

Луцький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет аграрних технологій та екології
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку з удосконаленням конусоподібної камери сушіння»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Ковальчук А.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Забродоцька Л.Ю.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2025

**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса

доцент, к.т.н. _____ С.М. Хомич
«01» липня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ**

Ковальчуку Андрію Руслановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку з
удосконаленням конусоподібної камери сушіння

керівник роботи Забродоцька Людмила Юріївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «01» липня 2025 р. № 459/01-07

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С.Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	01.07. – 16.07.2025 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	20.08 – 31.08.2025 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2025 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2025 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2025 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2025 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2025 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2025 р.	
10	Нормоконтроль	до 04.12.2025 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	04.12.– 14.12.2025 р.	

Студент

_____ (підпис)

Ковальчук А.Р.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Забродоцька Л.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Хомич С.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ковальчук А.Р. Дослідження процесу сушіння насіння ріпаку з удосконаленням конусоподібної камери сушіння. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, перелік джерел посилань, додатків.

У кваліфікаційній роботі розглянуто важливі аспекти та запропоновано рішення науково-прикладної проблеми, яка полягає у формуванні енергозберігаючих режимів сушіння насіння ріпаку. Центральним завданням є розробка способів оптимізації технологічного процесу, спрямованого на підвищення ефективності обладнання, що використовується для сушіння, та забезпечення його більш раціонального функціонування. Досягнення цієї мети стає можливим завдяки впровадженню вдосконалених конусоподібних сушильних камер, які сприяють оптимізації теплових і технологічних параметрів, покращуючи загальну продуктивність сушильної техніки.

Це дослідження знаходить своє практичне застосування в рослинництві, зокрема у вирощуванні ріпаку. Використання запропонованої технології та вдосконаленої конструкції сушарки дає змогу максимально ефективно реалізувати потенціал агенту сушіння в умовах фермерських господарств.

Ключові слова: процес сушіння, сушильна камера, сушильний агент, вологість, ріпак.

ABSTRACT

Kovalchuk A.R. Investigation of the process of drying rapeseed with improvement of the conical drying chamber.

Master's Degree Qualifying Research Paper in Programme Subject Area 0888 Inter-disciplinary programs and qualifications involving agriculture, forestry, fisheries, and veterinary under Agricultural Engineering Educational Program. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The master's qualification work includes an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of reference sources, and appendices.

The qualification paper considered important aspects and proposed a solution to the scientific and applied problem, which consists of the formation of energy-saving modes of drying rapeseed. The central task is to develop methods for optimizing the technological process, aiming to increase the efficiency of the equipment used for drying and ensure its more rational operation. Achieving this goal becomes possible thanks to the introduction of improved cone-shaped drying chambers, which contribute to the optimization of thermal and technological parameters, improving the overall productivity of drying equipment.

This research finds its practical application in crop production, in particular in the cultivation of rapeseed. The use of the proposed technology and the improved design of the dryer makes it possible to realize the potential of the drying agent in farm conditions as efficiently as possible.

Key words: drying process, drying chamber, drying agent, humidity, rapeseed.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
АНОТАЦІЯ.....	3
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Особливості технології вирощування ріпаку.....	9
1.2 Збирання та зберігання ріпаку.....	18
Висновки до розділу.....	21
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ РІПАКУ.....	23
2.1 Основи теорії сушіння насіннєвих сільськогосподарських матеріалів... ..	23
2.2 Пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння ріпаку	29
Висновки до розділу.....	34
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	35
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	35
3.2 Лабораторне обладнання, прилади і апаратура.....	35
3.3 Методика визначення вологості насіння ріпаку.....	38
3.4 Методика визначення енергії проростання та схожості насіння ріпаку... ..	40
Висновки до розділу.....	42
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	43
4.1 Визначення вологості насіння ріпаку.....	43
4.2 Дослідження кінетики сушіння насінного ріпаку у товстому шарі.....	45
4.3 Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку.....	51
Висновки до розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

ВСТУП

Ріпак є однією з найважливіших технічних культур, яка має значне народногосподарське значення. Зростаючий інтерес до цієї культури пояснюється її відмінною адаптацією до помірного клімату, високою врожайністю сучасних сортів, прогресивними методами вирощування, а також зростаючим попитом на рослинні олії та високобілкові корми.

Ріпак існує у двох варіантах: озимий і ярий. Цю культуру вирощують як олійну та кормову. У озимих сортів ріпаку вміст олії в насінні досягає 50%, тоді як у ярих – 43%, білків – 23%. Ріпакова олія широко використовується в харчовій промисловості, а також знаходить застосування в металургії, лакофарбовій промисловості та інших галузях. Після переробки насіння безерукових сортів на олію залишаються макухи та шроти, які є цінним джерелом високобілкового корму для сільськогосподарських тварин.

Ріпак є високопродуктивною кормовою культурою, що вирізняється високим вмістом протеїну, вітамінів та мінеральних речовин у зеленій масі. Він відіграє важливу роль як попередник у сівозміні. Озимий ріпак рано звільняє поле, покращує його структуру, сприяє поліпшенню фітосанітарного стану ґрунту, знижує рівень засміченості і сприяє збільшенню кількості органічної речовини. Це позитивно впливає на урожайність наступних культур, особливо зернових. Окрім того, ріпак має значну цінність як медоносна рослина. Його економічне значення помітно зросло наприкінці ХХ століття, коли почали використовувати для виробництва біодизельного палива.

Актуальність дослідження. Післязбиральна обробка насінневого ріпаку, зокрема процес сушіння, характеризується високим рівнем енерговитрат. Оптимізувати витрати енергії можна завдяки ефективному використанню потенціалу сушильного агенту. Для вирішення цієї задачі необхідно розробити модернізовану конструкцію сушарки для дисперсних матеріалів на зразок ріпаку. Зміна геометрії сушильної камери дозволяє значно підвищити ефективність

процесу сушіння. Подібні дослідження мають важливе значення і є актуальними на сучасному етапі.

Метою роботи є підвищення ефективності технологічного процесу сушіння насіння ріпаку шляхом розробки та обґрунтування конусоподібної геометричної форми сушильної камери, яка враховує і компенсує зміни параметрів сушильного агента залежно від висоти шару зернового матеріалу.

Для досягнення поставленої мети слід виконати такі завдання:

- проаналізувати насіння технічних культур, зокрема ріпаку, як об'єкт обробки, враховуючи його властивості як капілярнопористого-колоїдного тіла, яке піддається процесу конвективного сушіння;

- визначити та дослідити найбільш відомі технології вирощування ріпаку, його збору й зберігання, окреслити сильні сторони сучасних методів, а також виявити їхні недоліки;

- теоретично обґрунтувати методику розрахунку процесу сушіння ріпаку, а також здійснити пошук можливостей для підвищення енергоефективності цього процесу в цілому;

- дослідити фізико-механічні властивості насіння ріпаку в умовах конвективного сушіння експериментальним шляхом;

- дослідити процес кінетики сушіння насіння ріпаку, спираючись на наявне обладнання, а також з використанням відомих наукових досліджень і сучасних технологій;

- розробка вдосконаленої технології сушіння насіння ріпаку, що базується на використанні сушильної камери конусоподібної форми.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес і технічне обладнання для сушіння ріпаку.

Предмет дослідження. Технологічна схема сушарки з конусоподібною сушильною камерою та особливості руху сушильного агента крізь шар матеріалу у цій сушарці.

Методи та способи вирішення задачі. Теоретичні дослідження здійснювалися із залученням теорії сушіння, механіки та методів математичної

статистики. Розрахунки виконувались за допомогою програм MathCad та Microsoft Excel. Експериментальні дослідження проводилися із застосуванням стандартного та спеціально створеного вимірювального обладнання, а також за допомогою як загальноприйнятих, так і спеціально розроблених методик.

Наукова новизна одержаних результатів.

- відомі методи сушіння насіння ріпаку були вдосконалені, забезпечивши більш ефективне використання потенціалу сушильного агенту;
- експериментальні дослідження процесу сушіння насіння ріпаку в елементарному та товстому шарі отримали подальший розвиток, що дозволило визначити оптимальну конструкцію камери для сушіння;
- розроблено систему вдосконалених технічних рішень та визначено конструктивно-технологічні параметри конусної сушарки, призначеної для сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур, зокрема ріпаку.

Практичне значення одержаних результатів. На основі теоретичних і експериментальних досліджень була розроблена технологія енергоефективного сушіння дисперсних сільськогосподарських матеріалів, а також запропоновано конструкцію сушарки з конусоподібною камерою сушіння. Результати досліджень можуть бути практично застосовані для вдосконалення обладнання, що використовується при післязбиральній обробці насіння технічних сільськогосподарських культур у фермерських господарствах та агрокомплексах.

Апробація роботи. Основні результати проведених досліджень були представлені та обговорені на IV студентській конференції «Сучасні технології в агровиробництві та природокористуванні», організованій факультетом аграрних технологій та екології Луцького національного технічного університету у 2024 році.

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна магістерська робота включає вступ, чотири розділи, висновки, перелік використаних джерел із 13 найменувань та два додатки. Основна частина обсягом 57 сторінки містить 20 рисунків і 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Особливості технології вирощування ріпаку

Ріпак вважається однією з найперспективніших олійних культур у світовому виробництві рослинної олії. Обсяг його виробництва сягає близько 43 мільйонів тонн, що становить 12-14% загального показника основних олійних культур. Ця культура має вагомe значення не лише як джерело харчової олії, а й як сировина для виготовлення різноманітних технічних продуктів, зокрема метилових та етилових ефірів жирних кислот ріпакової олії, які відомі як біопаливо. Розширення виробництва ріпаку сприяє вирішенню продовольчих викликів і одночасно забезпечує тваринництво цінними кормовими ресурсами.

Ріпак (*Brassica napus olifera* Metzg) належить до родини хрестоцвітих (*Brassicaceae*, *Cruciferae*). Як сільськогосподарська культура, ріпак вирощується вже понад шість тисяч років. Однак питання щодо його походження досі залишається відкритим і викликає наукові дискусії. Деякі дослідники вважають, що ріпак виник у Європі, зокрема в північно-західних прибережних регіонах, таких як Велика Британія, Швеція чи Нідерланди. Інша точка зору стверджує, що його батьківщиною є Середземноморський регіон. У свою чергу, частина вчених схиляється до того, що ріпак походить з території Індії.

Ріпак у Європі почали знати ще у XIII столітті, але його культивування розпочалася лише наприкінці XVII століття. Спершу його вирощували в Бельгії та Нідерландах, згодом у Німеччині, Швеції, Швейцарії та Польщі.

Популяризацію вирощування ріпаку зумовило те, що він виступає не лише цінним джерелом рослинної олії, але й універсальною кормовою культурою, яка є одним із головних постачальників білка для кормів. За своїми поживними властивостями та якостями для годівлі ріпак значно переважає чимало інших сільськогосподарських рослин.

Для корму тварин можна застосовувати ріпакову зелену масу, силос, приготований з цієї сировини, насіння ріпаку, а також відходи його переробки, зокрема макуху та шрот.

Насіння ріпаку вирізняється найвищою енергетичною цінністю, оскільки містить 40-48% жиру та 21-31% сирого протеїну, при цьому коефіцієнт перетравлюваності сягає значних показників — від 84,4 до 93,4%. У свою чергу, макуха має значно нижчу енергетичну вартість порівняно з насінням. Після видобування олії вміст жиру в макусі (шроті) знижується до 7-12% (1-5%), а сирого протеїну — до 37-38% (іноді до 42%). Проте за енергетичною цінністю ріпакові макуха та шрот (11,3 і 10,4 МДж обмінної енергії відповідно) фактично не поступаються соняшниковим аналогам (11,4 і 10,6 МДж).

Ця культура відзначається інтенсивним темпом формування врожаю, забезпечуючи добовий приріст зеленої маси на рівні 0,5 т/га. За відносно короткий період вона може забезпечити високі врожаї навіть у умовах обмеженого теплового забезпечення. Ріпак також має високу цінність з агрономічної точки зору, оскільки покращує структуру та родючість ґрунту, виконуючи роль зеленого добрива.



Рисунок 1.1 – Стиглий ріпак в полі

Використання ріпаку як сидерату, тобто вирощування з подальшим заорюванням у ґрунт, порівнянне за ефективністю з внесенням гною, але витрати при цьому знижуються в 1,5-2 рази. Це сприяє підвищенню біологічної активності ґрунту на 10-15%, зменшенню втрат поживних речовин із водою при промивному режимі ґрунту на 50%, а також знижує ураженість пшениці, посіяної після ріпакового пласта, хворобами на 30-50%. У свою чергу, врожайність зерна збільшується на 5-10 центнерів з гектара. Крім того, ріпак є чудовим медоносом - за 25-30 днів його цвітіння з одного гектара бджоли можуть зібрати до 90 кг меду. Для забезпечення якісного запилення на посівах ріпаку рекомендується встановлювати бджолині вулики в кількості 2 штуки на кожен гектар.

Покращення якості ріпакової олії спричинило значне зростання її популярності на глобальному рівні. Уже в 1985 році обсяги виробництва ріпакової олії перевищили показники соняшnikової. Сьогодні ріпак у багатьох країнах вирощується насамперед як олійна культура. Олія активно використовується в кулінарії для смаження, салатних заправок, виготовлення маргарину тощо. За смаковими характеристиками вона прирівнюється до оливкової олії, користується високим попитом і вважається однією з найкращих серед рослинних олій. Ріпакова олія має важливу перевагу — вона тривалий час зберігає прозорість і не набуває неприємного запаху навіть під впливом повітря. У Сполучених Штатах з 1985 року вона офіційно визнана безпечною для людського споживання.

Ріпак належить до родини хрестоцвітних і є однорічною рослиною, яка може бути як озимою, так і яровою. Озимий ріпак відзначається високою продуктивністю, досягаючи 45 ц/га, тоді як яровий зазвичай дає урожай у межах 20-25 ц/га. Це культура довгого дня, холодостійка, з високими вимогами до вологості та родючості ґрунту, і найкраще зростає в кліматичних умовах помірної зони. Важливо зазначити, що за скорочення світлового дня вегетативна маса рослини збільшується, однак знижується її насіннева продуктивність.

Ріпак розмножується шляхом насіння. Насіння ярого ріпаку починає проростати при температурі 1–3°C, а озимого – при -0,1°C. Сходи здатні

витримувати заморозки до -5°C , дорослі рослини переносять зниження температури до -8°C . Оптимальна температура для проростання складає $14\text{--}17^{\circ}\text{C}$. На ранніх етапах, до фази стеблуння, ріст і розвиток рослин відбуваються повільно. У цей період формується міцна коренева система та розеткове листя. Ріпак має добре розвинений стрижневий корінь, який проникає у ґрунт на глибину понад два метри. Стебло рослини прямостояче, округле, висотою від 0,3 до 1,5 метра, гіллясте, покрите восковим нальотом сизо-зеленого або сизо-фіолетового відтінку. Розеткове листя має ліровидно-перистонадрізану форму з рідким опушенням. Стеблове листя змінюється від ліроподібного (біля основи) до подовжено-ланцетного (у верхній частині рослини). Нижнє листя з великою кінцевою лопаттю овальної форми має нерівнозубчасті краї; бічні лопаті, кількість яких варіюється від 2 до 4 пар, є дрібними, овальними або трикутними з тупими краями. Через два тижні після відростання розпочинаються фази стеблуння та бутонізації. Період від бутонізації до цвітіння триває 20–25 днів.

Середня висота рослин становить: для ярового ріпаку — 100-130 см, для озимого — до 180 см. Вегетаційний період ріпаку озимого триває від 290 до 320 днів, а у ярового — від 80 до 120 днів.

Суцвіття ріпаку має кистевидну форму, включаючи від 20 до 40 квіток, які розквітають поступово — від нижніх до верхніх. Квітки ріпаку досить великі, жовтого кольору, іноді трапляються білого. Довжина квітконіжок становить від 1,4 до 2,5 см. Пелюстки варіюються в розмірах від 9 до 18 мм, мають округлену верхівку і плавно переходять у короткий нігтик. Внутрішні тичинки сягають довжини від 7 до 10 мм і розташовані вертикально, а зовнішні — від 5 до 8,5 мм. Одній квітці властиве триденне цвітіння. Ріпак вважається факультативним самозапилювачем: у середньому близько 70% насіння утворюється завдяки самозапиленню, а решта 30% — результат роботи вітру та комах, що забезпечують перехресне запилення.



Рисунок 1.2 – Ріпак: 1, 2 – рослини у фазах розвинених сходів і цвітіння – плодоутворення; 3 – частина стебла із квітками й плодами; 4 – плід; 5 – насіння (угорі – збільшене)

Стручки ріпаку мають довжину 5-10 см, вузькі — шириною від 3 до 4 см, з гладкою або злегка горбкуватою поверхнею. Усередині одного стручка зазвичай міститься від 15 до 30 насінин сірувато-чорного, чорно-коричневого або жовто-коричневого кольору. Насіння має округлу або кулясту форму з діаметром 1,5-2,5 мм. Маса тисячі насінин варіюється залежно від виду: для ярого ріпаку вона становить 2,6-5,0 г, для озимого — 4,0-7,0 г. Здатність насіння до проростання зберігається протягом 5-6 років. Ріпак належить до вологолюбних культур. Під час вегетаційного періоду він потребує в 1,5-2 рази більше води, ніж зернові культури. У посушливі роки врожайність цієї рослини значно знижується. Найкращі результати ріпак демонструє на помірно засолених ґрунтах із кислотністю, яка знаходиться у межах оптимальних показників (рН 6,5-6,8).

Водночас культура не переносить сирих ґрунтів зі значною близькістю ґрунтових вод, заболочених територій та важких глинистих ґрунтів.

Ріпак висуває високі вимоги до родючості ґрунту і є вразливим до нестачі мінеральних речовин, тому ефективно реагує на внесення добрив. Ця культура характеризується значними потребами до умов вирощування. Для отримання 1 центнера основної продукції ріпак споживає вдвічі більше азоту, фосфору та калію, а кальцію, магнію, бору та сірки в 3–4 рази більше, ніж зернові культури. Найактивніше поглинання мінеральних елементів спостерігається в період бутонізації та цвітіння. Урожай у 20 центнерів насіння з одного гектара забирає із ґрунту близько 110 кг азоту, 60 кг фосфору та 100 кг калію. Серед найбільш небезпечних шкідників ріпаку виділяють хрестоцвітих блішок, ріпакового пильщика, квіткоїда та капустяну попелицю. Щодо хвороб, найбільшу загрозу для культури становлять альтернаріоз, борошніста та хибна борошніста роса, чорна ніжка та кореневі гнилі.

Збирання ріпаку має свої характерні особливості: рослини схиляються вбік, верхні листя та стебла висихають, створюючи своєрідний переплетений рослинний шар. На сьогоднішній день активно впроваджуються у вирощування нові високоврожайні сорти та гібриди ярого й озимого ріпаку, які вирізняються стійкістю до осипання й вилягання. Це дозволяє проводити збирання врожаю з мінімальними втратами.

Ріпак починають збирати на стадії жовто-зеленої стиглості, коли у нижніх стручках центрального стебла більшості рослин насіння набуває характерного для сорту забарвлення, а його вологість знижується до рівня 30-33%. Зріз здійснюється на висоті не менше 15-20 см. Після збору насіння негайно сушать до досягнення вологості 8%. Для подальшого очищення та сортування використовують переважно насіннячисні машини типу «Петкус-Селектра».

Однією з характерних особливостей ріпаку є нерівномірне дозрівання насіння у різних частинах рослини. Тому для отримання якісної сировини для виробництва олії, окрім зниження вологості, насіннева маса ріпаку обов'язково підлягає післязбиральному дозріванню. Тривалість цього процесу залежить від

сорту і визначається вихідною якістю, ступенем зрілості насіння, а також умовами навколишнього середовища.

Насіння ріпаку має дрібний розмір і нерівномірно округлу форму, забарвлення варіюється від сіро-чорного до чорно-коричневого або жовто-коричневого. Маса тисячі насінин змінюється в межах 2,6–5,0 грамів для ярого ріпаку і 4,0–7,0 грамів для озимого. Об'ємна маса насіння становить приблизно 636 кг/м³. У складі ріпакових зерен міститься 40-45% олії, 18-22% білків із гармонійним амінокислотним профілем, причому на сірковмісні амінокислоти припадає близько 5% від загальної кількості. Також у насінні є 6-7% клітковини і 0,2-1,2% фосфоліпідів із підвищеним рівнем негідратованих форм. Ріпак багатий природними антиоксидантами, такими як токофероли (вітамін Е), фенольні сполуки та таніни. Характерною особливістю є високий вміст пігментів групи хлорофілів — від 10 до 150 мг/кг.

Особливістю жирно-кислотного складу традиційних сортів ріпаку є високий рівень ерукової кислоти, який може досягати до 50%. У сучасних сортах цей показник знижено до нуля. Крім того, у насінні ріпаку виявлені органічні сполуки, що містять сірку, такі як тіоглікозиди, глікозинолати та їх похідні. Ці речовини надають насінню гіркий смак і мають високий рівень реакційної здатності, через що вони можуть негативно впливати на щитоподібну залозу та інші органи.

Залежно від різновиду, вміст тіоглікозидів (глікозинолатів) у насінні коливається в межах 0,5–6%. Насіння ріпаку містить високоефективні ферменти, зокрема ліпазу, мірозіназу, ліпоксигеназу та фосфоліпази. За певних умов тіоглікозиди розщеплюються, утворюючи низку сполук з різними фізіологічними властивостями, аж до токсичних. Наприклад, ізотіоціанати можуть подразнювати слизові оболонки та проявляють слабкі антибіотичні властивості. Кількість цих сполук, які переходять у масло, значною мірою визначається не лише початковим рівнем їхнього вмісту, але і технологічними підходами до переробки насіння.

До насіння, що використовується для виробництва харчових олій, висуваються певні вимоги щодо вмісту ерукової кислоти та тіоглікозидів. Вміст

ерукової кислоти в тригліцеридах олії не повинен перевищувати 5%, а концентрація тіоглікозидів — 3%. Завдяки селекційним досягненням, спрямованим на створення безерукових сортів ріпаку із низьким рівнем тіоглікозидів (сорт 00 — канола), вдалося перевести ріпакову олію до категорії харчових продуктів і суттєво підвищити якість макухи та шротів, які виробляються під час переробки олійного насіння. Це особливо важливо, адже зазначені сполуки накопичуються саме в цих побічних продуктах переробки, а також у їхніх похідних, що утворюються в результаті ферментативного розпаду.

Ріпакова олія — це висококалорійний продукт, який знаходить широке застосування як у чистому вигляді для харчових потреб, так і для виробництва маргаринів, майонезів, а також у консервній та косметичній промисловості, де її розглядають як альтернативу оливковій олії. З позиції харчової фізіології ріпакова олія має значні переваги над іншими рослинними оліями, оскільки містить усі необхідні для організму кислоти у збалансованих пропорціях. Цей продукт характеризується низьким вмістом насичених жирів і помірною кількістю поліненасичених незамінних жирних кислот: лінолевої (приблизно 19–20%) та ліноленової (до 9%), які не можуть синтезуватися в організмі тварин. За вмістом мононенасичених жирних кислот ріпакова олія поступається лише оливковій, містячи від 55 до 63% олеїнової кислоти.

Ріпакова олія відзначається своєю надзвичайною користю завдяки унікальному складу. Її регулярне вживання сприяє нормалізації обміну речовин, знижує ризик утворення тромбів, запобігає виникненню серцево-судинних захворювань, а також допомагає регулювати рівень холестерину в крові.

Крім того, ріпакова олія все більше привертає увагу як перспективне джерело відновлюваної сировини для потреб хімічної промисловості та енергетики.

Сфера використання цього продукту в технічних цілях є надзвичайно різноманітною та охоплює широкий спектр застосувань. Наприклад, його нерідко використовують як базовий компонент для хімічного синтезу, сировину для виготовлення мастильних матеріалів, а також як перспективний ресурс для

розробки нових видів пального. Ріпакова олія має велике значення в таких галузях промисловості, як каучукова та сталеливарна, де її корисні властивості забезпечують важливі виробничі процеси. Що стосується харчової промисловості та виготовлення маргарину, то тут висувуються особливі вимоги до складу: пріоритет надають олії, позбавленій ерукової кислоти або із зниженим її вмістом. У протилежному ж випадку, для технічних потреб важливою перевагою стає напроти високий вміст цієї кислоти, що забезпечує специфічні якості й підвищує ефективність матеріалу у відповідних технологічних процесах.

Хімічні похідні ерукової кислоти, відомі як ерукаміди, застосовуються для надання поліетиленовій плівці властивостей еластичності та зниженої поверхневої тертя. Крім того, шляхом озонування ерукову кислоту перетворюють на брасилінову й пеларгонову кислоти, які широко використовуються у виробництві нейлонів, пластифікаторів, модифікованих каучуків, фармацевтичних засобів, ароматичних компонентів та іншої продукції. Макуха та шрот, що утворюються під час переробки насіння ріпаку, містять від 37 до 43% високоякісного білка. За вмістом амінокислот, особливо незамінних, насіння ріпаку майже не поступається сої. При цьому ріпаковий шрот містить більше метіоніну та цистину, тоді як соєвий шрот відрізняється вищим рівнем лізину.

Ріпаковий макуха та шрот за своїми енергетичними властивостями, які становлять 11,3 та 10,4 МДж обмінної енергії відповідно, майже не поступаються соняшниковим, що мають 11,4 та 10,6 МДж. У складі мінералів ріпаковий макуха та шрот перевершують соєві за вмістом кальцію, фосфору, магнію, міді та марганцю.

Засвоюваність цих елементів складає: кальцію - 68%, фосфору - 75%, магнію - 62%, марганцю - 54%, міді - 74%, цинку - 44%. До того ж, ріпаковий шрот багатий на холін, ніацин, рибофлавін, фолієву кислоту та тіамін. Завдяки своєму багатому складу, ріпакові макухи та шроти широко використовуються як поживні добавки при виготовленні комбикормів.

1.2. Збирання та зберігання ріпаку

Ріпак збирають двома основними методами: прямим або роздільним. Вибір способу зазвичай здійснюється безпосередньо в процесі роботи, залежно від обставин.

Пряме комбінування рекомендовано використовувати для збору врожаю на полях із рівномірним дозріванням рослин та оптимальним рівнем вологості насіння — від 12 до 16%. У ситуаціях з нерівномірним дозріванням краще застосовувати роздільний спосіб збору. Озимий ріпак слід збирати у період, коли більшість його насіння набуває характерного чорного кольору, а вологість становить приблизно 15%. Це відбувається через 55-60 днів після завершення цвітіння. Під час обмолоту важливо уникати пошкодження насіння, оскільки це негативно впливає на його якість під час зберігання. За технологічною стиглістю озимий ріпак вважається готовим до збору, якщо насіння має темно-буре або чорне забарвлення, а рослини видають тихий шелест у стручках. Насіння, розгризене між зубами, має тріскати, а при натисканні — виділяти жовто-зелений сік. Збирання необхідно проводити за вологості насіння близько 12%, адже за меншою вологістю, наприклад 10%, значно збільшуються втрати через осипання, а за 14% значна частина прибутку витрачається на сушіння.



Рисунок 1.3 – Збирання ріпаку

Косити озимий ріпак найкраще в період, коли 30–50% стручків у нижній частині стебла містять насіння коричневого кольору або орієнтовно на 50–60-й день після початку цвітіння, коли поле набуває жовтуватого відтінку. У цей час насіння у стручках нижньої частини стебла має бути чорним, а у верхній — ще залишатись зеленим. Передчасне проведення косовиці може призвести до втрат врожаю до 8%, а отримана олія матиме зеленуватий відтінок через надлишок хлорофілу. Через 7–14 днів після скошування стебла ріпаку висихають і стають крихкими, насіння поступово чорніє, твердішає, а його вологість знижується до 10–15%. У цей період можна починати обмолот. Після обмолоту обов'язково слід провести очищення зібраної маси у два етапи: на першому видаляють грубі та легкі домішки перед сушінням, а на другому здійснюють остаточне очищення згідно з вимогами подальшого використання. Для цих завдань використовується спеціальний комплекс машин. Особливо важливо забезпечити негайне охолодження зібраного врожаю та своєчасно розпочати сушіння сировини. Варто враховувати, що за умов високої вологості, особливо під час дощової погоди, процес сушіння насіння ріпаку триває в чотири рази довше порівняно із зерновими культурами. Це потрібно планувати так, щоб обробка насіння ріпаку не заважала іншим сільськогосподарським роботам. Насіння, яке призначене для посіву, повинно мати вологість у межах 10–12%, тоді як для промислової переробки або тривалого зберігання необхідно досягти вологості 7–8%.

Сушіння насіння здійснюється у підлогових сушарках, через які протягом 2–3 діб пропускають спершу холодне повітря, а потім тепле з максимальною температурою 30–35°C. Якщо насіння перегріти, воно втрачає свої якості, а виготовлене з нього масло позбавляється характерного смаку. Використання сушарок, що забезпечують перемішування ріпаку під час обробки, дозволяє застосовувати більш високі температури повітря. У випадках, коли вологість насіння становить менше 12%, температура в таких сушарках може досягати 45°C, водночас за більшої вологості вона не повинна перевищувати 40°C. Фахівці зазначають, що зберігати ріпак, як сухий, так і вологий, без втрати його якості можна з використанням компресійного холодильника. Однак навіть сухий ріпак

підлягає консервації лише за умови його охолодження. У разі зберігання вологого ріпаку, враховуючи ризик швидкого проростання, необхідно підтримувати температуру не вище 15°C. Згідно зі стандартами, чистота насіння має становити не менше 98%. При зберіганні ріпаку важливо забезпечувати регулярне провітрювання приміщення, причому найкраще це робити в нічний час. Температурна різниця між середовищем сховища та зовнішнім повітрям не повинна перевищувати 5°C. У разі значного підвищення температури слід негайно забезпечити вентиляцію приміщення й перемішати насіння для запобігання втратам якості.

Наукові дослідження показали, що критична вологість насіння ріпаку з олійністю 45% при температурі 20°C становить 7,2-7,6%. Через нерівномірне дозрівання насіння на рослинах отримане під час збору врожаю насіння може мати неоднакову якість, що створює ризик проблем під час його зберігання. Для запобігання цим ускладненням насіння ріпаку необхідно піддавати післяжнивному дозріванню. Тривалість цього процесу залежить від таких факторів, як сорт ріпаку, початкова якість насіння, ступінь його зрілості, рівень вологості, температурні умови та інші показники. У озимого ріпаку період післяжнивного дозрівання є коротшим порівняно з ярими сортами. За температури 10°C він триває близько 20 днів, тоді як при підвищенні температури до 20°C цей період зменшується майже вчетверо. Насіння ярого ріпаку потребує тривалішого часу для дозрівання: цей період варіюється залежно від температури зберігання — від 20 діб при 30°C до 70-80 діб за 20°C. Оптимальним способом зберігання ріпаку є укладання у скирти висотою до 1,5 метрів або в мішки, складені в штабелі по 3-6 рядів. Для належного контролю температури у насипах висотою 1,5 метра її рекомендується вимірювати на трьох різних глибинах двічі на тиждень. Мішки в штабелях слід періодично перекидати: верхні ряди переміщують вниз, а нижні — угору. У випадку зберігання насіння з вологістю 12% у мішках варто особливу увагу приділити перевертанню мішків протягом перших двох місяців, здійснюючи це кожні 15 днів. Недотримання цієї процедури призводить до зниження схожості насіння.

Висновки до розділу

Проведений аналіз свідчить, що значні енерговитрати в процесі сушіння обумовлені недостатнім використанням потенціалу сушильного агента. Ця проблема характерна для всіх типів наявних сушарок. Неефективна робота конвективних протитечійних зерносушарок барабанного та бункерного типів пов'язана із втратою напору сушильного агента через висотну зміну в камері сушіння. Шар зерна створює аеродинамічний опір, ускладнюючи рух сушильного агента. Це явище вже стало предметом численних досліджень, проте чіткого й універсального рішення поки не знайдено. У наукових роботах пропонується долати проблему нерівномірності проходження сушильного агента через зерновий шар за допомогою механічних систем, що активізують процес сушіння шляхом розпушування та перемішування матеріалу. Однак впровадження такого підходу вимагає додаткових витрат енергії на привід відповідних механізмів.

Саме з цієї причини рух сушильного агента крізь шар зернового матеріалу в межах сушильної камери потребує глибшого вивчення.

Для усунення зазначених недоліків необхідно виконати наступні дослідницькі завдання:

- провести аналіз насіння технічних культур, зокрема ріпаку, розглядаючи його як об'єкт для обробки. Особливу увагу звернути на його характеристики як капілярнопористого-колоїдного тіла, що зазнає впливу конвективного сушіння;

- дослідити та систематизувати сучасні технології вирощування ріпаку, методи його збирання та зберігання, розкрити ключові переваги цих процесів, а також визначити наявні недоліки для вдосконалення агротехнологій;

- розробити теоретичні засади для методики розрахунку сушіння ріпаку та провести аналіз для визначення напрямків підвищення енергоефективності всього процесу;

- дослідити фізико-механічні властивості насіння ріпаку в умовах експерименту, розглядаючи його як об'єкт для конвективного сушіння;

- дослідити процеси кінетики сушіння насіння ріпаку, використовуючи доступне обладнання, а також базуючись на сучасних дослідженнях і відомих технологіях;

- розробити оптимізовану технологію сушіння насіння ріпаку шляхом впровадження сушильної камери зі спеціальною конусоподібною конструкцією.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ РІПАКУ

2.1 Основи теорії сушіння насінневих сільськогосподарських матеріалів

Процес сушки полягає у видаленні вологи з твердих, пастоподібних або рідких матеріалів (суспензій) шляхом випаровування вологості та подальшого відведення утвореної пари. Сушіння характеризується як складний тепло-масообмінний процес. У більшості випадків швидкість цього процесу залежить від інтенсивності внутрішньої дифузії, яка забезпечує переміщення вологи всередині твердого матеріалу.

Сушінню підлягають харчові матеріали, які можуть перебувати в різних агрегатних станах: гранульовані, формовані, зернисті; пастоподібні; а також у вигляді розчинів і суспензій. Теорія сушіння досліджує загальні аналітичні й експериментальні закономірності цього процесу та пояснює його механізми. Технологія сушіння зосереджена на вивченні властивостей матеріалів для вибору оптимального способу й режиму сушіння. Технічний аспект сушіння охоплює загальні методи організації процесів у сушильних установках різних типів, а також їх розрахунок і проектування. Вибір способу сушіння та типу сушарки базується на комплексному аналізі властивостей харчових матеріалів, які виступають об'єктами сушіння.

Вибираючи метод сушіння, необхідно враховувати ключові особливості матеріалів, серед яких виділяються низька термостійкість, схильність до окислення та руйнування, ризик деформації та втрати привабливого зовнішнього вигляду, різниця у початковому вмісті вологи в матеріалі, а також наявність активних біохімічних і хімічно активних сполук. Окрім цього, слід брати до уваги й інші специфічні властивості матеріалів.

Головними способами інтенсифікації процесів сушіння та покращення економічної ефективності роботи сушарок є:

- здійснення процесів в умовах оптимальної гідродинамічної обстановки, що забезпечує суттєве підвищення коефіцієнтів тепломасообміну;
- використання комбінованих методів передачі тепла, яке забезпечує максимально ефективне та раціональне нагрівання матеріалу до необхідної температури сушіння;
- розробка комбінованих сушильних установок, таких як перший етап сушіння у розрідженому псевдозрідженому шарі, а другий — у псевдозрідженому шарі; поєднання розпилювального сушіння із сушінням у псевдозрідженому шарі та інші подібні варіанти;
- розробка сушильних установок із замкнутим контуром циркуляції теплоносія.
- Залежно від способу передачі тепла до матеріалу, який потребує висушування, використовуються такі методи сушіння:
 - конвективне, або повітряне, сушіння передбачає передачу теплоти через прямий контакт сушильного агента з матеріалом, який підлягає висушуванню;
 - контактна сушка — це процес, при якому теплота передається від теплоносія, такого як насичена водяна пара, до матеріалу через роздільну стінку;
 - радіаційне сушіння здійснюється передачею тепла за допомогою інфрачервоного випромінювання;
 - діелектрична сушка (НВЧ-сушіння) — здійснюється за допомогою нагрівання матеріалу в полі високочастотних струмів;
 - сублимаційна сушка полягає в процесі висушування матеріалів у глибокому вакуумі, де вони перебувають у замороженому стані.

Вологість (або вологовміст) — це показник, який характеризує кількість вологи в матеріалі. Вона визначається як співвідношення маси вологи до маси абсолютно сухого матеріалу і виражається у відсотках.

Зв'язана волога може проявлятися у таких формах:

- хімічно пов'язана волога, яка виникає внаслідок хімічної реакції;
- фізико-хімічно зв'язана волога, що виникає внаслідок адсорбції молекул

газу через напівпроникну мембрану;

– фізико-механічно зв'язана волога утворюється в результаті поглинання пари мікрокапілярами (з радіусом меншим за 10^{-7}), макрокапілярами (з радіусом більшим за 10^{-7}), а також у процесі формування гелю.

Найлегше усувається поверхнева волога, тоді як найскладніше видалити хімічно зв'язану вологу.

Хімічно зв'язана волога — це вода, що входить до складу гідроксидів та кристалогідратів у результаті реакції гідратації. Видалення цієї вологи можливе шляхом прожарювання.

Адсорбційно зв'язана волога утримується поблизу поверхні контакту колоїдних частинок із навколишнім середовищем. Завдяки значній площі поверхні, колоїдні структури характеризуються високою здатністю до адсорбції. Утримування адсорбційної вологи відбувається під впливом молекулярного силового поля. Процес адсорбції вологи супроводжується виділенням теплової енергії, що отримала назву теплоти гідратації.

Осмотично зв'язана волога, також відома як волога набухання, розташована всередині структури матеріалу і утримується за допомогою осмотичних сил.

Капілярно-пов'язана волога утримується всередині макро- і мікрокапілярів. Вона механічним способом з'єднана з матеріалом і може бути відносно легко видалена. Чим міцніше вода взаємодіє з матеріалом, тим нижчий тиск пари над його поверхнею. Найбільш міцний зв'язок між Взаємодія води з матеріалом найбільш виражена у гігроскопічних речовинах. Рівноважна вологість матеріалу характеризує його здатність утримувати певну кількість вологи. Стан рівноваги визначається кількістю вологи, при якій тиск водяної пари над матеріалом дорівнює парціальному тиску пари в навколишньому середовищі. Якщо позначити P_p як парціальний тиск водяної пари у повітряній суміші та P_m як тиск водяної пари над матеріалом, то під час контакту матеріалу з вологим повітрям можливі три основні стани:

$P_m < P_n$ – видалення вологи з матеріалів, яка поглинається з навколишнього

середовища, тобто процес сушіння;

$P_m > P_n$ – сорбція – це процес поглинання матеріалом вологи з навколишнього середовища, що призводить до його зволоження;

$P_m = P_n$ – динамічний баланс, що визначається стабільним рівнем вмісту вологи.

Площа між ізотермами сорбції та десорбції відображає гістерезис, який визначається кількістю повітря, утримуваного сорбційними капілярами. Менша площа гістерезису свідчить про більшу подібність якісних і кількісних характеристик досліджуваного матеріалу. Перший підхід є тривалим, тоді як другий вимагає використання складного обладнання.

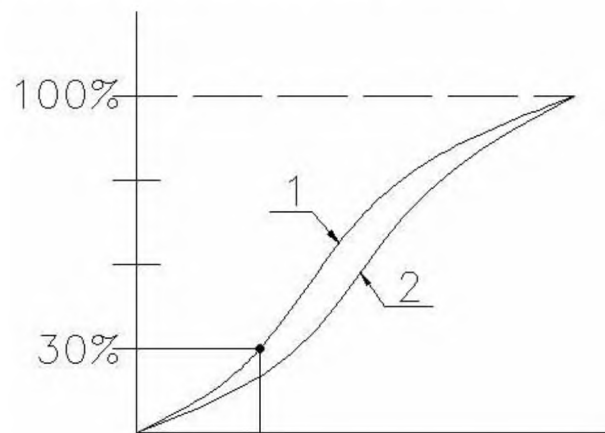


Рисунок 2.1 – Криві: 1) ізотерма рівноважної вологості при сорбції;
2) при десорбції

Сушіння є складним процесом, який поєднує теплообмін і масообмін. Найчастіше швидкість цього процесу визначається інтенсивністю внутрішньої дифузії вологи всередині твердих тіл. До сушіння піддаються харчові матеріали різного агрегатного стану, які можуть бути гранульованими, формованими, зернистими; пастоподібними; а також у вигляді розчинів чи суспензій. Вибір методу сушіння та відповідної сушарки базується на всебічному аналізі характеристик харчових матеріалів як об'єкта сушіння. Серед методів сушіння виділяють кілька основних підходів:

Конвективний метод сушіння полягає у передачі нагрітого сухого повітря

до матеріалу, що піддається процесу, завдяки чому волога з матеріалу переходить у навколишнє середовище. Цей спосіб підходить як для рідких, так і для твердих сипких матеріалів. Радіаційний метод заснований на передачі тепла через інфрачервоне випромінювання. Діелектричний (НВЧ) спосіб використовує нагрівання матеріалу в полі струму високої частоти. Сублімаційне сушіння здійснюється у глибокому вакуумі, коли матеріал перебуває у замороженому стані. Контактний (кондуктивний) метод передбачає передачу тепла через стінку, що розділяє теплоносій (наприклад, насичену водяну пару) і матеріал.

Теорія сушіння була сформульована на основі ключових аналітичних і експериментальних досліджень. У ході процесу сушіння відбувається видалення вологи, яка утримується в матеріалі за рахунок фізико-механічних і фізико-хімічних зв'язків. Волога спочатку переміщується з внутрішніх шарів матеріалу до його поверхні, після чого випаровується у зовнішнє середовище.

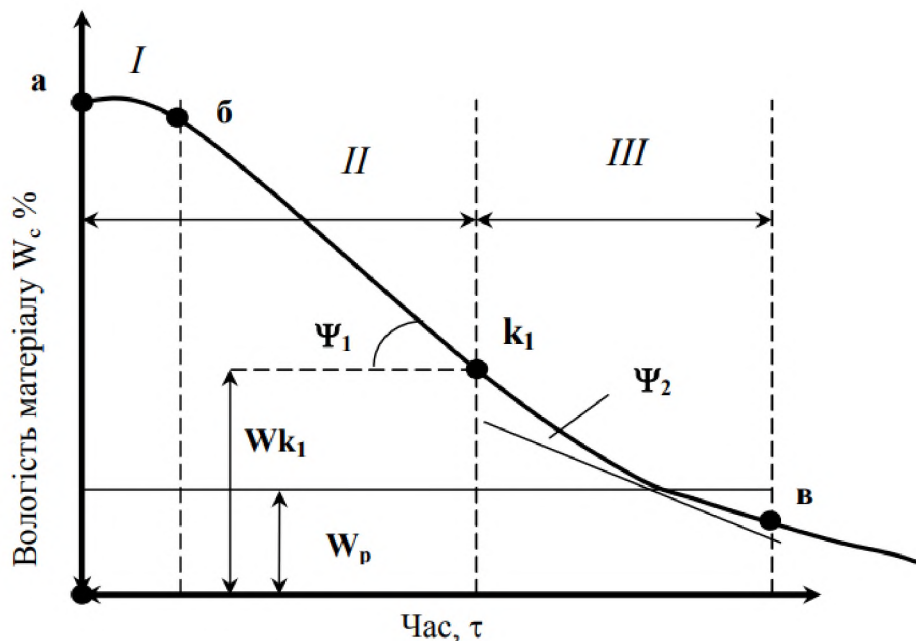


Рисунок 2.2 - Крива сушіння

Процес сушіння можна описати кривими сушіння, які відображають динаміку зміни середньої вологості матеріалу (W_c) упродовж часу (τ). Аналіз таких кривих показує, що на початковій стадії, коли вологість матеріалу

зменшується відповідно до сегмента кривої "аб", відбувається короткочасна фаза нагрівання матеріалу (I). Тривалість цієї стадії залежить від товщини матеріалу. Після цього зменшення вологості відбувається згідно з лінійним законом:

$$\psi_1 = \frac{dW^c}{d\tau} = \text{const.}$$

Даний період називається стадією постійної швидкості сушіння (II), яка графічно представлена відрізком (б–к1). На цьому етапі температура поверхні матеріалу відповідає температурі мокрого термометра, що вказує на процес адіабатного випаровування вологи. У таких умовах наявність вільної вологості гарантує, що парціальний тиск водяної пари над матеріалом збігається з тиском над чистою водою. При цьому він не залежить ні від ступеня вологості матеріалу, ні від його фізичних параметрів чи специфіки.

Тангенс кута нахилу дотичної до кривої сушіння у будь-який момент часу (або в будь-якій її точці) характеризує швидкість сушіння у відсотках за годину та розраховується за такою формулою:

$$\text{tg}\psi = -\frac{dW^c}{d\tau} = N. \quad (2.1)$$

Метод графічного диференціювання використовується для побудови кривих, що описують швидкість сушіння матеріалу. Наприклад, для ілюстрації на рисунку 2.1 відповідна крива швидкості сушіння представлена на рисунку 2.2. Для аналізу процесу сушіння використовуються такі поняття, як інтенсивність (I) та швидкість сушіння (N). У період постійної швидкості сушіння температура

матеріалу залишається стабільною, $\frac{dt}{d\tau} = 0$ і якщо теплота, необхідна для випаровування вологи, постачається зовнішнім джерелом — з повітря через конвективний теплообмін, то інтенсивність випаровування (I_m) лінійно залежить

від швидкості теплового потоку на поверхні матеріалу.

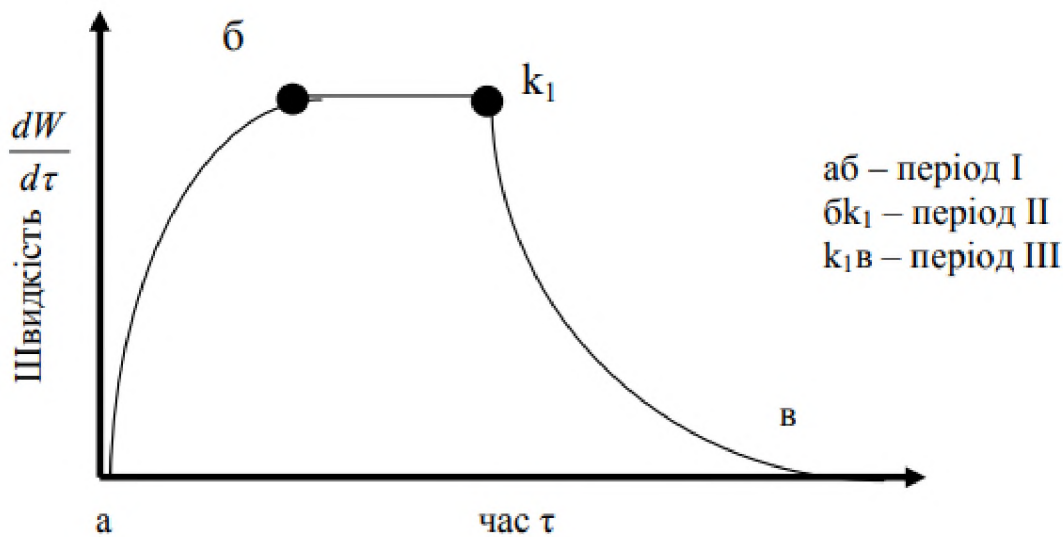


Рисунок 2.3 – Крива швидкості сушіння

Для різних випадків сушіння нараховують шість можливих форм зміни швидкості сушіння.

$$I_m = \frac{q}{r} = \frac{N_0}{100} R_v \rho_0 / r = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0 \frac{R_v}{100} \cdot \frac{\rho_0}{r},$$

де: $N_0 = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0$ – швидкість сушіння в періоді постійної швидкості, %/год.;

$R_v = \frac{V}{F}$ – відношення об'єму тіла до його площі, м;

ρ_0 – густина абсолютно сухого матеріалу, кг/м³;

r – теплота пароутворення, кДж/кг.

2.2. Пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння ріпаку

Враховуючи значну кількість наукових досліджень, питання вдосконалення енергоефективності процесу сушіння насіння ріпаку залишається надзвичайно актуальним й навіть набуває ще більшого значення. Це зумовлено постійним зростанням цін на енергоносії та паливно-мастильні матеріали.

Сучасна зерносушильна техніка охоплює різноманітні конструкції, призначені для сушки зернових культур. Найбільш поширеними є шахтні,

колонкові та барабанні сушарки. Питомі витрати теплоти для сушіння в подібних комплексах становлять від 4350 до 5200 кДж на кожен кілограм випаруваної вологи, як показано на рис. 2.4. За дослідженнями [3-5], найбільш економічно вигідними є шахтні рециркуляційні та колонкові сушарки. Водночас, показники питомих витрат теплоти цих сушарок не відповідають нормативним вимогам для обробки зерна, призначеного для продовольчих і насінневих цілей.

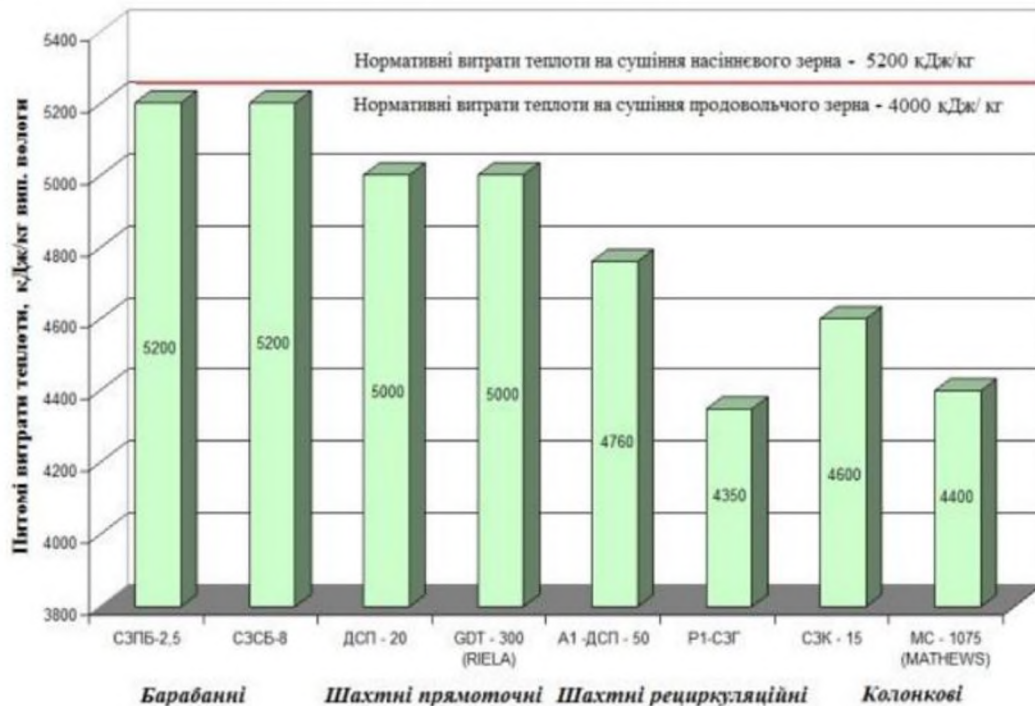


Рисунок 2.4 – Питомі витрати тепла на сушіння зерна залежно від типів сушарок

Тому необхідно охарактеризувати втрати теплоти на процес сушіння.

Втрати теплоти на процес сушіння зерна $\sum Q$ (кДж/кг) визначаємо за формулою теплового балансу в шахтній зерносушарці ДСП-32:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+ Q_4+ Q_5+Q_6,$$

де Q_1 – втрати теплоти на випаровування вологи (53%), кДж/кг;

Q_2 – втрати теплоти на нагрівання зерна (10%), кДж/кг;

Q_3 – втрати теплоти на нагрівання транспортних засобів (5%), кДж/кг;

Q_4 – втрати теплоти з відпрацьованим теплоносієм (23,9%), кДж/кг;

Q_5 – втрати теплоти від корпусу зерносушарки (6,9%), кДж/кг;

Q_6 – втрати теплоти від неповного згоряння палива (1%), кДж/кг.

Найбільші втрати теплової енергії виникають через випаровування вологи разом із відпрацьованим теплоносієм, що є одним із ключових напрямків для оптимізації енерговитрат. Цей аспект створює значний потенціал для зниження споживання енергії, який може бути реалізований за допомогою впровадження сучасних і високоефективних технологій сушіння. Одним з першочергових заходів підвищення енергоефективності процесу є забезпечення активного та контрольованого вентилявання. Це дозволяє оптимізувати процес сушіння, мінімізуючи витрати тепла і покращуючи загальну продуктивність системи. Усі особливості питомого споживання теплової енергії для кожної із запропонованих технологій детально розглянуто і наведено у таблиці 2.1, що пропонує структурований аналіз для порівняння та вибору найбільш доцільних рішень.

Таблиця 2.1 – Питомі витрати теплоти

№ з/п	Технологія	Витрати теплоти, кДж/кг	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
1	Сушіння з використанням традиційних видів палива	5000–11000	Високе видалення вологи, не потребує додаткового обладнання	Великі енергетичні витрати, зниження якості в разі порушенні технології
2	Активне вентилявання	2500–3000	Енергозбереження, висока якість насіння	Тривалість процесу, невелике видалення вологи
3	Застосування енергозберігаючих технологій сушіння	3244–4800	Енергозбереження, висока якість продукції	Потрібні додаткові капітальні вкладення

Аналізуючи наявні дослідження, можна виділити декілька заходів для підвищення енергоефективності сушарок насіння ріпаку [13-15]:

1. Необхідно точно визначати та впроваджувати поєднання технологічних режимів сушіння;

2. Для прискорення процесу сушіння рекомендується змішувати насіння ріпаку з різними показниками вологості та температури;

3. Можливо здійснювати попередній нагрів зерен ріпаку за допомогою рециркуляційної системи;

4. Автоматизація процесу сушіння також виявиться корисною. Вона передбачає контроль таких параметрів, як температура, вологість, швидкість руху сушильного агента та насіння, що сприяє збереженню високої якості зернового матеріалу;

5. Удосконалення технологій сушіння та конструкцій обладнання відбувається завдяки рівномірному розподілу температури і швидкості руху сушильного агента. Забезпечується безперервний процес завантаження і вивантаження висушеного зерна, а також ефективного зневоднення сушильного агента;

6. Повторне використання відпрацьованого сушильного агента та його теплової енергії;

7. Раціональна організація роботи та ефективне технічне обслуговування сушарок і паливних блоків, що спрямоване на мінімізацію простоїв унаслідок поломок обладнання.

Під час конвективного сушіння сушильний агент вступає в контакт із вологим зерновим матеріалом, забезпечуючи видалення вологи із зерна. Зерновий шар, крізь який проходить сушильний агент, створює аеродинамічний опір його руху. Це призводить до змін в об'ємі сушильного агента відносно кількості зерна на різних висотах сушильної камери. Така нерівномірність у розподілі сушильного агента й зерна ускладнює процес видалення вологи з окремих шарів насіння ріпаку.

Аналіз процесу вентиляції зернового матеріалу у вертикальному шарі дозволить визначити оптимальні режимні параметри для роботи обладнання, що

використовується при сушінні, а також мінімізувати негативний вплив втрат напору в потоці сушильного агента.

Дослідження підтверджують, що зі збільшенням висоти шару ріпаку значно знижується напір потоку сушильного агента. Зокрема, під час експериментів в умовах лабораторії встановлено, що за концентрації зерна висотою близько 0,2 м швидкість руху сушильного агента поступово зменшувалася, доки не досягала нуля.

Зниження швидкості потоку повітря із підвищенням висоти шару призводить до зменшення витрати сушильного агента на одиницю об'єму ріпаку, що сушиться, та викликає нерівномірність процесу сушіння. Для забезпечення однакових умов виділення вологи у всіх шарах зернового матеріалу по висоті шару, необхідно модифікувати конструкцію сушильної камери.

Оскільки залежності втрат напору повітряного потоку можна описати лінійними формулами, зміна об'єму сушильної камери за висотою також повинна відповідати лінійному закону. Ця вимога реалізується в конструкції сушильної камери конусоподібної форми. Діаметр основи конуса змінюється лінійно від значення D_{\max} до D_{\min} . Функціональна схема сушарки для сипких матеріалів наведена на рисунку 2.5. Така конструкція сушарки дає змогу забезпечити рівномірний розподіл сушильного агента по всьому об'єму ріпаку, що створює оптимальні умови для рівномірного перебігу процесу видалення вологи.

Аналіз існуючих зерносушарок з циліндричною камерою, включаючи ті, що використовуються для сушіння ріпаку, демонструє проблему з досягненням рівномірності процесу сушіння по висоті шару матеріалу. Основною причиною цього є аеродинамічний опір, який чиниться сушильному агенту в процесі його руху через шар. У результаті виникають значні втрати напору потоку повітря, що призводить до нерівномірного вентилування шарів зернового матеріалу, зокрема ріпаку.

Використання сушильної камери у формі зрізаного циліндра сприяє рівномірному розподілу потоку сушильного агента в сушарці. Кут нахилу твірної

уявного конуса можна встановити, орієнтуючись на експериментальні дані, отримані під час продування шарів зерна.

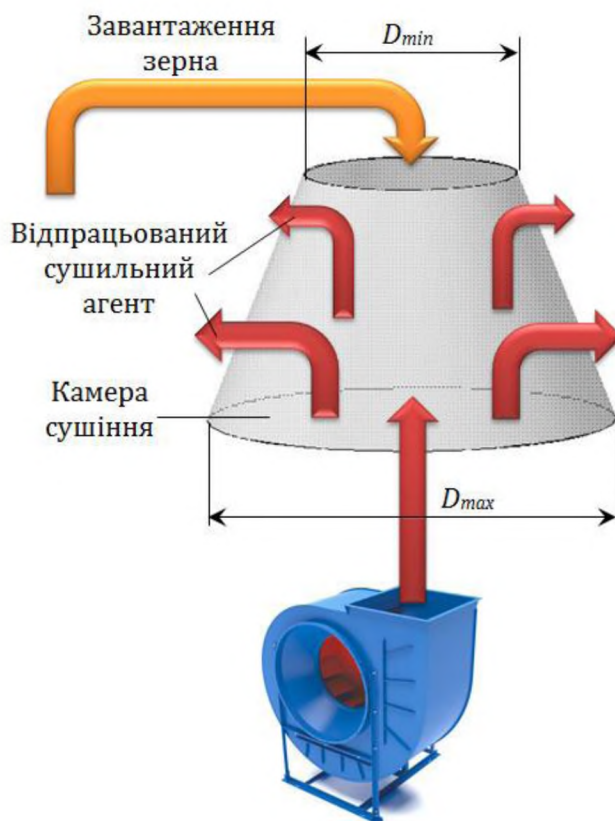


Рисунок 2.5 – Функціональна схема сушарки із конусоподібною камерою сушіння

Висновки до розділу

1. Здійснено аналіз відомої теорії сушіння зернових матеріалів, яку можна застосувати для дослідження процесу сушіння ріпаку;
2. Було здійснено теоретичний аналіз графічних залежностей, що описують процес конвективного сушіння зернових насінневих матеріалів. Розроблено низку рекомендацій, спрямованих на підвищення ефективності та інтенсифікацію процесу сушіння в цілому;
3. Розроблено конструкцію сушильної камери конусоподібної форми для сушарки ріпаку, яка забезпечує рівномірний розподіл сушильного агента по висоті шару матеріалу, що сприяє інтенсифікації процесу сушіння.

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Для виконання завдань, поставлених у магістерській роботі, слід провести ряд експериментальних досліджень. Основною метою таких досліджень є визначення специфіки процесу сушіння насіння ріпаку. У зв'язку з цим програма експериментів включає такі заходи:

- 1) метод визначення рівня вологості насіння ріпаку;
- 2) методика вивчення процесу сушіння шару зернового матеріалу;
- 3) методика оцінювання подібності насіння ріпаку залежно від режимів його сушіння.

3.2. Лабораторне обладнання, прилади і апаратура

Для проведення експерименту з визначення вмісту води у зерновій масі ріпаку була використана сушильна електрошафа СНОЛ 3.5. Її загальний вигляд наведено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1- Загальний вигляд сушильної електрошафи СНОЛ 3.5

Сушильна електрошафа СНОЛ-3,5 призначена для проведення сушіння виробів та матеріалів за температури до 350 °С. Внутрішня робоча камера виготовлена з чорної сталі, покритої термостійкою фарбою. У комплекті пристрою передбачено три перфоровані полиці. Сушильна лабораторна електрошафа СНО-3,5 із вентилятором обладнана системою автоматичного контролю температури, яка працює на основі безконтактного реле та цифрового мікропроцесорного терморегулятора. Він дозволяє задавати необхідну температуру, регулювати час її досягнення та тривалість витримки на заданому рівні. Нагрівальні елементи розташовані у спеціальних пазах бокових стінок. Вбудований вентилятор, що знаходиться на задній стінці, забезпечує рівномірну циркуляцію повітря у горизонтальній площині. Крім того, шафа оснащена вентиляційними отворами з заслінками для виведення газоподібних виділень під час термічної обробки. Конструкція шафи виконана з використанням сучасних енергозберігаючих матеріалів.

Для дослідження також використовували термометр-щуп і електронні ваги, представлені на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд електронної ваги ТВЛ-0.5 та термометра-щупа

Експериментальні дослідження проводилися за допомогою спеціально створеного обладнання, схема якого зображена на рисунку 3.3.

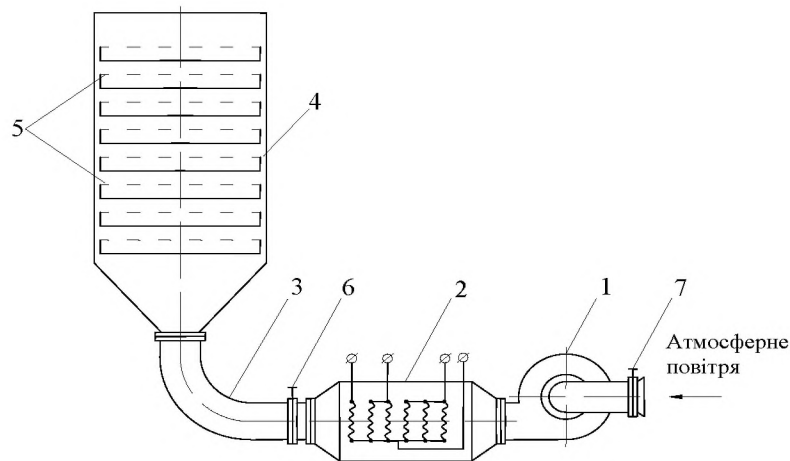


Рисунок 3.3 - Схема лабораторної установки для дослідження процесу вентилявання насіння пшениці: 1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – гнучке з’єднання; 4 – камера; 5 – касети з перфорованим днищем; 6, 7 – заслінки

Установка, яка складається з вентилятора 1, калорифера 2, гнучкого з’єднання 3, сушильної камери 4, де встановлено вісім касет з перфорованим днищем 5. Для регулювання потоку сушильного агента та контролю його швидкості на входному отворі калорифера встановлено заслінку 6, а на вході вентилятора — заслінку 7. У разі потреби подачі атмосферного повітря калорифер відключають.



Рисунок 3.4 – Лабораторна установка для дослідження процесу сушіння насіння ріпаку

3.3. Методика визначення вологості насіння ріпаку

Вологість є ключовим показником, що впливає на збереження зерна. Зерно містить воду разом із сухими речовинами. Частина цієї води, яка інтегрована у структури молекул білків і крохмалю, називається зв'язаною. Решта, яка присутня у гігроскопічному вигляді, визначається як вільна вода. Вільну воду можна видалити шляхом сушіння набагато швидше, ніж зв'язану. Вона володіє характерними властивостями води — питомою масою, діелектричною проникністю та здатністю розчиняти різні речовини, що й обумовлює її рухливість. Однак саме ця вільна волога активує ферменти в зерні, спричиняючи його пошкодження під час зберігання. Зв'язана вода не бере участі у фізіологічних процесах і не впливає на якість зерна при тривалому зберіганні. Межа вологості, за якою у зерні з'являється вільна вода, називається критичною. Її значення залежить від хімічного складу зерна. Наприклад, для пшениці критична вологість становить приблизно 14,5%, а для гороху — 16%.

Залежно від рівня вологості зерно класифікується як сухе, середньої сухості, вологе або сире.

Таблиця 3.1 – Вологість зерна різних культур, зібраного відповідно до встановлених стандартів

Зерно	Базисна норма	Сухе(не більше)	Середньої вологості	Вологе	Сире
Пшениця, жито	14,5	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1
Овес	13,5	13,5	13,6...15,5	15,6...17,0	17,1
Соняшник	7,0	7,0	7,1...8,0	8,1...9,0	9,1
Гречка	14,5	14,5	14,6...15,5	15,6...17,0	17,1
Горох	15,0	14,0	14,1...16,0	16,1...20,0	20,1
Рис	14,0	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1
Кукурудза	14,0	14,0	14,1...15,5	15,6...17,0	17,1

Такий розподіл обумовлений здатністю зерна зберігатися за звичних умов. Найбільш стійким є сухе зерно, яке придатне для тривалого зберігання. Зерно середньої сухості в теплу пору року потребує спеціальних умов і постійного контролю. Вологе зерно можна утримувати лише у стані охолодження, а сире зерно взагалі не допускається до зберігання без попереднього висушування.

Вологість визначають за допомогою прямих (дистиляційних) і непрямих методів, причому перевага надається останнім. Метод повного висушування базується на сушінні зразка в електричній шафі при температурі 130 °С протягом 60 хвилин. Додатково використовуються електрометричні методи, що враховують властивості зерна, такі як діелектрична проникність та електропровідність. Зазвичай із середньодобового зразка відбирають приблизно 30 г зерна згідно з встановленим стандартом і подрібнюють його за допомогою лабораторного млинка. Отримане подрібнене зерно просіюють через сито з отворами діаметром 0,8 мм. Варто зазначити, що для насіння соняшника подрібнення не є обов'язковим.

У ході проведення досліджень використовувались такі прилади та обладнання: сушильна шафа СНОЛ-3.5, електронні ваги з точністю вимірювання до 0,01 г, бюкси, скляний лабораторний посуд і щипці.

Скляні банки із щільно притертими пробками гарантують збереження зернових зразків у стабільному рівні вологості. Спочатку порожні бюкси зважують на електронних вагах, після чого визначають наважки для проб зерна. Перед цим порожні відкриті бюкси піддають термообробці в сушильній шафі за температури 130°С протягом однієї години.

Вологість зерна без попереднього сушіння (W) розраховується у відсотках за наступною формулою:

$$W = \frac{m_1 * m_2}{m_1} * 100\% \quad (3.1)$$

де m_1 та m_2 — маса зразка зерна (без урахування ваги контейнерів) відповідно до стану перед та після висушування, г.

Перед початком сушіння ріпаку спочатку визначали його початкову вологість відповідно до перевіреної методики. Після цього проводили штучне зволоження ріпаку, регулюючи його до різних рівнів вологості: 12,0%; 14,5%; 17,0%; 19,5%; 22,0% та 24,5%.

Перед початком сушіння ріпаку визначали його початкову вологість. Сам процес сушіння здійснювався на експериментальному сушильному стенді, представленому на рисунку 3.4. Для підвищення точності вимірювань та спрощення обробки отриманих даних стенд було оснащено додатковим обладнанням, а саме аналогово-цифровим перетворювачем та персональним комп'ютером. Температура повітря в сушильній камері, а також температура досліджуваного матеріалу фіксувалися за допомогою електронного термометра. Після налаштування заданого режиму роботи стенду касета з ріпаком встановлювалася на штангу ваг у сушильній камері. У процесі сушіння безперервно реєстрували зменшення маси зразка за допомогою ваг, які були з'єднані з комп'ютером для фіксації результатів.

Сушіння в елементарному шарі здійснювали при різних температурах, зі змінними показниками початкової вологості та швидкості потоку повітря. Водночас експериментальні дослідження процесу сушіння ріпаку супроводжувалися лабораторними тестами на його проростання, які проводилися в Інституті технічної теплофізики НАН України.

3.4. Методика визначення енергії проростання та схожості насіння ріпаку

Оскільки в процесі роботи сушильної установки насіння ріпаку зазнає впливу температури, виникла необхідність визначити рівень непридатності насіння шляхом оцінки енергії проростання та схожості ріпаку.

Зразки для визначення енергії проростання та схожості насіння відбиралися випадковим чином у різних складських приміщеннях та зонах зберігання насіннєвого матеріалу [5].

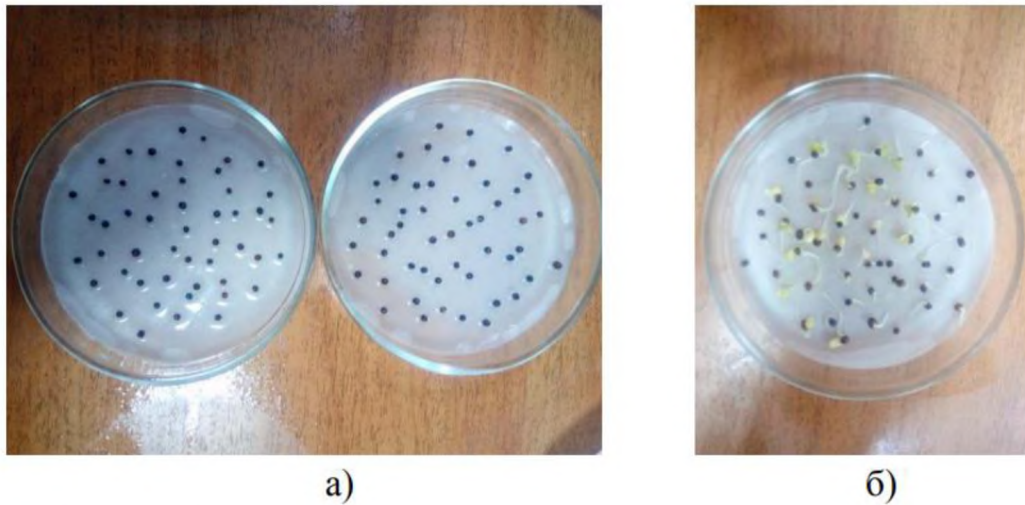


Рисунок 3.5 – Насіння ріпаку, розкладене на зволоженому фільтрувальному папері в чашках Петрі: а) початок дослідження, б) проросле

Для оцінки посівних якостей насіння ріпаку використовували ростильні, заповнені промитим річковим піском із розміром зерен від 0,5 до 1,0 мм. Для підтримання необхідного температурного режиму застосовувався термостат, який дозволяє змінювати температуру в межах від 20 до +55 °С, забезпечуючи перевищення встановленої температури над температурою навколишнього середовища щонайменше на 5 °С.

Енергію проростання та схожість вимірювали згідно з ДСТУ 1236-77. Насіння ріпаку з кожної зібраної проби висівали в окремі ростильні, заповнені прожареним піском із розміром частинок 0,5–1,0 мм. Пісок зволожували до 50–60% його повної вологоємності. Посіви у ростильнях розміщували в термостаті, де підтримували температуру 20–25 °С. Постійно стежили, щоб пісок залишався достатньо зволеним і не пересихав. Оцінювання проводили на 5-й день для визначення енергії проростання насіння та на 10-й день для визначення його схожості.

Відповідно до стандартизованої методики, оцінку енергії проростання та схожості виконували додатково через два місяці після завершення досліджень.

Висновки до розділу

1. Для проведення експериментальних досліджень застосовувалося як загальновідоме, так і спеціально розроблене лабораторне обладнання;
2. Розроблено методику для визначення параметрів процесу сушіння насіння ріпаку в умовах товстого шару;
3. Для визначення енергії проростання та схожості насіння ріпаку, яке зазнавало впливу різних температур під час сушіння, була застосована добре відома методика.

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Визначення вологості насіння ріпаку

Під час використання сушарок для сільськогосподарських зернових культур важливо правильно обрати відповідні режими сушіння. Особливу увагу варто приділити насінню ріпаку, яке через високий вміст жирів є більш чутливим до перегріву порівняно з традиційними зерновими культурами, такими як пшениця, жито або ячмінь. Встановлено, що максимальна температура нагрівання насіння ріпаку повинна становити не більше 35-40 °С для насіннєвого матеріалу та 45-55 °С для продовольчого призначення. У разі сушіння в щільному нерухомому шарі без можливості регулювання температури сушильного середовища значно підвищується ризик перегріву. Перевищення рекомендованих температурних параметрів під час сушіння негативно впливає на посівні якості й товарну цінність ріпаку.

Під час збирання врожаю здійснено дослідження процесу сушіння насіння ріпаку у спеціалізованій сушарці. Сушильна камера була прямокутної форми із нахиленим дном, виготовленим зі сталевих перфорованих пластин.

Висота шару насіння в сушарці при повному завантаженні (20–25 тонн) становила 45–50 см. Як джерело тепла для сушильного агенту використовували теплогенератори типу ТАУ 1,5. У ході роботи температура сушильного агенту варіювалася в межах 70–85 °С. Дослідження здійснювали на озимому ріпаку сорту «Сіверянин», початкова вологість якого коливалася від 23 до 27%. Основна мета полягала у вивченні процесу нагріву, а також розподілу температури та вологості насіння по всьому об'єму камери залежно від часу.

Процес сушіння насіння ріпаку можна наочно представити за допомогою графіків, наведених на рисунках 4.1 і 4.2.

Під час досліджень процесу сушіння насіння ріпаку виявлено нерівномірність температурного розподілу серед насіння на різних глибинах

сушильного шару. Нижні його частини зазнавали значного перегріву, що призводило до зниження вологості до 4-5%. У той самий час верхні шари лишались практично невисушеними, маючи вологість на рівні 16-20%. Така нерівномірність може стати причиною псування продукції та втрати її товарних властивостей у подальшому.

Щоб зменшити нерівномірність вологості насіння, використовували перемішування шару, що потребувало значних витрат ручної праці. Температура нагрівання насіння перевищувала 60 °С, що є небажаним, оскільки це призводить до зниження виходу олії під час переробки насіння.

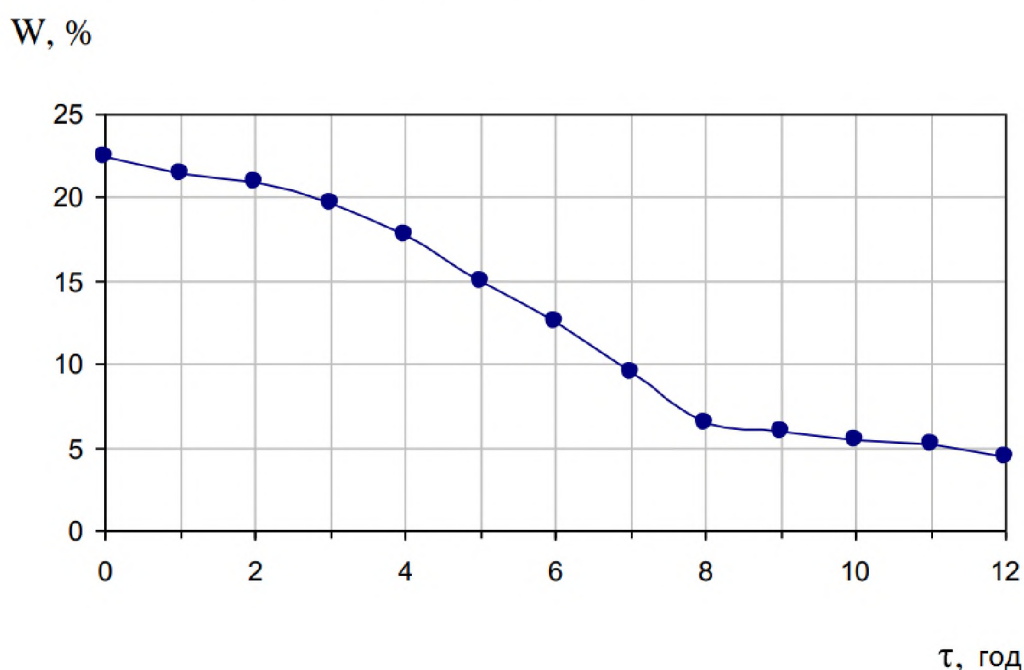


Рисунок 4.1 – Залежність вологості насіння від часу сушіння

На основі отриманих даних можна дійти висновку, що для збереження якості насіння необхідно дотримуватися кількох ключових рекомендацій. По-перше, важливо правильно завантажувати сушильну камеру, забезпечуючи рівномірний розподіл шару. По-друге, слід встановлювати оптимальний температурний режим сушіння. По-третє, обов'язковим є періодичне перемішування шару насіння. Запропоновані режими сушіння підходять виключно для отримання продовольчого ріпаку, що відповідає напрямку діяльності господарства.

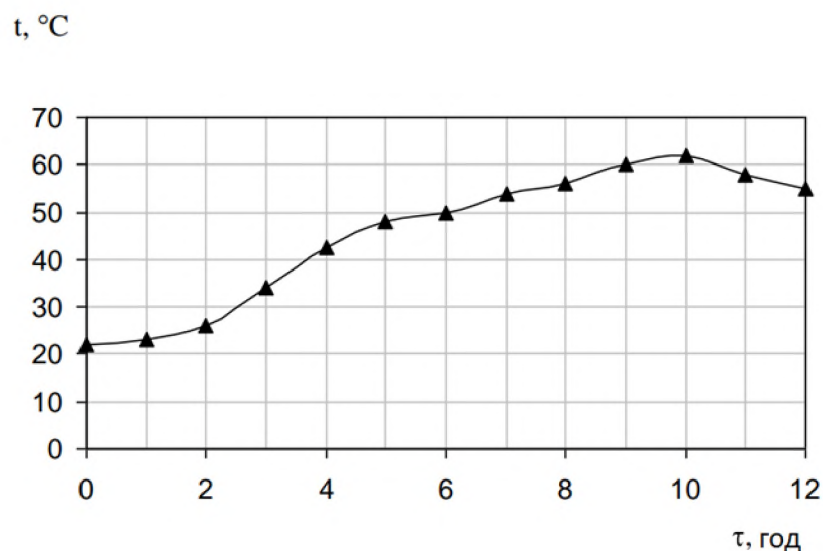


Рисунок 4.2 – Залежність температури нагріву насіння від часу сушіння

Для підвищення ефективності роботи сушарок пропонуються такі заходи, спрямовані на значне покращення продуктивності сушіння та якості отриманого насіння:

- автоматизація процесів перемішування та переміщення вороху в сушильному відділенні;
- застосування змінних (осцилюючих) режимів сушіння;
- обладнання сушильних камер датчиками для моніторингу температури насіння;
- проведення попереднього підігріву насіння ріпаку в вентилятованих активних бункерах перед основним етапом сушіння.

4.2. Дослідження процесу сушіння насінневого ріпаку у товстошарових умовах

Проведено експериментальні дослідження процесу сушіння ріпаку в нерухомому шарі товщиною 20, 30 та 40 мм з використанням лабораторної сушильної установки.

Для підвищення точності та спрощення обробки даних, отриманих у процесі досліджень, експериментальний стенд оснащено додатковим обладнанням і персональним комп'ютером.

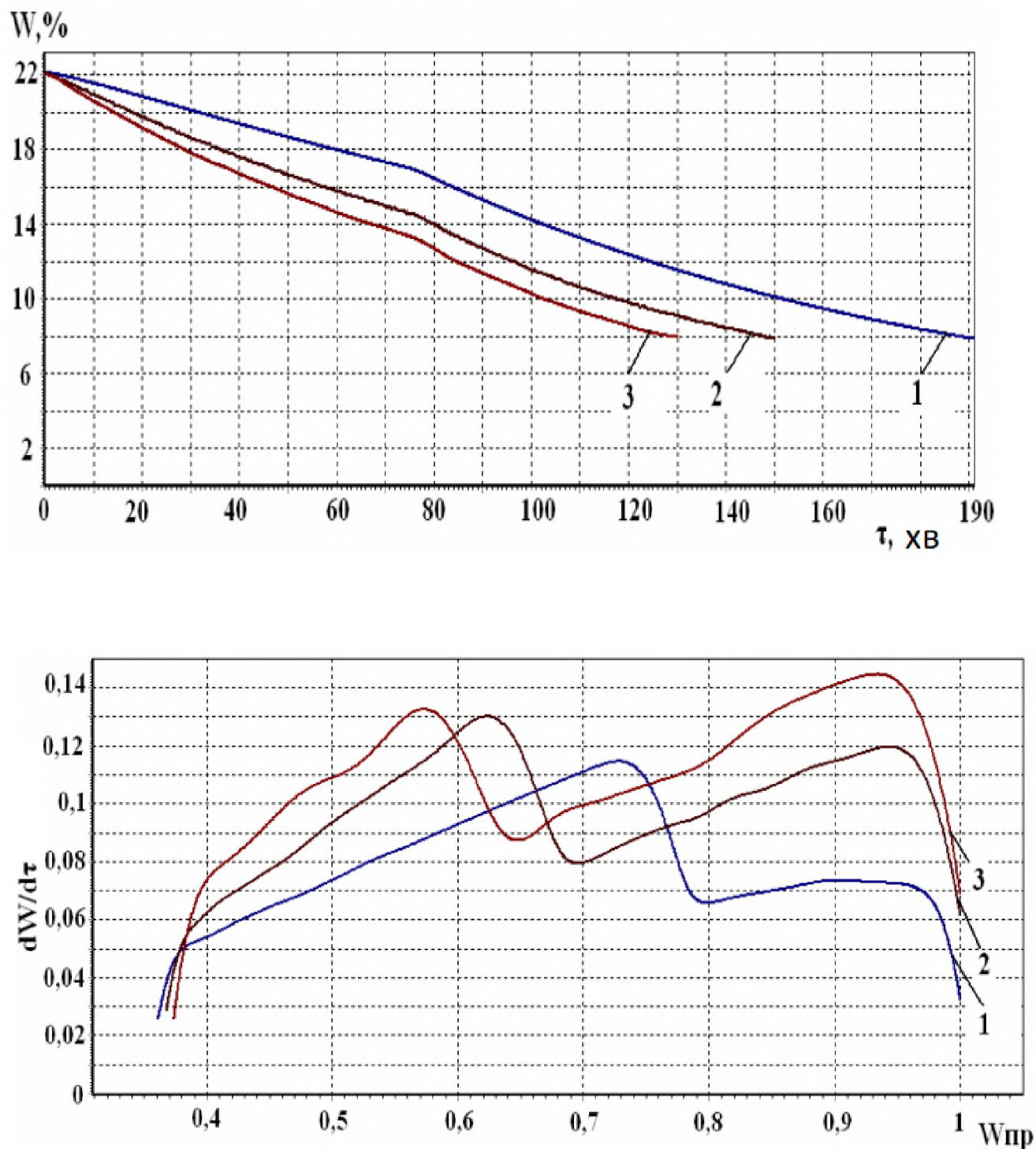


Рисунок 4.3 –Вплив швидкості сушильного агенту на кінетику та інтенсивність процесу сушіння насіння ріпаку в умовах: $T = 50^{\circ}\text{C}$, $S = 10 \text{ мм}$, швидкість повітря:

1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.

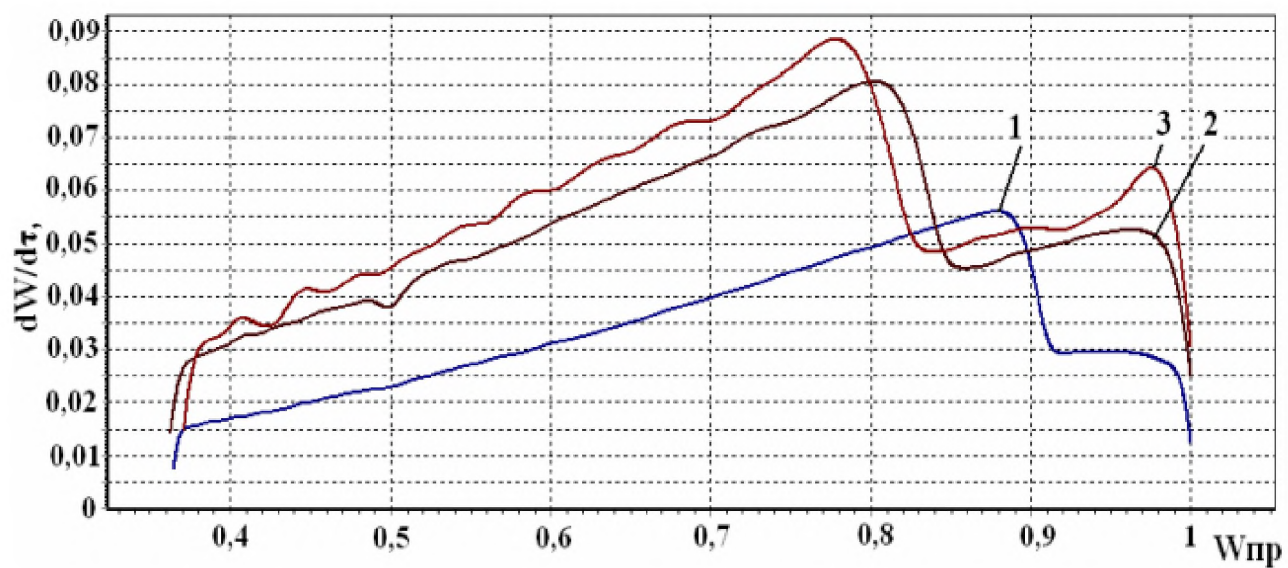
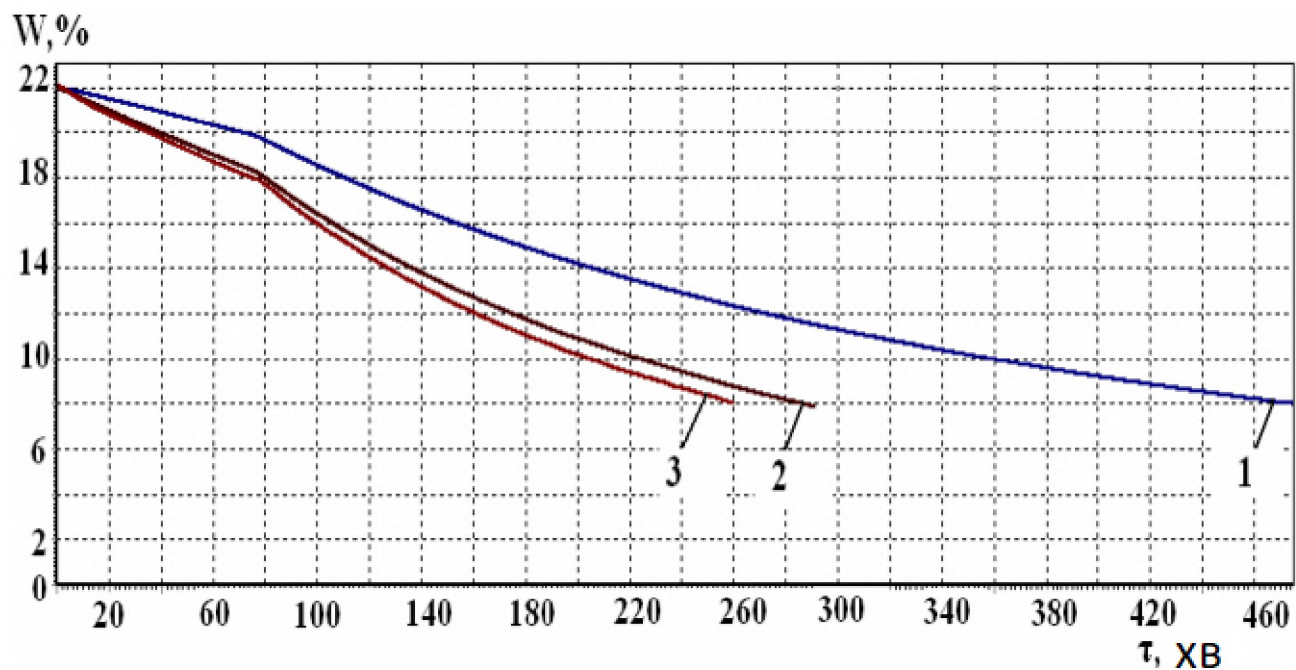


Рисунок 4.4 – Вплив швидкості сушильного агенту на кінетику та швидкість сушіння ріпаку при: $T = 50^{\circ}\text{C}$, $S = 40 \text{ мм}$, швидкість повітря: 1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.

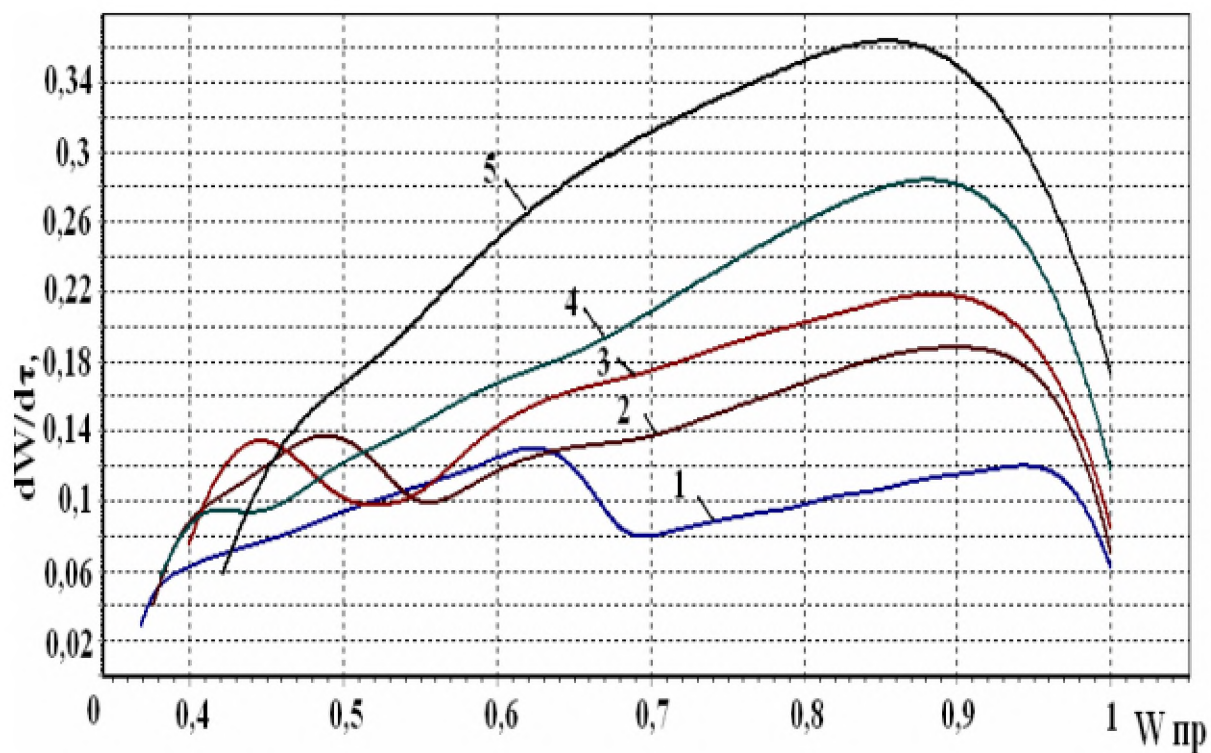
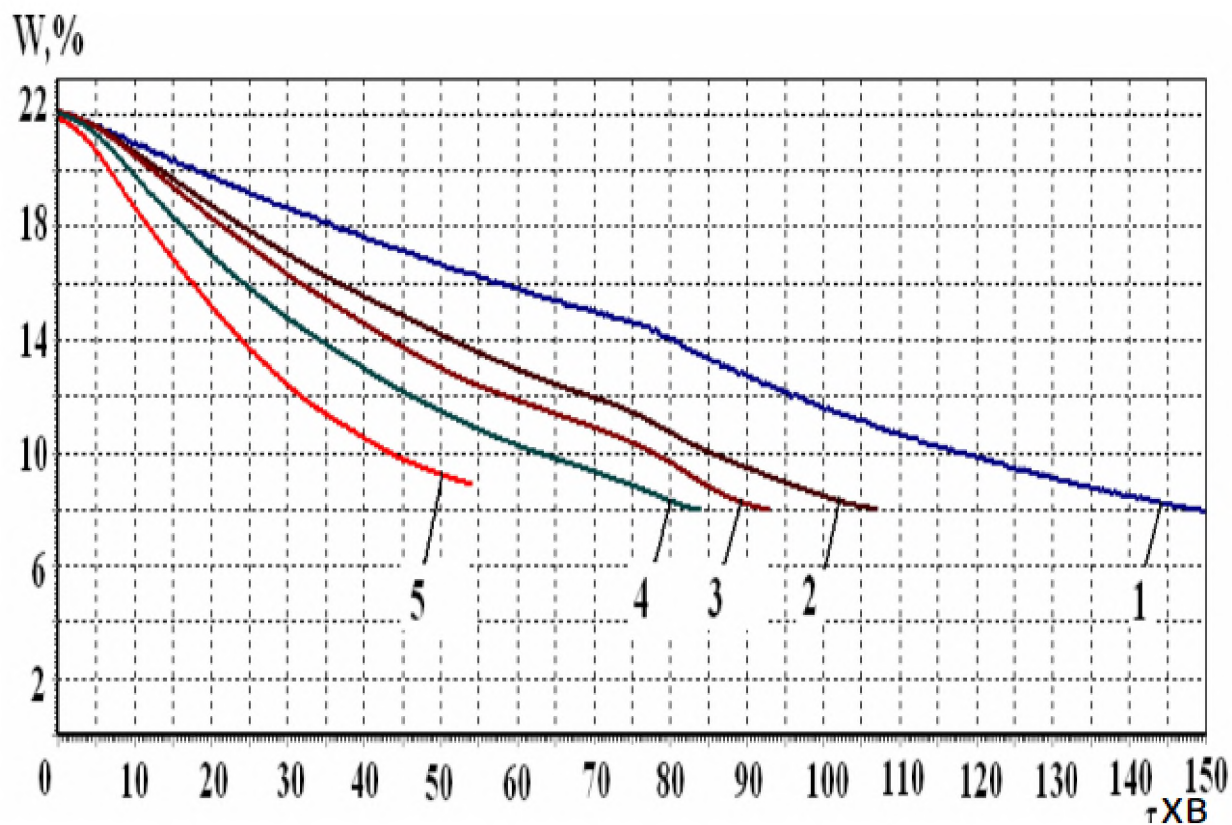


Рисунок 4.5 – Вплив температури на кінетику та швидкість сушіння ріпаку у шарі $S = 10$ мм, $V = 1,5$ м/с та температури сушильного агента: 1 – 50 °C; 2 – 60 °C; 3 – 70 °C; 4 – 80 °C; 5 – 100 °C

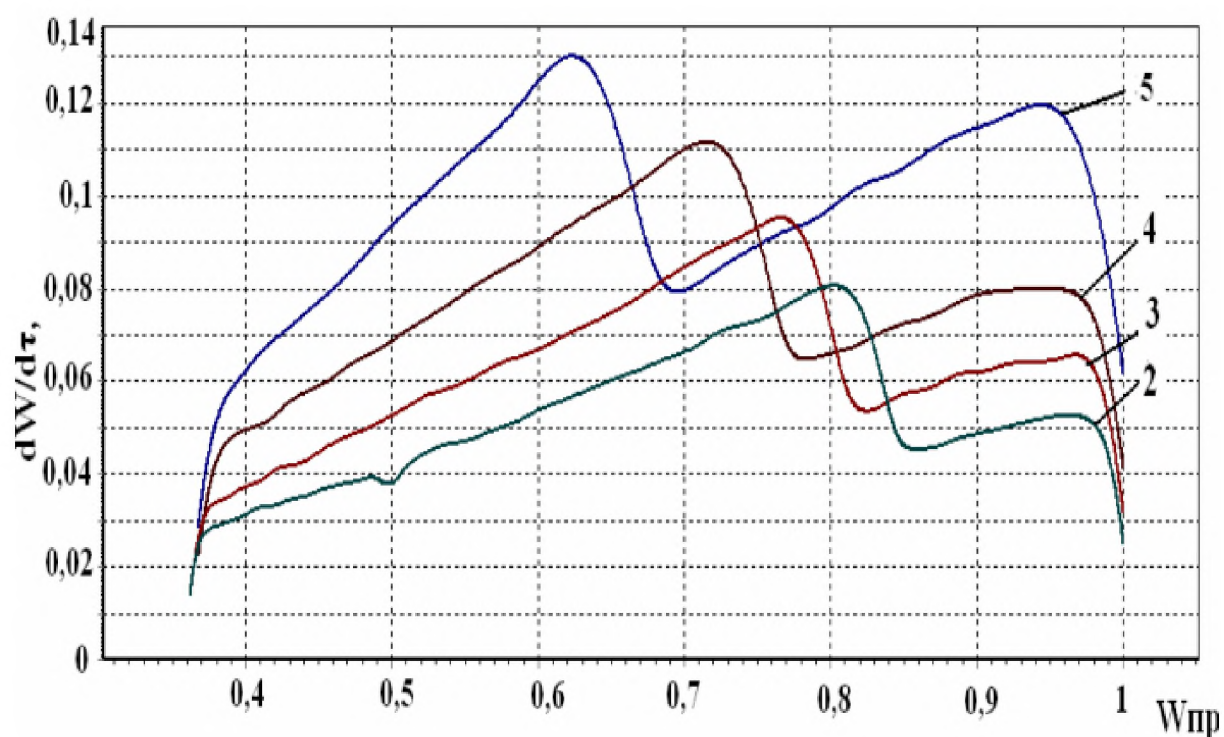
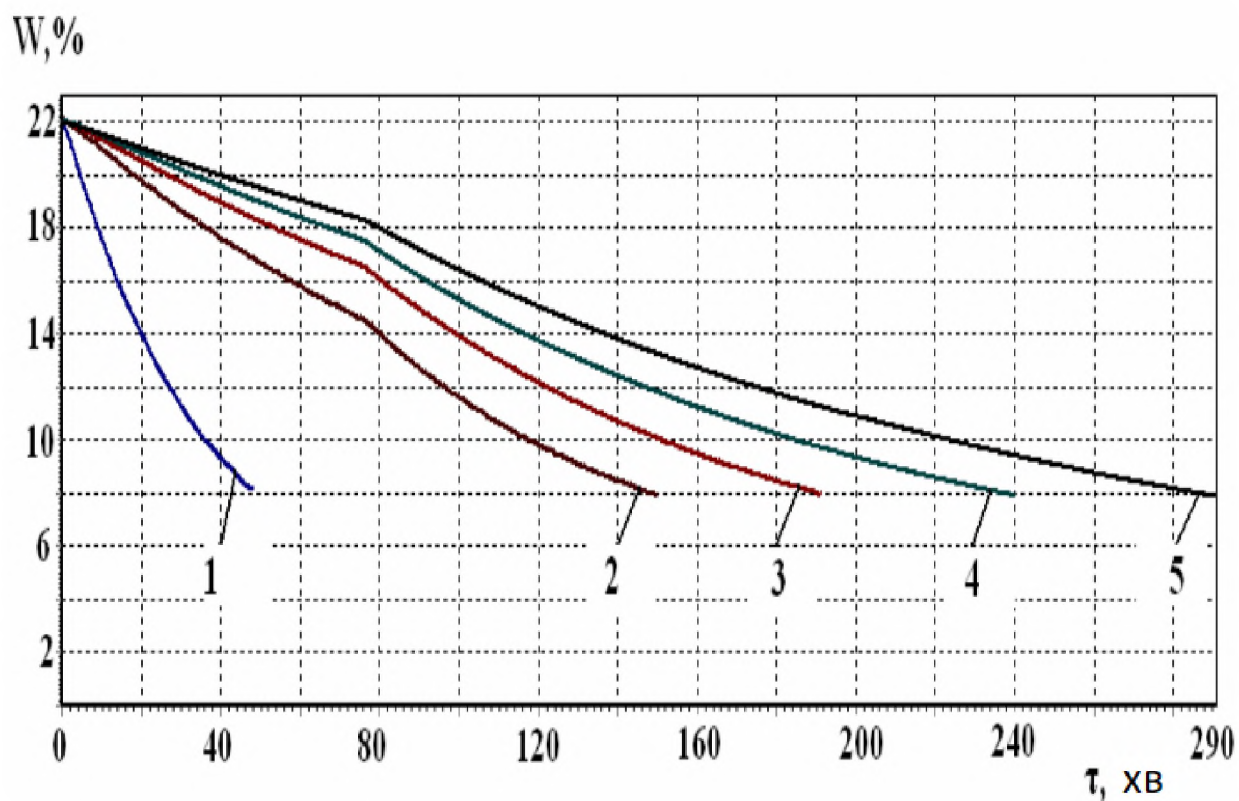


Рисунок 4.6 – Вплив шару ріпаку на кінетику та швидкість сушіння за $T = 50^{\circ}\text{C}$, $V = 1,5 \text{ м/с}$: 1 – елементарний шар; 2 – шар 10 мм; 3 – шар 20 мм; 4 – шар 30 мм; 5 – шар 40 мм.

Аналіз отриманих результатів показує:

На кривих кінетики сушіння чітко видно, що незалежно від швидкості повітря (рис. 4.4), температури (рис. 4.5) чи товщини шару (рис. 4.6), критична точка стабільно знаходиться на позначці 75 хвилин. Змінюючи параметри для інтенсифікації процесу, ми лише продовжуємо тривалість першого етапу швидкості сушіння та скорочуємо другий етап;

При зміні швидкості подачі повітря спостерігається зростання максимального значення швидкості сушіння на першому та другому етапах, а також суттєве збільшення максимуму на першому етапі в шарі товщиною 10 мм. Швидкість руху сушильного агента істотно впливає на тривалість процесу сушіння ріпаку: зі збільшенням швидкості час сушіння значно скорочується. Зокрема, при зміні швидкості з 0,6 до 1,5 м/с тривалість сушіння становить 40 хвилин для шару товщиною 10 мм та 170 хвилин для шару товщиною 40 мм; при швидкості від 1,5 до 2,5 м/с тривалість зменшується до 20 хвилин для шару 10 мм та до 30 хвилин для шару 40 мм (рис. 4.4);

При підвищенні температури в шарі товщиною 10 мм спостерігається суттєве зростання швидкості сушіння на першому етапі, а також різні зміни на другому етапі процесу. Зокрема, швидкість збільшується в інтервалі температур 50-60 °С, зменшується у межах 60-80 °С і повністю зникає при досягненні 100 °С;

Сушіння у шарі виявило відмінності в кривих кінетики сушіння для шарів товщиною 20, 30 та 40 мм. Характер кривих швидкості сушіння залишається постійним, проте максимальні показники на першому етапі значно нижчі, ніж на другому. Збільшення товщини шару лише зміщує критичну точку: якщо для шару 20 мм вона відповідає початковій вологості ріпаку 18%, то для шару 40 мм — вона пересувається до початкової вологості у 14%.

4.3. Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку

У ході досліджень було визначено вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку. На основі аналізу отриманих результатів можна сформулювати такі рекомендації щодо сушіння ріпаку в елементарному шарі:

Найоптимальніший режим сушіння насінневого зерна, який зберігає початкову схожість ріпаку на рівні 94%, включає температуру 50°C та швидкість сушіння 1,5 м/с. Початкова вологість ріпаку за такого режиму не впливає на процес сушіння (див. рис. 4.7);

Найбільш несприятливим режимом сушіння насіння ріпаку є температура 80°C і вище за швидкості сушильного агента 1,5 м/с. Початкова вологість насіння в цьому режимі значною мірою впливає на його схожість. За початкової вологості 12,0% схожість становить 67%, при вологості 17,0% – знижується до 33%, а за 24,5% – падає до 0% (рис. 4.7).

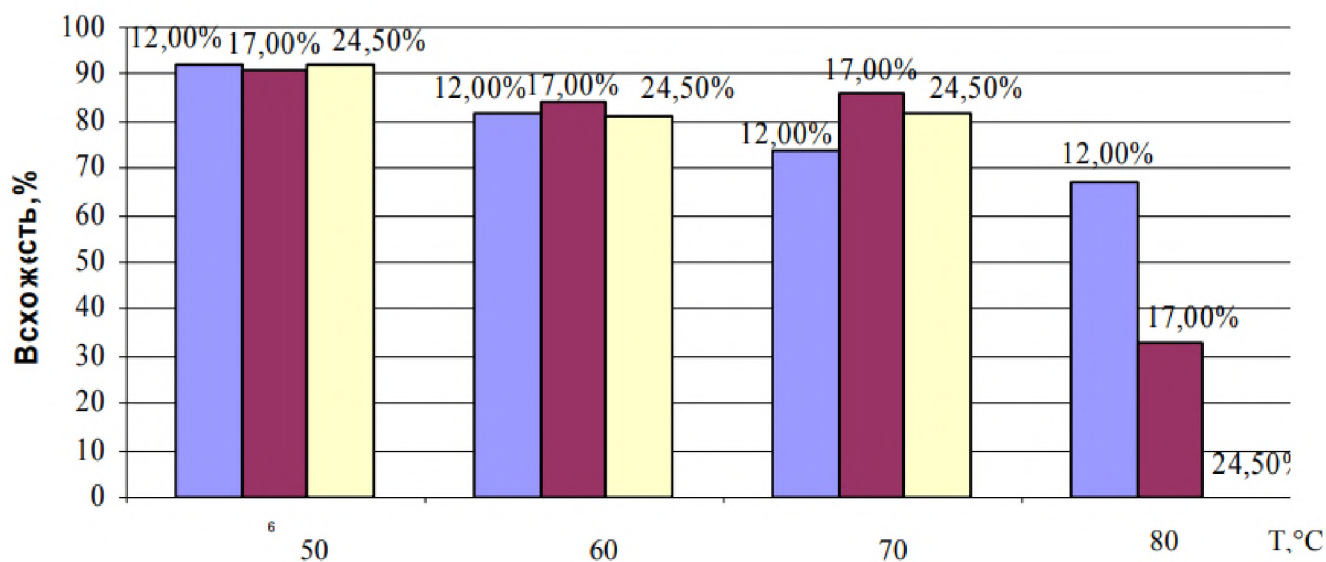


Рисунок 4.7 – Вплив температури та початкової вологості на схожість ріпаку за швидкості сушильного агента 1,5 м/с.

Висновки до розділу

1. Складено графіки, що показують зміну вологості насіння ріпаку з часом та динаміку температури насіння під час його сушіння. На основі отриманих даних розроблено рекомендації для підвищення ефективності процесу сушіння.
2. Проведено дослідження та побудовано графіки, що відображають кінетику сушіння насінневого ріпаку в умовах товстого шару.
3. Дослідним шляхом встановлено вплив температурного режиму та початкового рівня вологості на проростання насіння ріпаку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показує, що високі енерговитрати процесу сушіння здебільшого спричинені недостатньою ефективністю використання потенціалу сушильного агенту, що є проблемою для усіх існуючих типів сушарок. Зокрема, в конвективних протитечійних зерносушарках барабанного та бункерного типу втрата напору сушильного агенту по висоті камери сушіння негативно впливає на їхню роботу. Це пов'язано з аеродинамічним опором шару зерна, який гальмує рух сушильного агенту. Хоча цьому явищу присвячена значна кількість досліджень, універсального вирішення проблеми досі не запропоновано. У багатьох роботах для забезпечення рівномірного проходження сушильного агенту через шар зерна пропонується застосовувати механічні системи активізації, які включають розпушування та перемішування матеріалу в сушарці. Водночас, такий підхід передбачає додаткові енерговитрати на роботу приводів механізмів активізації процесу сушіння.

1. Здійснено огляд відомих теоретичних підходів до сушіння зернових матеріалів, які можуть бути застосовані для аналізу процесу сушіння ріпаку;

2. Було здійснено теоретичний аналіз графічних залежностей, які характеризують процес конвективного сушіння зернових насінневих матеріалів. В результаті досліджень розроблено низку практичних рекомендацій, спрямованих на підвищення ефективності та прискорення процесу сушіння, враховуючи специфіку оброблюваних матеріалів та технологічні особливості;

3. Розроблено конструкцію конусоподібної сушильної камери для сушарки ріпаку, яка забезпечує рівномірний розподіл сушильного агента по висоті шару матеріалу, сприяючи інтенсифікації процесу сушіння;

4. Для здійснення експериментальних досліджень у рамках даного проєкту було застосовано як загальновідоме лабораторне обладнання, що широко використовується у науковій практиці, так і спеціально розроблені інструменти та пристрої, створені з урахуванням специфіки поставлених завдань і цілей дослідження;

5. Розроблено детальну методику для визначення оптимальних параметрів процесу сушіння насіння ріпаку, що здійснюється в умовах товстого шару. У цьому підході враховано специфічні особливості теплового впливу, що дозволяють забезпечити рівномірність сушіння, зберігаючи при цьому високу якість насіння та його технологічні властивості;

6. Застосовано відомий метод для оцінки енергії проростання та схожості насіння ріпаку, яке зазнавало впливу різних температур під час сушіння;

7. Складено графіки, що відображають зміну вологості насіння ріпаку залежно від часу, а також динаміку температури насіння під час сушіння. На основі проведеного аналізу розроблено рекомендації для підвищення ефективності процесу сушіння;

8. Проведено ґрунтовне дослідження процесу сушіння насіння ріпаку в умовах розташування у товстому шарі та побудовано детальні графіки, які відображають кінетику цього процесу;

9. У ході експериментального дослідження було встановлено, що температура та початкова вологість мають суттєвий вплив на рівень схожості насіння ріпаку. Було проаналізовано, як різні температурні умови та вміст вологи у насінні впливають на процес проростання, що дозволило виявити залежності і встановити оптимальні параметри для забезпечення високої продуктивності культури.

ДОДАТКИ

Формат	Зона	Позиція	Позначення	Назва	К-ть	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			AI.CKP.02.00.0000.SK	Складальне креслення		
				<u>Деталі</u>		
		1	AI.CKP.02.00.0001	Кронштейн	2	
		2	AI.CKP.02.00.0002	Цапфа	2	
		3	AI.CKP.02.00.0003	Боковина конусна	2	
		4	AI.CKP.02.00.0004	Каркас боковини	2	
		5	AI.CKP.02.00.0005	Кільце	2	
		6	AI.CKP.02.00.0006	Кришка	2	
		7	AI.CKP.02.00.0007	Кришка	2	
		8	AI.CKP.02.00.0008	Втулка	2	
		9	AI.CKP.02.00.0009	Рама	1	
		10	AI.CKP.02.00.0010	Кожух	1	
		11	AI.CKP.02.00.0011	Ручка	1	
		12	AI.CKP.02.00.0012	Шпінт	2	
		13	AI.CKP.02.00.0013	Завіс верхній	2	
		14	AI.CKP.02.00.0014	Завіс нижній	2	
		15	AI.CKP.02.00.0015	Кріплення	2	
		16	AI.CKP.02.00.0016	Гак	1	
		17	AI.CKP.02.00.0017	Стопор	2	
		18	AI.CKP.02.00.0018	Фіксатор	2	

					AI.CKP.02.00.0000.SK			
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Ковальчук				Камера сушильна	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Забродоцька					М	1	2
Н. контр.	Юхимчук				ЛНТУ Каф. AI ст.гр. AIм-21			
Затверд.	Хомич							

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ РІПАКУ З УДОСКОНАЛЕННЯМ КОНУСОПОДІБНОЇ КАМЕРИ СУШІННЯ

Метою роботи є забезпечення інтенсифікації технологічного процесу сушіння насіння ріпаку внаслідок розробки та обґрунтування конусоподібної геометричної форми сушильної камери, що компенсує зміну параметрів агента сушіння за висотою шару зернового матеріалу.

Задачі дослідження:

- проаналізувати насіння технічних культур, зокрема ріпаку, як об'єкт обробки, а саме - капілярпористе-колоїдне тіло, що піддається конвективному сушінню;
- встановити та проаналізувати відомі технології вирощування ріпаку, його збирання та зберігання, виділити переваги існуючих технологій та виявити недоліки;
- теоретично обґрунтувати методику розрахунку процесу сушіння ріпаку, виконати пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу загалом;
- експериментально дослідити фізико-механічні властивості насіння ріпаку, як об'єкта конвективного сушіння;
- дослідити кінетику сушіння насіння ріпаку на основі наявного обладнання та з використанням відомих досліджень та технологій;
- розробити вдосконалену технологію процесу сушіння насіння ріпаку на основі застосування сушильної камери конусоподібної форми.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес та технічні засоби сушіння ріпаку.

Предмет дослідження. Технологічна схеми сушарки з конусоподібною камерою сушіння та закономірності руху сушильного агента крізь шар матеріалу у сушарці.

Наукова новизна одержаних результатів

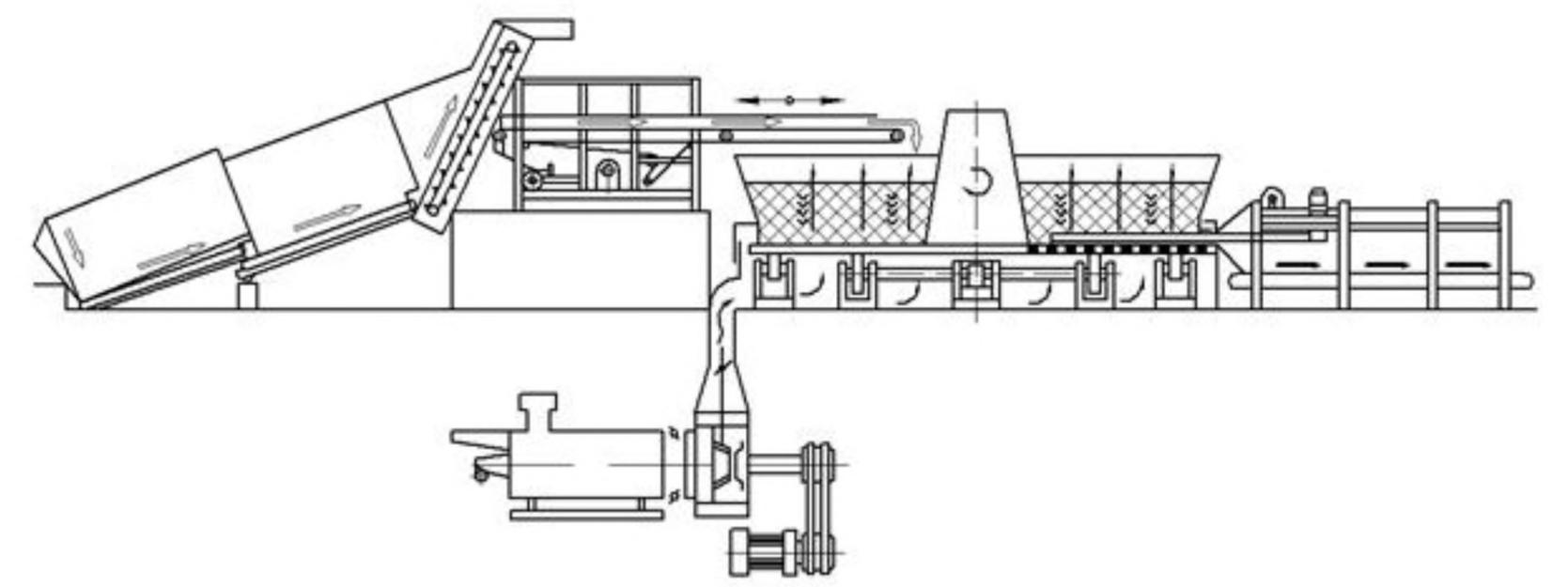
- набули подальшого розвитку відомі методи сушіння насіння ріпаку із ефективним використанням потенціалу сушильного агента;
- набули розвитку експериментальні дослідження процесу сушіння насіння ріпаку в елементарному та товстому шарі, що дали можливість отримати раціональну форму камери сушіння;
- запропоновано систему вдосконалених технічних рішень та обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри конусоподібної сушарки для сушіння насіння технічних сільськогосподарських культур, зокрема ріпаку.

Практичне значення одержаних результатів. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблена технологія енергозберігаючого сушіння дисперсних сільськогосподарських матеріалів та запропонована конструкція сушарки із конусоподібною камерою сушіння. Запропоновані результати досліджень можуть бути використані при вдосконаленні обладнання для післязбирального обробітку насіння технічних сільськогосподарських культур у агрогосподарствах.

КОНСТРУКЦІЇ СУШАРОК ДЛЯ НАСІННЯ РІПАКУ



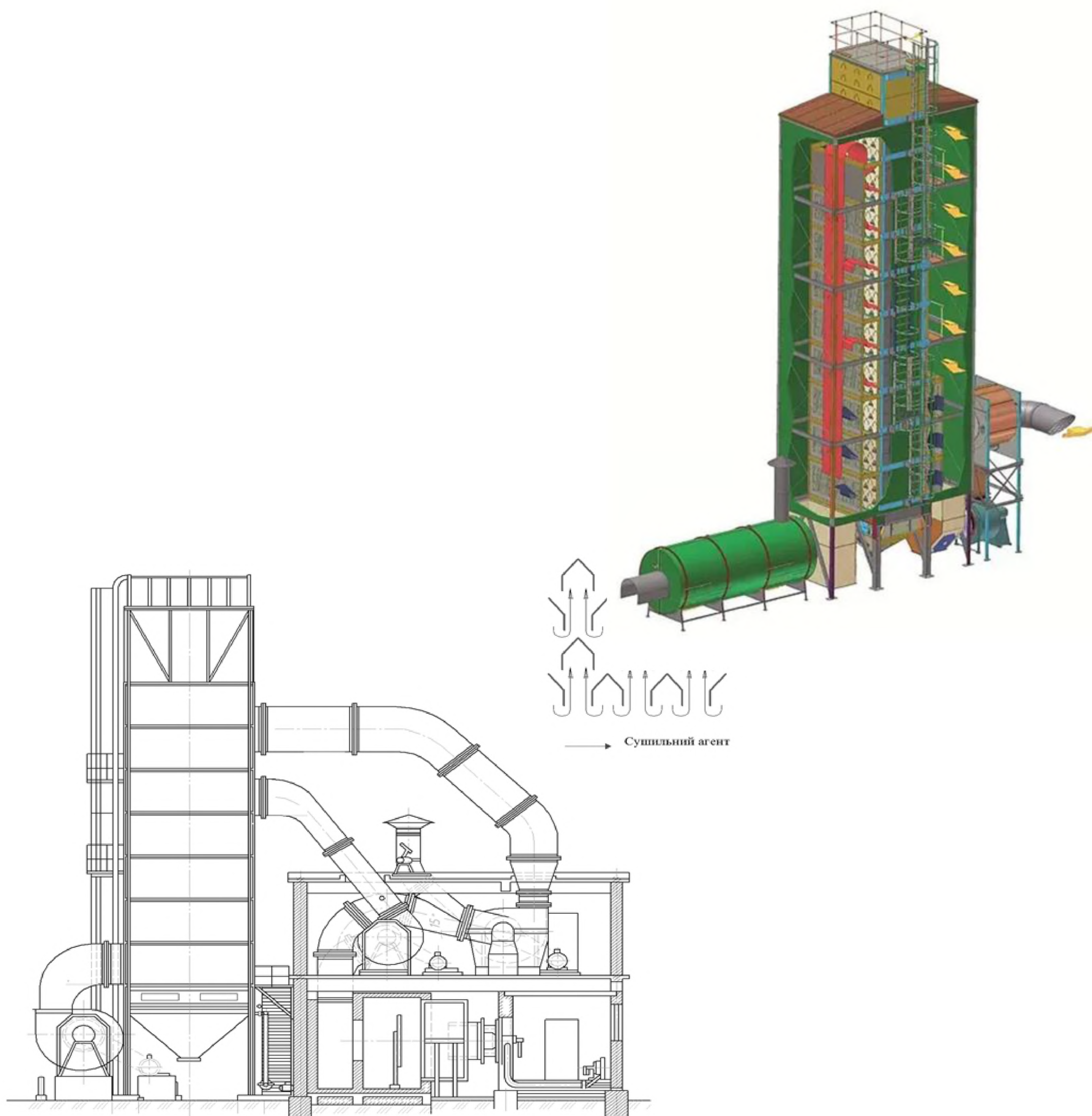
Ріпак: 1, 2 – рослини у фазах розвинених сходів і цвітіння – плодоутворення;
3 – частина стебла із квітками й плодами;
4 – плід; 5 – насіння



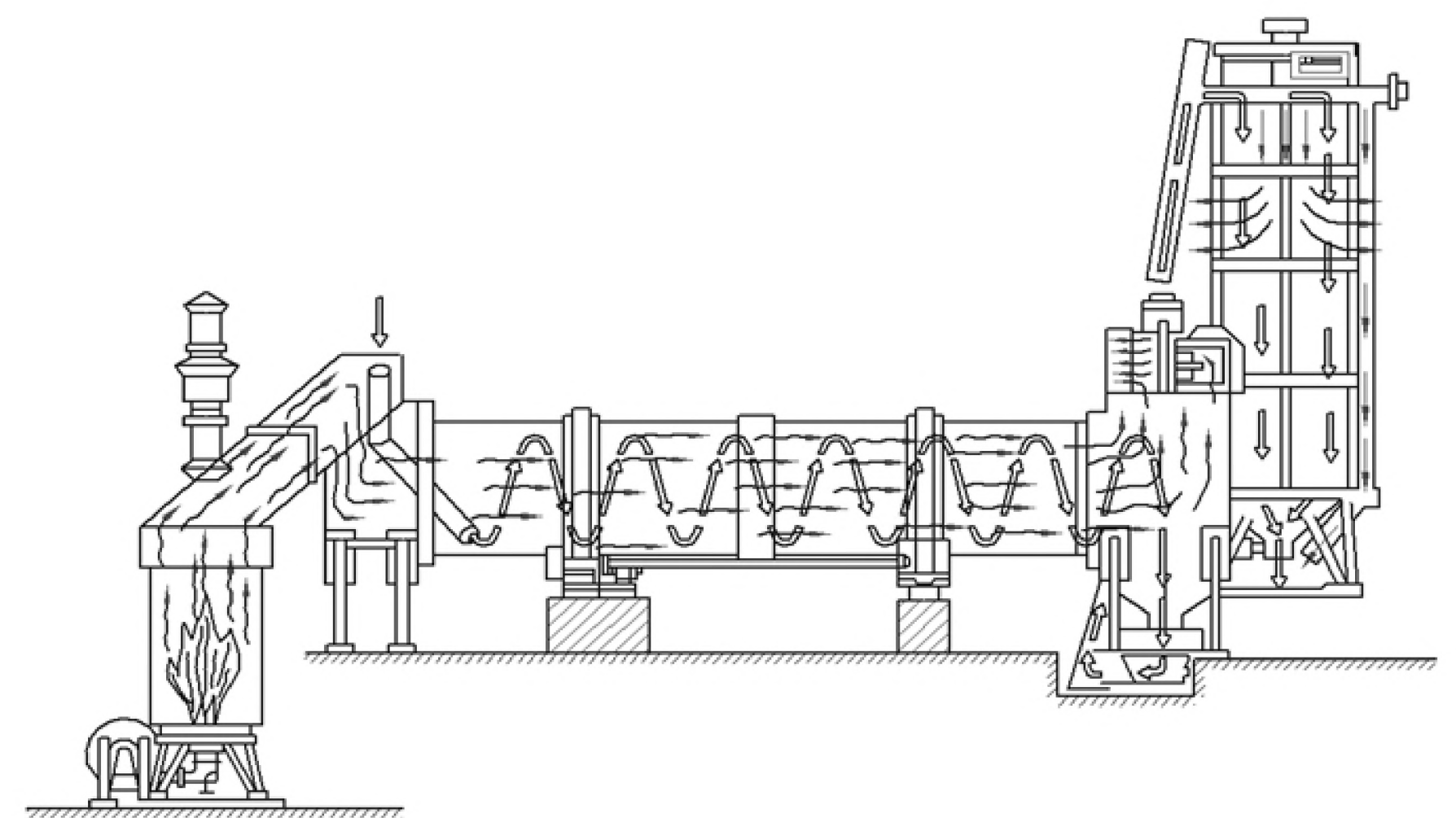
— Вологий матеріал
— Агент сушіння
— Рух матеріалу
— Вивантаження висушеного матеріалу



Карусельна сушарка



Шахтна сушарка



— Агент сушіння
— Рух насіє
— Атмосфе

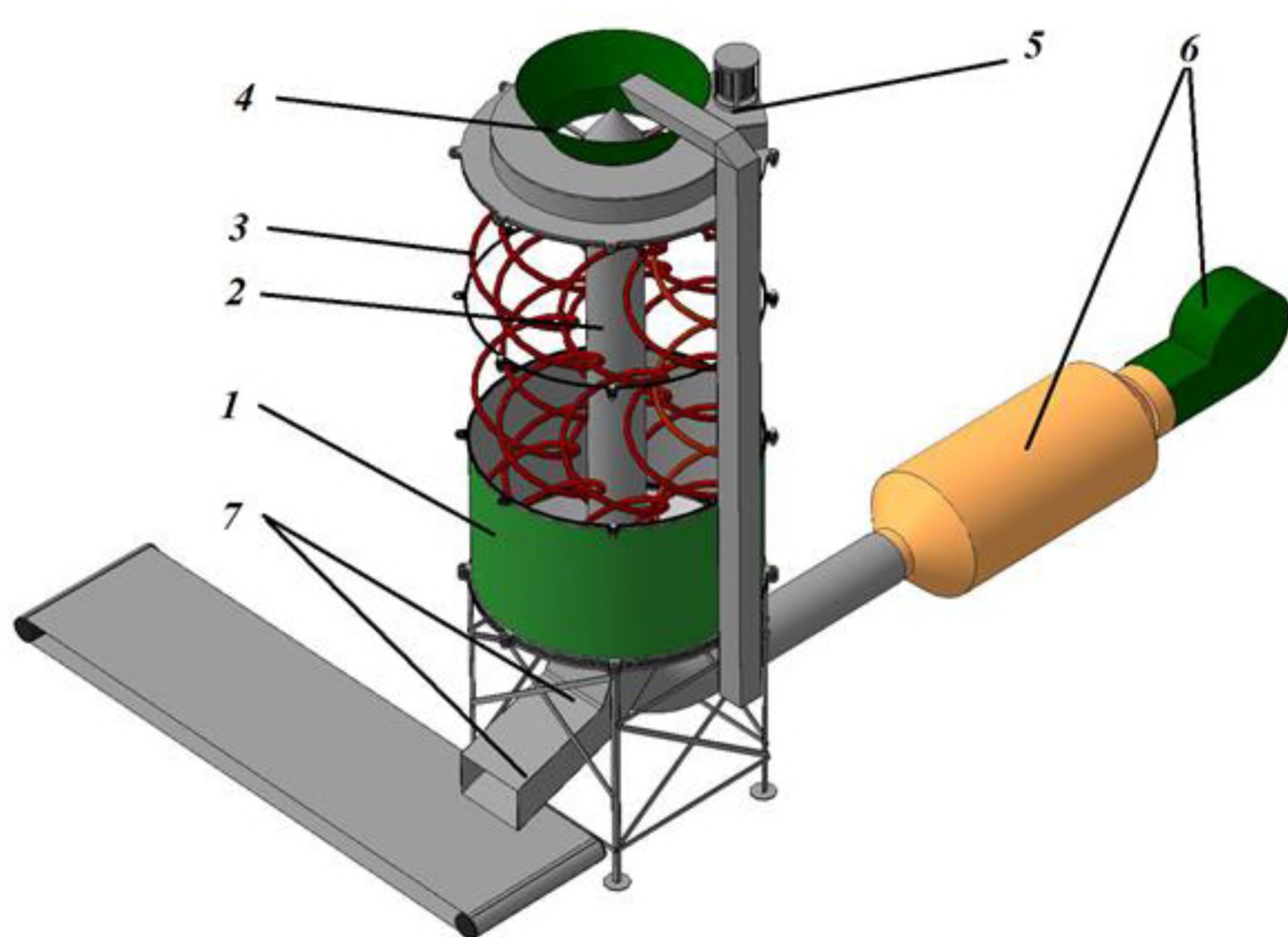
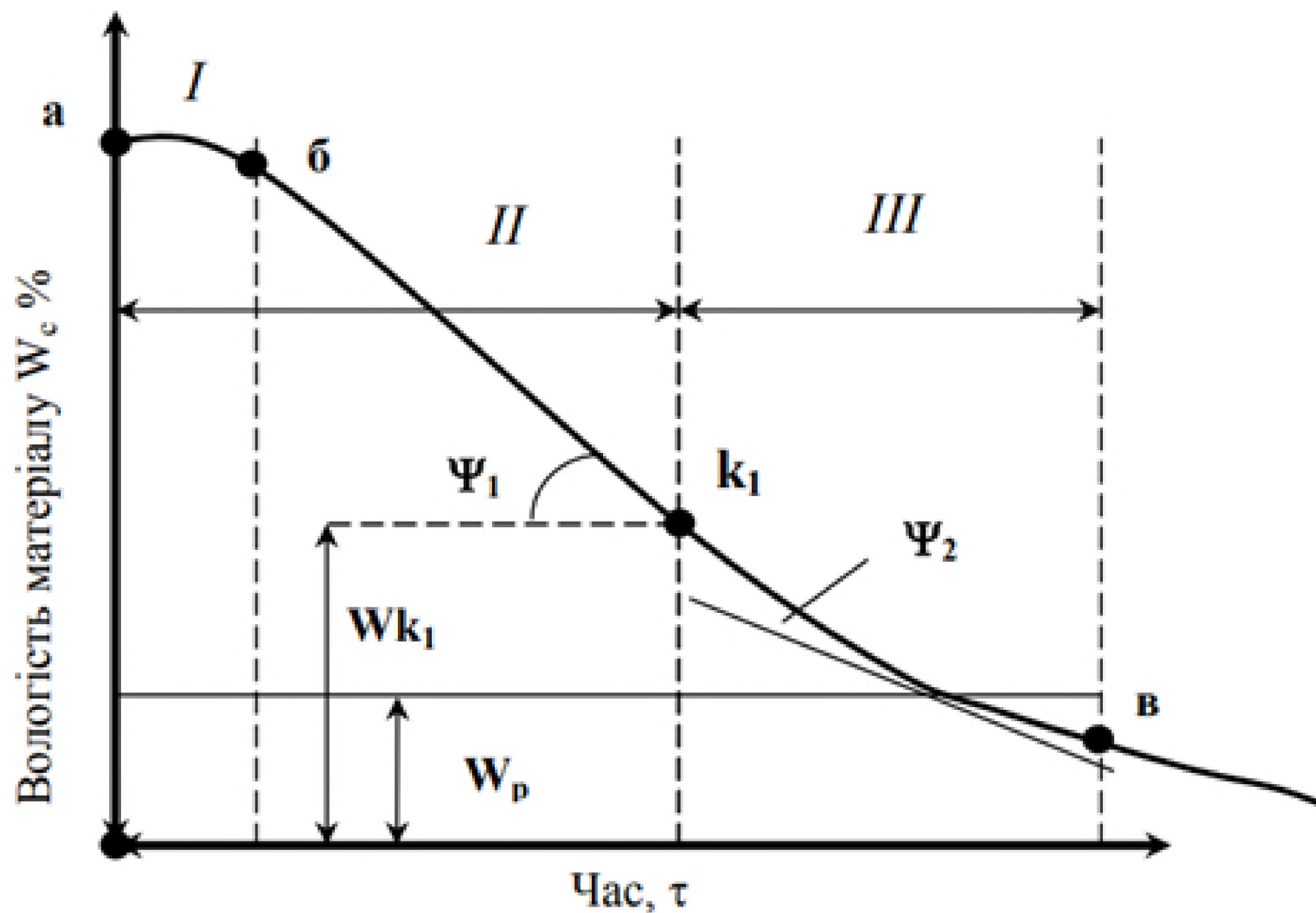


Схема сушарки для сипкого матеріалу

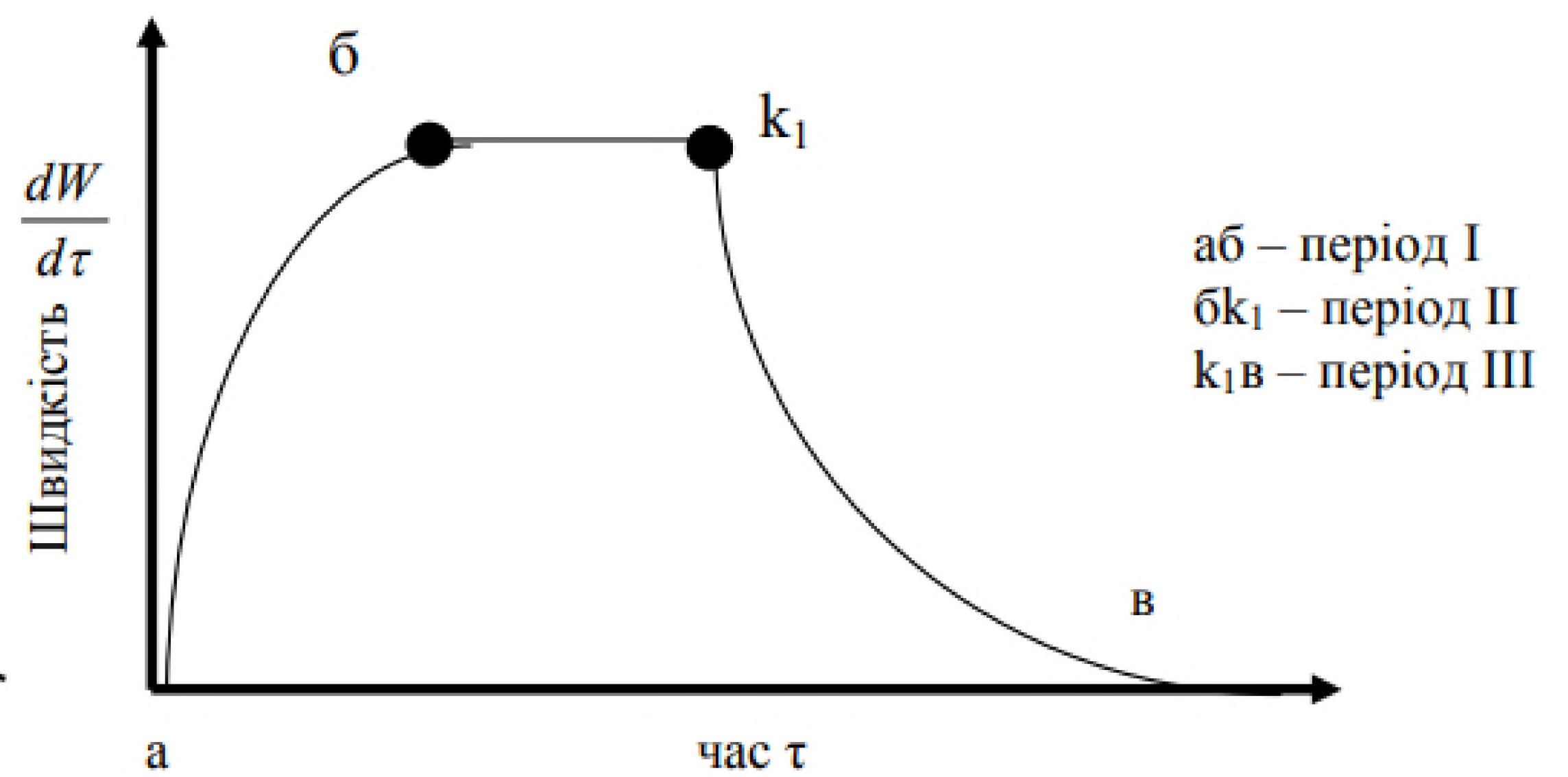
1 – зовнішня перфорована стінка сушильної камери;
2 – внутрішня перфорована колона сушильної камери для подачі сушильного агента;
3 – спіральні активатори для перемішування матеріалу;
4 – завантажувальний пристрій;
5 – привод активаторів;
6 – теплогенератор з вентилятором;
7 – вивантажувальний пристрій

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основи теорії сушіння насінневих сільськогосподарських матеріалів



Крива сушіння



Крива швидкості сушіння

Для різних випадків сушіння нараховують шість можливих форм зміни швидкості сушіння.

$$I_m = \frac{q}{r} = \frac{N_0}{100} R_v \rho_0 / r = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0 \frac{R_v \cdot \rho_0}{100 \cdot r},$$

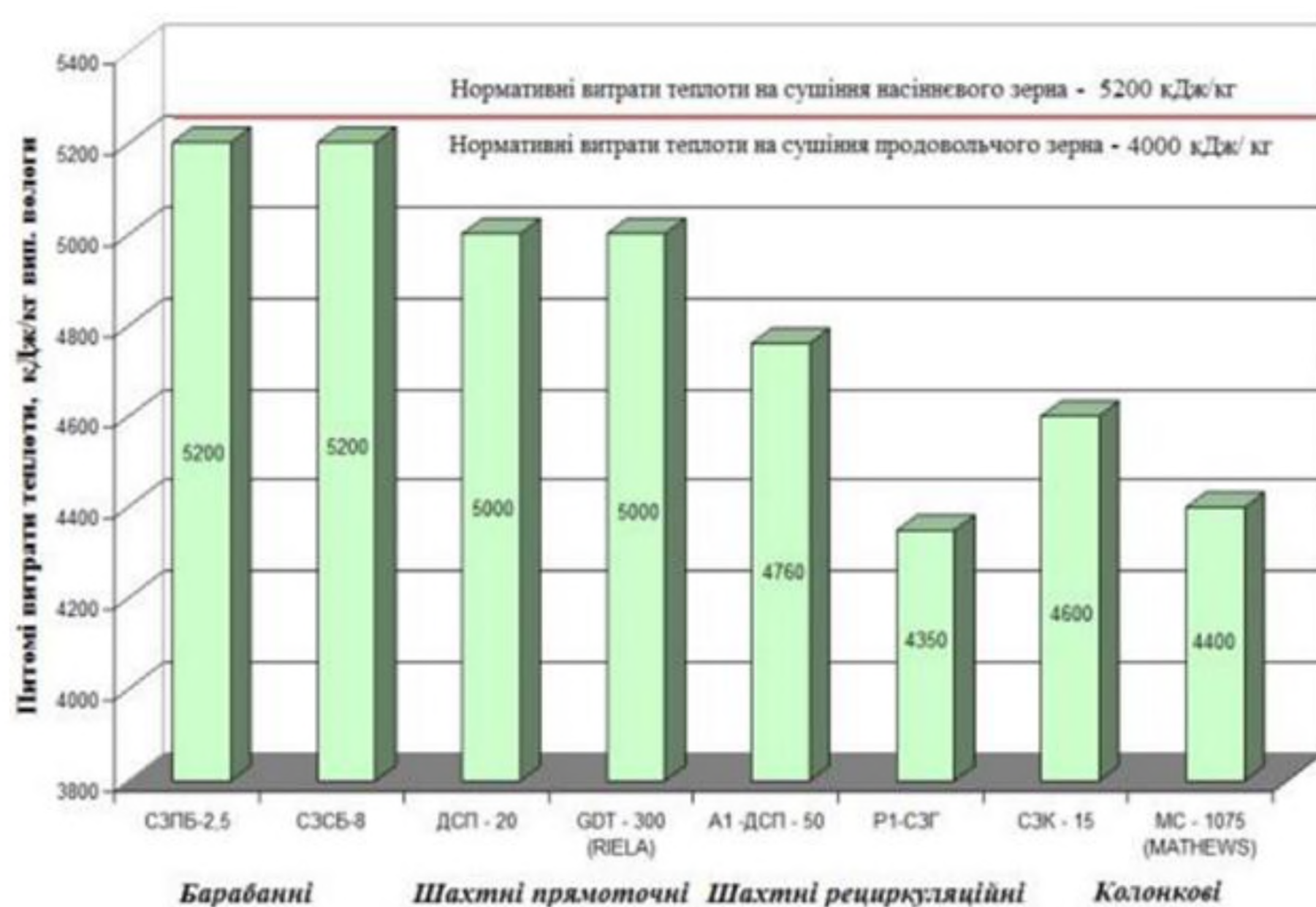
де: $N_0 = \left(\frac{dW^c}{d\tau} \right)_0$ – швидкість сушіння в періоді постійної швидкості, %/год.;

$R_v = \frac{V}{F}$ – відношення об'єму тіла до його площі, м;

ρ_0 – густина абсолютно сухого матеріалу, кг/м³;

r – теплота пароутворення, кДж/кг.

Пошук шляхів підвищення енергоефективності процесу сушіння ріпаку



Питомі витрати тепла на сушіння зерна залежно від типів сушарок

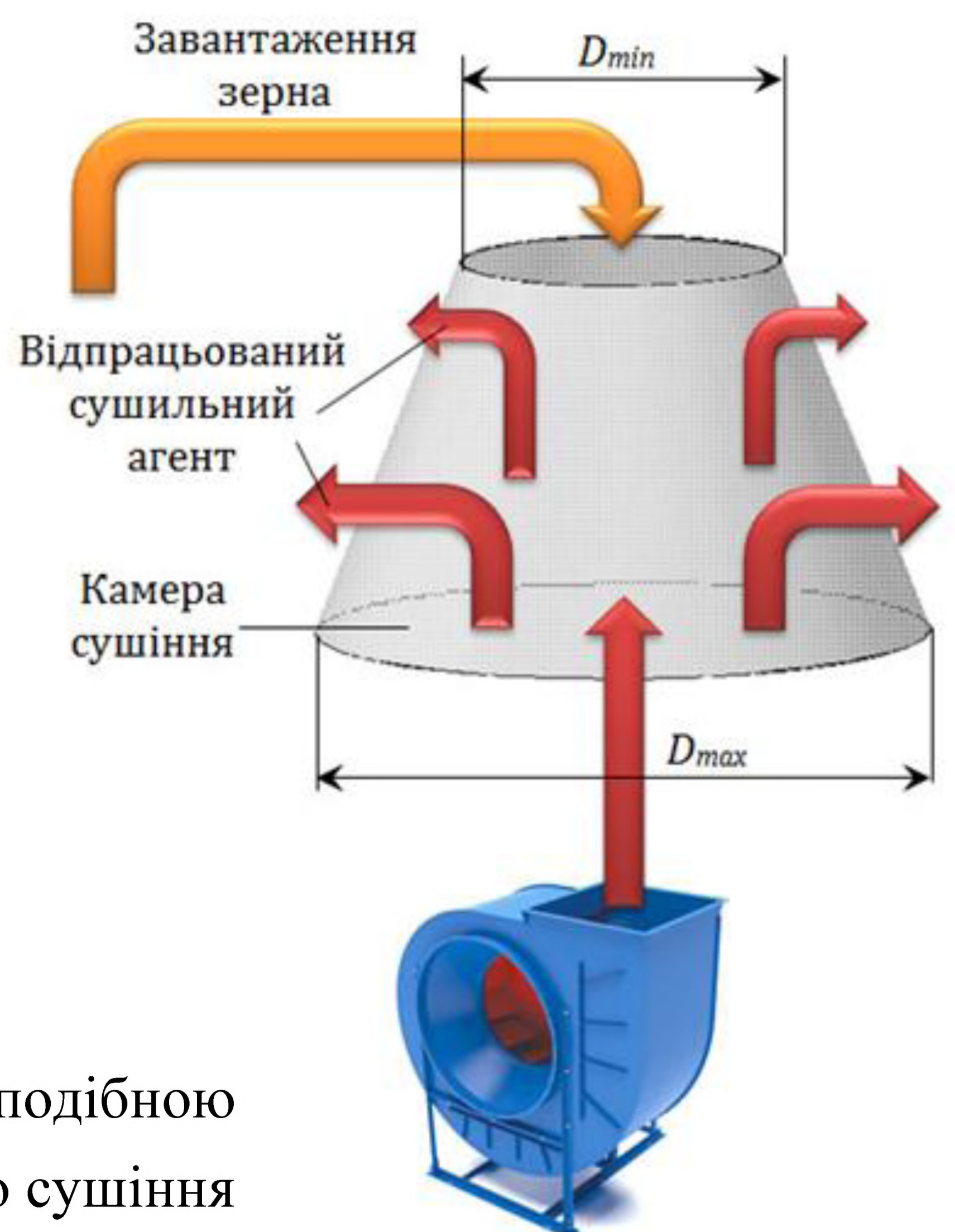


Схема сушарки із конусоподібною камерою сушіння

ЛАБОРАТОРНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Загальний вигляд сушильної електрошафи СНОЛ 3.5



Загальний вигляд електронної ваги ТВЛ-0.5, та термометра-щупа

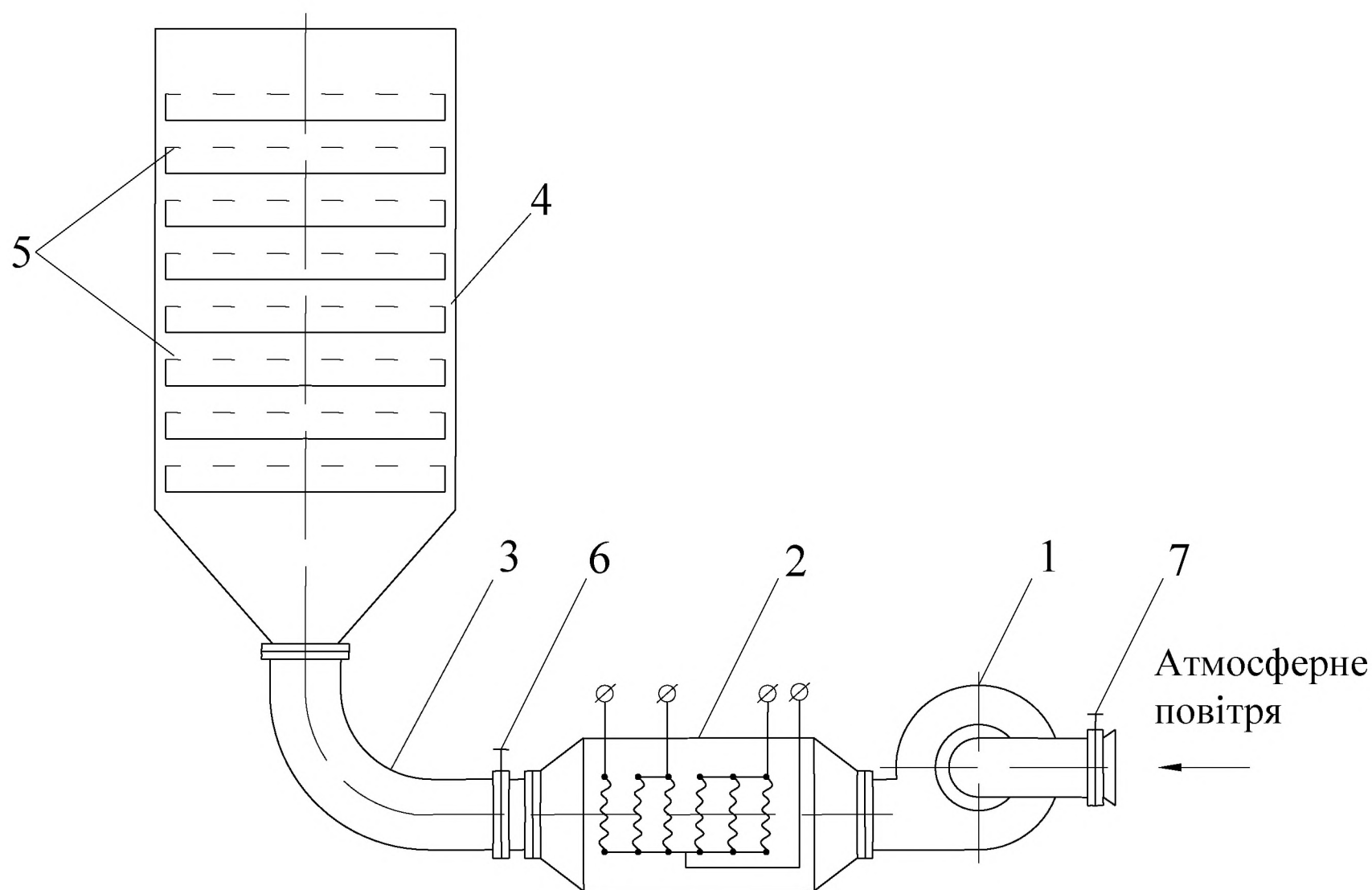


Схема лабораторної установки для дослідження процесу вентиляції насіння пшениці:
1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – гнучке з'єднання; 4 – камера; 5 – касети з перфорованим днищем; 6, 7 – заслінки.

Установка складається з вентилятора 1, калорифера 2, гнучкого з'єднання 3, сушильної камери 4, де встановлено вісім касет з перфорованим днищем 5.



Лабораторна установка для дослідження процесу сушіння насіння ріпаку

Визначення вологості:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%$$

m_1 - початкова маса навішування, г;
 m_2 - кінцева маса навішування, г.

Насіння ріпаку, розкладене на зволоженому фільтрувальному папері в чашках Петрі:
а) початок дослідження, б) проросле

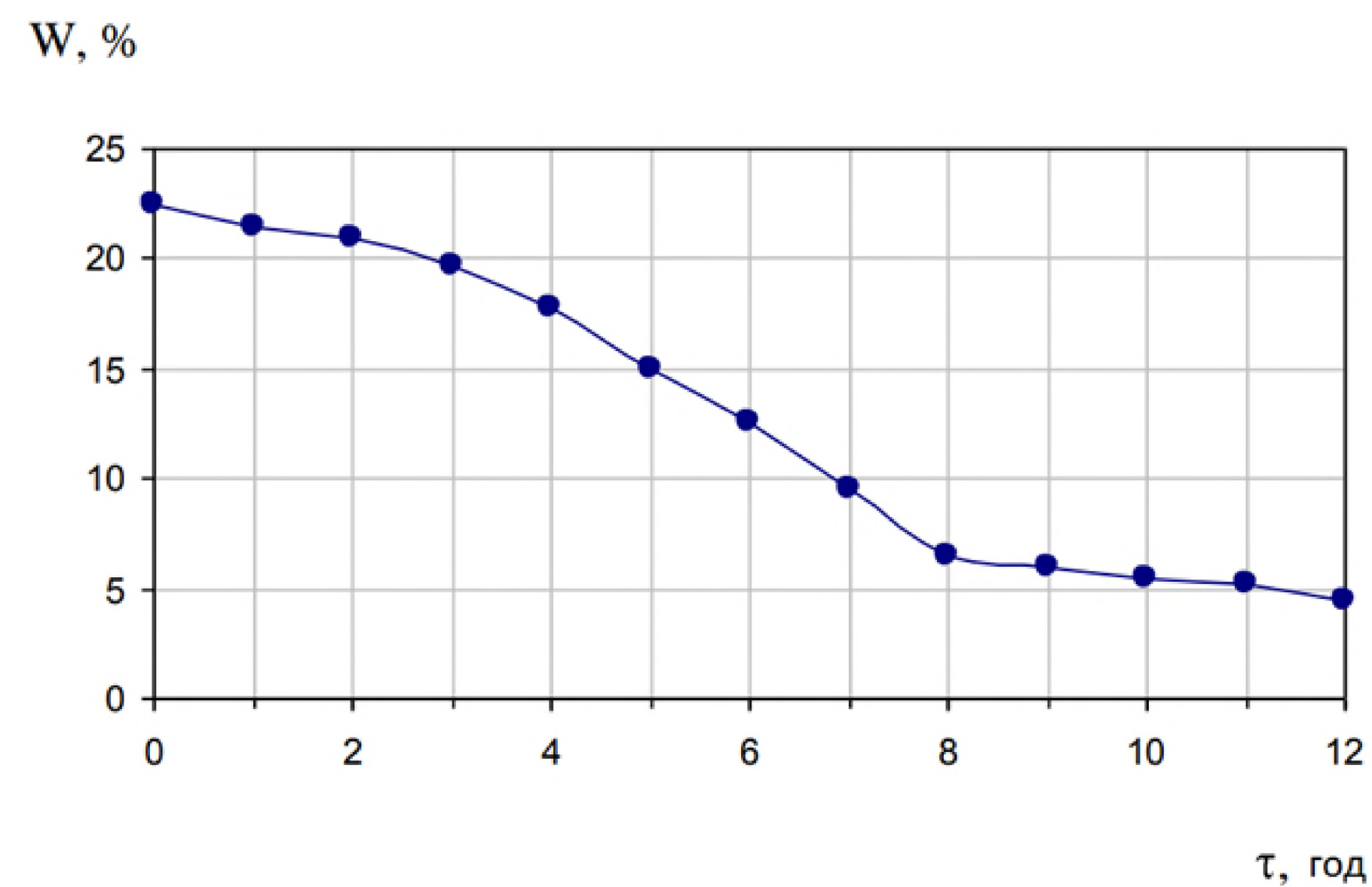


а)

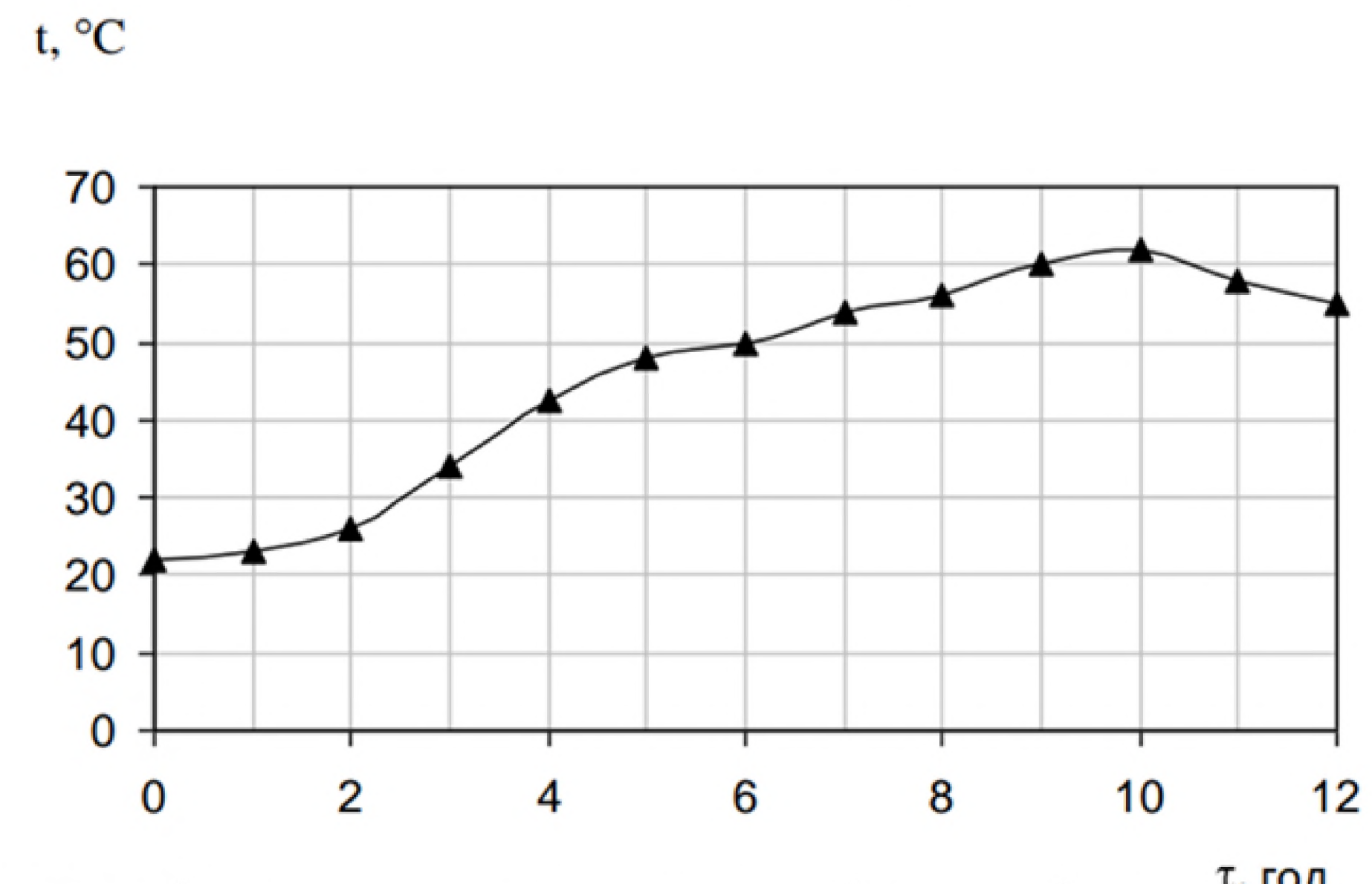


б)

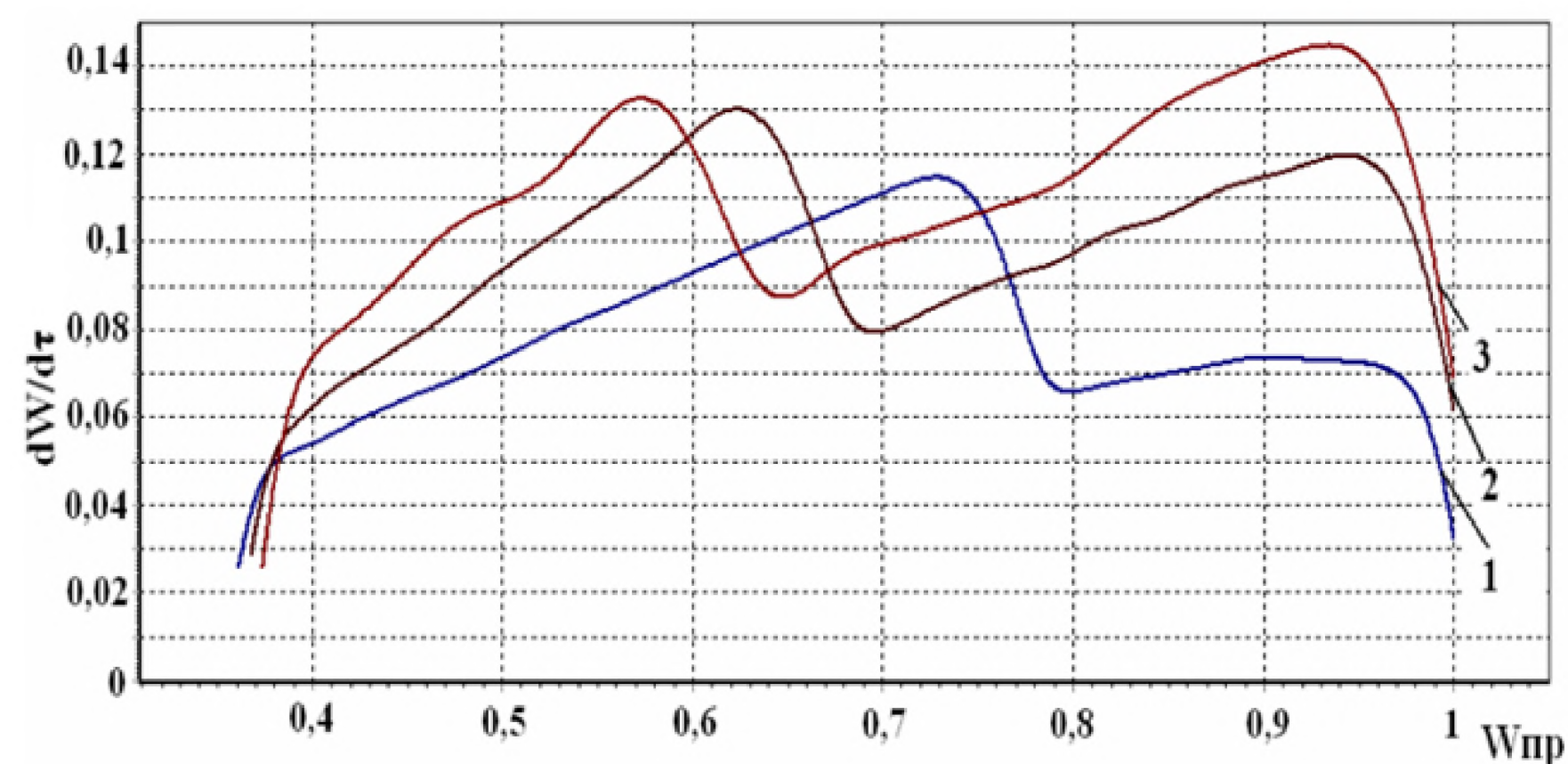
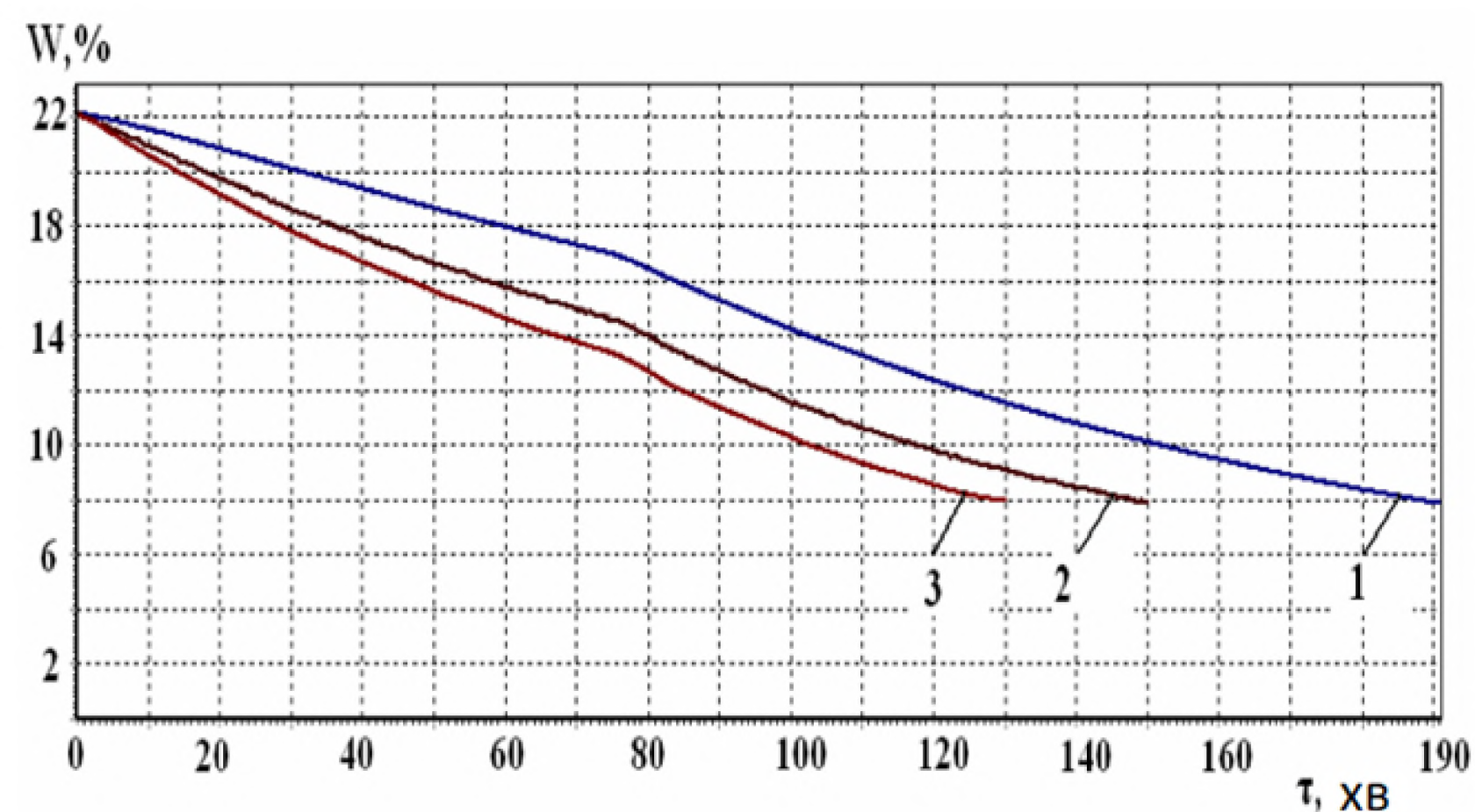
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



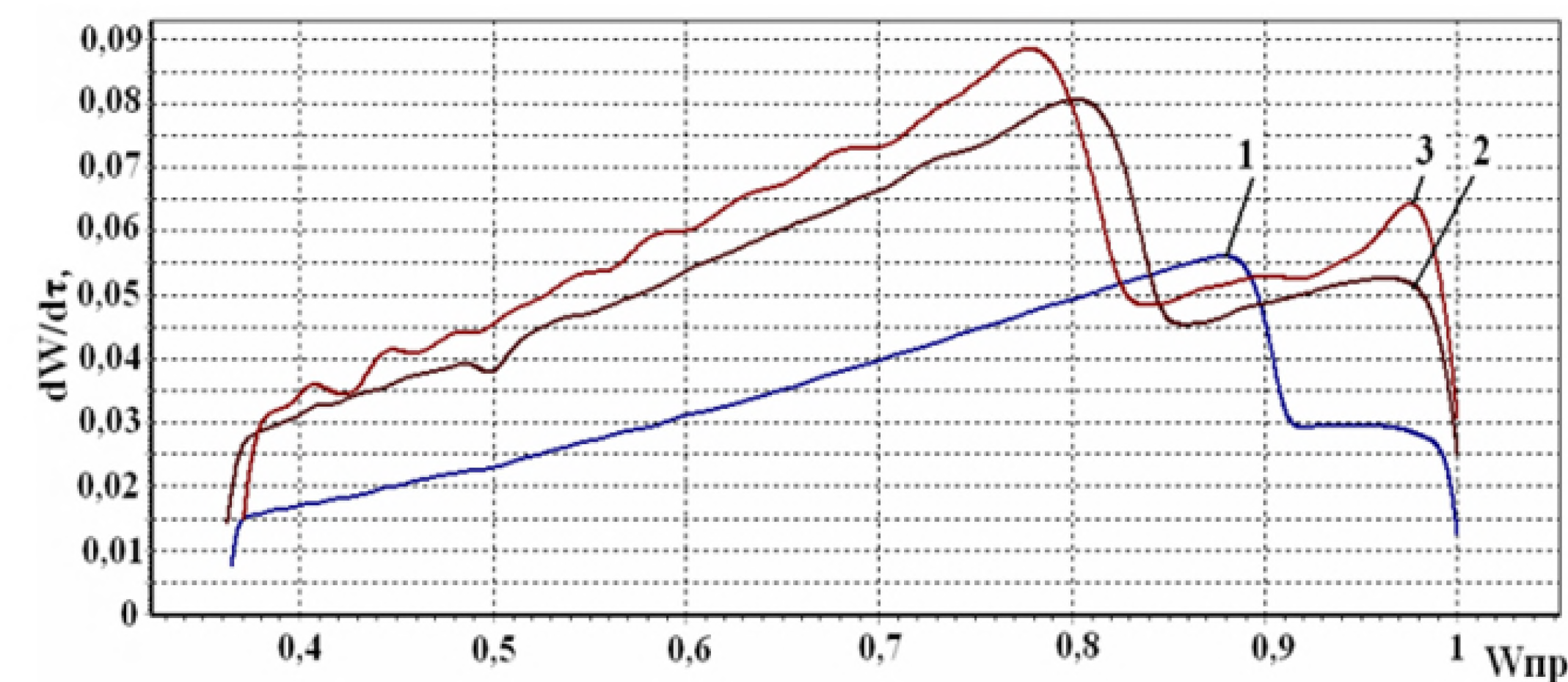
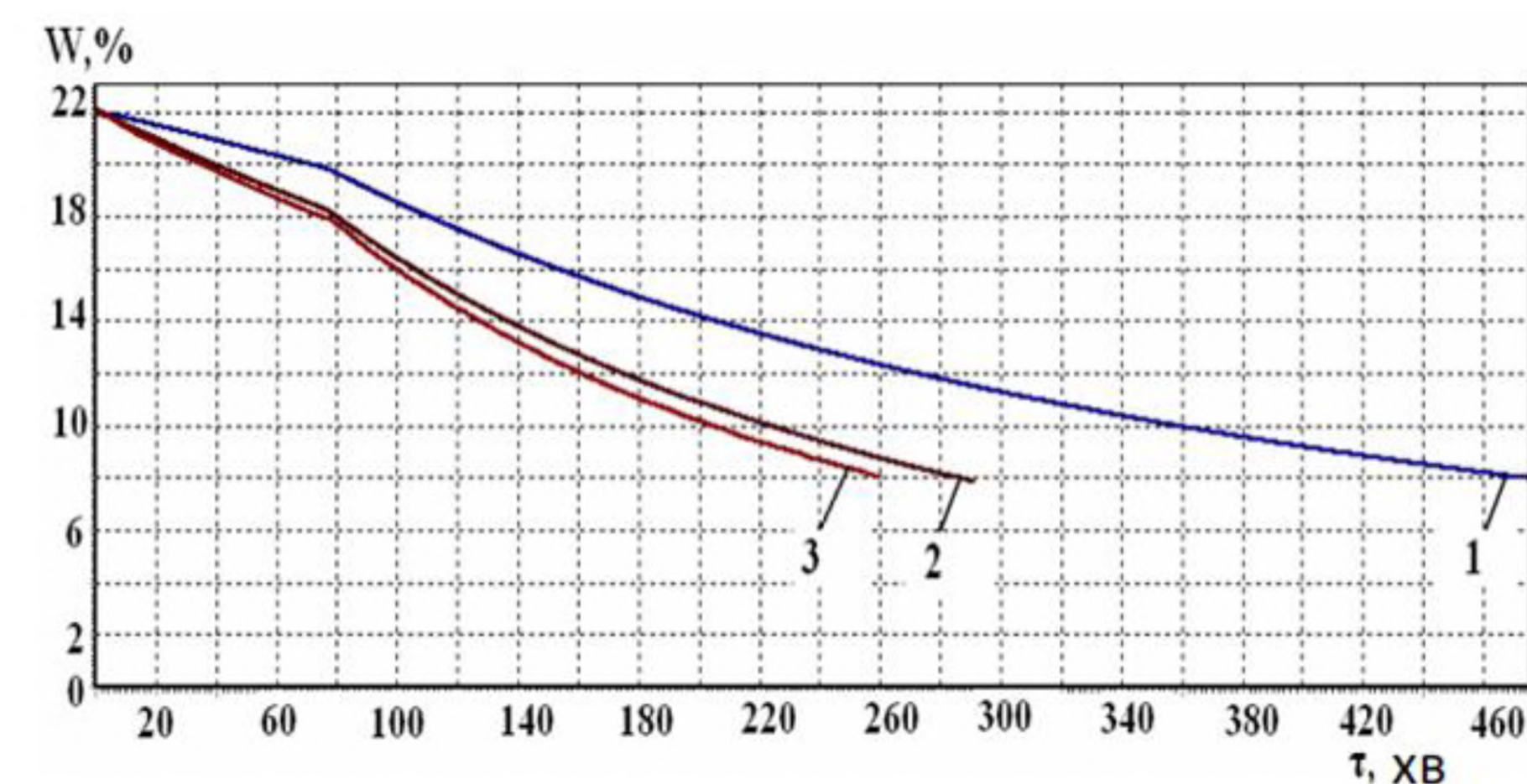
Залежність вологості насіння від часу сушіння



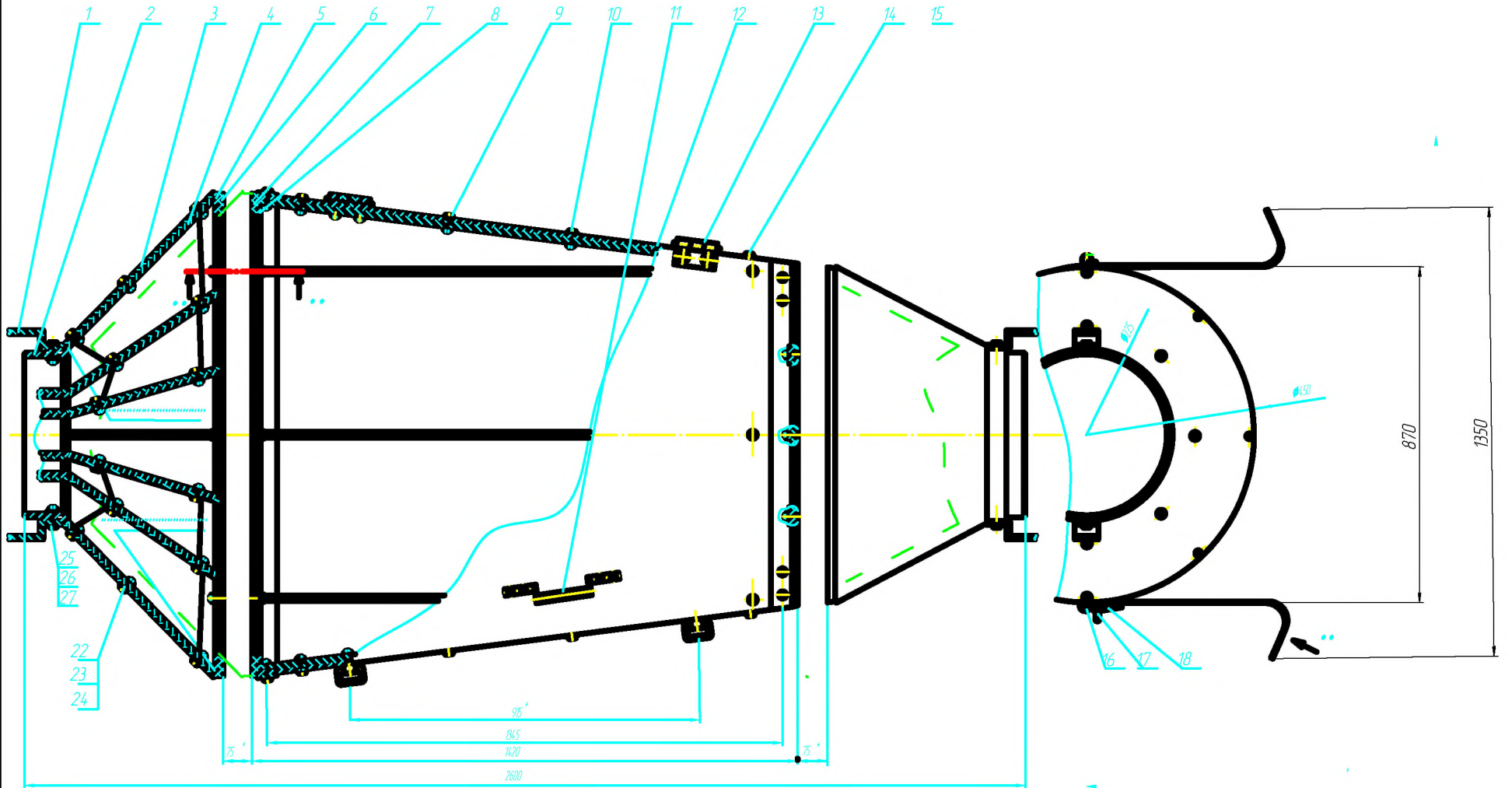
Залежність температури нагріву насіння від часу сушіння



Вплив швидкості сушильного агента на кінетику та швидкість сушіння ріпаку при: T = 50°C, S = 10 мм, швидкість повітря: 1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.

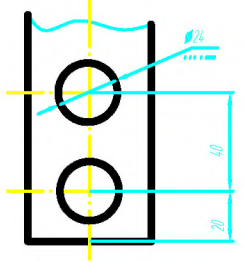
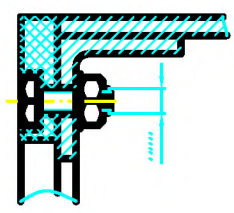
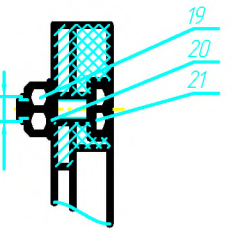


Вплив швидкості сушильного агента на кінетику та швидкість сушіння ріпаку при: T = 50°C, S = 40 мм, швидкість повітря: 1 – 0,6 м/с; 2 – 1,5 м/с; 3 – 2,5 м/с.



.....(1:1)

•• (1:1)



.....

.....

.....

.....

.....

