинних матеріалів у щільному нерухомому шарі. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2016. №2 С.41–44.

32. Спирін А. В., Твердохліб І. В., Лановий М. М. Математична модель продуктивності машини для витирання насіння. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2016. № 3 (95) С.67–75.

33. Спирін А. В., Котов Б. І., Зозуляк О. В. Моделювання та ідентифікація процесу сепарації дрібного вороху вібраційно-повітряними очистками зернозбирального комбайну. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2016. №4. С.42–45.

34. Котов Б. І., Степаненко С. П. Підвищення ефективності сепарації насіння з використанням протитечійної подачі матеріалу в горизонтальний повітряний потік. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. №3(95), С.121–125.

35. Котов Б. І., Степаненко С. П. Закономірності руху частинок в пневмогравітаційному сепараторі при змінній швидкості горизонтального повітряного потоку. *Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету*. Вип. 35, 2016. С. 70–75.



36. Деревенько І. А., Котов Б. І., Степаненко С. П., Попадюк І. М. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчасто-конічному решеті вібровідцентрових машин. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2016. №3(83) С. 175–180.
37. Омелянов О. М. Аналіз приводних механізмів сепаратора комбікормів *Всеукраїнський науково-технічний журнал. Вібрації в техніці та технологіях*. Випуск №2 (85). Вінниця, 2017. С.123–128.
38. Твердохліб І. В., Котов Б. І., Спирін А. В., Степаненко С. П., Швидя В. О. До питання пневмогравітаційної сепарації зернових матеріалів. *Всеукраїнський науково-технічний журнал Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця. 2017. №4(99), С. 51–55.
39. Алієв Е. Б., Яропуд В. М. Фізико-математичний апарат руху насіння в повітряному потоці. *Всеукраїнський науков-технічний журнал Техніка, енергетика, транспорт АПК*. Вінниця, 2017. №2 (97). С. 19–23.
40. Алієв Є. Б., Яропуд В. М., Гаврильченко О. С. Фізико-математичний апарат взаємодії сипкого матеріалу із вібруючим решетом. *Вібрації в техніці та технологіях*. №3 (90) 2018 р. С. 5–11
41. Kotov B., Spirin A., Kalinichenko R., Bandura V., Polievoda Y., Tverdokhlib I. Determination the parameters and modes of new heliocollectors constructions work for drying grain and vegetable raw material by active ventilation. Czech Academy of Agricultural Sciences, Prague. *Research in Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 65, No. 1. pp. 20–24.
42. Ольшанський С. В., Сліпченко М. В., Харченко С. О., Полевода Ю. А. Наближений спосіб розрахунку зернопотоку в вертикальному циліндричному віброрешеті. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2021. № 1 (100). С. 57–64.