

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ _____ ” _____ 2024р.
Зав. кафедри к.т.н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння
гірчиці в барабанній сушарці»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Манзюк А.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗБИРАННЯ І ЗАСОБІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ГІРЧИЦІ	8
1.1. Біологічні та фізико-механічні властивості гірчиці	8
1.2. Способи збирання гірчиці	11
1.3. Аналіз засобів сушіння насіння	13
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ГІРЧИЦІ	16
2.1. Обґрунтування конструкції барабанної сушарки для насіння гірчиці.....	16
2.2. Теоретичні дослідження аеродинамічних параметрів шару гірчиці	19
2.3. Обґрунтування технологічних параметрів барабанної сушарки	22
РОЗДІЛ 3. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	26
3.1. Програма і методика експериментальних досліджень	26
3.2. Результати експериментальних досліджень	34
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	46
4.1. Заходи з охорони праці під час експлуатації сушарки насіння	46
4.2. Моделювання процесів виникнення травм під час виконання робіт на сушарці	49
РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ	51
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

РЕФЕРАТ

Манзюк А.В. Обґрунтування параметрів процесу сушіння насіння гірчиці в барабанній сушарці (Дипломний проект, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 55 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 16 рисунків, 9 таблиць, 24 джерела літератури).

Дипломному проекту полягає в удосконаленні технології сушіння насіння гірчиці з використанням розробленої барабанної сушарки.

У роботі на основі аналізу технологій і технічних засобів для сушіння насіння гірчиці обґрунтовано фактори інтенсифікації процесу сушіння, а також запропоновано схему барабанної сушарки. Розроблені наближені математичні моделі: переміщення насіння полицями сушарки; аеродинамічних параметрів шару гірчиці; теплового балансу процесу сушіння. Обґрунтовано технологічні параметри барабанної сушарки. Проведені експериментальні дослідження з визначення: часу сушіння насіння гірчиці; аеродинамічних характеристик шару насіння; коефіцієнтів й кута тертя; швидкості руху сушильного агента.

Крім цього, висвітлені питання з охорони праці під час сушіння насіння барабанною сушаркою, а також проведено економічний аналіз створеної сушарки.

Ключові слова: НАСІННЯ ГІРЧИЦІ, БАРАБАННА СУШАРКА, ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, АЕРОДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ.

ВСТУП

Гірчиця – цінна олійна культура. В її насінні міститься 30–40 % олії, яка за своєю якістю не поступається соняшниковій. Серед основних олійних культур нашої країни за обсягом виробництва гірчиця посідає четверте місце, поступаючись ріпаку, сої та соняшнику. Застосування гірчиці в народному господарстві різноманітне: її вирощують для одержання харчової олії, гірчиного порошку, зеленого корму для тварин і багатьох інших потреб.

Ця рослина є природним гербіцидом, добрим медоносом і попередником для інших культур.

Для збереження якісних показників, забезпечення тривалого часу зберігання та для попередження гниття насіння гірчиці необхідно сушити. Але процес сушіння гірчиці в барабанній сушарці має деякі ускладнення, оскільки, насіння дрібне, має високий вміст олії та нерівномірно дозріває, що потребує великих енергетичних затрат. У зв'язку з цим виникає завдання удосконалення барабанної сушарки, з метою забезпечення ефективнішого використання енергетичного потенціалу сушильного агента.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СПОСОБІВ ЗБИРАННЯ І ЗАСОБІВ СУШІННЯ НАСІННЯ ГІРЧИЦІ

1.1 Біологічні та фізико-механічні властивості гірчиці

Гірчиця (*Brassica juncea* Czern) – цінна олійна культура, яка належить до родини капустяних (рис. 1.1). Це дуже давня культура, батьківщиною якої вважається Середня Азія. Із стародавніх часів її вирощують і використовують у сільськогосподарському виробництві в країнах Європи, Індії, Китаю, Туреччині, Ірані [1, 7]. Здавна гірчиця вирощується в Україні. Звідси поширилась українцями на Поволжя у XVIII ст, де вирощувалась біля міста Сарепта.



Рисунок 1.1 – Гірчиця (*Brassica juncea* Czern)

У насінні гірчиці міститься 34–47% жирної олії, в якій є багато корисних кислот. Особливо цінним є те, що в гірничій олії присутні всі жиророзчинні вітаміни (А, В6, РР, D, Е, К, Р) [5]. За смаком ця олія краща за соняшникову. Олію гірчиці використовують для харчування, у консервній, кондитерській, хлібопекарській промисловості, а також на технічні цілі. Ефірну олію (0,5–1,7%)

використовують у парфумерній промисловості. В олії старих сортів містилось 30–35% ерукової кислоти, що обмежувало її харчове використання. Зараз створено сорти з нижчим вмістом ерукової кислоти – 8–9% у сорту Южанка 15 і Тавричанка 15, 4–5% у сорту Рушена та ін. З макухи гірчиці виробляють гірчичний порошок, що є сировиною для виготовлення гірчиці столової, різних соусів, а в медицині – гірчичників. Листя у цього виду гірчиці багате на вітаміни, солі кальцію і заліза і тому його використовують у свіжому вигляді для салатів. Якість гірчичного порошку залежить від вмісту ефірної олії. Використання макухи високоерукових сортів на корм худобі обмежене, тому що в ній містяться алкалоїди синігрин та санальбін [6].

Гірчиця – цінна медоносна рослина. Мед з неї блідо-жовтого кольору з пікантним ароматом, на бджіл справляє оздоровчий ефект [1].

Ця рослина є природним гербіцидом, зелена маса використовується на зелений корм, добриво. Урожайність її досягає 300 ц/га. Вона є добрим медоносом і попередником для інших культур.

Гірчиця – однорічна трав'яниста рослина. Стебло тонке, розгалужене, висотою 60-90 см при суцільному посіві і 150-250 см – при гніздовому, сизого кольору з восковим нальотом. Листя зеленого кольору також з восковим нальотом. Нижні листки за розміром листової пластинки великі, обернено-яйцевидної форми; за формою краю листової пластинки – зубчасті. Верхні листки – цілокраї, зеленого кольору, опушені, з наявним восковим нальотом. Коренева система у цього виду стрижнева, глибоко проникає в ґрунт до 1,5 м і більше. Суцвіття гірчиці має вигляд китиці. Квітка діаметром 10-15 мм із золотисто-блідо-жовтим забарвленням пелюсток. Плід гірчиці – тонкий горбкуватий стручок, дожиною 3-5 см, з коротким шиповидним носиком, довжиною до 7 мм. У кожному стручку міститься від 16 до 25 насінин. Коли гірчиця перестигне, то стручки розтріскуються. Насінини темно-коричневі, іноді жовті, дрібні, комірчасті, кулястої форми. Маса

1000 насінин становить 2-3 г. Середній вміст жирної олії у рослині становить 35-47%, а ефірної олії – від 0,5% до 1,2% [7, 11].

Насіння гірчиці складається із ядра і оболонки, яка захищає ядро при механічних ударах, при різких коливаннях температури та вологості повітря, а також від живих організмів. Але внаслідок своєї будови оболонка не являється серйозною перешкодою для проникнення до ядра газів, води, мікроорганізмів [4].

Для правильної організації розміщення насіння гірчиці для зберігання потрібно враховувати фізичні властивості насінної маси.

До фізичних властивостей відносять: сипучість і самосортування, шпаруватість, теплопровідність, температуропровідність, теплоємність.

На сипучість насінної маси гірчиці впливає багато факторів, із яких головними являються: форма, розміри, характер і стан поверхні насіння, вологість, кількість домішок та їх видовий склад. Для визначення сипучості встановлюють кут природного відкосу. Чим менший кут природного відкосу, тим більша сипучість насінної маси. Кут природного відкосу гірчиці коливається в межах 27-34°.

Самосортування являється одним із наслідків сипучості і неоднорідності насінної маси. В результаті самосортування виникає нерівномірність розподілу в насінній масі легких і важких насінин. Це сприяє виникненню гніздового самозігрівання.

Шпаруватість – це проміжки між твердими частинками в насінній масі, заповнені повітрям. Шпаруватість насіння гірчиці коливається в межах 36–45%.

Теплопровідність і температуропровідність насіння гірчиці дуже низька, що пояснюється великим вмістом в насінній масі повітря, яке є поганим провідником тепла.

Теплоємність гірчиці майже вдвічі більша теплоємності повітря і значно менша теплоємності води [3, 16].

Гірчиця дає високі врожаї (20-25ц/га) насіння на родючих ґрунтах. На бідних ґрунтах та в умовах низької агротехніки розвиває слабку кореневу систему, від

цього сильно зменшується її посухостійкість та врожайність. Малопридатні для її вирощування важкі запливаючі ґрунти. Найпоширенішими сортами в Україні є Мрія, Роксолана, Росава, Тавричанка, Тавричанка 5, Тавричанка 15 [8, 9].

1.2 Способи збирання гірчиці

Гірчицю збирають прямим комбайнуванням або роздільно (табл. 1.1). Вибір способу збирання залежить від погодних умов, матеріально-технічної оснащеності господарства-виробника. Пряме комбайнування насіння гірчиці використовують у випадку затяжних дощів і нестійкої погоди. У такому разі насіння потрібно піддавати сушінню. Якщо ж погода суха краще збирати роздільним способом. Тоді надходитиме сухе насіння.

Пряме комбайнування починають до настання повної стиглості стручків гірчиці при вологості насіння 10-15%. Перестиглі насінини (при вологості 9% і нижче) дуже обсипаються від доторкань мотовила. При такій вологості не рекомендується збирати гірчицю через великі втрати [2].

Під час прямого комбайнування можуть виникати такі проблеми: висока вологість насіння та збільшення затрат на сушіння; запізнення з обмолотом за нестійкої погоди може призвести до значних втрат внаслідок розтріскування стручків; на забур'янених площах утруднюється обмолот, збільшуються втрати.

При роздільному збиранні гірчицю скошують у валки у фазі воскової стиглості при вологості насіння 30-40%, коли насінини набувають притаманне сорту забарвлення, нижні листки опадають, рослини мають світло-жовтий відтінок. Висота зрізу 15-20 см. Важливо також правильно встановити строки скошування гірчиці. При ранньому скошуванні одержують неякісну олію, при запізненні – збільшуються втрати насіння через розтріскування стручків. Пряме комбайнування різко знижує врожай насіння (табл. 1) [1, 6].

Валки обмолочують через 3-4 дні після скошування при вологості насіння гірчиці не вище 10-11%. Для зменшення втрат насіння обмолот доцільно проводити вранці, увечері та вночі.

Таблиця 1.1 – Врожай та якість насіння гірчиці в залежності від способу збирання

Показник	Роздільне збирання	Пряме комбайнування
Врожай насіння, ц/га	13,6	8,6
Олійність абсолютно сухого насіння, %	42,9	42,2
Вміст ефірної олії, %	0,78	0,72
Чистота насіння в бункері, %	90,0	82,4

Для збирання гірчиці використовують переобладнані зернові комбайни СК-4 та «Нива». Для комбайнів СК-4 застосовують пристосування 34-109 (ПГР), а для комбайнів «Нива» – ПКК-5 (табл. 1.2). [1, 6].

Таблиця 1.2 – Ефективність пристосування ПКК-5 до комбайну «Нива» при збиранні гірчиці

Варіант збирання	Врожай насіння, ц/га	Сумарні втрати комбайну, %	Роздрібнення насіння, %
З пристосуванням ПКК-5	8,9	1,6	0,6
Без пристосування	8,1	14,3	2,3

Насіння гірчиці, яке надходить від комбайна, містить значну кількість насіння бур'янів, рослинних решток та інших домішок з високою вологістю і потребує термінової очистки, щоб запобігти самозігріванню, оскільки навіть короткочасне зігрівання насіння призводить до різкого зниження посівних і товарних якостей насіння. Своєчасне видалення рослинних решток дозволяє також економити енергію в процесі сушіння.

Очистку проводять відразу після надходження гірчиці на тік. Для очистки насіння використовують пересувну техніку типу ОВП-20А, ОС-4,5А, СМ-4 або зерноочисні агрегати типу ЗАВ. Ці машини потребують спеціального переобладнання для очистки дрібнонасінних культур. Для ЗАВ-20А застосовують пристосування СП-10.

Після очистки при потребі насіння гірчиці досушують на току, розстилаючи його в сонячну погоду шаром завтовшки 5-6 см і постійно перемішуючи. За високої вологості використовують сушарки.

1.3 Аналіз засобів сушіння насіння

У харчовій промисловості і сільському господарстві для сушіння гірчиці застосовують сушарки барабанного типу, як стаціонарні, так і пересувні.

Основним елементом барабанних сушарок є горизонтальний або нахилений циліндричний барабан, що обертається з частотою 2–6 об/хв., усередині якого матеріал переміщається по довжині і сушиться. Усередині барабана залежно від висушуваного рослинного матеріалу встановлюють різного типу насадки або поздовжні лопаті, які сприяють інтенсифікації процесу сушіння.

Барабанна сушильно-охолоджувальна установка СБУ-1 (рис. 1.2) складається з барабана, опорно-привідної станції, завантажувальної головки, двох нерухомих кожухів, труби з дефлектором для відсмоктування гарячого повітря.

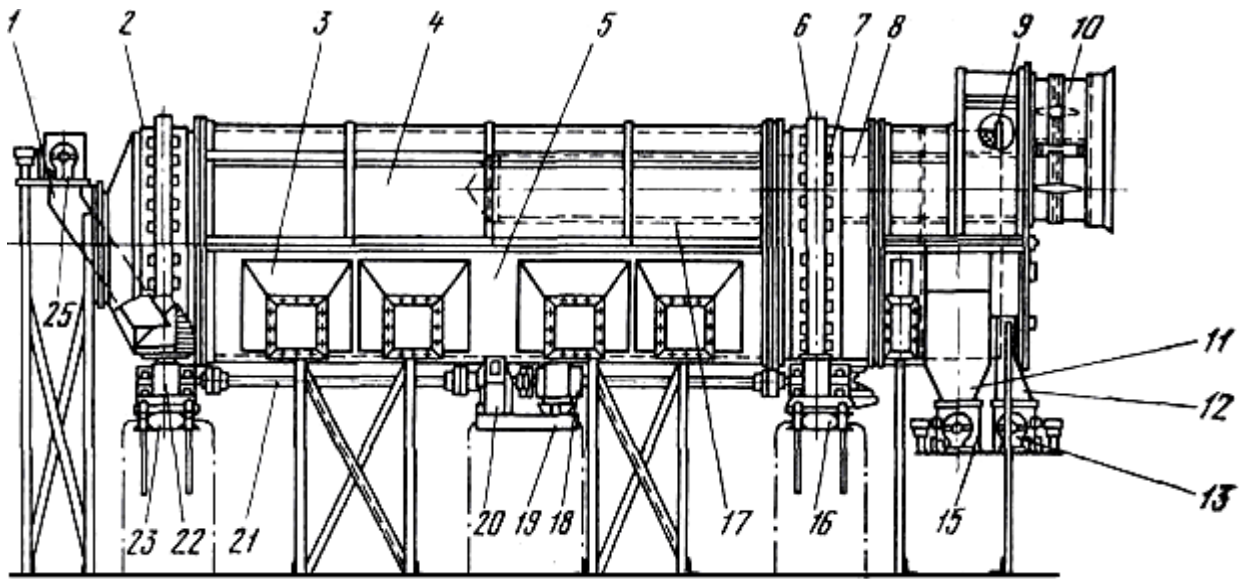


Рисунок 1.2 – Барабанна сушильно-охолоджувальна установка СБУ-1:

1 – завантажувальна головка; 2 – царга; 3, 14 – патрубки; 4 – кришка; 5 – днище; 6 – бандаж; 7 – клини; 8 – перфорований барабан; 9 – сито; 10 – кожух; 11, 12 – жолоби; 13, 15, 25 – турнікети; 16, 23 – металоконструкції; 17 – труба; 18 – електродвигун; 19 – рама; 20 – редуктор; 21 – вали; 22 – фрикційні ролики; 24 – лопатки

Барабан є сталевим перфорованим циліндром завдовжки близько 10 м, що нахилений у бік руху гірчиці. В передній частині барабана є розподільник завдовжки 550 мм, усередині якого приварено 10 лопаток, розташованих під кутом 45° до твірної. Розподільник забезпечує рівномірний розподіл гірчиці, яка поступає із завантажувальної головки. До торця розподільного пристрою по периметру кріпиться 24 секції фігурних лопаток (8 – по колу, 3 – вздовж).

Для збільшення жорсткості секцій і запобігання проходу повітря уздовж секції між фігурними лопатками ставлять поперечні перегородки. Конфігурація лопаток забезпечує можливість проходження повітря всередину корпусу і в той

же час не дає матеріалу виходити назовні. В кінці барабана на фланці кріпиться ситова частина корпусу, призначена для відділення домішок.

На центральну частину перфорованого барабана надягають кожух, що складається з кришки і днища. По краях кожуха в спеціальних обоймах кріплять кільцеві ущільнення з прямокутного гумового шнура, які перешкоджають виходу повітря в атмосферу. Крім того, з двох сторін барабана є поздовжні ущільнення, що забезпечують подачу повітря тільки до матеріалу в барабані. На кожусі є чотири патрубки для введення гарячого і холодного повітря. На кінцеву частину барабана також ставлять нерухомий кожух, що має збоку патрубків для подачі холодного повітря і на стінці торця – патрубків для відсмоктування відпрацьованого повітря. На тій же стінці торця кріплять трубу, що проходить через барабан до зони гарячого повітря. Труба служить для відсмоктування повітря. В нижній частині кожуха є жолоб для сухого охолодженого матеріалу і жолоб для виведення домішок. Сушильний барабан приводиться в рух за допомогою опорно-приводної станції.

Матеріал, який завантажують в апарат через завантажувальну головку, рівномірно розподіляється по фігурних елементах внутрішньої поверхні барабана і розташовується сегментом, який утворений кутом природного відкосу. Саме ця зона відокремлена поздовжніми ущільненнями, що забезпечують подачу повітря тільки через шар матеріалу. Окрім інтенсифікації процесів волого- і теплообміну, такий метод подачі повітря сприяє утворенню псевдорозрідженого шару.

Сушильний агент подається через перші два патрубки, атмосферне повітря – через два останніх. Середній патрубок може бути використаний або для сушильного агента, або для атмосферного повітря, що відповідно змінює довжину сушильної або охолоджувальної зон.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ГІРЧИЦІ

2.1 Обґрунтування конструкції барабанної сушарки для насіння гірчиці

Для післязбиральної обробки насіння гірчиці використовують барабанні сушарки. Одним із способів більш ефективного використання енергетичного потенціалу сушильного агента, а, відповідно, зниження енергоємності процесу сушіння, є збільшення висоти шару матеріалу через який він проходить до оптимального значення. Для досягнення більш ефективнішого сушіння насіння гірчиці пропонується удосконалена конструкція барабанної сушарки (рис. 2.1).

Барабанна сушарка містить сушильний барабан 1, утворений циліндричним кожухом 2 зі співвісно розташованим у ньому перфорованим конусом 3. Перфорований конус 3 розташований таким чином, що його менша основа знаходиться зі сторони завантаження матеріалу, а більша – зі сторони вивантаження матеріалу. На осі сушильного барабана 1 всередині перфорованого конуса 3 розміщена перфорована поверхня 4. Вздовж сушильного барабана 1 містяться перегородки 5, які, в свою чергу, утворюють секції 6, розділяючи простір між циліндричним кожухом 2 та перфорованим конусом 3. Горизонтально встановлений сушильний барабан 1 обертається навколо своєї осі за допомогою опорно-приводних роликів 7. З обох торців сушильний барабан 1 обладнано нерухомими кришками 8, на яких передбачено вікна для завантаження та вивантаження матеріалу, а також вікна для підведення та відведення сушильного агента (на креслені не показано). Між циліндричним кожухом 2, перфорованим конусом 3 та нерухомими кришками 8 сушильного барабана 1 передбачені ущільнення (на креслені не показано) для недопущення втрат матеріалу та сушильного агента. Вздовж внутрішньої поверхні перфорованого конуса 3

розташовані полички 9. Ззовні сушильного барабана 1 до вікон завантаження та вивантаження матеріалу приєднані, відповідно, завантажувальний бункер 10 та вивантажувальний патрубок 11, а до вікон підведення та відведення сушильного агента – через повітропроводи 12 приєднано нагнітаючий вентилятор 13 та відсмоктувальний вентилятор 14. Завдяки спеціальній формі та розміщенню вікна підведення сушильного агента забезпечується його підведення виключно в секції 6 (у нижній частині сушильного барабана), що співпадають з ним під час обертання сушильного барабана 1. Форма і розміщення вікна відведення сушильного агента забезпечує його відведення виключно з секції 6 (у верхній частині сушильного барабана), що співпадають з ним під час обертання сушильного барабана 1.

Сушарка працює наступним чином. Матеріал подається у завантажувальний бункер 10, з якого через вікно для завантаження матеріалу у верхній частині нерухомої кришки 8 надходить у сушильний барабан 1. Матеріал переміщується внутрішньою поверхнею перфорованого конуса 3 вздовж осі сушильного барабана 1, під час його обертання від опорно-приводних роликів 7. Рух матеріалу забезпечується підпором наступних порцій матеріалу. У процесі переміщення матеріалу сушильним барабаном 1 відбувається його сушіння шляхом проходження через його шар сушильного агента. Полички 9, піднімаючи матеріал, забезпечують його насипання на перфоровану поверхню 4, яка встановлена для інтенсифікації процесу сушіння матеріалу. Завдяки коливним рухам перфорованої поверхні 4, матеріал переміщується по ній і одночасно відбувається додаткове проходження сушильного агента через шар матеріал. Матеріал, доведений до необхідної вологості, вивантажується через вікно вивантаження матеріалу та виводиться з сушильного барабана через вивантажувальний патрубок 11.

Нагнітаючий вентилятор 13 через повітропровід 12 підводить сушильний агент до вікна підведення сушильного агента, з якого надходить у секції 6, які співпадають з ним у даний момент обертання сушильного барабана 1. Сушильний агент через перфорований конус 3 підводиться до шару матеріалу, підсушуючи

його. Потім сушильний агент проходить через перфоровану поверхню 4, ще раз підсушуючи матеріал, який знаходиться на ній. Відведення сушильного агента відбувається через секції 6, що співпали у даний момент обертання сушильного барабана 1 у верхньому положенні, через вікно відведення сушильного агента за допомогою відсмоктувального вентилятора 14.

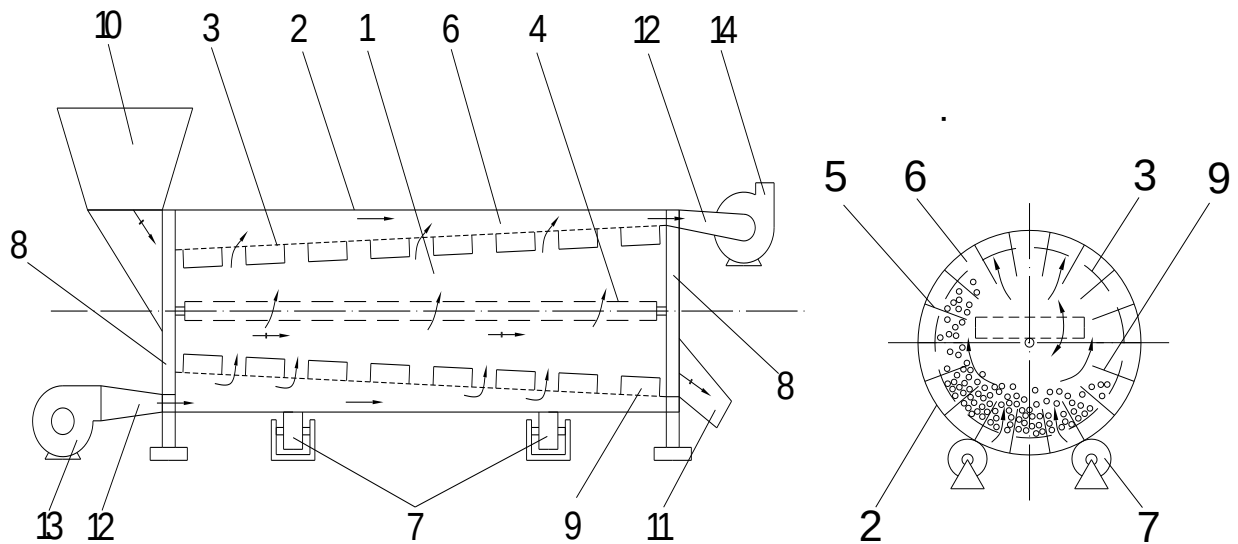


Рисунок 2.1 – Барабанна сушарка:

- 1 – сушильний барабан; 2 – циліндричний кожух;
- 3 – перфорований конус; 4 – перфорована поверхня;
- 5 – перегородки; 6 – секції; 7 – опорноприводні ролики;
- 8 – нерухома кришка; 9 – полички;
- 10 – завантажувальний бункер; 11 – вивантажувальний патрубок;
- 12 – повітропроводи; 13 – нагнітаючий вентилятор;
- 14 – відсмоктувальний вентилятор

Застосування запропонованої конструкції барабанної сушарки дозволяє досягнути більш ефективного використання сушильного агента за рахунок проходження його через більший об'єм матеріалу.

2.2 Теоретичні дослідження аеродинамічних параметрів шару гірчиці

Для дослідження впливу аеродинамічних параметрів шару гірчиці на процес його вентилявання зробимо наступні допущення. З метою спрощення досліджень шар гірчиці замінимо моделлю. Модель шару матеріалу утворена з кульок однакового діаметру d , що мають кубічне вкладання. З огляду на запропоновану модель та приймаючи умову, що величина звільненого динамічного тиску рівна втратам тиску за висотою шару матеріалу, тобто повністю витрачається на подолання опору шару, а статичний тиск при цьому залишається постійний, отримаємо:

$$P_{\partial o} - P_{\partial k} = \Delta P_{\zeta}, \quad (2.1)$$

або позначивши $P_{\partial o} - P_{\partial k} = \Delta P_{\partial}$, матимемо:

$$\Delta P_{\partial} = \Delta P_{\zeta}, \quad (2.2)$$

де $\Delta P_{\partial o}$ – динамічний тиск на початку шару матеріалу, Па;

$\Delta P_{\partial k}$ – динамічний тиск у кінці шару матеріалу, Па;

ΔP_{ζ} – втрати тиску за висотою шару, Па.

За рівнянням Дарсі-Вейсбаха втрати тиску [17]:

$$\Delta P_{\zeta} = \zeta \frac{l}{d_{ек.}} \cdot \frac{\gamma_{нов.} \omega^2}{2g}, \quad (2.3)$$

де ζ – коефіцієнт аеродинамічного опору;

l – висота шару матеріалу, м;

$d_{ек.}$ – еквівалентний діаметр шару матеріалу, м;

$\gamma_{нов.}$ – питома вага повітря, Н/м³;

ω – швидкість сушильного агента, м/с;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

О. Крішером запропоновано врахувати особливості будови пористого тіла структурним фактором [17]:

$$\mu = \mu_F \cdot \mu_l. \quad (2.4)$$

Тоді, підставляючи (2.4) в (2.3), отримаємо:

$$\Delta P_{\partial} = \zeta \frac{\mu l}{d_{ек.}} \cdot \frac{\gamma_{нов.} \omega^2}{2g}. \quad (2.5)$$

Еквівалентний діаметр можна визначити згідно [17]:

$$d_{ек.} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\Pi_s}{1 - \Pi_s} d, \quad (2.6)$$

де Π_s – поверхева пористість (просвіт).

Коефіцієнт μ_F являє собою відношення площі поверхні пор до площі поперечного перерізу цих пор. З достатньою точністю для дослідження можна прийняти [17]:

$$\mu_F = 1/\Pi_v. \quad (2.7)$$

Покрученість шару матеріалу характеризується коефіцієнтом покрученості шару μ_l , що визначається як відношення довжини шляху проходження сушильного агенту через шар матеріалу до висоти шару. Для даного способу вкладання кульок у шарі $\mu_l = 1,79$ [28].

Значення критерію Рейнольдса визначається наступним чином [17]:

$$Re = \omega_0 d / \nu, \quad (2.8)$$

де ν – кінематична в'язкість повітря, м²/с;

ω_0 – початкова швидкість сушильного агента віднесена до всього перерізу шару матеріалу, м/с.

Коефіцієнт аеродинамічного опору шару матеріалу [21]:

$$\zeta = \frac{9}{Re} + \frac{1}{Re^{0,15}}. \quad (2.9)$$

Оскільки динамічний тиск повітря $P_{\partial} = \gamma_{нов.} \omega^2 / (2g)$, тоді з (2.5) отримаємо:

$$\Delta P_{\partial} = \zeta \frac{\mu l}{d_{ек.}} \cdot P_{\partial}. \quad (2.10)$$

Якщо врахувати, що на висоті шару матеріалу dl падіння динамічного тиску складе dP_∂ , отримаємо (знак мінус вказує на падіння тиску):

$$\zeta \frac{\mu l}{d_{ек.}} \cdot dl = -\frac{dP_\partial}{P_\partial}. \quad (2.11)$$

Інтегруючи (2.11) за початкових умов $l = 0$, $P_\partial = P_{\partial 0}$ та враховуючи (2.6), (2.7), отримаємо:

$$P_\partial = P_{\partial 0} e^{\frac{3 \zeta \mu_1 (1 - \Pi_s) l}{4 \Pi_s^2 d}}. \quad (2.12)$$

Перейшовши від динамічного тиску до швидкості повітряного потоку за висотою шару матеріалу матимемо:

$$\omega = \omega_0 e^{\frac{3 \zeta \mu_1 (1 - \Pi_s) l}{4 \Pi_s^2 d n}}, \quad (2.13)$$

де n – коефіцієнт, через який враховано особливості вкладання насіння у реальному шарі гірчиці.

Графіки зміни швидкості повітряного потоку за висотою шару представлені на рис. 2.2. Отримана залежність (2.13) дозволяє визначити зміну швидкості сушильного агента за висотою шару гірчиці.

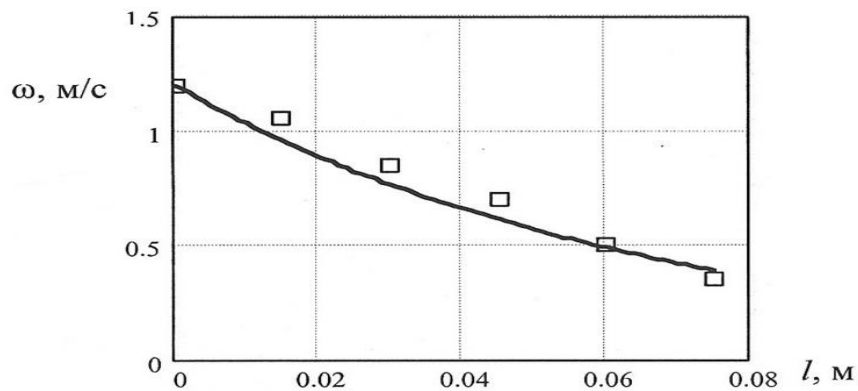


Рисунок 2.2 – Графік зміни швидкості сушильного агента за висотою шару гірчиці (теоретична крива та експериментальні точки)

за таких параметрів: $d = 0,002$ м; $\mu_1 = 1,79$;

$\Pi_s = 0,48$; $\nu = 17,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\omega_0 = 1,2$ м/с; $n = 55$

2.3 Обґрунтування технологічних параметрів барабанної сушарки

Внаслідок малої кутової швидкості обертання барабанної сушарки, шар матеріалу в ній протягом нескінченно малого проміжку часу $d\tau$ можна розглядати як нерухомий. Враховуючи також, що діаметр сушильної камери значно більший за розміри частинок матеріалу, тому шар матеріалу в поперечному перерізі сушильної камери можна розглядати, як утворений елементарними шарами висотою в одну частинку матеріалу dh , що послідовно омиваються сушильним агентом, який рухається через них знизу вверху у площині перпендикулярній осі сушильної камери. Позначивши поверхню окремої частинки матеріалу в елементарному шарі через dS_h , складемо рівняння енергетичного балансу нерухомого елементарного шару для періоду постійної швидкості сушіння [17]:

$$\alpha(t_h - t_m)dS_h = F\omega c_p \gamma dt_h \text{ або } \frac{dt_h}{t_h - t_m} = \frac{\alpha}{F\omega c_p \gamma} dS_h, \quad (2.14)$$

де α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°C);

t_h – температура сушильного агента, °C;

t_m – температура матеріалу, °C;

F – площа пор у поперечному перерізі шару, м²;

ω – швидкість сушильного агента у шарі матеріалу, м/с;

c_p – теплоємність сушильного агента при сталому тиску, Дж/(кг·°C);

γ – питома маса сушильного агента, кг/м³;

S_h – площа поверхні частинок у шарі висотою h , м².

Оскільки висота шару, через який проходить сушильний агент є невеликою, тоді його параметри можна прийняти сталими за висотою шару та проінтегрувати вираз (2.14):

$$\int_{t_{hm}}^{t_{hk}} \frac{dt_h}{t_h - t_m} = \int_0^{S_h} \frac{\alpha}{F\omega c_p \gamma} dS_h, \quad (2.15)$$

де t_{hn} – температура сушильного агента на вході в шар матеріалу, °C;

t_{hk} – температура сушильного агента на виході з шару матеріалу, °C.

З (2.15) отримаємо:

$$t_{hn} - t_m = (t_{hk} - t_m) e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}}. \quad (2.16)$$

Замінімо частинку матеріалу кулькою, площа поверхні якої рівна площі поверхні частинки, а діаметр рівний висоті елементарного шару матеріалу (рис. 2.3). Тоді прийнявши, що площа поверхні всіх частинок однакова, висоту шару матеріалу можна визначити наступним чином:

$$h = \frac{S_h}{S_{he}} \cdot d_k, \quad (2.17)$$

де S_{he} – площа поверхні частинок в елементарному шарі, м²;

d_k – діаметр кульки, м.

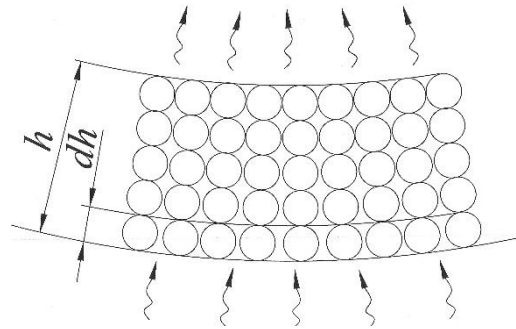


Рисунок 2.3 – Шар матеріалу в поперечному перерізі сушильної камери

Визначивши величину S_h та підставивши її в рівняння (2.17), отримаємо:

$$h = -\frac{d_k F \omega c_p \gamma}{\alpha S_{he}} \cdot \ln \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right]. \quad (2.18)$$

Середня інтенсивність видалення вологи з шару матеріалу висотою h :

$$q_h = \frac{q_0 F \omega c_p \gamma}{\alpha} \cdot \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right], \quad (2.19)$$

де q_h – середня інтенсивність сушіння шару висотою h , кг/с;

q_0 – інтенсивність сушіння початкового елементарного шару матеріалу, кг/(м²·с).

Припустимо, що при переміщенні розглядуваного шару матеріалу вздовж сушильної камери за час τ_h на відстань l , сушильний агент проходить через шар матеріалу шлях h . Тоді маса вологи, яка буде видалена з розглядуваного шару поверхнею S_h при переміщенні його на відстань l , складе:

$$m_B = \frac{q_h h}{\omega}, \quad (2.20)$$

де m_B – маса вологи, що видаляється з шару матеріалу при переміщенні його на відстань l вздовж сушильної камери, кг вол./м.

У запропонованій конструкції сушарки сушильний агент підводиться до шару матеріалу вздовж камери з однаковими початковими параметрами. Приймаючи, що вологовіддача матеріалу теж однакова, тоді раціональну довжину камери можна визначити наступним чином:

$$L = \frac{m_{B3}}{m_B}, \quad (2.21)$$

де m_{B3} – загальна маса вологи, яку необхідно видалити з розглядуваного шару матеріалу поверхнею S_h , кг вол.

Загальна маса вологи, яку необхідно видалити з шару матеріалу:

$$m_{B3} = m_n \cdot \frac{(W_n - W_k)}{(100 - W_k)}. \quad (2.22)$$

де m_n – початкова маса матеріалу, кг;

W_n, W_k – відповідно, відносна вологість матеріалу на початку та в кінці сушіння, %.

Після підстановки всіх величин та провівши необхідні перетворення, отримаємо:

$$L = - \frac{m_n \alpha^2 S_{he} (W_n - W_k)}{q_0 d_k \omega F^2 c_p^2 \gamma^2 (100 - W_k) \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right] \ln \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right]}. \quad (2.23)$$

Необхідна швидкість переміщення матеріалу вздовж сушильної камери, м/с:

$$V_M = \frac{L}{\tau_h} = \frac{L \omega}{h} = \frac{m_n \alpha^3 S_{he}^2 (W_n - W_k)}{q_0 d_k^2 \omega F^3 c_p^3 \gamma^3 (100 - W_k) \left[1 - e^{-\frac{\alpha S_h}{F \omega c_p \gamma}} \right] \ln^2 \left[\frac{t_{hn} - t_m}{t_{hk} - t_m} \right]}. \quad (2.24)$$

Отримані залежності дозволяють визначити технологічні та конструктивні параметри барабанної сушарки.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Програма і методика експериментальних досліджень

3.1.1 Обробка дослідних даних

Отримані в процесі досліджень результати опрацьовувались за допомогою стандартних методів обробітку дослідних даних [29–30].

За результатами дослідів підраховували:

а) відносну вологість підраховували за формулою:

$$W = \frac{m_{\text{в}} - m_{\text{с}}}{m_{\text{в}}} \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де $m_{\text{в}}$ – маса вологої наважки матеріалу, г;

$m_{\text{с}}$ – маса сухої наважки, г.

б) середнє арифметичне значення отриманих даних:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.2)$$

де X_i – результати дослідів;

n – кількість дослідів.

в) середню квадратичну похибку по вибірці:

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}, \quad (3.3)$$

г) стандартне відхилення закону розподілу:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}, \quad (3.4)$$

д) середню квадратичну похибку середнього арифметичного:

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}}, \quad (3.5)$$

е) коефіцієнт варіації:

$$V_m = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

є) похибку досліду:

$$\nu = \pm \frac{S}{(\bar{X} \cdot \sqrt{n})} \cdot 100\%. \quad (3.7)$$

3.1.2 Методика сушіння гірчиці

Під час проведення дослідів з сушіння насіння гірчиці відбирали проби для визначення вологості. Ці проби разом із касетами зважували на електронній вазі ТВЛ-0,5 (рис. 3.2), після чого поміщали їх в установку для сушіння матеріалів за принципом протитечії (рис. 3.1). Температуру сушильного агента вимірювали за допомогою термометра “Testo 405V1”. Досліди проводили з повторюваністю три рази. Експерименти із сушіння насіння гірчиці проводились за вологості: W=12% та W=20%.



Рисунок 3.1 – Сушильна камера дослідної установки

При проведенні експерименту через кожні 5 хв із сушильної камери діставали касету із насінням (рис. 3.1), зважували її на електронній вазі та вставляли назад у камеру. Коли маса касети з гірчицею переставала змінюватися, дослід припинявся. Тривалість такого сушіння становила шістдесят хвилин, оскільки матеріал має високий вміст олії.



Рисунок 3.2 – Зважування насіння гірчиці в касеті

Вологість насіння гірчиці після сушіння визначаємо за формулою:

$$W_2 = \frac{100 \cdot m_2 - m_1 \cdot (100 - W_1)}{m_2}, \quad (3.8)$$

де W_1 – початкова вологість насіння гірчиці;

m_1 – початкова маса насіння гірчиці;

m_2 – маса насіння після сушіння.

3.1.3 Методика визначення аеродинамічних характеристик шару насіння гірчиці

Для проведення дослідів з визначення аеродинамічних характеристик шару насіння гірчиці необхідно сформувати в касеті шар матеріалу заданої висоти (за різної вологості матеріалу). Після цього касету з насінням гірчиці ставимо в дослідну установку (рис. 3.1). Включаємо анемометр цифровий переносний АП-І, який має діапазон вимірювань від 0,3 до 5,0 м/с. Анемометром АП-І вимірюємо швидкість руху сушильного агента через шар матеріалу (рис. 3.3). Тоді це ж саме повторюємо для двох, трьох, чотирьох та п'яти касет з насінням гірчиці. Аналогічний дослід проводимо для насіння гірчиці різної вологості.



Рисунок 3.3 – Визначення швидкості руху сушильного агента в дослідній установці за допомогою анемометра АП-І

3.1.4 Методика визначення кута тертя

Середні значення кутів тертя і коефіцієнтів тертя визначали за формулами:

$$\varphi_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{0i}}{n}; \quad (3.9)$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}; \quad (3.10)$$

$$f_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{0i}}{n}; \quad (3.11)$$

$$f_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n}, \quad (3.12)$$

де i – номер повторюваності;

n – число повторюваностей;

φ_{0cp} , φ_{cp} , f_{0cp} , f_{cp} – середнє значення величин φ_0 , φ_{cp} , f_0 , f .

По кожному досліді обчислювали статистичне середнє квадратичне відхилення від середнього значення коефіцієнта тертя:

$$\sigma_{c0} = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{0cp} - f_{0i})^2}{n-1}}; \quad (3.13)$$

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{cp} - f_i)^2}{n-1}}, \quad (3.14)$$

де σ_{c0} – статистичне середнє квадратичне відхилення від середнього значення коефіцієнта тертя спокою;

σ_c – статистичне середнє квадратичне відхилення від середнього значення коефіцієнта тертя ковзання.

Визначаємо коефіцієнти варіації:

$$V_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp}} \cdot 100\%; \quad (3.15)$$

$$V = \frac{\sigma_c}{f_{cp}} \cdot 100\%, \quad (3.16)$$

де V_0 – коефіцієнт варіації коефіцієнта тертя спокою;

V – коефіцієнт варіації коефіцієнта тертя ковзання.

Знаходимо статистичні помилки дослідів:

$$\nu_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp} \sqrt{n}} \cdot 100\%; \quad (3.17)$$

$$\nu = \frac{\sigma_c}{f_{cp} \sqrt{n}} \cdot 100\%, \quad (3.18)$$

де ν_0 – статистична помилки при визначенні коефіцієнта тертя спокою;

ν – статистичні помилки при визначенні коефіцієнта тертя ковзання.

3.1.5 Методика проведення багатфакторного експерименту з визначення швидкості руху сушильного агента

Під час дослідження процесу сушіння гірчиці було встановлено, що процес залежить від таких факторів: початкової вологості матеріалу гірчиці та висоти шару матеріалу. Для оцінки впливу кожного з факторів використаємо метод планування експерименту [29–30].

Проведення двофакторного експерименту включає наступні етапи:

1. Кодування факторів за залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.19)$$

де x_i , X_i – відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

2. Складання плану-матриці експерименту (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – План-матриця експерименту

Номер досліджу	Значення кодованих факторів		Взаємодія кодованих факторів $x_1 x_2$
	x_1	x_2	
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1

3. Рандомізація плану експерименту, яка проводиться з метою встановлення послідовності проведення дослідів, для щоб виключити вплив проявів невідомих факторів.

4. Реалізація плану експерименту і занесення отриманих даних у таблицю.

5. Визначення коефіцієнтів рівняння регресії за такими формулами:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u ; \quad (3.20)$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u ; \quad (3.21)$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u . \quad (3.22)$$

6. Перевірка відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена. Умова відтворюваності дослідів має вигляд:

$$G \leq G_m , \quad (3.23)$$

де G_m – табличне значення критерію;

G – отримане значення критерію.

7. Перевірка адекватності моделі за критерієм Фішера. Умова адекватності моделі наступна:

$$F < F_m, \quad (3.24)$$

де F_m – табличне значення критерію;

F – отримане значення критерію.

8. Оцінка значущості коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стьюдента. Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність:

$$|b_a| \geq \Delta b_a, \quad (3.25)$$

де $|b_a|$ – коефіцієнти b_0, b_i, b_{ij} по модулю;

Δb_a – довірча границя.

9. Розкодування факторів, тобто перехід від кодованих факторів до натуральних за допомогою формули (3. 19).

10. Побудова поверхні відгуку та проєкцій двомірних січень поверхні відгуку.

3.2 Результати експериментальних досліджень

3.2.1 Результати сушіння насіння гірчиці

У результаті проведення експериментальних досліджень сушіння насіння гірчиці було встановлено залежність зміни вологості насіння гірчиці за певний період часу. Експеримент проводили одночасно для трьох касет з насінням, на основі яких побудований графік (рис. 3.4).

Отримані графічні залежності показують, що в нижньому шарі матеріал підсихає швидше, у порівнянні з двома іншими (верхніми). Для досягнення кондиційної вологості у нижньому шарі тривалість сушіння становила 30 хв., в середньому шарі – 40 хв., а у верхньому – 55 хв.

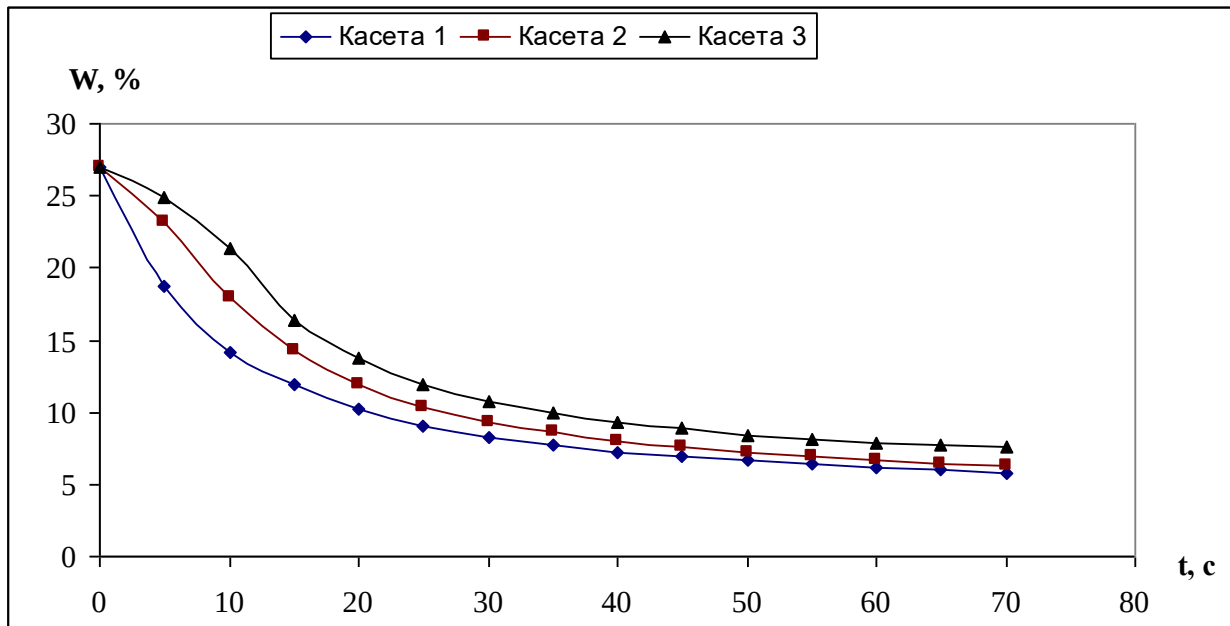


Рисунок 3.4 – Графік залежності вологості насіння гірчиці від часу сушіння

3.2.2 Результати визначення аеродинамічних характеристик шару насіння гірчиці

Під час проведення досліджень визначення аеродинамічних характеристик шару насіння гірчиці було встановлено залежність між швидкістю руху сушильного агента в лабораторній установці та висотою шару гірчиці. Експеримент проводили для вологого та висушеного матеріалу гірчиці.

Результати дослідження представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати визначення аеродинамічних характеристик шару насіння гірчиці

Висота шару, м	Швидкість руху сушильного агента, м/с			
	Вологе насіння гірчиці		Висушене насіння гірчиці	
0,015	1,0	1,1	1,1	1,0
0,030	0,9	0,8	1,0	0,8
0,045	0,7	0,7	0,9	0,7
0,060	0,5	0,5	0,7	0,7
0,075	0,3	0,4	0,5	0,6

Враховуючи отримані результати даних були побудовані графічні залежності швидкості руху сушильного агента від висоти шару насіння гірчиці (рис. 3.5 та 3.6).

Аналіз графічних залежностей свідчить про те, що із збільшенням висоти шару матеріалу швидкість сушильного агента зменшується. А також на графіках видно, що у вологому насінні гірчиці швидкість сушильного агента знижується швидше, ніж у сухому, оскільки вологий матеріал має більшу щільність.

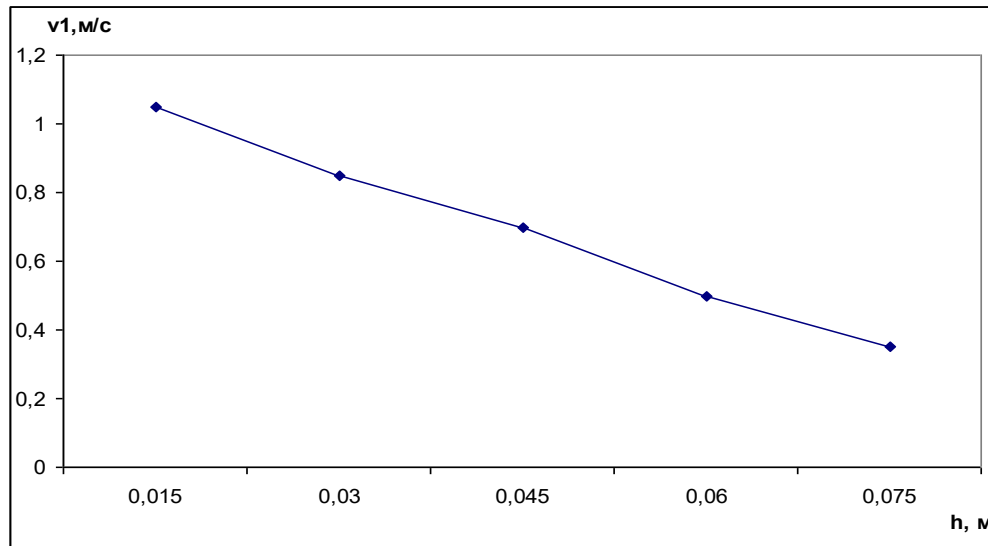


Рисунок 3.5 – Графік зміни швидкості руху сушильного агента в залежності від висоти шару насіння гірчиці (вологість насіння $W=20\%$)

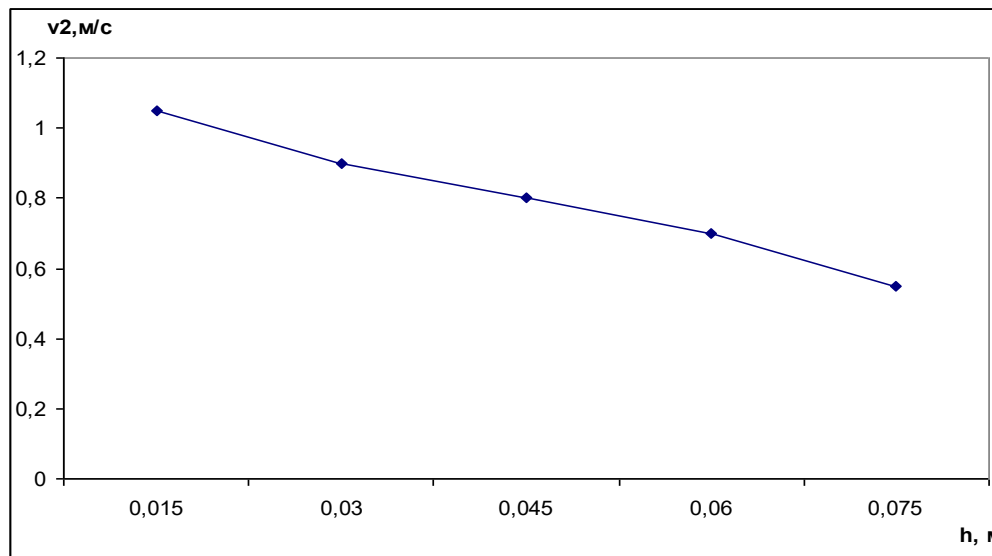


Рисунок 3.6 – Графік зміни швидкості руху сушильного агента в залежності від висоти шару насіння гірчиці (вологість насіння $W=8\%$)

3.2.3 Результати визначення кута тертя

Після проведення дослідів визначення кута тертя для висушеного та вологого матеріалу гірчиці були отримані такі результати даних, які наведені в табл. 3.3 й табл. 3.4.

Таблиця 3.3 – Результати дослідів з визначення коефіцієнтів тертя
висушеної гірчиці

Номер повторюваності	Кут тертя спокою	Кут тертя ковзання	Коефіцієнт тертя спокою	Коефіцієнт тертя ковзання
1	29	25	0,55	0,46
2	30	24	0,57	0,44
3	30	25	0,57	0,46
4	30	26	0,57	0,48
5	29	25	0,55	0,46
6	29	26	0,55	0,48
7	30	25	0,57	0,46
8	29	24	0,55	0,44
9	31	24	0,6	0,44
10	31	25	0,6	0,46

Таблиця 3.4 – Результати дослідів з визначення коефіцієнтів тертя
вологої гірчиці

Номер повторюваності	Кут тертя спокою	Кут тертя ковзання	Коефіцієнт тертя спокою	Коефіцієнт тертя ковзання
1	33	30	0,64	0,57
2	32	29	0,62	0,55
3	34	27	0,67	0,5
4	33	28	0,64	0,53
5	32	27	0,62	0,5
6	35	27	0,7	0,5
7	34	28	0,67	0,53
8	33	27	0,64	0,5
9	33	26	0,64	0,5
10	32	27	0,62	0,5

По кожному досліді визначаємо середні значення кутів тертя і коефіцієнтів тертя за формулами:

а) для висушеної гірчиці

$$\varphi_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{0i}}{n} = \frac{29 + 30 + 30 + 30 + 29 + 29 + 30 + 29 + 31 + 31}{10} = 29,8;$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} = \frac{25 + 24 + 25 + 26 + 25 + 26 + 25 + 24 + 24 + 25}{10} = 24,9;$$

$$f_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{0i}}{n} = \frac{0,55 + 0,57 + 0,57 + 0,57 + 0,55 + 0,55 + 0,57 + 0,55 + 0,6 + 0,6}{10} = 0,57;$$

$$f_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} = \frac{0,46 + 0,44 + 0,46 + 0,48 + 0,46 + 0,48 + 0,46 + 0,44 + 0,44 + 0,46}{10} = 0,46;$$

б) для вологої гірчиці

$$\varphi_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_{0i}}{n} = \frac{33 + 32 + 34 + 33 + 32 + 35 + 34 + 33 + 33 + 32}{10} = 33,1;$$

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} = \frac{30 + 29 + 27 + 28 + 27 + 27 + 28 + 27 + 26 + 27}{10} = 27,6;$$

$$f_{0cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{0i}}{n} = \frac{0,64 + 0,62 + 0,67 + 0,64 + 0,62 + 0,7 + 0,67 + 0,64 + 0,64 + 0,62}{10} = 0,65;$$

$$f_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{n} =$$

$$= \frac{0,57 + 0,55 + 0,5 + 0,53 + 0,5 + 0,5 + 0,53 + 0,5 + 0,48 + 0,5}{10} = 0,52,$$

де i – номер повторюваності;

n – число повторюваностей;

φ_{0cp} , φ_{cp} , f_{0cp} , f_{cp} – середнє значення величин φ_0 , φ_{cp} , f_0 , f .

Для кожного дослїду обчислюємо статистичне середнє квадратичне вїдхилення вїд середнього значення коефіцієнта тертя:

а) для висушеної гїрчиці

$$\sigma_{c0} = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{0cp} - f_{0i})^2}{n-1}} =$$

$$= \pm \sqrt{\frac{4 \cdot (0,57 - 0,55)^2 + 4 \cdot (0,57 - 0,57)^2 + 2 \cdot (0,57 - 0,6)^2}{10-1}} = \pm 0,019;$$

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{cp} - f_i)^2}{n-1}} =$$

$$= \pm \sqrt{\frac{5 \cdot (0,46 - 0,46)^2 + 3 \cdot (0,46 - 0,44)^2 + 2 \cdot (0,46 - 0,48)^2}{10-1}} = \pm 0,016;$$

б) для вологої гїрчиці

$$\sigma_{c0} = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{0cp} - f_{0i})^2}{n-1}} =$$

$$= \pm \sqrt{\frac{4 \cdot (0,65 - 0,64)^2 + 3 \cdot (0,65 - 0,62)^2 + 2 \cdot (0,65 - 0,67)^2 + (0,65 - 0,7)^2}{10-1}} = \pm 0,026;$$

$$\sigma_c = \pm \sqrt{\frac{\sum (f_{cp} - f_i)^2}{n-1}} =$$

$$= \pm \sqrt{\frac{(0,52 - 0,57)^2 + (0,52 - 0,55)^2 + 6 \cdot (0,52 - 0,5)^2 + 2 \cdot (0,52 - 0,53)^2}{10 - 1}} = \pm 0,028;$$

де σ_{c0} і σ_c – статистичне середнє квадратичне відхилення від середніх значень коефіцієнтів тертя спокою і ковзання.

Визначаємо коефіцієнти варіації:

а) для висушеної гірчиці

$$V_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp}} \cdot 100\% = \frac{0,019}{0,57} \cdot 100\% = 3,3\%;$$

$$V = \frac{\sigma_c}{f_{cp}} \cdot 100\% = \frac{0,016}{0,46} \cdot 100\% = 3,5\%;$$

б) для вологої гірчиці

$$V_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp}} \cdot 100\% = \frac{0,026}{0,65} \cdot 100\% = 4\%;$$

$$V = \frac{\sigma_c}{f_{cp}} \cdot 100\% = \frac{0,028}{0,52} \cdot 100\% = 5,3\%,$$

де V_0 і V – коефіцієнти варіації коефіцієнтів тертя спокою і ковзання.

Знаходимо статистичні помилки дослідів:

а) для висушеної гірчиці

$$\nu_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp} \sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,019}{0,57 \sqrt{10}} \cdot 100\% = 1,05\%;$$

$$\nu = \frac{\sigma_c}{f_{cp} \sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,016}{0,46 \sqrt{10}} \cdot 100\% = 2\%;$$

б) для вологої гірчиці

$$\nu_0 = \frac{\sigma_{c0}}{f_{0cp} \sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,026}{0,65 \sqrt{10}} \cdot 100\% = 1,26\%;$$

$$\nu = \frac{\sigma_c}{f_{cp} \sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0,028}{0,52 \sqrt{10}} \cdot 100\% = 1,7\%,$$

де ν_0 і ν – статистичні помилки при визначенні коефіцієнтів тертя спокою і ковзання.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнти тертя висушеного та вологого насіння гірчиці

Вид матеріалу	Дані по тертю спокою					Дані по тертю ковзання				
	φ_{0cp} , град	f_{0cp}	σ_{c0}	V_0 , %	ν_0 , %	φ_{cp} , град	f_{cp}	σ_c	V , %	ν , %
Висушений	29,8	0,57	$\pm 0,019$	3,3	1,05	24,9	0,46	$\pm 0,016$	3,5	2
Вологий	33,1	0,65	$\pm 0,026$	4	1,26	27,6	0,52	$\pm 0,028$	5,3	1,7

3.2.4 Результати проведення багатфакторного експерименту з визначення швидкості руху сушильного агента

Для проведення експерименту спочатку закодуємо фактори для переведення натуральних значень факторів у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту. Кодовані і натуральні значення факторів пов'язані залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.26)$$

де x_i , X_i – відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} – натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Результати кодування факторів наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Початкова вологість насіння, %	X_1	x_1	4	20	12	16	+1	-1	0
Висота шару матеріалу, м	X_2	x_2	0,015	0,045	0,015	0,030	+1	-1	0

Після кодування факторів складемо план-матрицю експерименту (табл. 3.7)

Таблиця 3.7 – План-матриця експерименту

Номер досліджу	Значення кодованих факторів		Взаємодія кодованих факторів x_1x_2
	x_1	x_2	
1	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1
3	-1	+1	-1
4	+1	+1	+1

Проводимо рандомізацію дослідів з метою встановлення послідовності їх проведення, щоб виключити вплив проявів невідомих факторів. Нехай встановили наступну послідовність проведення дослідів 2, 3, 1, 4. Оскільки досліди будемо проводити у трьох повторностях, тоді для другої та третьої повторюваності порядок проведення дослідів: 2, 1, 3, 4 та 3, 2, 4, 1.

При проведенні дослідів одержані дані (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Показники, що характеризують швидкість руху
сушильного агента в сушарці

Номер дослідів	x_1	x_2	x_1x_2	Вихідний параметр y , м/с			Середнє арифметичне вихідного параметра $\bar{y}_u$, м/с
				Повторюваність			
				I y_{u1}	II y_{u2}	III y_{u3}	
1	-1	-1	+1	1,1	1,1	1,2	1,13
2	+1	-1	-1	0,9	0,8	0,9	0,86
3	-1	+1	-1	0,7	0,6	0,7	0,66
4	+1	+1	+1	0,6	0,6	0,7	0,63

Перевірка відтворюваності дослідів проводиться за критерієм Кохрена, табличне значення якого $G_m(0,05; n; f_u)$ вибирається з таблиць. Тут 0,05 – означає 5% рівень значущості; n – число дослідів; $f_u = m_0 - 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки, де m_0 – число повторюваностей. Умова відтворюваності дослідів:

$$G \leq G_m. \quad (3.27)$$

Тут

$$G = \bar{S}_{u \max}^2 / (\sum_{u=1}^n \bar{S}_u^2), \quad (3.28)$$

де $\bar{S}_u^2$ – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів в u -му досліді;

$\bar{S}_{u \max}^2$ – найбільша із дисперсій.

$$\bar{S}_u^2 = \frac{1}{m_0 - 1} \sum_{l=1}^{m_0} (y_{ul} - \bar{y}_u)^2, \quad (3.29)$$

де l – номер повторюваності;

y_{ul} – вихідний параметр при l повторюваності.

Дисперсія відтворюваності:

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{S}_u^2. \quad (3.30)$$

Оскільки $m_0 = 3$, а $n = 4$, тоді:

$$\bar{S}_{u1}^2 = \frac{1}{3-1}[(1,1-1,13)^2 + (1,1-1,13)^2 + (1,2-1,13)^2] = 0,00333 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$\bar{S}_{u2}^2 = \frac{1}{3-1}[(0,9-0,86)^2 + (0,8-0,86)^2 + (0,9-0,86)^2] = 0,00333 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$\bar{S}_{u3}^2 = \frac{1}{3-1}[(0,7-0,66)^2 + (0,6-0,66)^2 + (0,7-0,66)^2] = 0,00333 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$\bar{S}_{u4}^2 = \frac{1}{3-1}[(0,6-0,63)^2 + (0,6-0,63)^2 + (0,7-0,63)^2] = 0,00333 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$S_y^2 = \frac{1}{4}(0,00333 + 0,00333 + 0,00333 + 0,00333) = 0,00333 \text{ м}^2/\text{с}^2;$$

$$G = \frac{0,00333}{0,00333 + 0,00333 + 0,00333 + 0,00333} = 0,25.$$

Табличне значення критерію Кохрена при $n=4$; $f_u=2$ буде 0,77. Процес відтворюється, оскільки $G=0,25 < G_m(0,05; n; f_u)=0,77$.

Визначимо коефіцієнти рівняння регресії:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n \bar{y}_u = \frac{1,13 + 0,86 + 0,66 + 0,63}{4} = 0,82.$$

$$b_i = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} \bar{y}_u; b_1 = \frac{(-1)1,13 + (+1)0,86 + (-1)0,66 + (+1)0,63}{4} = -0,07;$$

$$b_2 = \frac{(-1)1,13 + (-1)0,86 + (+1)0,66 + (+1)0,63}{4} = -0,17.$$

$$b_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u; b_{12} = \frac{(+1)1,13 + (-1)0,86 + (-1)0,66 + (+1)0,63}{4} = 0,06.$$

Рівняння регресії буде мати вигляд: $y = 0,82 - 0,07x_1 - 0,17x_2 + 0,06x_1x_2$.

Проведемо перевірку рівняння регресії на адекватність $y = 0,82 - 0,07x_1 - 0,17x_2$ за допомогою критерію Фішера F . Адекватність матиме місце, коли виконується нерівність:

$$F = S_{ad}^2 / S_y^2 < F_m(0,05; f_{ad}; f_y), \quad (3.31)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

f_{ad} – число ступенів вільності дисперсії адекватності,

$$f_{ad} = n - k - 1 = 4 - 2 - 1 = 1 (k - \text{число факторів});$$

f_y – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності,

$$f_y = n(m_0 - 1) = 4(3 - 1) = 8.$$

Дисперсія адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{n - k - 1} \sum_{u=1}^n (y - \bar{y}_u)^2. \quad (3.32)$$

де y – розрахункове значення відгуку в i -му досліді лінійної частини рівняння:

$$y_1 = 0,82 - 0,07(-1) - 0,17(-1) = 1,06;$$

$$y_2 = 0,82 - 0,07(+1) - 0,17(-1) = 0,92;$$

$$y_3 = 0,82 - 0,07(-1) - 0,17(+1) = 0,72;$$

$$y_4 = 0,82 - 0,07(+1) - 0,17(+1) = 0,58.$$

Тоді

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{4 - 2 - 1} [(1,06 - 1,13)^2 + (0,92 - 0,86)^2 + (0,72 - 0,66)^2 + (0,58 - 0,63)^2] = 0,0146.$$

Критерій Фішера $F = \frac{0,0146}{0,00333} = 4,4$. Таким чином, модель адекватна, оскільки

$$F = 4,4 < F_m(0,05; 1; 8) = 5,318.$$

Значення F_m визначається з таблиць.

Оцінимо значущість коефіцієнтів регресії за допомогою критерію Стюдента.

Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність:

$$|b_a| \geq \Delta b_a = t(0,05; f_y) \cdot \frac{S_y}{\sqrt{n}} = 2,3 \frac{\sqrt{0,00333}}{\sqrt{4}} = 0,06,$$

де b_a – коефіцієнти b_0, b_i, b_{ij} ;

Δb_a – довірча границя;

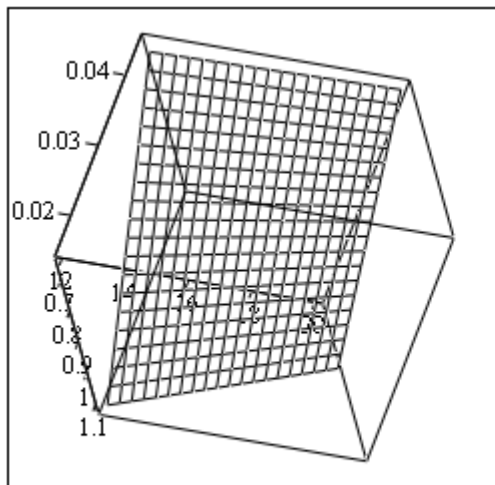
$t(0,05; f_y)$ – критерій Стюдента при 5% рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_y=8$ ($t=2,3$ згідно таблиць).

Оскільки $b_0=0,82$; $b_1=-0,07$; $b_2=-0,17$; $b_{12}=0,06$, тоді всі одержані в рівнянні коефіцієнти значущі. Тобто одержане рівняння добре описує явище. Знак при коефіцієнті регресії характеризує вплив фактора: “+” – збільшує, а “–” – зменшує величину відгуку.

Переходимо від рівняння з кодованими факторами до натурального вигляду:

$$y = 1,92 - 0,047W - 4,7h + Wh.$$

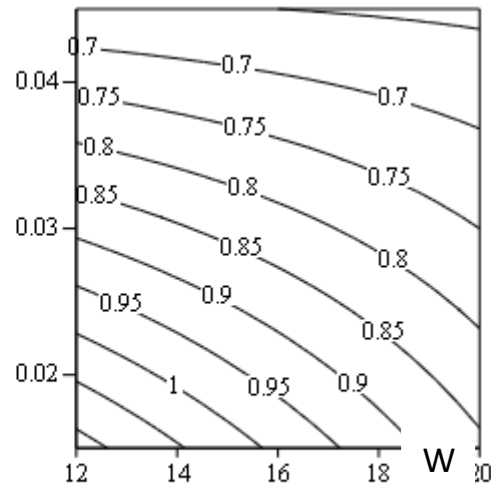
Будуємо поверхню відгуку та проекції двовірних січень поверхні відгуку на площину Wh у середовищі MathCad:



К

а

h



К

б

Рисунок 3.7 – Поверхня відгуку (а) та проекції двовірних січень поверхні відгуку на площину Wh (б)

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Заходи з охорони праці під час експлуатації сушарки насіння

Безпечна робота сушильних комплексів забезпечується при виконанні наступних правил [32].

Вимоги безпеки під час експлуатації електрообладнання сушарки повинні відповідати вимогам “Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів” і “Правил будови електроустановок”. У випадку виникнення пожежі або ситуаціях, що загрожують здоров’ю та життю людей, треба вимкнути шафу управління, зупинити сушарку, а при необхідності надати допомогу людям, викликати швидку допомогу й пожежну команду.

До роботи слід допускати осіб не молодших 18 років, які пройшли інструктаж з техніки безпеки й вивчили будову сушильного комплексу та рекомендації з його експлуатації. Відповідальність за стан техніки безпеки у процесі роботи на об’єкті несе механік; за монтаж, наладку, технічне і технологічне забезпечення, наявність індивідуальних засобів захисту і протипожежної техніки – посадова особа інженерної служби господарства (установи).

В зоні роботи сушильного комплексу (але не далше 10 м) повинні бути встановлені бочка з водою, відра, вогнегасник, ящики з піском, пожежний реманент (лопати, багри). Недопустимо утрудняти доступ до реманенту й використовувати його не за призначенням. Забороняється працювати на обладнанні без огороження обертових частин; усувати пошкодження, здійснювати очистку машин, змащувати і регулювати слід тільки при вимкнених механізмах. На головний рубильник треба повісити табличку “Не вмикати, працюють люди”.

Очистка транспортерів руками категорично забороняється, оскільки під вагою насіння транспортер може дати зворотній хід. Таку роботу необхідно виконувати спеціальним скребком.

За умови виявлення пошкоджень електроприводів, заземлення, системи управління, силової чи освітлювальної сітки роботу треба зупинити, вимкнути електроживлення й викликати електромеханіка. Не рідше, ніж раз на тиждень, треба очищати від пилу й бруду секції із встановленими витяжними вентиляторами.

Для запобігання займанню насіння в сушарці, необхідно слідкувати за відсутністю накопичень насіння у барабані й температурою теплоносія, не допускати роботу сушарок при несправних регуляторах температури. Вміст соломистих домішок в насінні не повинен перевищувати 1% при довжині соломи не більше 50 мм. Показником нормального стану сушильного барабана є однаковий і рівномірний потік зерна із випускного пристрою. Забороняється залишати працюючий комплекс без нагляду.

Сушарка повинна бути забезпечена водозабірною колонкою і мотопомпою з рукавами необхідної довжини. Допускається чергування пожежного автомобіля-цистерни. Працювати слід у спеціальному одязі (комбінезоні). Заборонено працювати в одязі з довгим подолом, широкими рукавами, у фартухах. Присутність у зоні дії сушарки (до 25 м) осіб, що не приймають участі в роботі, категорично заборонено. Із завершенням робіт, все електрообладнання слід відімкнути від електросітки.

На робочому місці оператора треба мати: запас запобіжників, освітлювальних та сигнальних ламп; набір слюсарного інструменту; показчик напруги; комплект індивідуальних захисних засобів (респіратор, монтажний пояс); аптечку; ключі від шаф управління, розподільчої шафи силової електросітки; табличку з інструкцією по правилах експлуатації й техніці безпеки.

Для запобігання пожежі необхідно знати, що вона може виникнути від: займання насіння; короткого замикання в електрообладнанні; перегріву підшипникових вузлів; займання пилу в неочищених повітропроводах.

У випадку займання насіння в барабані сушарки, що визначається за запахом і димом, необхідно зразу ж зупинити вентилятори, щільно закрити всі засувки і жалюзі, зупинити завантажувальний та вивантажувальний механізми. Якщо ж насіння продовжує тліти, треба розвантажити сушарку, а вивантажене насіння забрати на відкрите місце, де його, за необхідністю, можна загасити водою. Розвантажену сушарку треба очистити від підгорілого насіння.

При неправильному використанні сушарки не виключена можливість виникнення небезпеки. Заборонено експлуатувати сушарку, якщо зерно сильно забруднене й надмірно вологе; не можна використовувати повітронагнітач без сушарки і без вентилятора. Заповнену насінням сушарку не можна заливати водою. Забезпечення пожежної безпеки при експлуатації сушарки повинно відповідати ППБ 201-94.

4.2 Моделювання процесів виникнення травм під час виконання робіт на сушарці

За умов функціонування систем «людина-машина» з різних причин виникають небезпечні ситуації. Тому великого значення набуває вміння оцінити характер їх можливих наслідків з точки зору розробки ефективних заходів щодо попередження аварійності та травматизму.

Умови, за яких існує навіть малоймовірна можливість впливу на людину небезпечного фактора, можна назвати небезпечними умовами (НУ), а дії людини, що не відповідають науково обґрунтованим нормам професійної поведінки, – небезпечними діями (НД).

Здійснюючи небезпечні дії, оператор може перебувати в обставинах: мети, часу, місця, причин та способу дії. Випадкове співпадання (поєднання) в певний момент часу небезпечних умов та небезпечних обставин (НО) створює реальну можливість виникнення нової випадкової події – небезпечної ситуації (НС). За небезпечною ситуацією з певним ступенем ймовірності виникають наслідки – сприятливий наслідок (СН), аварія (А) або травма (Т).

Небезпечна ситуація виникає в потоці випадкових статистично залежних або незалежних випадкових подій, причому таким чином, що на початку цього потоку знаходиться небезпечна умова НУ або небезпечна дія НД, або їх поєднання. В цьому випадку можна точно визначити ту початкову подію, з якої розпочинається потік наступних випадкових подій і закінчується небажаними наслідками. Припинення такого потоку можливе шляхом усунення початкової події, яка і є причиною виникнення всіх подальших подій. Аналіз взаємозв'язків між випадковими подіями, що формують небезпечну ситуацію, дозволяє визначити пріоритет такої випадкової події.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища, як травми, аварії та катастрофи мають дуже близькі механізми формування та виникнення, то вони можуть описуватись паралельно.

У процесі вивчення небезпечних умов було помічено, що при їх збіганні (поєднанні) з обставинами, в які потрапляє працюючий після допущених небезпечних дій, виникає реальна загроза травмування, яку назвемо небезпечною ситуацією.

Існуюча небезпечна умова (або така, що може виникнути) (НУ) може спонукати працюючого до допущення ним помилок у процесі роботи або інших небезпечних дій (НД), внаслідок чого виникне небезпечна ситуація (НС). При цьому блок-схема процесу формування та виникнення небезпечних ситуацій під час роботи на сушарці має вигляд:

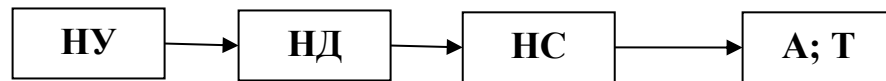


Рисунок 4.1 – Блок-схема процесу формування та виникнення небезпечних ситуацій під час роботи на сушарці

За такою схемою небезпечні події можуть траплятися у тих випадках, коли небезпечною умовою є конструктивний недолік машини або іншого виробничого обладнання.

Зупинка робочих органів машини (НУ) призведе до втручання людини в її роботу з метою його усунення. При цьому можуть бути порушені певні вимоги безпеки з обладнанням. Такі дії є небезпечними (НД), хоч виникли вони саме через конструктивні недоліки. У таких випадках небезпечна умова може бути ліквідована не шляхом навчання людини правилам безпеки, а розробкою і встановленням спеціального механізму для самоочищення робочих органів – різних дозаторів, норій, транспортерів тощо.

В умовах виробництва можливі такі випадки, коли одна допущена помилка працюючого (оператора) може потребувати вжиття швидких заходів (швидких дій), а якщо знову буде допущена помилка, це призведе до виникнення небезпечної ситуації і травми.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

Економічна ефективність барабанної сушарки визначалась у порівнянні із сушаркою СЗСБ-8А, яку прийнято за базову. Розрахунок економічної ефективності проводився згідно із методикою [34].

Згідно методики, економічна ефективність застосування нової сушарки повинна бути відображена такими основними показниками базової і нової машин: повна собівартість виконуваних робіт; експлуатаційні витрати на утримання; питомі капіталовкладення у сфері експлуатації; питома матеріаломісткість; річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при використанні нової сушарки.

Виходячи з експлуатаційних показників роботи базового і нового варіанту сушарки, нормативно-довідкових даних, цін на техніку, паливно-мастильні матеріали та інше, формувалася таблиця вихідних даних (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показник	Одиниця виміру	Машина	
		Базова	Нова
1	2	3	4
Продуктивність сушарки	кг/год.	6700	8800
Тривалість роботи сушарки протягом року	днів	270	270
Чисельність обслуговуючого персоналу	людей	2	2
Маса сушарки в зборі	кг	8300	4800
Чиста маса сушарки без покупних частин	кг	6400	3300
Відпускна ціна сушарки	грн.	210000	-
Собівартість сушарки	грн.	130000	-
Вартість матеріалів у собівартості сушарки	грн.	50000	-
Потужність на привод сушарки	кВт	95	96,5

Продовження таблиці 5.1

Вартість електроенергії	грн./кВт-год.)	0,44	0,44
Коефіцієнт відрахувань на додаткову заробітну плату	%	20	20
Коефіцієнт відрахувань на соціальні потреби	%	37,84	37,84
Вартість покупних виробів нової сушарки	грн.	-	2000
Коефіцієнт конструктивної складності	-	-	1,2
Коефіцієнт зміни, залежно від обсягу випуску	-	-	1,1
Коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат	-	-	1,1
Норматив витрат праці на підготовку сушарки до зберігання	люд.-год.	5	5
Годинна тарифна ставка слюсаря	грн.-год.	11	11
Годинна тарифна ставка працівника	грн.-год.	15	15
Витрати на матеріали, що використовуються при експлуатації сушарки	грн.	13,02	12,31
Норматив галузевої рентабельності	%	25	25
Податок на додану вартість	%	20	20
Торгівельна націнка посередницької організації	%	20	20
Нормативний коефіцієнт відрахувань на реновацію	%	14,2	14,2

Отримані результати розрахунку (табл. 5.2) вказують на доцільність використання нової сушарки, яка дає річну економію грошових засобів на експлуатаційних витратах 47700 грн. Це було досягнуто за рахунок збільшення висоти шару матеріалу, через який проходить сушильний агент, що забезпечує більш раціональне використання енергетичного потенціалу сушильного агента. Всі

процеси у барабанній сушарці механізовані та автоматизовані, що також призводить до економії грошових коштів.

Таблиця 5.2 – Показники економічної ефективності
барабанної сушарки

Показник	Одиниця виміру	Машина		Різниця ($\pm$)
		Базова	Нова	
Продуктивність машини	кг/год.	6700	8800	+2100
Річний обсяг робіт	т/рік	43420	57020	+13600
Чисельність обслуговуючого персоналу	чол.	2	2	-
Затрати праці на процес	люд.-год./кг	$2,98 \times 10^{-4}$	$2,27 \times 10^{-4}$	$-0,71 \times 10^{-4}$
Річна економія затрат праці при застосуванні нової сушарки	люд.-год.	-	969,3	-
Собівартість робіт	грн./кг	0,015	0,011	-0,004
Експлуатаційні витрати на сушарку	грн./кг	0,014	0,011	-0,003
Річна економія грошових засобів на експлуатаційних витратах при застосуванні нової сушарки	грн.	-	$4,77 \times 10^4$	-
Питомі капіталовкладення в сфері експлуатації сушарки	грн./кг	$4,83 \times 10^{-3}$	$2,55 \times 10^{-3}$	$-2,28 \times 10^{-3}$
Питома металомісткість технологічного процесу сушарки	кг/кг	$1,91 \times 10^{-4}$	$8,41 \times 10^{-5}$	$-1,06 \times 10^{-4}$
Термін окупності	роки	-	3,06	-

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень можна зробити наступні висновки.

Запропонована удосконалена конструкція барабанної сушарки та теоретично отримана залежність швидкості повітряного потоку від висоти та структурних характеристик шару насіння гірчиці, адекватність якої підтверджена результатами експериментальних досліджень. Також отримано залежності для визначення кута підйому насінини поличкою та обґрунтування технологічних параметрів сушарки. За результатами теплового розрахунку сушарки було отримано наступні параметри процесу сушіння гірчиці: температура сушильного агента 50-70° С; швидкість агента – 0,5-1,1 м/с; висота шару насіння 2-5 см.

За результатами експериментальних досліджень сушіння насіння гірчиці за принципом протитечії встановлено, що тривалість сушіння шару висотою 2-5 см складає 50-70 с. В результаті проведення двофакторного експерименту отримано рівняння регресії, що дозволяє встановити вплив висоти шару та вологості насіння гірчиці на швидкість повітряного потоку, що проходить через шар матеріалу.

Розроблені заходи охорони праці сприяють високопродуктивному процесу сушіння насіння гірчиці й гарантують безпечні умови життєдіяльності обслуговуючого персоналу.

Розрахунок економічної ефективності удосконаленої барабанної сушарки насіння гірчиці свідчить про доцільність впровадження сушарки. Розрахунковий річний економічний ефект від застосування сушарки становить 47,7 тис. грн, а термін її окупності – 3,06 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Масличные и эфиромасличные культуры. Под ред. Г.А. Сарнецкого. К.: Урожай, 1983. 152 с.
2. Баум А.Е., Резчиков В.А. Сушка зерна. М.: Колос, 1983. 223 с.
3. Попов С.А., Шеврыгин П.М. Организация заготовок и хранения масличных культур. М.: Колос, 1974. 175 с.
4. Носенко Ю. Гірчиця. Агробізнес сьогодні. 2008. №19(146). С. 34–37.
5. Лихочвор В.В. Рослинництво. Технології вирощування сільськогосподарських культур. Львів : НВФ «Українські технології», 2002. 800 с.
6. Архипенко Ф.М., Слюсар С.М., Оксимець О.Л. Гірчиця біла – культура широкого діапазону використання. Агроном. 2006. №3. С.26–28.
7. Поляков О., Журавель В. Перспективи вирощування гірчиці. Пропозиція. 2009. №2.
8. Кліщенко С. Гірчиця та технологія її вирощування. Агроексперт. 2009. №1(6). С.14–16.
9. Рожкован В., Чехов С., Буділка Г. Сарептська озима гірчиця – нова перспективна культура. Пропозиція. 2006. №7(133). С.58–60.
10. Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А. Рослинництво. К.: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
11. Чехов А., Жернова Н. Гірчиця біла: сьогодення та технологія вирощування. Пропозиція. 2005. №11.
12. Утеуш Ю.А. Новые перспективные культуры. К.: Научная думка, 1991.
13. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. Киев : УААН, 1994.
14. Хайліс Г.А., Коновалюк Д.М. Розрахунок робочих органів збиральних машин. К.: НМК ВО, 1991. 199 с.
15. Суметов В.А. Сушка и увлажнение лубоволокнистых материалов. М.:

16. Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей. Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2008. Вип. 17. 178 с.
17. Лехман С.Д., Рубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ : Урожай, 1993. 272 с.
18. Купчик М.П., Гандзюк М.П., Степанець І.Ф. та ін. Основи охорони праці. Київ : Основа, 2000. 416 с.
19. Практикум з охорони праці: навчальний посібник. Жидацький В.Ц., Джигерей В.С., Сторожук В.М. та ін.; За ред. Житецького В.Ц. Львів : Афіша, 2000. 352 с.