

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра теплоенергетики
(повна назва кафедри)

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення енергоефективності камерних сушильних установок»

Виконав: студент 2 курсу групи ТЕ-20м
спеціальності 144 – Теплоенергетика
(шифр і назва спеціальності)

_____ Антошків Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т. н., доцент каф. Е

_____ Співак О. Ю.
(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., проф. каф. МГА

_____ Сердюк В.Р.
(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

В.о. завідувача кафедри ТЕ

_____ к.т.н., доц. Степанов Д.В.
(прізвище та ініціали)

« _____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
Кафедра теплоенергетики
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 14 – електрична інженерія
Спеціальність 144 - теплоенергетика
Освітньо-професійна програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. завідувача кафедри ТЕ
_____ Д. В. Степанов
_____ 2021 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Антошковому Дмитру Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення енергоефективності камерних сушильних установок»
керівник роботи Співак Олександр Юрійович, к. т. н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 24.09.2021 р., № 277
2. Строк подання студентом роботи 10.12.21 року.
3. Вихідні дані до роботи: видатність $G = 20$ кг/добу; температура сушіння $t_{\text{вх}} = 65$ °С; початкова вологість матеріалу $\omega' = 90\%$; кінцева вологість матеріалу $\omega'' = 15\%$; температура свіжого повітря $t_0 = 10$ °С; вологість свіжого повітря $\varphi_0 = 65\%$.
4. Зміст текстової частини: аналіз сучасного стану конвективної сушильної техніки та її енергоефективності, результати аналітичних і експериментальних досліджень, математичне моделювання, обробка результатів експериментів, технологічний розділ, економічна оцінка інноваційного проекту, охорона праці.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): результати експериментальних досліджень, результати обробки експериментальних даних, графічна інтерпретація результатів теоретичних досліджень, графічна інтерпретація результатів експериментальних досліджень, зміна вологості сировини в процесі сушіння, зведені експериментальні та розрахункові залежності, схема автоматизації сушарки функціональна, сушарка камерна «Садочок-1», схема монтажу повітропроводів, календарний план монтажних робіт.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Кобилянська І.М.		
Економічна частина	Лялюк О. Г.		

7. Дата видачі завдання 25.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
Науково-аналітичний огляд літературних та патентних джерел	5.10.2021	
Розробка математичної моделі сушарки	15.10.2021	
Аналітичні і експериментальні дослідження	25.10.2021	
Обробка експериментальних даних	05.11.2021	
Модернізація схеми автоматизації сушарки	15.11.2021	
Технологія монтажу системи відведення відпрацьованого повітря	25.11.2021	
Охорона праці	03.12.2021	
Економічна оцінка інноваційного проекту	05.12.2021	
Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	07.12.2021	

Студент _____
(підпис)

Антошків Д.О.

Керівник роботи _____
(підпис)

Співак О.Ю.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.33.221

Антошків Д. О. Підвищення енергоефективності камерних сушильних установок. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 144 – теплоенергетика, освітня програма - теплоенергетика. Вінниця: ВНТУ, 2021. 102 с. Укр. мовою. Бібліогр.: 104 назв; рис.: 17; табл. 21.

У магістерській дипломній роботі виконані експериментальні дослідження кінетики сушіння плодоовочевої сировини (яблука ранніх і пізніх сортів з різною початковою вологістю, буряк, кріп та урюк) за допомогою експериментальної установки, розробленої на базі сушарки “Садочок - 1”. Складено модель обробки результатів експериментів і досліджено вплив тепловологісних параметрів теплоносія на основні характеристики процесу сушіння. Модернізовано схему автоматизації експериментальної установки і виконано розробку технології монтажу системи відводу відпрацьованого теплоносія від сушильного комплексу на базі сушарок “Садочок - 1”. Проведено економічне обґрунтування монтажних робіт.

Ілюстративна частина складається з 10 креслень і плакатів із результатами моделювання та експериментальних досліджень.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці (обґрунтування вибору нормованих значень шкідливих та небезпечних виробничих факторів, оцінка факторів виробничого і трудового процесів, гігієнічна оцінка умов праці, оцінка технічного і організаційного рівня, атестація робочого місця); рекомендації щодо покращення умов праці, та розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: сушіння, камерна сушарка, тепловологісне відношення, сушильний процес, тепломасообмін.

ABSTRACT

Antoshkiv D.O. Improving the energy efficiency of chamber drying plants. Master's qualification work in the specialty 144 - heat energy, educational program - heat energy. Vinnytsia: VNTU, 2021. 102 p.

In Ukrainian language. Bibliographer: 101 titles; fig .: 17; table. 21.

In the master's thesis experimental researches of kinetics of drying of fruit and vegetable raw materials (apples of early and late grades with various initial humidity, beets, fennel and apricots) by means of the experimental installation developed on the basis of the "Садочок-1" dryer are executed. The model of processing of results of experiments is made and influence of heat-moisture parameters of the heat carrier on the basic characteristics of drying process is investigated. The scheme of automation of experimental installation is modernized and development of technology of installation of system of removal of the fulfilled heat carrier from a drying complex on the basis of "Садочок-1" dryers is executed. The economic substantiation of installation works is carried out.

The illustrative part consists of 10 drawings and posters with simulation results.

The section of labor protection deals with such issues as the causes, effects on the human body and the rationing of harmful and dangerous production factors in the production premises; map of working conditions (substantiation of the choice of normalized values of harmful and dangerous production factors, assessment of factors of production and labor processes, hygienic assessment of working conditions, assessment of technical and organizational level, certification of the workplace); recommendations for improving working conditions, as well as fire safety standards.

Keywords: drying, chamber dryer, heat - moisture ratio, drying process, heat and mass transfer.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ КОНВЕКТИВНОЇ СУШИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ.....	6
1.1 Основи теорії сушіння	6
1.2 Основні закономірності процесу сушіння	11
1.3 Зміна властивостей сировини в процесі сушіння	17
1.4 Овочі і фрукти як об'єкти сушіння	19
1.5 Наукові основи розрахунку і проектування сушильної техніки	21
1.6 Класифікація конвективної сушильної техніки	35
2 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	43
2.1 Аналітичне дослідження ефективності теоретичних конвективних сушарок. Математична модель	43
2.2 Графічна інтерпретація результатів теоретичних досліджень	45
3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ.....	49
3.1 Обробка результатів на ЕОМ.....	49
3.2 Зведені графічні залежності	52
4 ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	59
4.1 Модернізація схеми автоматизації сушарки “Садочок-1”	57
4.2 Технологія монтажу системи відведення відпрацьованого повітря.....	63
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ	73
5.1 Локальний кошторис на створення системи сушильного обладнання	73
5.2 Термін окупності	77
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	80
6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту	81
6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	87
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	95
ДОДАТКИ.....	103
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання	104
Додаток Б (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	108

ВСТУП

Актуальність роботи. Для тривалого зберігання плодовоовочевих продуктів використовують різні методи їх обробки. Але літературні дані свідчать про те, що під час консервування втрачається до 70% цінних харчових елементів, для заморожування ця цифра становить 35%, а під час сушіння – тільки 5-10%. Тому для більш тривалого і якісного зберігання фруктів та овочів найкраще здійснювати їх сушку, як один із методів консервування продовольчих продуктів, який до того ж підвищує їх енергетичну цінність та зменшує транспортні витрати на перевезення готового продукту.

Сушіння є складним теплофізичним і технологічним процесом. Складність хімічного складу сировини і мала стійкість деяких її компонентів, таких як вітаміни, білки та біологічно активні речовини, обумовлюють в процесі видалення вологи при підвищених температурах достатньо глибокі як фізико-хімічні так і структурні зміни. Характер цих змін залежить від складу і початкових властивостей сировини, від методів і режимів сушіння, а також від кількості вологи, яка видаляється з продукту.

Найбільш раціональним шляхом підвищення ефективності сушильних установок є інтенсифікація й оптимізація процесів сушіння у виробництві високоякісних продуктів харчування, що має важливе науково-технічне і соціальне значення.

Теорія сушіння розглядає загальні аналітичні й експериментальні закономірності цього процесу і розкриває механізм і рушійні сили його протікання при різних методах підведення енергії; технологія сушіння вивчає властивості матеріалів як об'єктів сушіння, що є основою для вибору раціонального способу сушіння й оптимального режиму його проведення; техніка сушіння розглядає різні способи проведення процесів сушіння в сушильних установках різних типів, а також методи розрахунку і проектування цих установок [1].

Для максимального зберігання цінних натуральних властивостей сировини в процесі сушіння і отримання продуктів, стійких під час зберігання в різних

умовах, процес і режим сушіння має бути обґрунтованим. Оптимальний режим забезпечує одержання продукту необхідної якості при високих техніко-економічних показниках роботи сушильної установки: чим ближче режим, створюваний в установці, до оптимального, тим раціональніша її конструкція.

У зв'язку з викладеним очевидно, що створення сучасних високоефективних сушильних установок є однією з актуальних задач технічного прогресу в харчовій промисловості. Створення таких установок базується на органічному зв'язку теорії, технології і техніки сушіння.

Мета і завдання дослідження.

Метою роботи є виявлення основних закономірностей сушіння плодово-овочевих продуктів як методами математичного моделювання так і на підставі експериментальних досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- 1) здійснити аналіз енергоефективності сучасного стану конвективної сушильної техніки;
- 2) дослідити кінетику сушіння плодовоовочевої сировини (яблука ранніх і пізніх сортів з різною початковою вологістю, буряк, кріп);
- 3) визначити основні оптимальні параметри сушіння цих продуктів;
- 4) розробити заходи для підвищення енергозбереження в камерних сушарках;
- 5) оцінити економічну привабливість інноваційного проекту;
- б) розробити заходи з охорони праці.

Об'єктом дослідження є тепломасообмінні процеси при обезводненні сировини в конвективних сушарках малого класу.

Предметом дослідження є особливості кінетики сушіння плодовоовочевої сировини у конвективній сушарці, які в науковій літературі представлені у вигляді поодиноких експериментальних даних.

Методи дослідження. В роботі проведено теоретичне та експериментальне дослідження кінетики сушіння за допомогою експериментальної установки, на базі сушарки “Садочок - 1”.

Наукова новизна результатів дослідження.

Вперше запропоновано новий метод для оцінки ефективності сушіння сільськогосподарських продуктів (яблука ранніх і пізніх сортів з різною початковою вологістю, буряк, кріп), який відрізняється від існуючих тим, що до його реалізації залучено елементи експериментально-розрахункового методу визначення параметрів теплоносія.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі літературних та патентних джерел, зокрема в класифікації техніки малого класу, що виробляється в світі, складанні математичної моделі.

Апробація результатів роботи.

Основні результати роботи доповідались на міжнародній конференції «Енергоефективність в галузях економіки України-2021», Вінниця, 2021 р.

Публікації. Матеріали роботи опубліковані в 1 тезах міжнародної конференції.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ КОНВЕКТИВНОЇ СУШИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Промислове виробництво сухофруктів із застосуванням технологічного устаткування для підготовки плодів до сушіння і самого сушіння знаходить усе більше поширення в районах розвинутого плодовництва з помірним кліматом (Молдова, Крим, Кавказ, Південь України й ін.). Штучне сушіння забезпечує одержання готових продуктів високої якості.

1.1 Основи теорії сушіння

Сушінням називається процес видалення з продукту рідини, у результаті чого в продукті збільшується відносний вміст сухих речовин. Щоб видалити рідину із вологої сировини, необхідно затратити енергію. Оскільки переважна більшість камерних конвективних сушарок призначені для видалення з матеріалу вологи, розглядатимемо саме цей процес.

За своєю фізичною суттю сушіння є складним тепломасообмінним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи з глибини частинки, що висушується, у навколишнє середовище. Видалення вологи при зневоднюванні зводиться до переміщення теплоти і вологи всередині продукту і її перенесення з поверхні в навколишнє середовище.

Розрізняють природне (на відкритому повітрі) і штучне теплове сушіння, здійснювану в сушильних установках.

За способом підведення теплоти до часточки сировини, яку потрібно висушити, розрізняють наступні види сушіння:

- конвективне – шляхом безпосереднього зіткнення часточки сировини із сушильним агентом, у якості якого найчастіше використовують нагріте повітря;
- контактне (кондуктивне) – шляхом передачі теплоти від теплоносія до продукту теплопровідністю;

- радіаційне – шляхом передачі теплоти інфрачервоними променями;
- сублимаційне – сушіння в замороженому стані при глибокому вакуумі;
- діелектричне – нагріванням продукту в полі струмів високої або надвисокої частоти [2].

У виробництві сушених овочів, картоплі і фруктів найбільше поширення отримали перші чотири способи.

1.1.1 Форма зв'язку води із сухою речовиною продукту.

Сировина, що застосовується в овочесушильній промисловості як всяка тканина рослинного походження, представляє собою капілярно-пористий колоїдний матеріал.

З хімічної точки зору плодоовочева сировина – це колоїднодисперсні системи, що складаються з високомолекулярних органічних сполук. Картопля, овочі, плоди і ягоди являють собою системи, у яких переважне значення має вуглеводний комплекс (цукор, крохмаль, пектинові речовини, геміцелюлоза тощо).

У сушильній техніці воду, що міститься в матеріалі, прийнято називати поглиненою речовиною або масою поглиненої речовини. При температурі вище 0° вода знаходиться в матеріалі частково в рідкому і частково в пароподібному агрегатному стані. Співвідношення між кількістю води, що знаходиться в тому чи іншому стані, залежить від температури матеріалу і від вмісту води в ньому.

Будь-яка колоїдна система складається з дисперсної фази і дисперсійного середовища. Дисперсна фаза - це частки твердої матерії (розміром 0,1–0,001 мкм), що знаходяться у зваженому стані в рідкій частині колоїдного розчину, яку називають дисперсійним середовищем. Колоїдні розчини на противагу справжнім розчинам неоднорідні (мікрогетерогенні).

Ця неоднорідність характеризується наявністю поверхні розділу між частками (міцелами) дисперсної фази і дисперсійного середовища. Чим менші частки дисперсної фази, тим більша їхня загальна поверхня розділу, від-

повідно, більш виражені їхні фізико-хімічні властивості (здатність до адсорбції і гідратації, поверхневий натяг і ін.) і тим важче видалити рідину з колоїдного розчину [3].

Видалення вологи з плодоовочевої сировини під час сушіння утрудняється через наявність у колоїдних системах стабілізаторів, до яких відносяться іони металів і металоїдів, нейтральні молекули органічних сполук і дрібні гідратовані частки дисперсної фази колоїдів.

Вологість і стан продукту в процесі сушіння змінюються. Вологість, віднесена до загальної кількості продукту (%), знаходять за формулою

$$W = (G_{\text{вл}} / G_0) \cdot 100. \quad (1.1)$$

Вологість, віднесена до маси абсолютно сухої речовини (W^c , %), визначають так

$$W^c = (G_{\text{вл}} / G_c) \cdot 100. \quad (1.2)$$

У сушильній техніці вологість продукту звичайно розраховується стосовно маси абсолютно сухого продукту, що у процесі сушіння залишається незмінною.

Вологість W і W^c зв'язані між собою залежностями

$$W^c = 100 W / (100 - W). \quad (1.3)$$

$$W = 100 W^c / (100 + W^c). \quad (1.3a)$$

1.1.2 Основні параметри вологого повітря.

Овочі, картопля й основні види фруктів (яблука, груші) сушать звичайно у вигляді шматочків різної форми і розмірів. Для цього використовують конвективні сушарки. Сушарки ці атмосферні, тому що сушіння протікає в

присутності повітря. Повітря в сушильному процесі є не нейтральним середовищем, а активним учасником процесу зневоднювання. Як сушильний агент він виконує одночасно три функції: теплоносія, вологопоглинача і вологовидаляча.

Роль теплоносія полягає в тому, що підігріте повітря, стикаючись з матеріалом, що висушується, передає йому (за законом конвекції) частину свого теплоти. Завдяки цьому шматочки нагріваються, рух молекул води в них і дифузія вологи усередині підсилюється.

Таке явище спостерігається головним чином до кінця процесу сушіння, коли зона випаровування вологи поглиблюється і волога пересувається з центра до периферії в пароподібному стані. У цей період, при відповідності температури матеріалу температурі сухого термометра, небезпека перегріву (підварки) продукту найбільш ймовірна. Основна ж частина теплоти повітря витрачається на відшкодування питомої теплоти пароутворення під час переходу води, що міститься в сировині, із рідкого в пароподібний стан. У зв'язку з цим висока температура повітря на початку сушіння не створює небезпеки перегріву матеріалу, бо його температура на цій стадії відповідає температурі мокрого термометра.

Не менш важливе значення повітря як вологопоглинача. Здатність повітря поглинати вологу, що надходить з продукту, залежить від ступеня його насиченості водяними парами, тобто від тиску пари в навколишньому середовищі P_c , і від тиску пари на поверхні випаровування P_n . Чим більша різниця $P_n - P_c$, тим інтенсивніше протікає вологовіддача [5-8].

Функція повітря для видалення вологи, тобто пневмотранспорту для парів води, здійснюється лише при його русі. Потік повітря, що рухається в сушильній установці, сприяє кращому перемішуванню (конвекції) його з випарованою вологою і видаленню зволоженого повітря із сушарки. Без руху повітря сушіння неможливе.

Під час конвективного сушіння сушильний агент передає продукту теплоту, поглинає і виносить вологу, що випаровується з продукту за рахунок

цієї теплоти. При інших методах сушіння, сушильний агент, що знаходиться в контакті з продуктом, використовується лише для видалення вологи, що випарувалася, тобто воно виконує роль вологопоглинача. В якості сушильного агента широко застосовують нагріте повітря.

Для вибору найкращого варіанта процесу сушіння і проведення теплового розрахунку сушильної установки важливо знати властивості і характеристики стану вологого повітря і як вони змінюються в сушарці [22].

Вологе повітря характеризується наступними основними параметрами: барометричним тиском, парціальним тиском водяної пари, абсолютною і відносною вологістю, вологовмістом, ентальпією (тепловмістом) тощо.

Вологовміст є однією з найважливіших характеристик повітря як сушильного агента і визначає його вологоємність. У залежності від температури при нормальному атмосферному тиску вологоємність насиченого повітря виражається такими даними (табл 1.1).

Таблиця 1.1 – Залежність вологовмісту від температури насиченого повітря [23]

$t_{н.с.},$ °C	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	99
$d',$ г/м ³	1,1	2,3	4,9	9,4	17,2	31,0	50,8	82,3	129,3	196,6	290,7	418,8	570,3

Примітка. За температури вищої від 100°C водяна пара змішується з повітрям без обмеження.

У процесі сушіння повітря зволожується, охолоджується і відповідно змінює свій об'єм. Тому використання в якості параметра повітря його абсолютної і відносної вологості ускладнює розрахунки. Більш зручно відносити вологість повітря до одиниці маси абсолютно сухого повітря (1 кг сухого повітря) – величини, що не змінюється в процесі сушіння.

Вимірювання вологості повітря є обов'язковим в сушильній техніці, тому що від вологості повітря залежить швидкість випаровування вологи з сировини. Вимірювання вологості повітря має велике значення для контролю і раціонального проведення процесу зневоднювання. Застосовуються різні

способи і прилади для проведення даного вимірювання [9].

Температура мокрого термометра характеризує здатність повітря віддавати теплоту для випаровування води до повного насичення нею повітря. При повному насиченні повітря ($\varphi = 100\%$) $t_c = t_m$ і $\varepsilon = 0$.

Відносна вологість, вологовміст, ентальпія і парціальний тиск водяної пари мають визначену залежність між собою, тому якщо відомі два параметри, то й інші параметри можна знайти за таблицями.

1.2 Основні закономірності процесу сушіння

Процес обезводження продуктів у сушильних установках з допомогою циркулюючого нагрітого повітря є комплексом одночасно протікаючих і впливаючих один на одного процесів явищ. До них відносяться перенесення теплоти від нагрітого повітря до продукту, що висушується, через його поверхню (нагрівання продукту), випаровування вологи, перенесення вологи всередині продукту.

Особливістю перенесення теплоти під час сушіння полягає в тому, що тут воно ускладнюється перенесенням вологи. Під час випаровування вологи із поверхні якого-небудь продукту виникає перепад (градієнт) вологовмісту між його зовнішніми та внутрішніми шарами, що і забезпечує переміщення вологи із внутрішніх, більш вологих ділянок до її поверхні, що має меншу вологість.

На переміщення вологи всередині продукту також впливає перепад температур (на поверхні матеріалу вона більша, ніж в центральних шарах). Під впливом температурного перепаду частина вологи переміщується від поверхні до внутрішніх шарів матеріалу. Таке переміщення у певних умовах уповільнює або прискорює процес сушіння. При низькотемпературному сушінні або обезводженні відносно тонко нарізаних шматочків продукту термодифузія (процес, обумовлений різницею температур) не має вагомого значення, але під час високотемпературної сушіння вона вагомо впливає на про-

цес, зменшуючи його інтенсивність. Для того щоб зменшити вплив термодифузії, застосовують перерваний режим сушіння із змінною подачею до продукту нагрітого або холодного повітря. Як наслідок процес обезводження прискорюється. Процес сушіння протікає зі швидкістю, що залежить від форми зв'язку вологи із сухою речовиною продукту і механізму переміщення в ньому вологи.

Поняття про кінетику сушіння дає крива сушіння, що показує зміну питомого вологовмісту матеріалу W у часі τ , (рис.1.2) [12].

Якщо зразок продукту помістити в сушильну камеру, через яку продувається попередньо підігріте повітря, то продукт почне теж нагріватися. Спочатку, коли починають прогріватися тільки зовнішні шари зразка, вода з цих шарів почне випаровуватися й у вигляді пари надходить в повітря. У період підігріву (ділянка А-Б) вологість продукту змінюється незначно, потім йде період постійної швидкості сушіння (ділянка Б-К), що називається першим періодом сушіння (див. рис.1.2). Цей період характеризується постійною швидкістю зменшення вологості (за рівні проміжки часу виділяється однакова кількість вологи) і температури продукту (дорівнює температурі мокрого термометра нагрітого повітря). У цей період сушіння тиск пари над продуктом буде постійним і рівним тиску насиченої пари при температурі мокрого термометра. У перший період сушіння відбувається інтенсивне поверхневе випаровування вільної вологи. Перший період продовжується до настання критичної вологості (т. К), тобто вологості моменту між періодом постійною і падаючою швидкостями сушіння (рис. 1.1).

У період постійної швидкості сушіння інтенсивність процесу визначається тільки параметрами сушильного агента і не залежить від вологості і фізико-хімічних властивостей продукту. Тривалість періоду постійної швидкості сушіння збільшується з підвищенням температури, потенціалу сушіння сушильного агента, тому що при цьому зменшується значення критичної вологості продуктів.

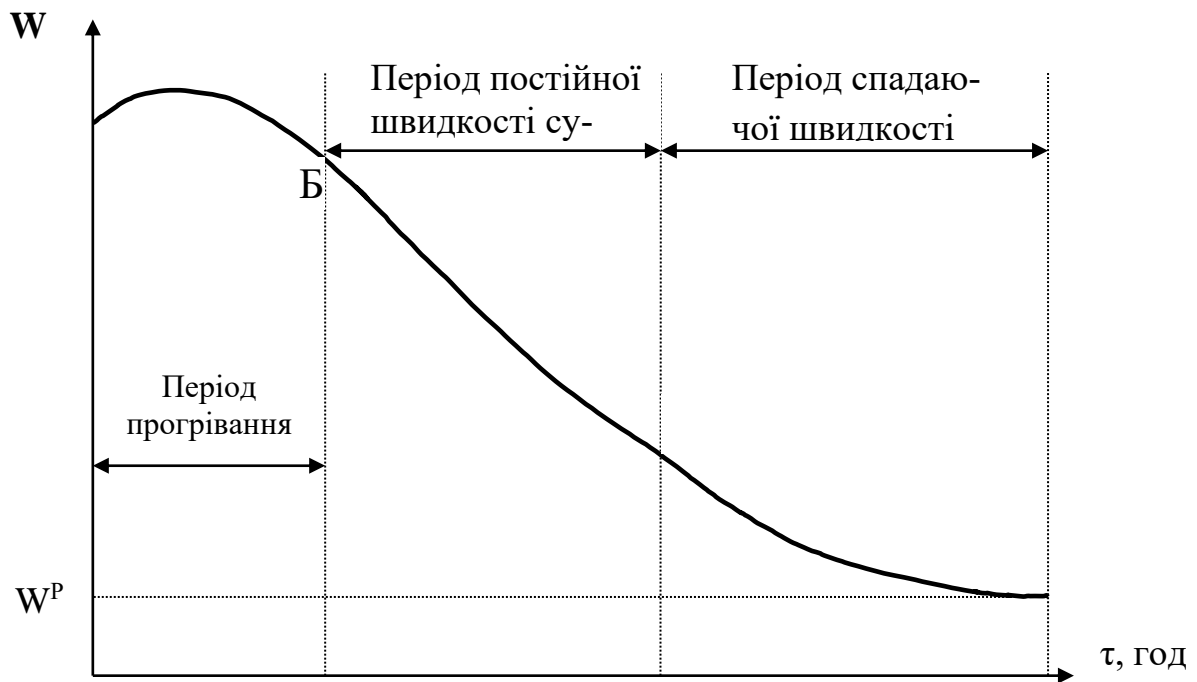


Рисунок 1.1 – Крива сушіння, що показує зміну питомого вологовмісту матеріалу W у часі τ .

У період спадаючої швидкості сушіння (ділянка К-В), названої другим періодом, швидкість зневоднювання зменшується в міру зменшення вологості продукту; температура його поступово збільшується, наближаючись до температури сушильного агента. Процес сушіння продовжується до досягнення продуктом рівноважної вологості, яка відповідає параметрам повітря в сушарці, і зневоднювання припиняється.

Процес сушіння відбувається правильно, якщо швидкість випаровування вологи з поверхні продукту дорівнює швидкості переміщення вологи з глибинних шарів. При швидкому випаровуванні на поверхні з'являється кірка, що перешкоджає виділенню вологи, тобто знижує швидкість сушіння; при повільному випаровуванні продукт запарюється.

Швидкість сушіння залежить від ряду факторів. Чим більша швидкість руху повітря в сушарці, тим скоріше воно несе вологу, що випарувалася, перешкоджаючи підвищенню парціального тиску водяної пари. Швидкість випаровування тим більша, чим вища температура повітря в сушарці. Інтенсивність випаровування вологи залежить так само і від фізико-хімічних властивостей матеріалу, від розміру шматків і їхньої форми (чим більша поверхня

шматочків, тим швидше йде процес сушіння), від інтенсивності перемішування, способу укладання і висоти шару продукту.

Застосування надмірно високої температури повітря при сушінні неприпустимо, тому що це може викликати погіршення смаку, запаху, кольору і хімічного складу продукту. Тому для кожного виду сировини розробляється оптимальний режим сушіння, що забезпечує найбільшу продуктивність установки при хорошій якості сушеного продукту.

Оптимальний режим сушіння – це такий, при якому забезпечується одержання сушеного продукту, що найбільш повно відновлює під час кулінарної обробки свої вихідні якості і хімічний склад сировини, досягнення найкращого збереження готового продукту, видалення вологи із сировини при найменших витратах палива, електроенергії і праці, повне використання сушильної поверхні, і досягнення максимальної продуктивності установки [13].

Основними параметрами режиму сушіння є температура, відносна вологість і швидкість руху повітря.

Температура сушильного агента (найчастіше повітря) є одним з головних факторів, що впливають на процес сушіння.

Дослідами по сушінню, у яких відносна вологість і швидкість повітря підтримувалися постійними, а змінювалася тільки температура і встановлено, що на початку сушіння збільшення температури повітря підвищує швидкість процесу в меншій степені, чим на наступному етапі, коли тепловими ефектами, зв'язаними з випаровуванням, можна знехтувати і температура матеріалу стає близькою до температури повітря.

Однак під час збільшення температури повітря збільшуються теплові втрати, що найбільш значні на заключному етапі сушіння матеріалу з низькою вологістю.

Під час зневоднювання плодоовочевої сировини висока температура повітря (100°C і вище) на початку сушіння не створює небезпеки перегріву продукту, так як його температура на цій стадії відповідає температурі мокрого термометра-психрометра, поміщеного на сито, де висушується продукт,

тобто вона буває нижчою теплоносія гарячого повітря, що відбирає від продукту вологу. Підсмажування продукту не відбудеться, тому що він увесь час охолоджується унаслідок випаровування вологи. Температура його в цей період не повинна бути нижче 40°. При більш низькій температурі і тривалому сушінні продукт може закиснути в результаті розвитку мікроорганізмів при оптимальній для них температурі. До кінця сушіння температура гарячого повітря в сушарці і продукті буває майже рівною, тому що вологи випаровується мало і витрата теплоти на її випарювання незначна. У цей період температура в сушарці не повинна бути вищою 60°, тому що продукт може підгоріти [10].

Відносна вологість – другий важливий фактор, що впливає на швидкість сушіння. Під час конвективного сушіння овочів, картоплі і фруктів відносна вологість відпрацьованого повітря не повинна перевищувати 40 – 45% і бути нижчою цих величин.

Швидкість повітряного потоку на ділянці постійної швидкості сушіння також впливає на швидкість сушіння матеріалу (при сталих значеннях температури і відносної вологості). Цей вплив виявляється значним в основному при швидкості повітряного потоку менше 5 м/с.

Щоб можна було простежити за характером тепло- і масообмін (вологодобмін) у процесі сушіння матеріалу, не прибігаючи до складних математичних розрахунків, Г. К. Філоненко [14-19] зі співробітниками вивчав криві сушіння і рівноважної вологості матеріалів і розробив результуючий показник – приведену швидкість сушіння ψ . Ця залежність представлено в вигляді

$$\Psi = (W_c - W^p_c) \cdot m / (A + \beta \cdot (W - W^p)^m), \quad (1.9)$$

де W_c – вологість матеріалу, віднесена до маси сухої речовини;

W^p_c – рівноважна вологість матеріалу, віднесена до маси сухої речовини;

W^p – рівноважна вологість матеріалу.

Значення коефіцієнтів A , β і m визначають експериментальним шляхом для конкретного матеріалу при заданому режимі сушіння. Показник ступеня

m , що характеризує зв'язок вологи з матеріалом, є постійною величиною для певного матеріалу, незалежно від розміру і форми його частинок і їхньої вологості. Коефіцієнти A і β залежать від форми і розміру часток матеріалу, питомого навантаження і інших умов, зв'язаних із прийнятим режимом зневоднювання.

Під час дослідження конвективної сушіння овочів із продувкою теплоносія через шар матеріалу В. Д. Корчагін [20] встановив постійні значення коефіцієнтів у формулі Г. К. Філоненко [21] (Табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Значення коефіцієнтів для різних об'єктів сушіння

Об'єкт сушіння	A	β	m
Картопля	1200	- 3,0	1,0
Буряк	1000	- 2,0	1,0
Морква	1550	- 2,0	1,0
Цибуля	1600	- 3,0	1,0

Негативне значення коефіцієнта β пов'язане з характером зміни температури овочів у процесі їхньої сушіння.

Для наочності впливу окремих параметрів процесу зневоднювання на приведену швидкість сушіння і для швидкого визначення значення цього показника без математичних розрахунків В. К. Косеком складені відповідні номограми [22], якими зручно користатися в умовах виробництва.

Крім параметрів повітря режим сушіння визначають і інші фактори, що впливають на процес зневоднювання. Наприклад, атмосферний тиск також впливає на швидкість висихання. Зниження барометричного тиску впливає на швидкість сушіння тільки на першому етапі.

Питоме навантаження сировини на сушильну поверхню залежить від виду сировини, його хімічних властивостей, початкової і кінцевої вологості. Від товщини шару залежать ступінь ущільнення продукту при сушці, питома поверхня випаровування швидкість сушіння і якість сушеного продукту. Тому завантаження матеріалу впливає на продуктивність устаткування, і його оптимальне значення встановлюється дослідним шляхом.

1.3 Зміна властивостей сировини в процесі сушіння

Усадка. В процесі сушіння (за винятком сублімаційної сушіння, що у більшій мірі зберігає первісні розміри матеріалу) відбуваються необоротні зміни розмірів і форми продуктів. Зміна форми матеріалу, що залежить від швидкості сушіння і зв'язана з його усадкою, відбувається через навантаження, що визначається різницею вологості поверхневих і внутрішніх часточок матеріалу, що сохне.

Швидко висушені продукти із-за великої кількості внутрішніх “порожнин” мають меншу щільність, ніж продукти, піддані повільному сушінню. Однак перевага останніх, пов'язана з великою щільністю, зводиться нанівець внаслідок їх порівняно поганих регідратаційних здібностей і менш яскравого кольору.

Перегрів (підгоряння) і побуріння. Шкідливі зміни, що відбуваються під час сушіння, називають побурінням, закрашуванням, обвуглюванням або просто підгорянням.

Розрізняють кілька ступенів підгоряння. Найлегший ступінь перегріву – зміна кольору. Більш сильне підгоряння впливає на смакові і регідратаційні властивості, біологічні і харчові якості сушених продуктів. Підгоряння матеріалу характеризується так званою максимально допустимою критичною температурою. Під час нагрівання вище цієї температури матеріал підгорає. Критична температура в однакових матеріалів залежить від їхньої вологості. Серед овочів найбільш чутлива до підгоряння цибуля – вона має найнижчу критичну температуру. Під час сушіння подрібненої цибулі вологості 10-12% відповідає критична температура 65-70°C, вологості 8-10% – критична температура 60-65°C, вологості 6-8% – критична температура 55-60°C. На кінцевій ділянці сушіння вона приблизно дорівнює температурі матеріалу. За допомогою обробки розчином сірчаної кислоти чи лужним сульфідним розчином критичну температуру підгоряння можна підняти на 5-10°C.

Перенесення речовин. Сира тканина містить велику кількість розчине-

них у воді домішок з різною молекулярною масою. Коли починається сушіння матеріалу, деяка частина цих речовин переміщається в розчиненому стані разом з вологою до поверхні тіла, де вода випаровується, і концентрація розчину поверхневого шару збільшується. Під впливом такого переміщення рідини усередині матеріалу, що висушується, виникає градієнт концентрації, причому найбільша концентрація розчинених речовин створюється в поверхневому шарі. Цьому явищу протидіє процес дифузії рідини. І перший, і другий процеси протікають одночасно. Який з них переважає у даний момент часу і на даній ділянці продукту, залежить від багатьох обставин.

Затвердіння. Під час сушіння колоїдних матеріалів іноді трапляється, що нормальний спочатку процес сушіння пізніше ледве цілком не припиняється. Це відбувається через те, що на поверхні продуктів утворюється практично непроникна для вологи тверда скоринка. Унаслідок її утворення внутрішня частина тіла залишається вологою. Фрукти, які сушать в цілому вигляді або у вигляді великих шматків (наприклад, фрукти, порізані на великі частини), сушать відповідно до традиційної технології в початковому періоді сушіння при великій відносній вологості і низькій температурі повітря. Для сушіння слив, наприклад, використовують повітря температурою 50-55°C з відносною вологістю 60-65%. Такі умови запобігають утворенню на поверхні фруктів твердої скоринки. Причини цього явища поки недостатньо вивчені.

Втрата летких речовин. Випаровуючись із матеріалу, волога захоплює за собою і леткі компоненти. Унаслідок втрати летких компонентів продукти втрачають смак і аромат. Склад летких речовин, що видаляються разом з вологою, залежить від зміни температури матеріалу в процесі сушіння, а також від тиску пари летких компонентів при даній температурі. Велике значення поряд з цим має і розчинність летких речовин у воді й в інших компонентах.

При деяких сучасних методах сушіння (наприклад, при виробництві фруктового порошку або пластівців) до сушених продуктів додають ароматичні концентрати, отримані конденсацією парів вихідного матеріалу. Однак такий спосіб ароматизації дуже складний і дорогий [23].

1.4 Овочі і фрукти як об'єкти сушіння

Овочі і фрукти як об'єкти сушіння характеризуються великим вмістом води і порівняно малим вмістом сухих речовин. Основна частина води в соковитій рослинній сировині знаходиться в більш-менш вільній рухомій формі і тільки близько 5% її зв'язана в клітинних колоїдах і міцно утримується. Це обумовлює порівняну легкість висушування плодів і овочів до вологості 12 – 14% і утрудняє видалення залишкової вологи [24].

До складу овочів і фруктів входять високомолекулярні речовини: цукор, пектинові речовини, крохмаль, клітковина й інші вуглеводи, білкові речовини, ліпіди. У невеликій кількості містяться біологічно активні речовини, що визначають їхню біологічну цінність і смакові якості: вітаміни, поліфенольні з'єднання, органічні кислоти, мінеральні елементи.

Біологічно активні речовини – важлива складова частина овочів і фруктів – найбільш піддаються несприятливим змінам у процесі підготовки овочів і фруктів до сушіння і власне сушіння. Звичайно ці зміни приводять до зниження біологічної цінності готового продукту [25].

Фрукти і ягоди як об'єкти сушіння відрізняються від овочів більш тривалим циклом висушування, що пояснюється наступними факторами: високим вмістом цукрів і наявністю в сировині амінокислот, що утрудняє застосування високих температур сушильного агента щоб уникнути сахароаміних реакцій і карамелізації цукрів; наявністю в багатьох видах плодової сировини пектинових речовин, що здатні зв'язувати й утримувати вологу; наявністю тонкої, міцної, малорозтяжної і маловологопроникної шкірочки, що захищає поверхню від випаровування.

З біологічно активних речовин в овочах і фруктах містяться водорозчинні вітаміни С, Р, РР і групи В (В1, В2, В6 і ін.) і жиророзчинні: провітамін А, вітаміни D, Е, К [25]. Оскільки усі вони дуже чутливі до зміни температури і впливу кисню, це необхідно враховувати як при підготовці овочів і фруктів до сушіння, так і в процесі сушіння. З органічних кислот в овочах і фруктах

ктах найбільш поширені яблучна, лимонна, винна кислоти і їхні солі. Оскільки вони легко розчиняються у воді, під час миття (особливо очищеної і нарізаної сировини) спостерігається втрата цих цінних біологічно активних речовин.

При сушінні майже всі мінеральні елементи овочів і фруктів зберігаються, що дуже важливо, тому що вони відіграють важливу роль у харчуванні. Щоб уникнути втрат розчинних форм мінеральних речовин не можна очищену і нарізану сировину довго тримати у воді.

Як видно з викладеного, овочі і фрукти являють собою складні структурні тіла, зневоднювання яких без втрати харчових якостей – нелегка задача.

Істотне значення для правильної побудови процесу сушіння має знання теплофізичних характеристик овочів і фруктів. По даним теплофізичні характеристики овочів і фруктів відповідають значенням (табл. 1.3).

Отримані дані полегшують математичний опис процесу зневоднювання, допомагають розрахувати і побудувати процес, домагаючись можливо меншої зміни властивостей овочів і фруктів, з урахуванням одержання високих техніко-економічних показників процесу сушіння.

Таблиця 1.3 – Теплофізичні властивості овочів і фруктів [26]

Сировина	Питома теплоємність, C_p , кДж/(кг·К)	Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/(м·К)	Коефіцієнт температуропроводності, $a \cdot 10^6$, м ² /с	Густина, кг/м ³	Температура замерзання, t_3 , °С
Картопля	3,43 – 3,68	0,58 – 0,66	0,152 – 0,167	—	
Морква	3,40 – 3,90	0,60 – 0,64	0,114 – 0,269	970 – 1000	1,20 – 1,34
Буряк	3,55 – 3,90	0,60 – 0,62	0,078 – 0,168	1016	1,52 – 1,80
Цибуля	2,64 – 3,64	0,171	0,081	—	1,25 – 1,82
Яблука	3,50 – 4,00	—	—	—	1,62
Слива	3,67 – 3,76	—	—	—	—
Вишня	3,85	—	—	1060 – 1080	—

1.5 Наукові основи розрахунку і проектування сушильної техніки

Застосовуючи класифікацію академіка В. В. Кафарова і Н. Н. Дорохова [27] до аналізу процесів сушіння, можна виділити п'ять рівнів ієрархії фізико-хімічних ефектів і явищ, що розвиваються в цих процесах, і відповідно п'ять рівнів їхнього дослідження:

I – дослідження на атомарно-молекулярному рівні;

II – дослідження надмолекулярних і глобулярних структур, що дуже важливо для біохімічних і біофізичних об'єктів сушіння;

III – аналіз фізичних і фізико-хімічних явищ, що протікають в об'єктах сушіння, і частково явищ міжфазного енерго- і масопереносу;

IV – дослідження явищ, що протікають у прикордонних шарах між об'єктами сушіння і середовищем сушильної камери;

V – аналіз сукупності процесів, що визначають макрогідродинамічну і макроенергетичну обстановку в масштабі апарата в цілому.

Перші три рівні ієрархії відносяться до внутрішнього тепло- і масоперенесення, а IV і V – до зовнішнього тепломасообміну.

Якщо донедавна сушіння в основному вивчалася як макропроцес і об'єкти сушіння розглядалися як безупинні моделі, у яких окремі фази представлені у виді суцільного середовища, рівномірно розподіленого в об'ємі тіла, і відповідно аналіз процесів переносу в них базувався на феноменологічних уявленнях, то в даний час у зв'язку зі значними досягненнями молекулярної фізики, а також із широким використанням нових фізичних ефектів в умовах впливу зовнішніх полів доцільно більш глибоко проникнути у суть мікропроцесів і розглядати об'єкти сушіння як корпускулярні моделі, фізичні властивості яких обумовлені молекулярною структурою тіл і силами взаємодії між утворюючими вологі матеріали молекулами, атомами й іонами.

Такий підхід до вивчення процесів сушіння вже дає позитивні результати при аналізі явищ, що розвиваються усередині матеріалу при взаємодії вологи із сухим кістяком тіла, утворенні різних форм зв'язку вологи, впливові

поверхнево-активних речовин на вологий матеріал, а також при розкритті специфічних особливостей впливу різних методів енергопідведення на об'єкти сушіння.

Відповідно до універсального фізичного принципу Ле Шательє - Брауна чим сильніший зовнішній вплив на об'єкт сушіння в початковий момент, тим інтенсивніше протікають внутрішні процеси, що прагнуть повернути систему в стан рівноваги.

Таким чином, при проектуванні сушильних установок необхідно створити умови, що забезпечують ефективне протікання як зовнішнього тепло- і масообміну в сушильній камері, так і тепло- і масоперенесення всередині об'єктів сушіння.

При проектуванні сучасних сушильних установок враховується ряд вимог, які можна розбити на такі групи:

1) технологічні – забезпечення високої ефективності і рівномірності сушіння під час одержання однорідного високоякісного продукту у всьому об'ємі сушильної камери, причому властивості цього продукту заздалегідь задаються (кінцеві вологість і температура, дисперсність, гранулометричний склад, щільність, міцність і ін.); поєднання сушіння з іншими технологічними процесами (обжарювання, випалювання, дроблення, гранулювання, декстринізація й ін.);

2) конструктивні – мінімальне використання дефіцитних конструкційних матеріалів, компактність, максимально можливе використання стандартних деталей і вузлів, технологічність спорудження на машинобудівному підприємстві, зручність монтажу тощо;

3) експлуатаційні – безпека, відповідність санітарним нормам, безперервність процесу сушіння, зручність обслуговування і ремонту, максимальна механізація й автоматизація, раціональне підключення в енергетичну схему промислового підприємства, використання вторинних енергоресурсів і т.п.;

4) кібернетичні – відповідність вимогам автоматизації контролю, регулювання і керування процесом сушіння і роботою установки;

5) техніко-економічні, котрі, власне кажучи, є підсумком реалізації перерахованих вище вимог.

Усі зазначені вище вимоги реалізуються в процесі проектування і розрахунку сушильних установок. При цьому звичайно застосовується наступний порядок виконання окремих етапів проектування [7,8].

I Попередній етап (вибір основного устаткування, режиму процесу і допоміжних пристроїв):

- 1) вибір типу установки;
- 2) обґрунтування (розрахунок) оптимального режиму процесу;
- 3) вибір методу енергопідведення і виду сушильного агента (повітря, топкові чи інертні гази);
- 4) вибір типу калорифера і топкової камери з допоміжним устаткуванням;
- 5) вибір типу вентиляторів і місця їхнього розташування;
- 6) вибір типу завантажувальних, розвантажувальних пристроїв і транспортних пристосувань;
- 7) вибір системи контролю, регулювання і керування процесом сушіння, і, зокрема, типу датчиків і місця їхнього розташування.

II Основні розрахунки. Методика і порядок розрахунку залежать від типу установки, методу енергопідводу, варіанта сушильного процесу й інших специфічних факторів. Так, наприклад, під час конвективного сушіння, коли сушильний агент є тепловіддавачем і вологопоглиначем, задача зводиться до розрахунку витрати сушильного агента, а при інших методах енергопідводу визначається інтенсивність теплового потоку, величина якого лімітується властивостями матеріалу, що висушується, (під час конвективного сушіння – теплопровідністю, під час терморадіаційного сушіння – оптичними характеристиками тощо).

Порядок розрахунку конвективної сушильної установки.

- Розрахунок сушильної камери: 1) розрахунок маси випаруваної вологи; 2) розрахунок витрати повітря; 3) розрахунок габаритів сушильної камери; 4)

вибір конструкції огорожень сушильної камери і розрахунок втрат теплоти в навколишнє середовище; 5) розрахунок інших втрат теплоти в сушильній камері; 6) побудова процесу на h-d діаграмі (якщо застосовується графоаналітичний метод розрахунку); 7) розрахунок витрати теплоти.

Розрахунок нагрівальної установки: 1) вибір типу калорифера і виду тепловіддавача (теплоносія); 2) розрахунок середньої температурної різниці; 3) розрахунок коефіцієнта теплопередачі; 4) визначення площі поверхні нагрівання; 5) розрахунок топки (для вогневого калорифера і для сушіння топковими газами).

Розрахунок вентиляційної установки: 1) розробка схеми повітряного тракту; 2) розрахунок опорів у сушильній установці; 3) вибір вентиляторів і розрахунок потужності електродвигунів.

Розрахунок техніко-економічних показників установки. На підставі розрахункових даних складають таблицю зазначених вище основних техніко-економічних показників установки для порівняння з показниками діючих типів сушильних установок. При цьому апробуються обрані на попередньому етапі проектування тип установки, метод енергопідведення, параметри режиму тощо. Вибір падає на найбільш раціональний і економічний варіант.

Установлено, зокрема, що значний економічний ефект дають збільшення одиничної потужності (продуктивності) установки, підвищення напруги об'єму сушильної камери за вологою, використання сушильних агентів з високою початковою температурою (що забезпечує високий початковий імпульс впливу на вологий матеріал) і найбільш повне використання енергії цих агентів, застосування комбінованих методів енергопідведення та інше.

1.5.1 Основні закони технологічних процесів і загальні методи розрахунку і проектування сушильних установок.

Як відомо [27], сушіння – це складний технологічний процес, і тому проектування сушильних установок базується на основних законах технологічних процесів. Науково обґрунтоване проектування технологічного проце-

су й установки, у якій цей процес повинний бути реалізований, є науковим передбаченням: знаючи властивості об'єктів сушіння – вологих матеріалів – і основні закономірності процесу сушіння, можна розкрити механізм процесу, вибрати раціональний метод і оптимальний режим процесу і спроектувати відповідну сушильну установку, що володіє високими техніко-економічними показниками. За П. Г. Романковим [28] основні закони технологічних процесів, які можна застосувати до процесу сушіння можна розбити на три групи:

– закони, що встановлюють кількісні співвідношення. До них відносяться фундаментальні закони збереження маси й енергії. На підставі цих законів складають матеріальні й енергетичні баланси сушильної установки. Так, наприклад, для сушильної камери рівняння матеріального балансу (за об'єктом сушіння) має вигляд

$$G_0 = G_c + G_{вл}, \quad (1.5)$$

де G_0 – маса сировини до сушіння, кг;

G_c – маса абсолютно сухої сировини, кг;

$G_{вл}$ – кількість вологи, що міститься в продукті, кг.

Рівняння енергетичного балансу сушильної камери для конвективної установки в загальному вигляді

$$Q_{вх} = Q_{вих}, \quad (1.6)$$

де $Q_{вх}$ і $Q_{вих}$ – відповідно енергія, внесена в сушильну камеру матеріалом і повітрям, і енергія, що іде із сушильної камери (кДж), чи відповідно потужність (кДж/год чи кВт).

Тому

$$Q_{вих} = Q_{кор} + Q_{вт}, \quad (1.7)$$

де $Q_{кор}$ – корисно використана енергія, кДж;

$Q_{вт}$ – втрати енергії, кДж,

Можна подати в загальному вигляді вираз енергетичного ККД сушильної установки

$$\eta_{\text{EH}} = Q_{\text{КОР}} / Q_{\text{ВХ}} . \quad (1.8)$$

Власне кажучи, корисною витратою теплоти в сушильній установці є витрата енергії на випаровування вологи, тоді приблизно можна прийняти

$$\eta_{\text{EH}} \cong (r + r_{\text{ЗВ}}) / q_{\text{ЗАГ}}, \quad (1.8a)$$

де r – теплота пароутворення, кДж/кг;

$r_{\text{ЗВ}}$ – питома витрата енергії на розрив зв'язку вологи з матеріалом, кДж/кг;

$q_{\text{ЗАГ}}$ – загальна витрата теплоти, кДж/кг.

Сушіння – типовий необоротний процес, у якому вологість матеріалу прямує до значення рівноважної вологості.

У зв'язку зі збільшенням ентропії ($\Delta S > 0$), обумовленим необоротністю цього процесу, для оцінки його ефективності варто застосовувати не тільки енергетичний, але і ексергетичний аналіз, тобто враховувати не тільки кількість, але і якість енергії, що витрачається.

Д. М. Левін [29] показав, що найбільша втрата якості енергії в конвективній сушильній установці відбувається в калорифері, де топковий газ з високою температурою, тобто робоче тіло, що володіє високим енергетичним потенціалом, нагріває повітря (сушильний агент) до порівняно невисокої температури. Тому доцільно по можливості використовувати сушильний агент із найбільш високою температурою. Вплив такого агента на термолабільний вологий матеріал повинне бути короткочасним; однак у зв'язку з вологоінерційністю такі матеріали за цей час віддають мало вологи, тому для них застосовують циклічне сушіння при осцилюючому режимі (нагрівання-охолодження).

Якщо необхідно видалити значну кількість вологи число циклів відповідно велике, що приводить до непродуктивних витрат теплоти (під час охолодження нагрітого матеріалу) і підвищення витрати енергії на транспортування рециркулюючого матеріалу. Кращі результати дає застосування рециркуляційно-ізотермічного методу з попереднім нагріванням матеріалу, при якому число циклів різко скорочується і запобігається перегрів матеріалів у процесі сушіння. При зазначених умовах ефективно реалізується принцип інтенсивного впливу початкового імпульсу на вологий матеріал, інакше кажучи, ефект впливу осцилюючого режиму може розглядатися як сума n -го числа початкових імпульсів. Рівняння ексергетического балансу має вигляд

$$E_{\text{вх}} = E_{\text{вих}} + T_0 \Delta S, \quad (1.9)$$

де $E_{\text{вх}}$, $E_{\text{вих}}$ – відповідно ексергія, внесена в сушильну установку і ексергія, що іде з неї;

T_0 – початкова температура, °C.

Як відомо, ексергія характеризує якість енергії, причому для аналізу процесів сушіння важливе значення має можливість її перетворення і використання для видалення вологи з матеріалу.

Коли досягається рівновага процес сушіння припиняється, однак знання рівноважних співвідношень дає можливість оцінити рушійну силу процесу: чим більше початкова вологість матеріалу, тобто чим далі вона від рівноважного вологовмісту і відповідно – чим більша різниця $u - u_p$, тим інтенсивніше протікає зовнішній масообмін у процесі сушіння.

Вивченням рівноважних співвідношень займається статика сушіння. Знання цих співвідношень необхідне для оцінки гігроскопічних властивостей і термодинамічних характеристик матеріалу, що важливо для вибору оптимальних режимів сушіння, а також умов збереження висушених матеріалів.

Зазвичай гігроскопічні властивості матеріалів характеризуються ізотермами сорбції і десорбції.

Оскільки волога в матеріалах знаходиться в різних формах зв'язку з їхнім сухим кістяком, важко отримати загальне рівняння ізотерм і в інженерній практиці для розрахунку рівноважної вологості використовують емпіричні формули, отримані шляхом обробки дослідних даних.

Закони, що визначають швидкість процесів – їхню кінетику і динаміку. До цієї групи відносяться закони нестационарного тепломасообміну і тепломасопереносу. Як і всякий необоротний процес, сушіння матеріалу (після першої критичної вологості) протікає з швидкістю, що зменшується: чим ближче поточна вологість матеріалу до значення рівноважної вологості, тим менша швидкість процесу. Тому в розрахунку сушильної установки врахування кінетики процесу має вирішальне значення.

Наприкінці процесу видаляється волога, міцно зв'язана із сухим кістяком матеріалу, що обумовлює не тільки зменшення швидкості сушіння, але і вимагає додаткових енергетичних витрат на подолання енергії зв'язку.

У загальному вигляді рівняння зовнішнього масообміну може бути представлено в такий спосіб

$$q_m = a_{mp} (P_n - P_{н.с.}) V_{нор} / V, \quad (1.10)$$

або

$$q_m = a_{mu} \rho_0 (u_n - u_p), \quad (1.11)$$

де q_m – інтенсивність випаровування, кг/(м²·год);

a_{mp} , a_{mu} – коефіцієнти зовнішнього вологообміну, віднесені до різниці парціальних тисків пари, чи до різниці вологовмістів, кг/(м²·год Па) або м/год;

$V_{нор}$, V – нормальний барометричний тиск і фактичний загальний тиск у сушильній камері, Па;

ρ_0 – густина абсолютно сухого матеріалу, кг/м³;

u_n , u_p – відповідно вологовміст на поверхні матеріалу і рівноважний, кг/кг;

$P_n, P_{n.c}$ – тиск пари на поверхні випаровування і в навколишньому повітрі, відповідно, Па.

Варто врахувати, що в зв'язку зі складною залежністю коефіцієнтів вологообміну від вологості матеріалу, а також через інтенсивне поглиблення поверхні (зони) випаровування усередину матеріалу в другий період сушіння ці коефіцієнти змінюються в процесі сушіння, і тому використання формул (1.10), (1.11) в інженерних розрахунках має обмежений характер. Краще наближення дає розрахунок кінетики процесу сушіння по зонах, вважаючи вологокоефіцієнти постійними тільки в межах зони [30].

Наближені інженерні розрахунки за нормативними або емпіричними формулами застосовуються під час вибору типового устаткування. Наприклад, під час розрахунку поверхні нагрівання типових калориферів коефіцієнт теплопередачі (k) може бути визначений за емпіричною формулою

$$k = A(v\rho)^n, \quad (1.12)$$

де v – швидкість повітря, м/с;

ρ – густина повітря, кг/м³;

A, n – нормативні коефіцієнти, значення яких приводяться в паспорті калорифера.

Статичні інженерні розрахунки відносяться до постійної (середньої) швидкості процесу сушіння (N , кг/год). Звичайно ці розрахунки проводяться на підставі балансових рівнянь з використанням h - d -діаграми, що правомірно при протіканні процесу сушіння в перший період або з визначеним наближенням при незначній зміні швидкості процесу в другий період. Варто також врахувати, що h - d -діаграма побудована для вологого газу, у ній не враховуються властивості об'єктів сушіння і кінетика процесу. Тому велике практичне значення мають роботи з розвитку h - d -діаграми і нанесення на неї ліній, що характеризують гігроскопічні властивості матеріалів, а також створення h - u -діаграм вологого матеріалу і комбінованої h - u - d -діаграми.

Кінетичні розрахунки відображають кінетику процесу сушіння в реальних умовах перемінного режиму в сушильній камері. Ці розрахунки базуються, з одного боку, на балансових рівняннях теплоти і вологи і, з іншого боку, на рівняннях кривих сушіння в першому і другому періодах.

Динамічні розрахунки ґрунтуються на системах диференціальних рівнянь, що описують зміну температури і вологовмісту в локальних точках об'єкта сушіння.

Кінетичні і динамічні методи дають можливість аналітично визначити тривалість сушіння й уточнити розрахунок габаритів сушильної установки або визначити параметри оптимального режиму процесу.

1.5.2 Методи дослідження процесів сушіння

Дослідження процесів сушіння проводиться з метою наукового обґрунтування вибору раціональних методів і оптимальних режимів процесу, а також одержання необхідних формул для проектування і розрахунку сушильних установок. Як і для інших технологічних процесів, методи дослідження процесів сушіння можна розбити на три основні групи: аналітичні, експериментальні і синтетичні.

Аналітичне дослідження протікає в три етапи: а) математичний опис задачі; б) формулювання крайових умов; в) рішення задачі. Необхідність формулювання крайових умов викликана тим, що рівняння вигляду (1.12) у часткових похідних другого порядку описує цілий клас явищ і має велику кількість рішень. Для однозначного рішення рівняння необхідно сформулювати початкову і граничну умови, що відтворюють певну обстановку протікання процесу.

По характеру постановки задачі функціональні математичні моделі можуть бути побудовані по-різному, у зв'язку з чим розрізняють інформаційні й імітаційні моделі. Аналіз різних моделей подано у роботах А. С. Гінзбурґа [3,24] і Л. К. Рамзіна [31].

При побудові інформаційних моделей розглядають розподіл ймовірностей досліджуваних факторів у новому стані при відомому початковому ста-

ні. Однак для висновку й обґрунтування таких рівнянь у випадку складних процесів необхідний не тільки досить високий рівень розвитку теоретичних уявлень про процес, але і великий обсяг надійної емпіричної інформації про стан елементів системи.

Останнім часом під час проектування складних технологічних процесів, про характер протікання яких відсутня досить повна інформація, для побудови функціональної моделі починають широко використовувати імітаційні моделі. У цих моделях моделюючий алгоритм приблизно відтворює функціонування процесу в часі, причому імітуються елементарні явища, що складають процес, зі збереженням їхньої логічної структури і послідовності протікання. Моделюючий алгоритм дозволяє по вихідним даним, що містять інформацію про початковий стан процесу (вхідна інформація) і його параметри, отримати відомості про стан процесу в певні моменти часу.

Імітаційні моделі, що застосовуються для дослідження більш складних процесів, володіють тим істотним недоліком, що отримане рішення носить приватний характер, відповідаючи фіксованим значенням параметрів системи, вхідної інформації і початкових умов.

По способу реалізації математичних моделей аналітичні методи розрахунку можна розділити на наступні групи:

- 1) аналітичне рішення, коли прагнуть отримати в загальному вигляді залежності для шуканих величин;
- 2) чисельне рішення, коли відсутня можливість рішення наявних рівнянь у загальному вигляді, але все-таки можливо (у тому числі і з застосуванням засобів обчислювальної техніки) отримати чисельні результати при конкретних початкових даних;
- 3) якісне дослідження, коли, не маючи рішення в явному вигляді, за структурою моделі можна знайти деякі властивості, наприклад оцінити стійкість системи;
- 4) графоаналітичне рішення, коли математична модель системи реалізується у вигляді відповідного набору номограм;

5) алгоритмічний опис, коли моделюючий алгоритм заміняє математичну модель процесу.

Аналітичне рішення вдається отримати лише для порівняно простих систем. Якщо ж розглянута система досить складна, то аналітичне рішення наштовхується на значні, а часто і нездоланні труднощі. У цьому випадку, прагнучи все-таки отримати аналітичне рішення, нерідко йдуть на навмисне спрощення вихідної моделі, щоб мати можливість вивчити деякі загальні властивості системи.

Чисельні методи в порівнянні з аналітичними практично застосовуються до значно більш широкого класу функціональних рівнянь, однак отримані рішення носять приватний характер. Використання чисельних методів стало особливо ефективним у зв'язку з упровадженням ПЕОМ.

Графоаналітичні методи, власне кажучи, є синтезом аналітичних і чисельних методів реалізації математичних моделей. Вони дозволяють обійти труднощі, пов'язані з рішенням трансцендентних рівнянь, прості і зручні в практичній роботі і тому отримали найбільш широке поширення в інженерній практиці проектування сушильних процесів.

Аналітичні методи дослідження і розрахунку по своїй сутності є дедуктивними. Вони враховують основні закономірності процесів, що протікають у об'єктах, що моделюються якісно більш правильно характеризують його навіть при наявності недостатньо точних у кількісному відношенні параметрів моделі. Тому з їхньою допомогою можна розробляти загальні методи розрахунку, що відносяться до визначеного класу. При можливості їхньої повної реалізації, власне кажучи, відпадає необхідність в експерименті, що у цьому випадку застосовують для визначення кінетичних констант моделі і для перевірки адекватності отриманих математичних рішень.

У ряді випадків доцільно використовувати принцип суперпозиції, коли задача зі складними крайовими умовами і перемінними фізичними характеристиками розкладається на алгебраїчну суму простих задач, рішення яких відомі (наприклад, у вигляді розрахункових графіків, номограм тощо).

Однак застосування аналітичних методів розрахунку не завжди можливе; зокрема, коли відсутній чи дуже обмежений обсяг теоретичних знань про досліджуваний процес, внаслідок чого невідомий орієнтований вид співвідношень, що описують цей процес. Навіть якщо аналітичні залежності отримані, через їхню громіздкість і складність їх часто важко застосовувати в практичних інженерних розрахунках.

До основних цілей експериментального дослідження процесів сушіння відносять: 1) дослідження механізму й отримання даних для формулювання фізичної моделі процесу; 2) отримання емпіричних розрахункових залежностей; 3) формулювання конкретних крайових умов; 4) перевірка адекватності аналітичного рішення фізичної моделі процесу.

Під час проведення експериментального дослідження важливо:

а) правильно поставити експеримент і визначити мінімально необхідне число дослідів; під час рішення цієї задачі широко застосовуються методи планування багатофакторних експериментів;

б) оцінити похибку проведення дослідів і точність отримуваних даних з використанням методів математичної статистики;

в) створити експериментальні установки, що повинні бути моделями майбутніх напіввиробничих установок;

г) узагальнити експериментальні дані з метою отримання емпіричних розрахункових формул.

Рішення двох останніх задач реалізується в третьому – синтетичному методі дослідження, що базується на теорії подібності й аналізі розмірностей, а також на статистичних методах математичного планування експериментів.

Синтетичний метод поєднує аналітичний і експериментальний методи дослідження. Він базується на сучасних методах узагальненого аналізу (теорія подібності і метод аналізу розмірностей) і на математичних методах планування експериментів.

Перший метод дозволяє скоротити число перемінних у розглянутих задачах за рахунок переходу до зручних безрозмірних комплексів (критеріїв

або чисел подібності) і, крім того, визначає умови і шукані параметри під час проведення експериментальних досліджень (перша теорема подібності). Під час дослідження вибирають функціональну форму емпіричного рівняння в критеріальному вигляді, прагнучи ввести необхідну кількість параметрів і коефіцієнтів, щоб надалі, визначивши їхні чисельні значення з експериментальних даних, забезпечити необхідну точність розрахунків по формулі (друга теорема подібності).

Теорія подібності дозволяє результати (закономірності), отримані експериментальним шляхом на пілотній установці, перенести на промислову, якщо дотримані визначені умови однозначності, обумовлені третьою теоремою подібності. Метод знайшов широке застосування в інженерній практиці.

Для отримання критеріїв подібності необхідні рівняння математичного опису процесу (перша теорема подібності), а для виявлення функціонального зв'язку між ними – великий обсяг експериментальних досліджень, хоча б на пілотній установці. Якщо математичний опис процесу відсутній, то критерії можуть бути отримані методом аналізу розмірностей.

Наступним кроком в розвитку синтетичних експериментально-аналітичних методів розрахунку стало застосування методів математичного планування експериментів, що дають можливість скоротити число дослідів і що дозволяють отримати рівняння регресії між вхідними і вихідними параметрами, що описують досліджуваний процес.

Великим кроком у розвитку експериментально-аналітичних методів розрахунку стала ідея поєднання методів теорії подібності і математичного планування експерименту, тобто отримання рівнянь регресії у вигляді функціонального зв'язку між узагальненими перемінними.

Однак при всій його простоті труднощі, пов'язані з розрахунком змінних режимів обробки, що корелюють зі зміною поточних властивостей об'єкта, до останнього часу залишаються нездоланими, тому що існуючі методи математичного планування експерименту дозволяють отримати рівняння регресії, що описують процес тільки в статистиці. Застосування методу аналогій

характерне для сучасного етапу розвитку науки і техніки як ефективного засобу рішення актуальних наукових і практичних задач [1].

1.6 Класифікація конвективної сушильної техніки

1.6.1 Порівняльна характеристика сушарок для фруктів, овочів, ягід що реалізується на вітчизняному ринку

Обстеження ринку сушарок для овочів, фруктів та ягід в Україні, вивчення спеціалізованих видань та іншої літератури виявили десятки виробників та сотні моделей конвективних сушарок для фруктів та овочів. Ці сушарки відрізняються одна від іншої за конструкцією, за принципом дії, за продуктивністю, за дизайном та іншими параметрами. На жаль, характерною особливістю рекламної інформації (особливо Інтернет – сайтів) є її недостатня повнота, часто недостовірність та суперечливість. Таке розмаїття та поставили перед нашим дослідженням першу задачу. Як класифікувати сушарки, що пропонуються на ринку? За якими характеристиками можна об'єктивно порівняти їх між собою? Як обрати оптимальний варіант для різних категорій покупців сушарок?

Проведений аналіз ринкових пропозицій за принципом витрати-результат, показав, що усі наявні сушарки є доцільним для початку поділити на умовні класи за їх видатністю. Цей підхід має достатньо вагомі об'єктивні підстави, оскільки дієтологи рекомендують норми споживання сухофруктів в межах 2 ÷ 4 кг/рік для середньостатистичного споживача. Тому максимальна потреба у сухофруктах сім'ї, що складається з 3 – 5 осіб становить приблизно 15 кг. Крім сушених ягід та фруктів переважна більшість номінальних власників сушарок заготовляє сушені овочі (баклажани, перець, моркву, біле коріння, томати тощо), а також лісових ягід, грибів, лікарських рослин, бджолиного пилку та пряної зелені. Якщо це врахувати, то максимальна потреба сім'ї у сушених продуктах може складати до 100 кг/рік. Виробити таку кількість сушні необхідно протягом осінньо-літнього сезону (приблизно протя-

гом 5-6 місяців). Для виробництва такої кількості сушні потрібно пересушити до 1000 кг свіжої продукції. А це є потенціалом дачних і невеликих (до 15-20 соток) присадибних ділянок. Таке виробництво призначене тільки для внутрішніх потреб сім'ї і не є використанням сушарок з метою бізнесу. Для його технічного забезпечення необхідні сушарки побутового класу: дешеві, прості, економічні та надійні. Продуктивність їх по готовій сушні має складати максимально 1,0 – 1,5 кг сушні за добу. Якщо врахувати технологічні особливості сушіння різних продуктів (кісточкових і зерняткових фруктів, трав, ягід, овочів, риби тощо) об'єктивною оцінкою продуктивності таких сушарок виступає максимальна сушильна площа, тобто сумарна площа лотків на яку викладається продукція для сушіння.

Користуючись цим параметром ми віднесемо всі сушарки, в яких сушильна площа менше квадратних 0,5 метрів до класу побутових сушарок.

Сушарки, у яких сушильна площа становить один і більше метрів квадратних, при їх професійному використанні спроможні виробляти від 75 до 100 кг сушні за місяць на кожен квадратний метр сушильної площі. Якщо наявна достатня сировинна база, та за оптимальної організації виробництва сушарки з сушильною площею до 5 квадратних метрів дозволяють виробляти від 0,5 до 5 тонн сушні за сезон. Виробництво та продаж такої кількості сушні може стати цілком прийнятним сімейним бізнесом. Тому сушарки з сушильною площею до 5,0 метрів квадратних ми віднесемо до класу малих професійних, або сушарок для сімейного бізнесу.

За цією логікою сушарки з сушильною площею від 5 до 25 квадратних метрів потрібно відносити до класу промислових, або сушарок для малого бізнесу. Цехи на їх базі спроможні виробляти до 10 тон сушні за місяць.

Потужні промислові сушарки ми не включали до нашого аналізу. Вони поставляються під конкретні масштабні бізнес-проекти, які потребують інвестицій порядку до 1,0 млн. дол. з терміном окупності не менше 5 – 7 років і які в Україні поки що не набули поширення.

Таким чином, можна зробити висновок, що всі сушарки не залежно від їх принципу дії (вакуумно – сублимаційні, конвективні, інфрачервоні, СВЧ-променеві тощо), та незалежно від конструкції і інших технічних параметрів доцільно розділити на класи за номінальною величиною сушильної площі.

Класифікація сушильного обладнання за продуктивністю подана в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Класифікація сушильного обладнання за продуктивністю

№	Номінальний розмір сушильної площі, м ²	Класифікація	Призначення
1	< 0,5	Побутові	Для задоволення власних потреб сім'ї у сухофруктах
2	0,6 ÷ 5,0	Малі професійні	Для сімейного бізнесу у виробництві сухофруктів
3	5,0 ÷ 25,0	Середні промислові	Для міні та малого бізнесу
4	50 <	Великі промислові	Для промислових цехів з виробництва сухопродуктів

1.6.2 Аналіз ринку побутових сушарок

Виходячи з прийнятої нами класифікації перейдемо до розгляду характеристик класу найменших сушарок – побутових.

Дослідження ринку цих товарів виявило до 30 пропозицій від різних виробників, які наведені в таблиці 1.5. З них до 20 найменувань російського виробництва, 14 – інших країн і лише одна сушарка від вітчизняного виробника: Компанії “Технопром-Продукт”. Товарознавцю і продавцю побутових сушарок, а тим більше пересічному їх покупцю, обрати оптимальну для своїх потреб модель користуючись тільки рекламною інформацією практично неможливо. Реклама, як правило, акцентує увагу на перевагах даного виробу (бажаних чи реальних), нерідко гіперболізуючи їх, і замовчує (приховує, маскує) недоліки виробів.

Дослідник повинен мати максимально об'єктивну інформацію про специфіку та можливості того чи іншого виробу. Тому для нас, стосовно сушарок, важливим є наступний набір питань:

- а) принцип дії сушарки, виходячи з якого можна оцінити її енергоефективність, універсальність, відносно можливості сушіння різних продуктів, граничну кінцеву вологість висушених продуктів та тривалість циклу сушіння;
- б) швидкість процесу і якість кінцевого продукту визначають температурні діапазони сушіння разом з аеродинамічною схемою;
- в) середня споживана потужність несуть інформацію про ступінь технічної досконалості виробу;
- г) сушильна площа, яка визначає продуктивність сушарки.

1.6.3 Малі професійні сушарки

Цей клас сушарок є найменш чисельним (таблиця 1.6). Такий стан речей обумовлений двома причинами. Перша: в Україні переважна кількість будівель садибного типу облаштовані побутовою електромережею з напругою 220 В. Ця мережа дозволяє споживати протягом тривалого часу сумарну потужність до 5 кВт. За законами фізики сушарка з сушильною площею більше 5 квадратних метрів не може споживати менше 4 кВт потужності, інакше вона не буде працювати. А тривалість процесу сушіння коливається від 2-3 годин до 3-4 діб, тобто інші електроприлади під час роботи сушарки вмикати не можна. Друга: ведення домашнього господарства за рахунок присадибної ділянки (натурального) – досить рідкісне явище у розвинених країнах. Тому тамтешні виробники сушарок не зацікавлені у виробництві цього сегменту сушильної техніки. В Україні, за офіційними статистичними даними протягом 1965-1991 років, на дачних і присадибних ділянках вирощувалось понад 95% ягід, 65% зерняткових фруктів, 50% овочів, 80% кісточкових плодів. При цьому, у свіжому вигляді населення України споживає до 20 % урожаю кісточкових фруктів і ягід і близько 50% зерняткових плодів. Решта можна використовувати як сировину для переробної промисловості. Проте офіційні дані свідчать, що 20% плодоягідної продукції просто згниває не доходючи до споживачів (а за словами експертів пропадає до 40% фруктів та ягід) [34].

Таблиця 1.5 – Техніко-економічні показники малих побутових сушарок

Торгова марка сушарки		Ціна сушарки з ПДВ, \$	Сушильна площа м ²	Потужність Вт	Питоме енергоспоживання кВт/м ²	Питома ціна \$/м ²
1	Белочка	43,6	0,15	250	1,7	290,7
2	Белочка-2	41,2	0,15	250	1,7	274,7
3	DFH1010A	42,8	0,10	250	2,5	428,0
4	ETA-2300 Kenya	65,2	0,10	250	2,5	652,0
5	Zelmer 36Z001	65,0	0,15	300	2,0	433,3
6	VMD-3	71,0	0,20	400	2,0	355,0
7	ETA-3300 Malavi	72,4	0,15	350	2,3	482,7
8	Чудесниця	56,6	0,15	350	2,3	377,3
9	Дачник-4	220,0	1,20	750	3,2	880,0
10	Белочка-Турбо	68,7	0,25	650	2,6	274,8
11	Ветерок	65,2	0,25	650	2,6	260,8
12	Ветерок плюс	75,5	0,30	650	2,2	251,7
13	Ветерок-5	83,7	0,35	750	2,1	239,1
14	Ягодка-1	68,8	0,30	600	2,0	229,3
15	Ягодка-2	68,8	0,30	600	2,0	229,3
16	Ротор	54,5	0,15	500	3,3	363,3
17	Ротор (Дива)	74,0	0,20	600	3,0	352,5
18	Ротор-5	110,0	0,25	750	3,0	440,0
19	Суховей	68,1	0,20	500	2,5	340,5
20	Суховей-М	82,3	0,25	600	2,4	329,2
21	First 5125	100,0	0,15	250	1,7	666,7
22	Vinis VED-350	50,1	0,10	350	3,5	501,0
23	Vinis VED-550	62,0	0,15	500	3,3	413,3
24	VMD-1	72,0	0,10	300	3,0	720,0
25	ETA-7300 Arida	161,1	0,25	700	2,8	646,4
26	EZIDRAI SNACKMAKER	312,0	0,33	500	1,4	945,0
27	Садочок-05	350,0	0,5	750	1,5	700,0

Це означає, що за валового урожаю 2,5-3,0 млн. тонн близько 1 млн. тонн фруктів та ягід щорічно просто згниває. Зауважимо те, що такої кількості сировини достатньо для виробництва 100-150 тисяч тонн високоякісних екологічно чистих сухофруктів, що дозволяє повністю покрити внутрішні потреби населення України і поставляти досить ліквідний товар на зовнішній ринок. Для цього необхідна відповідна сушильна техніка та технологія і ефективна система організації виробництва.

Таблиця 1.6 – Характеристика малих професійних сушарок

Марка, модель	Розмір сушильної, площі м ²	Питома ціна грн./м ²	Номінальна потужність, Вт	Питома потужність грн./м ²
“Садочок-1М”	1,0	3700	850	850
“Садочок-2М”	1,8	3160	1500	830
“Ezidri chasmaker”	0,5	2120	500	1000
Ezidri "Ultra-100”	1,1	1620	1000	910

Аналіз даних, які наведені в табл. 1.5 показує, що сушарки “Белочка”, “Ягодка” та деякі інші (позиції 1,2,7 – 10) на перший погляд мають значно кращі параметри ніж інші. Проте вони працюють на природній конвекції сушильного агента – повітря, що у разі уповільнює процес сушіння і не дозволяє виробляти сушню високої якості. Тому їх дешевизна є мало переконливим аргументом для більшості покупців.

Найбільш оптимальними з позиції принципу ціна-якість виглядають сушарки марки “Суховай” (поз. 15-17) і “Белочка – Турбо” (поз. 10). Позиції усіх інших побутових сушарок виглядають на ринку суттєво гіршими і їх просування потребує додаткових аргументів і спеціальної маркетингової тактики.

Аналіз параметрів і можливостей сушарок марки “Ezidri” і “Садочок” та практики їх використання чисельними власниками показують, що по універсальності щодо різних продуктів, тривалості циклу сушіння та якості виробленої сушні вони між собою практично не відрізняються. По енергоспоживанню у

“Садочка” на 30 – 40% кращі показники аніж у “Ezidri”. Це пояснюється тим, що “Садочок” має подвійний металевий корпус з прошарком надійної теплоізоляції, а “Ezidri” повністю пластмасова. Відповідно маса сушарок з металу на порядок більша ніж пластмасових, що для багатьох споживачів є досить суттєво. Проте, як показала практика їх експлуатації протягом 10 років, надійність і довговічність “Садочка” значно (у 2–3 рази) вища ніж у сушарок марки “Ezidri”. З першого погляду дещо вражає високий показник параметра питомої ціни у “Садочків”, яка у 2,5 рази більша ніж у “Ezidri”. Причина такої аномалії наступна: монопольне становище на українському ринку розробника і виробника “Садочків” дозволяє йому проводити цінову політику на власний розсуд; з появою реальних конкурентів ситуація нормалізується.

Наведений перелік об’єктивних характеристик сушарок разом з їх ціною дозволяють впевнено прогнозувати і управляти попитом на ту чи іншу модель. В рекламній інформації для характеристики енергоємності виробу часто наводять не стандартні терміни: потужність (яка?), споживана потужність, середня потужність, які фактично маскують реальне енергоспоживання. Для більшої об’єктивності оцінки і зручності у порівнянні різних моделей ми ввели питомі параметри: питоме енергоспоживання ($\text{кВт}/\text{м}^2$) тобто, скільки кіловат встановленої електричної потужності припадає на один квадратний метр сушальної площі і питома ціна ($\text{дол.}/\text{м}^2$) – ціна сушарки поділена на розмір її сушальної площі.

Другий питомий параметр спрощує оцінку реальної вартості кожного типу сушарок, порівняння їх між собою і доцільність витрат покупця. Введені нами питомі параметри одразу “засвітили” недоліки інфрачервоних сушарок (позиції 18 – 20 табл. 1.5), які приховують і замовчують практично в усіх рекламних матеріалах. Енергоспоживання інфрачервоних сушарок в середньому у 2,5 рази вище ніж у якісних конвективних. А це визначальна складова експлуатаційних витрат. Крім того, питома ціна їх на 50 ÷ 150% більша ніж у кращих конвективних моделей.

Таким чином більша швидкість сушіння і висока якість виробленої в інфрачервоних сушарках сушні дається не даром і покупець має знати про ці нюанси.

нши. А якщо врахувати, що сучасні конвективні сушарки спроможні виробляти сушню стабільно високої якості практично з будь-яких продуктів за суттєво нижчою собівартістю ніж інфрачервоні, то стає зрозумілим мале поширення інфрачервоних сушарок у світовій сушильній практиці.

Висновки до розділу 1.

Таким чином, аналіз літературних та патентних джерел показує, що сушіння в камерних конвективних сушарках з невеликим завантаженням, хоча і є досить перспективним способом переробки сільськогосподарської продукції в присадибних та фермерських господарствах, не має системного теоретичного підґрунтя, а виробництво самої техніки і розробки технології такого сушіння базуються більше на багаторічному досвіді, ніж на наукових засадах. Це призвело до того, що сушіння є одним з найбільш енерговартісних технологічних процесів промисловості, а сушарки побутового класу, що виробляються світовою промисловістю, хоч і виготовлені з різних матеріалів, мають по суті однакову теплову схему.

2 РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

2.1 Аналітичне дослідження ефективності теоретичних конвективних сушарок. Математична модель

Розробка ефективних режимів сушіння, які забезпечують не тільки високу інтенсивність видалення вологи, але й високі коефіцієнти корисної дії сушильних установок є важливою задачею, оскільки порівняно значна енергоємність процесів сушіння призводить до значних витрат енергоресурсів. Розглянемо вплив на ККД режимних параметрів в найбільш поширених конвективних сушарках. Для викладення суті методика дослідження стосується теоретичної конвективної сушарки з однократним використанням повітря. Виходячи із загально визнаного визначення коефіцієнта ефективності таких сушарок [37], можна записати

$$\Psi = (t_1 - t_2) / (t_1 - t_0), \quad (2.1)$$

де t_0 , t_1 , t_2 – температура повітря початкова, підігрітого і на виході з сушарки, відповідно.

Із формули (2.1) неважко побачити, що $\Psi \rightarrow 0$, коли $t_2 \rightarrow t_1$, а $\Psi \rightarrow \infty$, коли $t_1 \rightarrow t_0$. Останній випадок принципово можливий, коли теплота, яка необхідна для випаровування вологи з висушуваного матеріалу, підводиться з навколишнього середовища (природна сушіння). Аналіз формули (2.1) дозволяє показати, що для конкретних значень t_1 і t_0 існують граничні максимально можливі значення Ψ . Діапазон зміни Ψ у випадку зміни t_2 лежить в межах від 0 до Ψ_{\max} . Останній відповідає випадку, коли $t_2 = t_{m1}$ ($\varphi = 100\%$). Тоді

$$\Psi_{\max} = (t_1 - t_{m1}) / (t_1 - t_0), \quad (2.2)$$

Для виявлення впливу початкової температури теплоносія на значення Ψ теоретичної сушарки необхідно визначити аналітичний зв'язок між t_0 і t_{m1} .

Аналіз наведених в [54] залежностей показує, що основною ланкою, що

з'єднує параметри вологого повітря, ϵ парціальний тиск водяної пари в насиченому стані P_n , який залежить від температури і визначається з таблиць або за допомогою h-d діаграми. Для пари багатьох рідин залежність $P_n = f(t)$ в певному інтервалі температур може бути подана виразом $\log P_n = A - B/T$, де значення сталих A і B залежать від інтервалу температур.

Залежність парціального тиску водяної пари в насиченому стані від температури може бути подана відомими формулами:

– М.П. Вукаловича,

$$\log P_n = 8,2 \cdot \log(373,16 / T) - 3,14 \cdot 10^3 \times \\ \times (1/T - 1/373,16) + 0,00248 \cdot (373,16 - T); \quad (2.3)$$

– Г.К. Філоненко для ($t \leq 100^\circ\text{C}$)

$$\log P_n = 0,662 + 7,5 \cdot t / (238 + t). \quad (3.4)$$

Залежності (2.3) і (2.4) досить складні. Якщо значення P_n із цих залежностей підставити в формули для визначення d , ϕ і t_m , то визначення параметрів повітря є досить складною математичною задачею. Ця задача ще більше ускладнюється для розрахунків поточного стану вологого повітря. Тому задачі, що зв'язані з процесами зміни стану вологого повітря і визначення його основних параметрів, розв'язуються значно легше за допомогою h-d діаграми.

Але використання h-d діаграми має свої негативні риси. По-перше, кожному барометричному тиску повинна відповідати окрема h-d діаграма. По-друге, необхідність використання h-d діаграми ускладнює розв'язування за допомогою ПЕОМ оптимізаційних задач в системі вода-повітря.

Для спрощення аналітичних розрахунків використовувалась емпірична залежність парціального тиску водяної пари в насиченому стані у вигляді [24], Па

$$P_n = 271,89 \cdot (1,108 + 0,01 \cdot t)^8 \quad (2.5)$$

Розрахунки за формулою (2.5) показали, що розбіжність між розрахунковими і табличними даними в діапазоні $0 < t < 250^{\circ}\text{C}$ не перевищують 1%.

Тоді вологовміст повітря в стані насичення ($\varphi = 100\%$)

$$d_{m1} = \frac{271,89 \cdot (1,108 + 0,01 \cdot t_{m1})^8}{P_B - 271,89 \cdot (1,108 + 0,01 \cdot t_{m1})^8} = \frac{271,89 \cdot A}{P_B - 271,89 \cdot A}, \quad (2.6)$$

де P_B - барометричний тиск, Па;

$$A = (1,108 + 0,01 \cdot t_m)^8$$

Вираз (2.6) для випадку теоретичної сушарки ($h_1 = h_2$) дозволяє знайти зв'язок між величинами Ψ_{\max} , t_0 , t_1 , d_0 і P_B . Конкретний вираз функціональної залежності $\Psi_{\max} = f(t_0, t_1, d_0, P_B)$ для області $\Psi_{\max} < 1$ можна отримати на підставі одержаних співвідношень. Спочатку покажемо, що саме ця область являє собою практично важливий діапазон зміни визначальних параметрів. Для цього визначимо значення початкової температури теплоносія за умови $\Psi_{\max} = 1$, виходячи з тотожності $h_1' = h_{m1}'$

$$t_1' = \frac{1000 \cdot t_0 + (r + C_p \cdot t_0) \cdot d_{m1} - r \cdot d_0}{1000 + C_p \cdot d_0}, \quad (2.7)$$

де $r = 2500$ кДж/кг – теплота пароутворення;

$C_p = 1,96$ кДж/(кг·К) - теплоємність сухого повітря [35].

З врахуванням формули (2.6) вираз (2.7) буде мати вигляд

$$t_1' = \left[1000 \cdot t_0 + \frac{271,89 \cdot A \cdot (r + C_p \cdot t_0)}{P_B - 271,89 \cdot A} - r \cdot d_0 \right] / (1000 + C_p \cdot d_0) \quad (2.8)$$

2.2 Графічна інтерпретація результатів теоретичних досліджень

Графічна інтерпретація залежності (2.8) наведена на рис.2.1, з якого можна судити про вплив параметрів навколишнього середовища на зміну величини

Ψ_{\max} в діапазоні $t_1 > t'_1$. З підвищенням поточних значень t_0 величина t_1 зростає, причому вирішальний вклад в це зростання спричиняє саме початкова температура повітря. Зі збільшенням початкового вологовмісту значення t_1 зменшується за умови $t_0 = \text{const}$, тобто має місце зворотний ефект.

Зазначимо, що зв'язок між значеннями t_{m1} та d_{m1} в формулі (2.6) громіздкий. Тому, використовуючи умову $h_1 = h_2$, можна записати

$$h_1 = t_{m1} + \frac{(r + 1,96 \cdot t_{m1}) \cdot 271,89 \cdot A \cdot 10^{-3}}{P_B - A}. \quad (2.9)$$

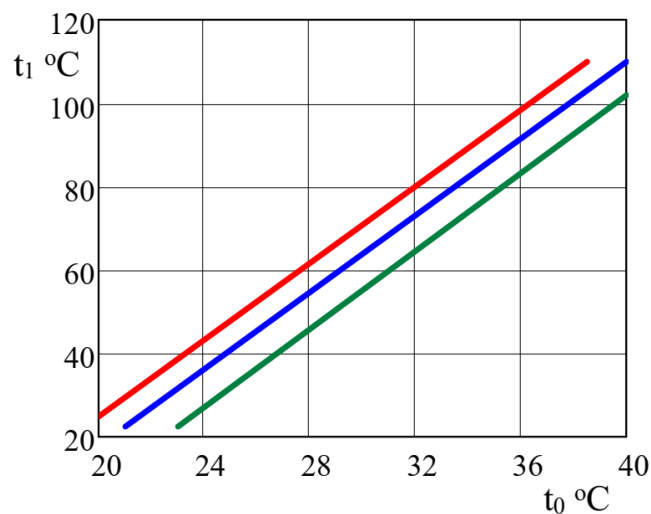


Рисунок 2.1 – Вплив параметрів навколишнього середовища на значення температури теплоносія за умови $\Psi = 1$

1) $d_0 = 10$ г/кг; 2) $d_0 = 15$ г/кг; 3) $d_0 = 20$ г/кг.

Апроксимація розрахунків за формулою (2.9) для $P_B = 101,325$ кПа дозволила отримати залежність $t_{m1} = f(h_1)$ у вигляді

$$t_{m1} = 287 \cdot h_1^{0,05} - 330, \quad (2.10)$$

яка в діапазоні зміни h від 25 до 1500 кДж / кг дає похибку з даними [43] $\pm 1\%$.

Зважаючи на це, значення Ψ_{\max} за формулою (2.2) можна подати у вигляді

$$\Psi_{\max} = \frac{\left[330 + t_1 - 287 \left[t_1 + (2,5 + 1,96 \cdot 10^{-3} \cdot t_1) \cdot d_0 \right]^{0,05} \right]}{t_1 - t_0}. \quad (3.11)$$

Кількісна оцінка залежності $\Psi_{\max} = f(t_0, t_1, d_0)$ показана на рис.2.2, із якого видно, що граничні значення коефіцієнта ефективності теоретичних сушарок мають досить складний характер зміни.

Для визначення коефіцієнтів Ψ в теоретичних сушарках з певними кінцевими параметрами повітря за запропонованою методикою в формули замість t_{m1} і d_{m1} треба підставляти значення t_2 і d_2 .

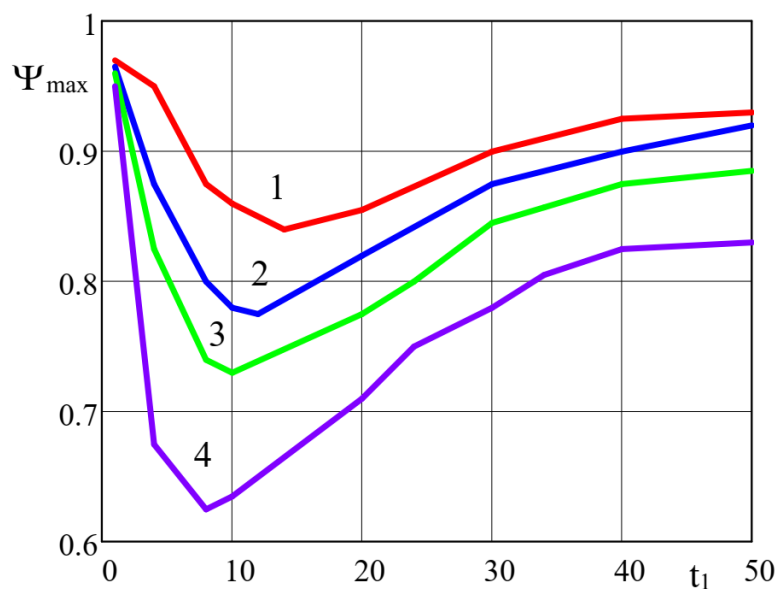


Рисунок 2.2 – Зміна Ψ_{\max} для теоретичної сушарки

1) $t_0 = 40^\circ\text{C}$; $d_0 = 10$ г/кг; 2) $t_0 = 30^\circ\text{C}$; $d_0 = 10$ г/кг;

3) $t_0 = 30^\circ\text{C}$; $d_0 = 20$ г/кг; 4) $t_0 = 20^\circ\text{C}$; $d_0 = 10$ г/кг.

Значення кінцевого вологовмісту

$$d_2 = d_0 + \frac{(1000 + 1,96 \cdot d_0)(t_1 - t_2)}{2500 + 1,96 \cdot t_2}. \quad (2.12)$$

В дійсних сушарках величина $d_{2д}$ буде дорівнювати

$$d_{2д} = d'_0 + \frac{(1000 + 1,96 \cdot d_0)(t_1 - t_2)}{(2500 + 1,96 \cdot t_2) - \Delta}, \quad (2.13)$$

де Δ – сумарні втрати теплоти в сушарці, що визначаються за методикою [43,44].

Висновки до розділу 2 : Побудована номограма і виведена узагальнена формула для визначення оптимального режиму сушки сільськогосподарських продуктів. Запропоновані узагальнені формули для визначення оптимального температурного коефіцієнта сушарки.

3 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

3.1 Обробка результатів на ЕОМ

Експериментальні дослідження процесів конвективного сушіння фруктів і овочів проводились за такою сировиною: яблука ранніх сортів (початкова вологість $W_0 = 90\%$), яблука пізніх сортів ($W_0 = 86\%$), буряки ($W_0 = 82\%$), кріп ($W_0 = 76\%$). Результати вимірювань кінетики сушіння наведені в додатках. На рис. 3.1 для прикладу наведені зміни температур сухого і мокрого термометрів в процесі сушіння яблук з $W_0 = 86\%$.

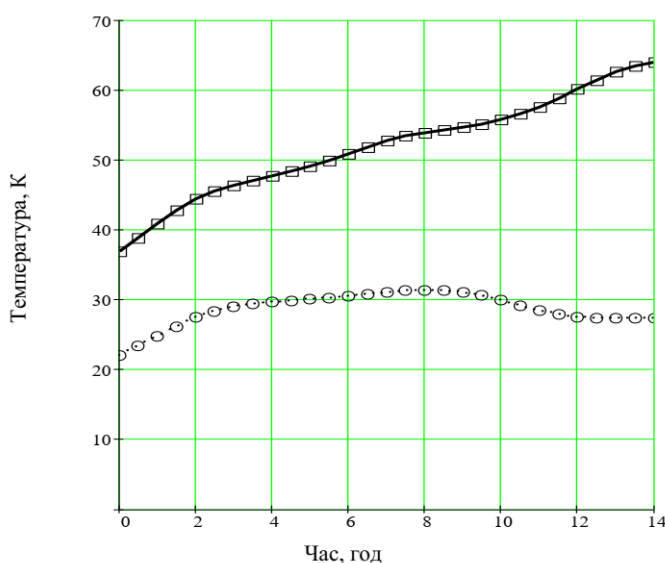


Рисунок 3.1 – Температурні криві теплоносія для сушіння яблук з початковою вологістю $W_0 = 86\%$:

1 – температура сухого термометра; 2 – температура мокрого термометра

З рис. 3.1 видно, що температура сухого термометра в процесі сушіння безперервно зростає. Зміну температур мокрого термометра можна поділити на три характерні області (зони). В першій зоні вона поступово зростає, в другій в межах похибки дослідів залишається майже незмінною, а в третій – зменшується, асиметрично наближаючись до повного сталого значення [11].

На підставі експериментальних значень температур сухого і мокрого термометрів за таблицями властивостей вологого повітря визначені поточні значення вологовмісту повітря d в процесі сушіння. Графічна інтерпретація значень d показана на рис. 3.2.

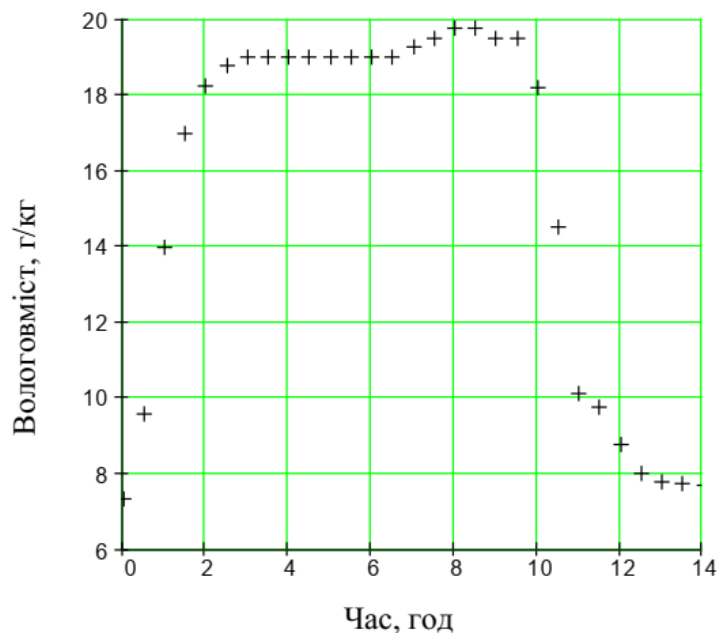


Рисунок 3.2 – Експериментальні дані вологовмісту в процесі сушіння яблук з $W_0 = 86\%$ за умови: маса сировини до сушіння $G_0 = 22$ кг; маса сировини після сушіння $G_2 = 4,57$ кг; масова витрата повітря $G = 30,6$ кг/ год

За допомогою ЕОМ здійснено машинний регресійний аналіз експериментальної кривої $d = f(\tau)$, в результаті якого експериментальні значення описані поліномом вигляду $d = A\tau^n + B\tau^{n-1} + C\tau^{n-2} + \dots$. Графічне зображення регресивної функції $d = f_1(\tau)$ показано на рис.3.3.

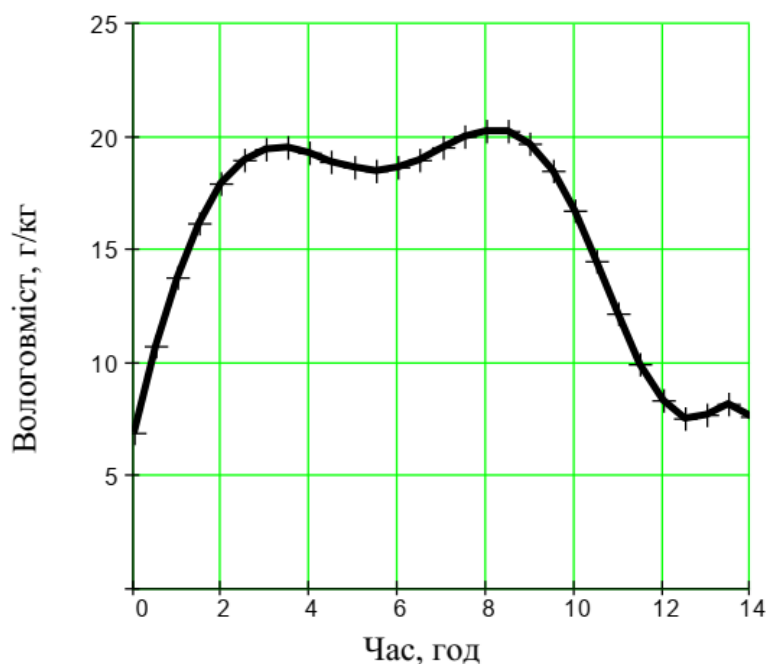


Рисунок 3.3 – Регресійна крива вологовмісту повітря для сушіння яблук за умов зазначених на Рис. 3.2

За методикою, що описана в Розділі 2, визначено розподіл виходу вологи із сушарки R і зміна абсолютної вологості сировини в процесі сушіння W_C . Залежності $R = f(\tau)$ і $W_C = f(\tau)$, які отримані на підставі експериментальних даних, мають три зони, що відповідають трьом періодам сушіння. Оскільки вологість на суху масу визначається за формулою (3.1) то величина W_C може бути значно більша, ніж 100% на відміну від вологості на загальну масу.

$$W_C = (G_0 - G_C) / G_C \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

де G_0 – загальна маса сировини;

G_C – маса абсолютно сухої речовини;

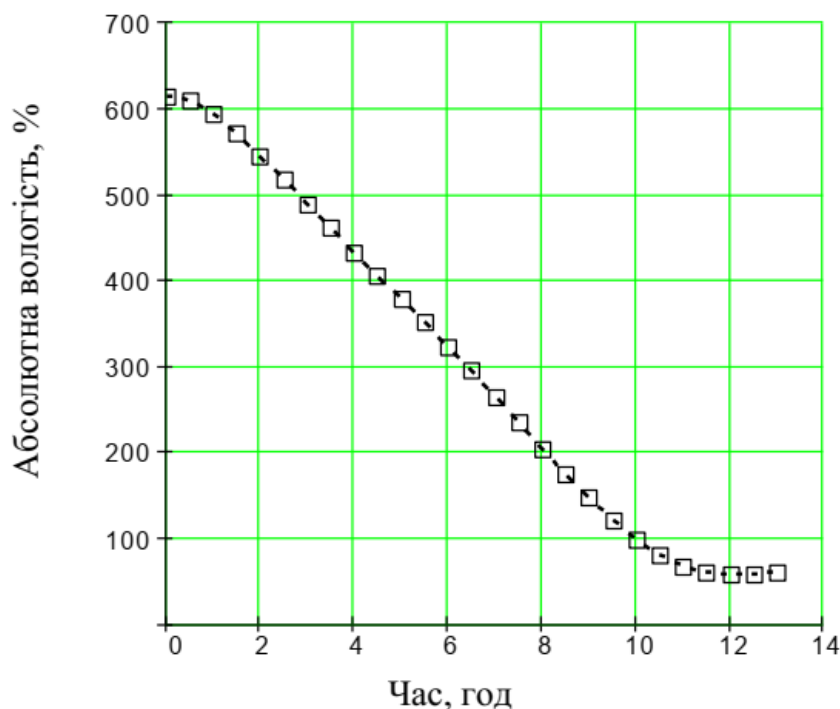


Рисунок 3.4 – Регресійна залежність зміни абсолютної вологості сировини в процесі сушіння яблук з $W_0 = 86\%$.

Диференціювання кривої швидкості сушіння дає інтенсивність процесу сушіння. На рис. 3.5 показана кінцева зміна інтенсивності сушіння яблук з початковою вологістю $W_0 = 86\%$, яка отримана за допомогою машинного диференціювання.

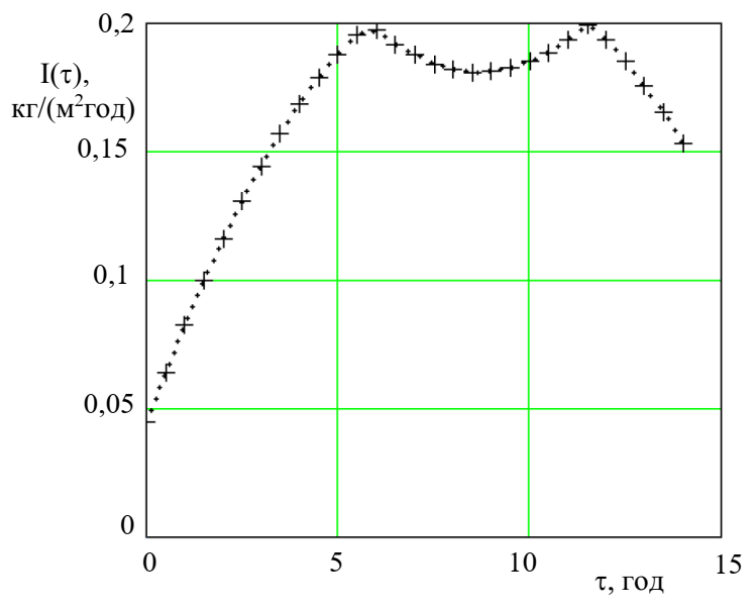


Рисунок 3.5 – Інтенсивність сушіння яблук

Із рис. 3.5 видно, що перегини кривої інтенсивності сушіння відповідають характерним точкам на рис. 3.2 і 3.5, а сама крива інтенсивності більш точно визначає координати критичних точок. Функція в цих точках змінює знак на протилежний. Це дозволяє більш точно і раціонально вибрати значення параметрів тепловологісних режимів сушіння, а також визначити їх значення для теплових розрахунків сушарок.

Цікаво порівняти кінетику сушіння різних видів сировини за результатами інших досліджень. На рис. 3.6 показана експериментальна залежність зміни абсолютної вологості в процесі сушіння абрикосів за [32].

Порівнюючи цю залежність із залежністю, наведеною на рис. 3.2, можна помітити досить суттєві розбіжності між цими експериментальними результатами.

3.2 Зведені графічні залежності

З метою більш досконалого порівняння експериментальних результатів в процесах конвективного сушіння харчових продуктів було проведено нормування і побудова визначальних залежностей кінетики сушіння в безрозмірних координатах

$$W^*_C = W_0 / W_i, N^* = N_i / N_k, \tau^* = \tau_i / \tau_C, \quad (3.2)$$

де W_0 – вологість сировини, для $\tau = 0$;

N_k – максимальна швидкість сушіння (в критичній точці);

τ_C – повний час сушіння; індексом “i” позначені поточні величини.

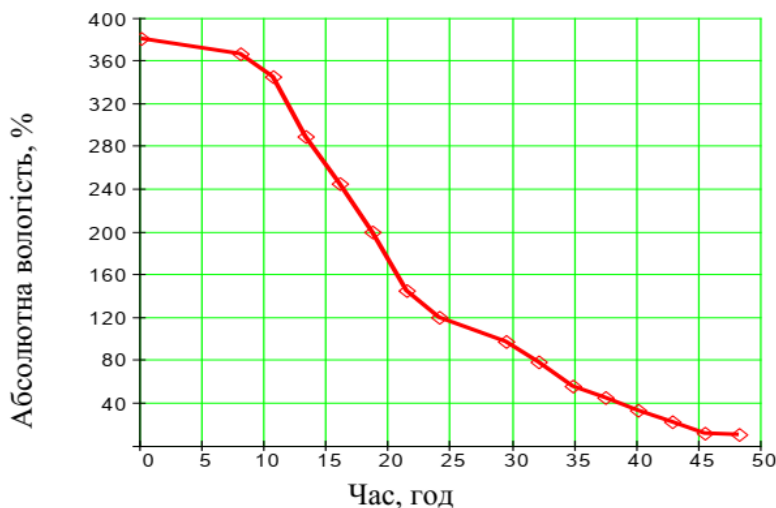


Рисунок 3.6 – Зміна абсолютної вологості в процесі сушіння абрикосів

Обробка результатів експериментальних досліджень сушіння різних видів сировини та обробка за наведеною вище методикою показала, що вони подібні.

На рис. 3.7 зведені залежності швидкості сушіння для всіх досліджуваних продуктів в нормованих координатах. Із даного рисунка випливає, що величина N^* в зоні постійної швидкості сушіння для всіх продуктів в діапазоні похибок експериментів приблизно однакова. Розбіжність в зоні прогрівання сировини пояснюється як відмінами геометричних розмірів і мас висушуваних частинок сировини, так і морфологічними структурами сировини.

Результати порівняння відносних абсолютних вологовмістів для всіх видів висушуваної сировини зведені на рис. 3.8. Наведені результати свідчать про те, що наші дослідні дані в межах похибки експерименту можна апроксимувати однією залежністю. Ця функціональна регресійна залежність, яка отримана за допомогою ПЕОМ має вигляд

$$W^*_C = -1,109 \cdot \tau^{0,798} + 1,081. \quad (3.3)$$

На цьому ж рисунку нанесені експериментальні дані для абрикосів, які оброблені в запропонованих нами координатах.

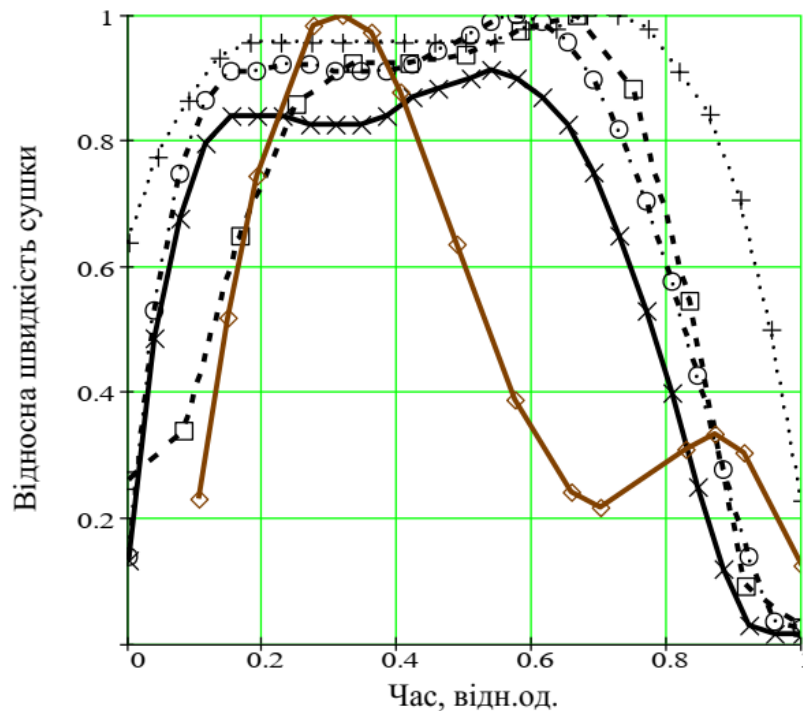


Рисунок 3.7 – Залежності відносної швидкості сушіння: 1 – яблука ранніх сортів (початкова вологість $W_0 = 90\%$); 2 – кріп ($W_0 = 76\%$); 3 – буряк ($W_0 = 82\%$); 4 – яблука пізніх сортів ($W_0 = 86\%$); 5 – абрикоси (урюк) за даними [32]

З рис. 3.8 видно, що сушіння абрикосів в сушарці [32], відбувається більш нерівномірно і для отримання високої якості готового продукту з рівномірною вологістю по об'єму в такій сушарці необхідно здійснювати багаторазове перемішування сировини вручну. Крім того, нерівномірність процесу сушіння призводить до ускладнення вибору технологічного графіка і режиму сушіння.

Визначення зміни інтенсивності випаровування вологи з сировини в процесі сушіння для різних видів сільськогосподарської сировини показало, що залежності $I = f(\tau)$ для всіх видів сировини однакові. Тому тут (див. рис. 3.9) ми приводимо усереднену залежність для всіх видів сировини.

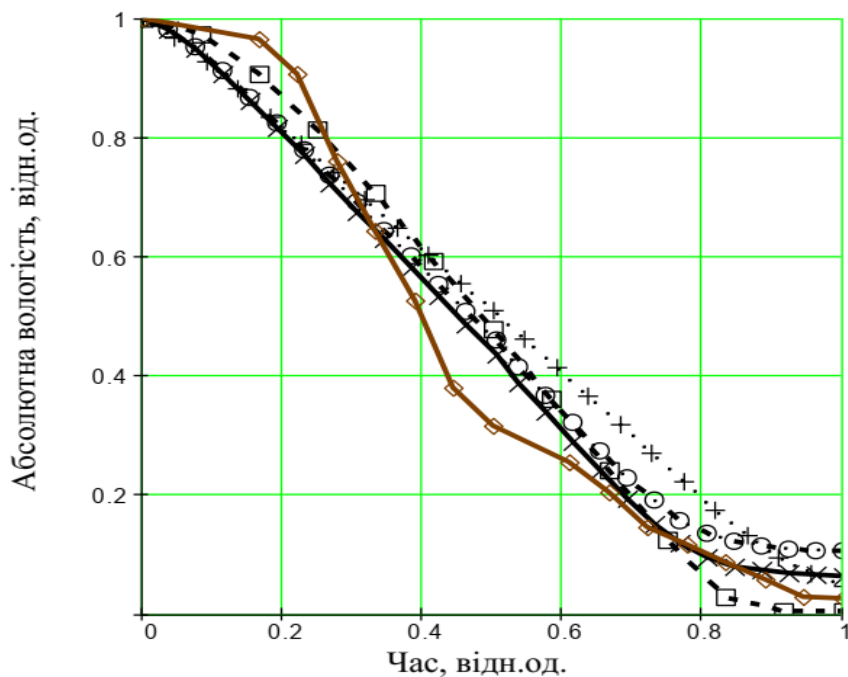


Рисунок 3.8 – Значення поточних абсолютних вологостей: 1 – яблука ранніх сортів (початкова вологість $W_0 = 90\%$);
 2 – кріп ($W_0 = 76\%$); 3 – буряк ($W_0 = 82\%$);
 4 – яблука пізніх сортів ($W_0 = 86\%$); 5 – абрикоси (урюк) за даними [32]

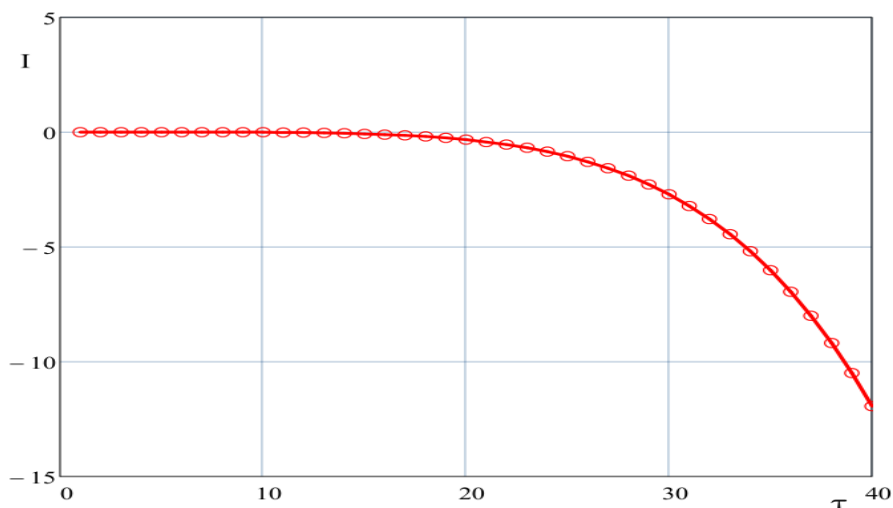


Рисунок 3.9 – Залежність зміни інтенсивності сушіння за часом

Висновки до Розділу 3

1. Запропоновані формули для визначення оптимального терміну сушіння сировини в залежності від початкових параметрів сушильного агенту.
2. За допомогою машинної обробки дослідних даних побудовані залежно-

сті зміни вологовмісту сушильного агента, виходу вологи із сушарки, вологості матеріалу, швидкості та інтенсивності сушіння.

3. Виявлено три характерних зони сушіння, визначені межі їх існування та координати критичних точок для досліджуваних матеріалів.

4. Застосування відносних координат дає змогу узагальнити результати різних досліджень і описати кінетику зміни вологовмісту єдиною залежністю.

4 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Модернізація схеми автоматизації сушарки “Садочок-1”

4.1.1 Опис об’єкта автоматизації

Автоматизація сушарки “Садочок-1” призначена для надійності роботи усієї сушильної установки, високої якості процесу сушіння та самого технологічного процесу. Дана сушарка призначена для виробництва сушні з ягід, фруктів, овочів, пряної зелені, лікарських рослин, грибів тощо. Стабільно висока якість виробленої сушні, яка досягається через автоматичне підтримання оптимальних температурно-вологісних параметрів сушильного агента та періодичного реверсу напрямку його руху є головною задачею автоматизації процесу сушіння.

В камерних конвективних сушарках з рециркуляцією (рисунок 4.1) основним елементом є камера, всередині якої розташовують сировину, що залишається нерухомою протягом всього процесу сушіння. Завантаження і вивантаження матеріалу проводять з однієї сторони сушарки через двері. Камерні сушарки є сушарками періодичної дії і застосовуються при малих кількостях матеріалу, який необхідно висушити.

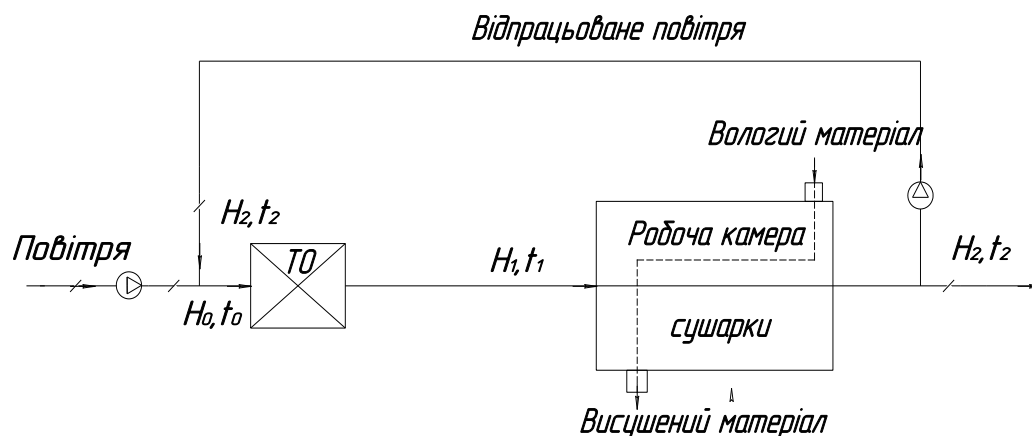


Рисунок 4.1 – Схема сушарки з частковим поверненням відпрацьованого повітря

Сировина для сушіння подається в камерні сушарки на вагонетках з піддонами, стелажах тощо і періодично переміщується вручну чи за допомогою спеціальних механізмів.

Камерні сушарки мають обмежене застосування у виробництві сировини. Зазвичай вони являються сушарками періодичної дії шахтного типу і характеризуються незручністю в експлуатації та з порівняно низькою ефективністю.

Більш раціональною являється конструкція спеціалізованих сушарок невеликої ємності, в яких простіше створити потрібний режим і забезпечується краща рівномірність сушіння.

В сушарках з рециркуляцією температуру процесу можна обирати нижчу ніж на продув, а вологість в сушильній камері можна регулювати. В цих сушарках частина відпрацьованого повітря з параметрами h_2 , d_2 , t_2 (ентальпія, вологовміст та температура відповідно) повертається в робочу камеру, де змішується зі свіжим повітрям. Утворена суміш з параметрами d_{cm} та h_{cm} (вологовміст суміші та її ентальпія) поступає в калорифер, де підігрівається до температури t'_1 і входить в сушарку.

4.1.2 Обґрунтування шляху автоматизації сушарки “Садочок-1”

Однією з головних задач автоматизації процесу сушіння є створення високоекономічних сушильних апаратів та установок із застосуванням нових методів і режимів сушіння.

При проектуванні сушарок та їх автоматизації виконують наступні задачі:

- а) застосовувати раціональний спосіб підводу теплоти до сировини;
- б) забезпечити повне управління процесами сушіння за допомогою автоматизованого керування;
- в) при необхідній якості продукту отримати найкращі техніко-економічні показники (мінімальну вартість сушіння, мінімальні капітальні затрати, найменші затрати теплоти та електроенергії).

4.1.3 Автоматичні системи регулювання (АСР) параметрів

Управління температурою повітря на вході та виході з робочої камери сушарки здійснюється за схемою зображеною на рисунку 4.2.

Зміна температури повітря на вході в робочу камеру сушарки відіграє роль головної збурюючої дії. Внаслідок такого збурення процес сушіння є не надійним.

Отже, для надійності процесу необхідно підтримувати задану температуру повітря. Вимірювання температури повітря здійснюється за допомогою датчика температури DS18B20.

Датчик температури DS18B20 є цифровим термометром з діапазоном вимірювання від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ і точністю $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Даний діапазон температур дозволяє точно проводити регулювання, оскільки для заданої сушарки робочими температурами є $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сигнал про відхилення заданих величин температур подається на пульт.

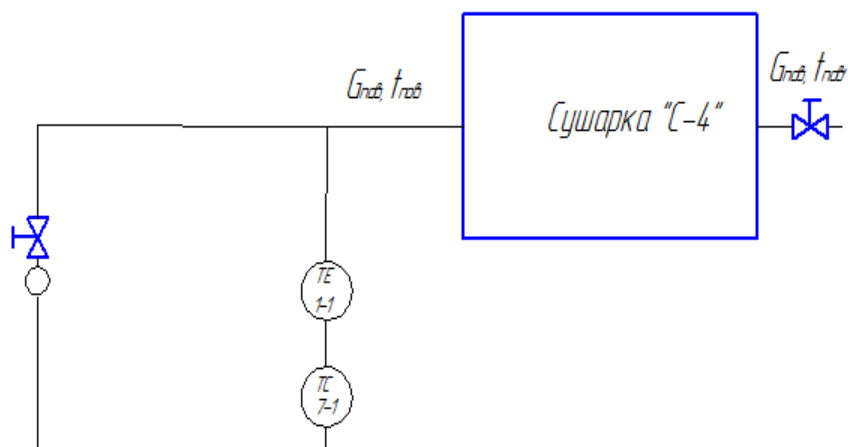


Рисунок 4.2 – Регулювання температури повітря на вході та виході з робочої камери сушарки

При зменшенні параметрів температури повітря в сушарці подається сигнал на засувку вентилятора. Внаслідок чого відбувається автоматичне регулювання подачі рециркулюючого повітря в робочу камеру сушарки. Заслінка перекриває хід рециркулюючого повітря і гаряче повітря надходить до сушарки.

4.1.4 АСР вологості повітря на вході та виході з робочої камери сушарки

Для надійності системи регулювання вологості повітря на вході та виході з робочої камери сушарки необхідно автоматизувати процес регулювання. Ав-

томатизований процес регулювання вологості повітря на вході та виході з робочої камери сушарки зображений на рисунку 4.3.

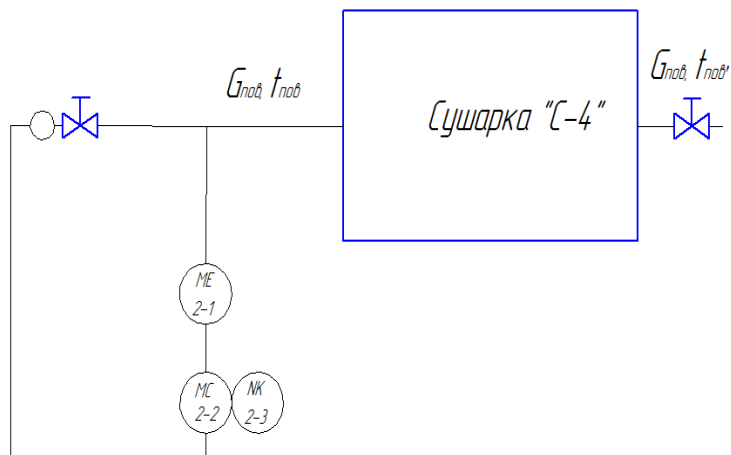


Рисунок 4.3 – Регулювання вологості повітря на вході та виході з робочої камери сушарки

Вимірювання вологості відбувається за допомогою датчика НІН–4021–003. Датчик розроблений спеціально для промислових застосувань. Даний датчик є цифровим і працює за допомогою мікросхеми. Діапазон робочих температур $-40\dots+80^{\circ}\text{C}$. Похибка вимірювання становить 3,5%.

При збільшенні параметрів вологості повітря на вході в сушарку подається сигнал на засувку вентилятора. Внаслідок чого відбувається автоматичне регулювання подачі циркулюючого повітря в робочу камеру сушарки. Заслінка перекриває хід рециркулюючого повітря (частина відпрацьованого повітря) і гаряче повітря з нижчими вологісними параметрами надходить до камери сушарки.

4.1.5 Технологічний захист

При відключенні циркуляційного вентилятора відбувається автоматичне вимкнення процесу сушіння. При відключенні вентилятора, подається світловий сигнал на щит управління. Зображення схеми автоматизації при повному відключенні системи зображена на рисунку 4.4.

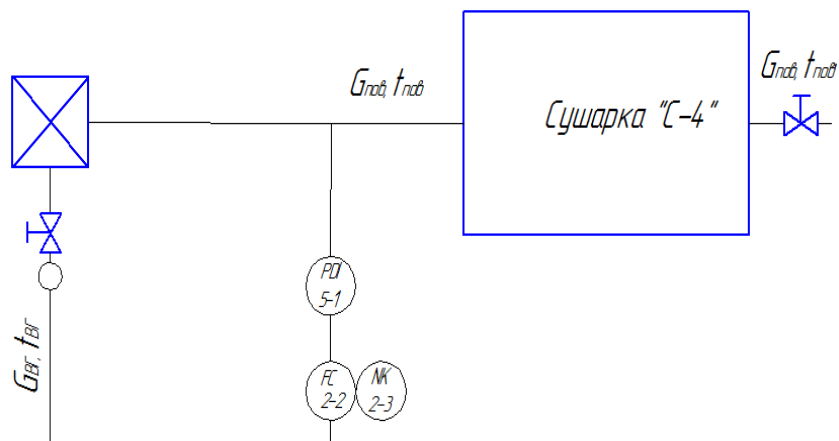


Рисунок 4.4 – Схема повного відключення.

Магнітний пускач реверсивний ПМА 4500А – призначений для застосування в стаціонарних установках для дистанційного пуску безпосереднім підключенням до мережі, зупинки і реверсування трифазних асинхронних двигунів з коротко-замкнутим ротором потужністю до 20 кВт при напрузі до 380 і 660В змінного струму частотою 50, 60 і 100 Гц.

Повне відключення відбувається наступним чином. При несправності циркуляційного вентилятора повітря не надходить до повітроводяного теплообмінника. Внаслідок чого відбувається автоматичне переключення засувки на витяжному димососі та вентиляторі. Заслінка перекриває хід димових газів до газоповітряного теплообмінника і газу відразу викидаються в атмосферу. Заслінка перед витяжним вентилятором перекриває викид відпрацьованого повітря і відбувається відключення нагріву повітря.

При частковому відключенні (витяжний вентилятор виходить з ладу) відбувається відключення витяжного вентилятора і процес сушіння протікає з повною рециркуляцією повітря.

4.1.6 Технологічний контроль фізичних величин

Контрольно-вимірювальні прилади потрібні для контролювання і забезпечення безпеки установки:

а) визначення та запис експлуатаційних параметрів, наприклад температури;

- б) сигналізація про умови експлуатації, наприклад про несправність витяжного вентилятора, про зміну технологічних параметрів;
- в) контроль параметрів установки і режиму роботи, а також сигналізація про перевищення граничних значень і пошкоджень;
- г) контроль режиму експлуатації в аварійній ситуації і проведення операцій для запобігання аварій і пошкоджень, наприклад: захист від високих температур, захист від збоїв у технологічному процесі.

4.1.7 Технологічна сигналізація

На пульті керування передбачена попереджувальна сигналізація про відхилення режимів роботи. В разі відхилення температури повітря на вході в робочу камеру сушарки від заданої, світловий сигнал попереджує про це оператора. Дана схема зображена на рисунку 4.5.

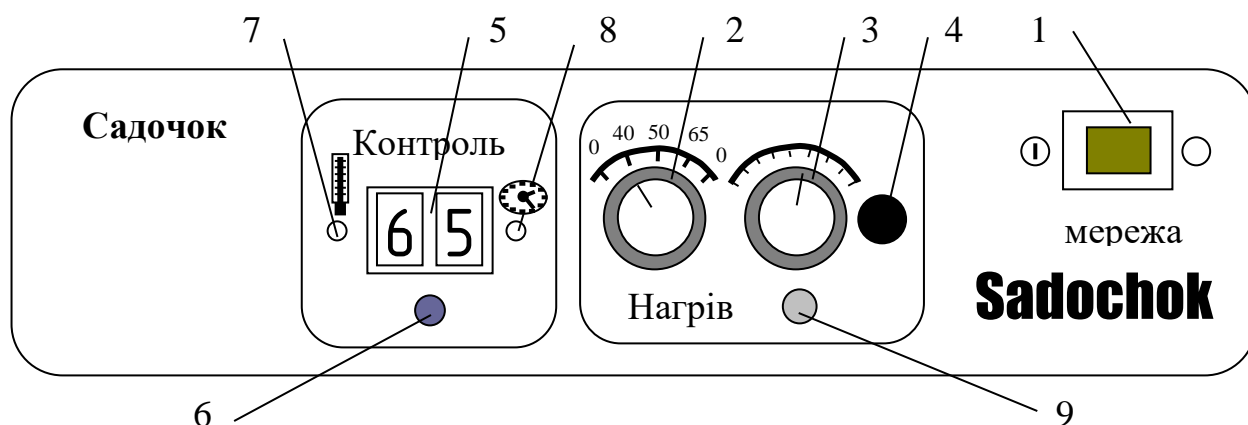


Рисунок 4.5 – Пульт керування

Органи керування, розміщені на панелі блоку управління призначені для керування роботою сушарки.

- 1 - вимикач “Мережа” на два положення: (I) - ввімкнено, O - вимкнено;
- 2 - обмежувач максимальної температури сушіння на три положення: 40°C, 50°C, 65°C;
- 3 - перемикач вибору тривалості сушіння (перемикач таймера) до 9 год.;
- 4 - кнопка таймера, натиснення на яку збільшує вибраний перемикачем час сушіння додатково на 10 годин;
- 5 - цифровий індикатор температури і тривалості сушіння;

6 - кнопка перемикача режимів цифрового індикатора, натиснення на яку дозволяє перемикати цифровий індикатор з індикації поточної температури в режим індикації тривалості процесу сушіння;

7 - сигнальна лампа індикації температури сушіння;

8 - сигнальна лампа індикації тривалості процесу сушіння;

9 - сигнальна лампа “Нагрів”, сигналізує про ввімкнення та відключення ТЕНа в процесі роботи сушарки.

У випадку відключення циркуляційного вентилятора відбувається повне відключення з подачею звукового сигналу. Аварійна сигналізація розшифровує причини аварії. Схема ящика управління передбачає три режими роботи: автоматичний, напівавтоматичний і режим місцевого управління. Основний режим роботи – автоматичний. В цьому режимі захист і аварійна сигналізація ввімкнені в повному об’ємі і забезпечує відключення компресора при аварійних відхиленнях параметрів.

В режимі напівавтоматичного управління захист і аварійна сигналізація діють в повному об’ємі. Нормальне положення реле контролю технологічних параметрів – ввімкнене.

В режимі місцевого управління передбачений тільки захист компресора по тиску нагнітання і теплові реле. Це – налагоджувальний режим. Експлуатація в цьому режимі заборонена.

4.2 Технологія монтажу системи відведення відпрацьованого повітря

В даному розділі розробляється технологія монтажу системи відводу відпрацьованого повітря від сушильного комплексу складеного на базі конвективних сушарок Садочок-1.

Джерелом сушіння є побутова сушарка малої потужності. Від сушарки рухається відпрацьоване повітря, яке поступає до колектора. З колектора повітря виводиться за допомогою вентилятора у навколишнє середовище.

Аналіз об'єкта проектування:

- 1) побутова сушарка “Садочок-1” призначена для експлуатації в приміщеннях чи на відкритому повітрі під навісом. Приміщення повинне добре провітрюватись або на випускний отвір треба приладнати гнучкий рукав, діаметром 125 мм, для виведення відпрацьованого повітря назовні;
- 2) сушарка не потребує спеціального фундаменту чи спеціально обладнаного робочого місця;
- 3) сушарка поставляється в зібраному, готовому до роботи вигляді і додаткового монтажу та налагоджувальних робіт (крім розпакування) не потребує;
- 4) сушарка потребує обов'язкового заземлення. Значення опору між заземлюючим болтом і контуром заземлення не повинно перевищувати 0,4 Ом (клема для заземлення знаходиться на задній, або бічній стінці сушарки) [19].

Для монтажу системи колекторів прийняті металополімерні повітропроводи “Тепловест”.

В результаті аналізу конструктивних особливостей об'єкту складено перелік основних та допоміжних виробів та матеріалів.

4.2.1 Розрахунок та комплектування основних та допоміжних матеріалів та виробів, складання відомостей

Відомість витрат матеріалів показана в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Відомість витрат матеріалів

№ п/п	Найменування	ГОСТ, марка	Од. вим.	Кількість	Маса одиниці, кг	Заг. маса, кг
1	2	3	4	5	6	7
Повітропроводи						
1	Труби сталеві Ø300 мм	“ТеплоВест”	м	18	16	64,75
2	Алюмінієвий гофр Ø150 мм	“ТеплоВест”	м	10	0,12	0,72
3	Трійник Ø300 мм	RTD-N [12]	шт.	12	1,3	15,6

Продовження таблиці 4.1						
Ізоляційні матеріали						
1	2	3	4	5	6	7
4	Ізоляція для труб Ø300 мм	“Climaflexstabil” [13]	м	18	0,05	0,46
Обладнання теплотехнічної частини						
5	Сушарка	Садочок-1	шт.	10	30	300
6	Вентилятор	ВЦ14-46	шт.	1	45	45
Загальна маса по теплотехнічній частині 426 кг						
Допоміжне обладнання						
7	Перфоратор MAKITA HR 5001C [7]		шт.	1	12,8	12,8
8	Електродріль «DEWALT» [7]		шт.	1	9,5	9,5
Загальна маса по допоміжному обладнанню: маса $\Sigma=22,3$ кг						
Загальна маса $\Sigma=448,3$ кг						

4.2.2 Визначення складу та об'єму робіт

Склад робіт

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування.
2. Розмітка місць встановлення повітропроводу.
3. Прокладання металополімерних трубопроводів діаметром 30 мм.
4. Ізоляція повітропроводів системи.
5. Встановлення запірної арматури.
6. Монтаж сушарок.
7. Монтаж алюмінієвих гофр.
8. Монтаж вентилятора.
9. Перше робоче випробування окремих частин.
10. Робоча перевірка системи в цілому.
11. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.
12. Повернення допоміжного обладнання на склад.

4.2.3 Визначення об'ємів робіт

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Одиниці вимірювання в тонах. Загальна маса усіх деталей 426 кг. Приймаємо об'єм $V=0,43$ т.
2. Розмічування місць прокладання повітропроводів. Одиниці вимірювання 100м.

Довжина всієї мережі трубопроводу складає $L=18,25$ м. Приймаємо $V=18,25$ м.

3. Прокладання повітропроводів діаметром 300 мм. Одиниці вимірювання в метрах. Довжина труб діаметром 300 мм складає 18,25 м, отже, приймаємо $V=18,25$ м.

4. Ізоляція повітропроводів системи. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина трубопроводів становить 15,25м. $V= 15,25$ м.

5. Встановлення трійників. Одиниці вимірювання в штуках. Отже приймаємо $V=12$ шт.

6. Монтаж сушарок. Одиниці вимірювання в штуках. В якості сушильних приладів беремо сушарки фірми Технопром. Кількість сушарок 10 шт. Отже, об'єм буде становити $V=10$ шт.

7. Монтаж вентилятора ВЦ14-46. Одиниці вимірювання в штуках. Отже, приймаємо $V=1$ шт.

Випробування повітропроводів системи опалення і теплотехнічної частини:

8. Перше робоче випробування окремих частин. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина зворотних та подаючих трубопроводів становить: 18,25м. Отже, $V= 18,25$ м (див. табл. 4.1).

9. Робоча перевірка системи в цілому. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина зворотних та подаючих трубопроводів становить: 18,25м. Отже, $V= 135,25$ м.

10. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Одиниці вимірювання в метрах. Загальна довжина трубопроводів становить: 18,25м. Отже, $V= 18,25$ м.

4.2.4 Вибір і обґрунтування методів виконання робіт, типів машин, механізмів, пристосувань і конструкцій. Вимоги до монтажу сушарок.

Доставка деталей до місць монтажу. Чітка організація доставки труб і матеріалів до робочих місць здійснює безпосередній вплив на якість монтажу санітарно-технічних систем.

Доставлені на будівельний майданчик прилади групуємо згідно заявочних специфікацій.

В даній системі використовуються сушарка Садочок-1. Побутова сушарка “Садочок-1” призначена для експлуатації в приміщеннях чи на відкритому повітрі під навісом. Приміщення повинне добре провітрюватись або на випускний отвір треба приладнати гнучкий рукав, діаметром 125 мм, для виведення відпрацьованого повітря назовні.

4.2.5 Монтаж повітропроводів.

В даній системі повітропроводи розташовані відкрито вздовж стін. При їх прокладанні мінімальний уклон становить 0,003. Уклони трубопроводів спрямовуються в сторону повітровипускних пристроїв. Монтаж магістральних трубопроводів виконати в такій послідовності:

- а) розмітити осі магістралей та установити кронштейни;
- б) прокласти труби, вузли і заготовки по наміченим вісям;
- в) зібрати магістралі та приєднати до них монтажні вузли.

4.2.6 Монтаж алюмінієвих гофр до сушарок.

Монтаж гофр до сушарок виконати в такій послідовності:

- а) розмітити місця встановлення гофр;
- б) з'єднання гофр герметизуючими матеріалами;
- в) вивірити та закріпити гофри хомутами;
- г) після збирання підводів перевірити їх вертикальність, нахили підводів, міцність закріплення труб і сушарок.

4.2.7 Підбір машин, механізмів, пристосувань.

Труби, деталі, конструкції та обладнання для систем опалення завозяться централізовано автомашиною "Mercedes Sprinter". Технічні характеристики автомашини наведені в таблиці 4.2.

Для пробивання отворів у стіні використовуємо перфоратор «МАКІТА». Технічні характеристики перфоратора наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Технічні характеристики автомашини "Mercedes Sprinter"

Найменування	Одиниця виміру	Значення
1	2	3
Вантажопідйомність	кг	до 3000
Вантажна висота	мм	970
Найбільша швидкість	км/год	160
Радіус повороту	м	8
Колія колес:		
передні	мм	1800
задні	мм	1650
Витрата палива	л/100 км	12
Габарити:		
Довжина		5778
Ширина		1972
Висота		2190
Маса	кг	2800

Таблиця 4.3 – Технічна характеристика перфоратора «МАКІТА HR 5001С»

Найменування	Одиниця виміру	Значення
Енергія удару	Нм	1,0
Частота удару	Гц	40
Потужність	Вт	350
Глибина отвору	мм	до 200
Маса	кг	12,8

Таблиця 4.4 – Набір інструментів та пристосувань для монтажників системи опалення

Найменування	ГОСТ, марка	Кільк., шт.	Заг. маса, кг
Ключ гайковий двохсторонній М17х19 мм М19х22 мм	ГОСТ2839-80	6	0,9
		6	1,2
Плоскогубці комбіновані	ГОСТ 5547-75	6	1,6
Викрутки	ГОСТ 5423 - 79	6	0,31
Молоток слюсарний	ГОСТ 2310-77	6	1,8
Зубило слюсарне довжиною 200 мм	ГОСТ 7211-72	6	2,1
Молоток гумовий		6	1,9
Стрічка вимірювальна, 20 м	ГОСТ 7502 - 61	6	0,12
Рівень металевий	ГОСТ 7948-80	2	0,22
Ящик переносний для інструменту		12	3,2
Всього:			38,65

Витрати допоміжних матеріалів зводимо в таблицю 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати допоміжних матеріалів на монтаж системи опалення і теплотехнічної частини

Допоміжні матеріали	Одиниця виміру	Витрати матеріалів		
		Шифр	Вага	Об'єм
Прокладки гумові	кг	111-1746	5,45	-
Прокладка з пароніта, марка ПМБТ, товщина 1 мм	1000	шт.	0,06	-
$\Sigma=5,51$				

Витрати електроенергії на роботи електроприладів

$$E = P \cdot \tau \cdot k, \quad (4.1)$$

де P – потужність приладу чи механізму, кВт;

τ – термін роботи приладу, год;

k – коефіцієнт, що враховує періодичність дії електричного обладнання.

Витрати електроенергії на роботу вентилятора ВЦ14-46

$K = 0,1$ $\tau = 3$ год, $p = 1,6$ (кВт);

$$E_1 = 1,6 \cdot 3 \cdot 0,1 = 0,48 \text{ (кВт год)}.$$

Витрати електроенергії на роботу перфоратора МАКІТА HR 5001С:

$K = 0,1$ $\tau = 16$ год, $p = 0,35$ (кВт);

$$E_2 = 0,35 \cdot 16 \cdot 0,1 = 0,56 \text{ (кВт год)}.$$

Витрата пального для доставки матеріалів та виробів:

– відстань 27 (км);

– кількість ходок $n=1$;

– витрата пального $Q=12$ (л/100км).

Необхідна кількість пального для доставки труб

$$Q_{\text{п}} = Q \cdot 2 \cdot n \cdot l \text{ [л]}, \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{п}} = 0,12 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 27 = 6,48 \text{ (л)}.$$

Труби, деталі та конструкції завозяться централізовано автомашиною Mercedes Sprinter. Технічні характеристики автомашини наведені в табл. 4.2.

4.2.8 Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Трудомісткість монтажних робіт

$$Q = \frac{V \cdot H_{\text{ч}}}{B} \text{ [люд/дні]}, \quad (4.3)$$

де V – об'єм робіт;

$H_{\text{ч}}$ – норма часу на одиницю виміру, люд/год;

B – кількість годин в зміні, год.

Тривалість монтажних робіт

$$T = \frac{Q}{n} \text{ [дні]}, \quad (4.4)$$

де Q – трудомісткість монтажних робіт, люд/дні;

n – кількість робітників, люд.

4.2.9 Визначення складу бригад і підбір монтажних інструментів

Склад бригад та середній розряд робітників для виконання монтажних робіт визначається згідно нормативних документів.

1. Доставка деталей до місць монтажу та їх складування. Водій і робітник.

2. Розмітка місць прокладання повітропроводу. Два слюсаря 4,1 розрядів.
3. Прокладання металополімерних трубопроводів діаметром 30 мм. Два слюсаря 4,1 розрядів.
4. Ізоляція повітропроводів. Два ізолювальника 2,4 розрядів.
5. Встановлення запірної арматури. Два слюсаря-сантехніка 3,8 розрядів.
6. Монтаж сушарок. Два слюсаря 4,3 розрядів.
7. Монтаж алюмінієвих гофр. Два слюсаря-сантехніка 3,1 розрядів.
8. Монтаж вентилятора. Два монтажника 4,7 розрядів.
9. Перше робоче випробування окремих частин. Два слюсаря-сантехніка 3,5 розрядів.
10. Робоча перевірка системи в цілому. Два слюсаря-сантехніка 3,5 розрядів.
11. Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію. Два слюсаря-сантехніка 3,5 розрядів.
12. Повернення допоміжного обладнання на склад. Водій і робітник.

Результати розрахунку наведені в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Визначення трудомісткості виконання монтажних робіт

Найменування робіт	Од. виміру	Об'єм робіт	Норма часу, люд/год.	Трудо-містк. люд/дні	Виконавці		Тривалість, дні
					кількість	склад ланки	
1	2	3	4	5	6	7	8
Доставка деталей до місць монтажу та їх складування	т	0,43	3,1	0,4	2	Робітник Водій	0,2
Розмітка місць прокладання повітропроводів	10 м	1,525	1,3	0,24	2	Слюсар 4, 1 розрядів	0,12
Прокладання сталевих повітропроводів діаметром 300 мм.	10м	1,525	95,78	18,26	2	Слюсар 4, 1 розрядів	9,13
Ізоляція трубопроводів опалення.	10м	1,525	78,2	15	2	Ізолювальник 2,4 розрядів	7,5

Продовження таблиці 4.6							
1	2	3	4	5	6	7	8
Встановлення трійників.	шт	12	43,38	65	2	Слюсар-сантехнік 3,8 р	32,5
Монтаж сушарок.	2,6 кВт	0,11	96,92	1,16	2	Слюсар 3,4 розрядів	0,5
Встановлення алюмінієвих гофр	10	0,1	20,4	0,3	2	Слюсар 4, 1 розрядів	0,15
Монтаж вентилятора ВЦ14-46	шт	1	11,2	1,4	2	Монтажники 3,7 розрядів	0,7
Перше робоче випробування окремих частин.	10м	1,35	5,4	0,79	2	Слюсар-сантехнік 3,5 р	0,5
Робоча перевірка системи в цілому.	10м	1,35	2,9	0,43	2	Слюсар-сантехнік 3,5 р	0,5
Кінцева перевірка системи і здача в експлуатацію.	10м	1,35	2,4	0,35	2	Слюсар-сантехнік 3,5	0,5
Повернення допоміжного обладнання на склад.	т	0,0223	3,1	0,002	2	Робітник Водій	0,5

5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЕКТУ

5.1 Локальний кошторис на створення системи сушильного обладнання

Локальний кошторис – первинним кошторисним документом які складають на окремі види робіт по будівлях та спорудах або по загально майданчикових роботах на підставі обсягів, що визначались при розробленні проектної документації.

Залежно від особливостей окремих видів будівництва спеціалізації підприємних будівельно-монтажних організацій, структури проектної документації є різні види локальних кошторисів : на будівельні роботи, внутрішні санітарно-технічні, внутрішні електромонтажні роботи, придбання пристроїв, інвентарю та інших видів робіт.

В локальних кошторисах визначається кошторисна вартість робіт (чи собівартість будівельно-монтажних робіт), яка містить собі прямі витрати та загальновиробничі витрати

При складанні локальних кошторисів застосовуються:

- ресурсні елементи кошторисні норми України;
- вказівки для застосування ресурсних елементних кошторисних норм;
- ресурсні кошторисні норми експлуатації будівельних машин та механізмів;
- поточні ціни на матеріали та витрати;
- поточні ціни машино-годин;
- поточна вартість людино-години відповідного розряду робіт;
- поточні ціни на перевезення вантажу для будівництва;
- правила розрахунку загальновиробничих витрат.

До локальних кошторисів складаються відомості ресурсів, які містять дані: трудомісткість і середній розряд робіт, нормативна потреба в матеріально-технічних ресурсах в фізичних одиницях вимірювання, вартість одиниці вимі-

рювання трудових та матеріально-технічних ресурсів.

В локальному кошторисі, що приведений в таблиці 5.1 визначається кошторисна вартість робіт (чи собівартість будівельно-монтажних робіт), яка містить в собі прямі витрати та загальновиробничі витрати. Усі загальні витрати округлюються до цілого числа.

Бюджетна класифікація забезпечує чіткість бюджетного планування і проектування, а також надає можливість об'єднувати як окремі індивідуальні кошториси, так і складати зведені кошториси видатків по відповідних ланках бюджетної системи.

Звіти про виконання кошторисів і бюджетів складаються за тією ж класифікацією, за якою складаються кошториси й бюджети, це дозволяє провадити глибокі перевірки і аналізи використаних коштів за кошторисами видатків і бюджету в цілому .

Локальний кошторис
на створення системи сушильного обладнання
Сушильне обладнання

Основа:
креслення (специфікації) №

Кошторисна вартість 2271,181 тис. грн.
Кошторисна трудомісткість 0,924 тис.люд.-год.
Кошторисна заробітна плата 19,686 тис. грн.
Середній розряд робіт 3,8 розряд

Таблиця 5.1 – Локальний кошторис

№ п/п	Обґрунтування (шифр норми)	Найменування робіт і витрат	Одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Витрати труда робітників, люд.-год.	
					Всього	експлуатації машин	Всього	заробітної плати	експлуатації машин	не зайнятих обслуговуванням машин	
										тих, що обслуговують машини	
					заробітної плати	в тому числі заробітної плати	в тому числі заробітної плати	на одиницю	всього		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2302-11002	Конвективна сушарка Садочок 1	шт	10	10241,223	-	102410	-	-	-	-
2	1905-4069	Труби сталеві діаметром 300 мм	к-т	18	934,17	-	16815,05	-	-	-	-
3	1905-4067	Алюмінієвий гофр діаметром 150мм	к-т	10	326	-	3260	-	-	-	-
4	1905-3007	Трійник діаметром 300 мм	к-т	14	294,6	-	4124,6	-	-	-	-
5	15011-185	Ізоляція для труб	шт	3	508	-	1524	-	-	-	-
6	15011-185	Вентилятор ВЦ14-46	шт	1	7515,00	-	7515	-	-	-	-

Продовження таблиці 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
9	M7-1-2	Монтаж сушильної установки, маса 0,35 т	шт	10	<u>4871,83</u>	<u>1321,04</u>	1574.4	2250	<u>2642</u>	<u>149,8</u>	<u>299,6</u>
					1124,83	285,27			771	43,7374	87,47
10	M6-366-13	Монтаж систем відводу відпрацьованого теплоносія, маса 0,7 т	т		<u>2171,03</u>	<u>1124,59</u>	1803	2943	<u>1275</u>	<u>246,4</u>	<u>147,84</u>
					1005,82	192,59			166	25,0532	15,03
12	M7-218-1	Монтаж відцентрового вентилятора ВЦ14-46, маса 0,12 т	шт	1	<u>1108,54</u>	<u>41,43</u>	2456	3163	<u>331</u>	<u>37,8</u>	<u>302,4</u>
					770,36	3,55			28	0,1942	1,55
		Разом прямі витрати по кошторису					142188	8356	<u>4018</u>		<u>752,22</u>
		Разом устаткування, грн.					133832		960		104,12
		Транспортні та заготівельно-складські витрати, грн.					4277				
		Всього устаткування, грн.					150234				
		Разом будівельні роботи, грн.					8356				
		в тому числі:									
		вартість матеріалів, виробів та конструкцій, грн.					5323				
		всього заробітна плата, грн.					17499				
		Загальновиробничі витрати, грн.					11806				
		трудоємність в загальновиробничих витратах, люд.год.					67,65				
		заробітна плата в загальновиробничих витратах, грн.					2187				
		Всього будівельні роботи, грн.					8788				

		Всього по кошторису					159022				
		Кошторисна трудоємність, люд.год.					924				
		Кошторисна заробітна плата, грн.					19686				

5.2 Термін окупності

Річне виробництво готової продукції

$$Q_{\text{річне}} = Q_{\text{сер.}} \cdot 24 \cdot 129, \quad (5.1)$$

$$Q_{\text{річне}} = 15 \cdot 24 \cdot 129 = 46440 (\text{кг/рік}).$$

Річна витрата електроенергії

$$B_{\text{річне}}^{\text{еє}} = (24 \cdot 129 \cdot (N_{\text{суш}} \cdot n_{\text{суш}} + N_{\text{в}} \cdot n_{\text{в}})), \quad (5.2)$$

де $N_{\text{суш}}$ – потужність конвективної сушарки, кВт;

$n_{\text{тхм}}$ – кількість сушарок, які працюють, шт;

$N_{\text{в}}$ – потужності вентилятора, кВт;

$n_{\text{в}}$ – кількість вентиляторів, шт;

$$B_{\text{річне}}^{\text{еє}} = (24 \cdot 129 \cdot (0,95 \cdot 10 + 2,5 \cdot 1)) \cdot 10^{-3} = 37,152 (\text{МВт} \cdot \text{год} / \text{рік}).$$

Експлуатаційні витрати на електроенергію

$$C_{\text{еє}} = \Pi_{\text{еє}} \cdot B_{\text{річне}}^{\text{еє}}, \quad (5.3)$$

$$C_{\text{еє}} = 1,34 \cdot 37,152 \cdot 10^3 = 49783,23 (\text{грн/рік}).$$

Витрати на амортизацію

$$C_a = K \cdot H_a, \quad (5.4)$$

де K – вартість всього устаткування;

H_a – норма амортизаційних відрахувань, що включає витрати на реновацію і капітальний ремонт обладнання котельні та залежить від виду її основних фондів;

$$C_a = 150234 \cdot 0,06 = 9014 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на поточний ремонт

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot C_a, \quad (5.5)$$

$$C_{\text{пр}} = 0,2 \cdot 9014 = 1802,72 \text{ (грн/рік)}.$$

Витрати на заробітну плату

$$C_{\text{зп}} = \Phi_{\text{зп}} \cdot K_{\text{шт}} \cdot K_{\text{дод}}, \quad (5.6)$$

де $K_{\text{шт}}$ – штатний коефіцієнт;

$K_{\text{дод}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові нарахування;

$\Phi_{\text{зп}}$ – середній річний фонд заробітної плати, грн./рік;

$$C_{\text{зп}} = 9000,8 \cdot 1,33 = 11970,00 \text{ (грн/рік)}.$$

Інші витрати

$$C_{\text{ін}} = K_{\text{ін}} (C_{\text{пр}} + C_a + C_{\text{ек}} + C_{\text{зп}}), \quad (5.7)$$

де $K_{\text{ін}}$ – коефіцієнт, який враховує процент від суми всіх попередніх витрат в залежності від виду палива;

$$C_{\text{ін}} = 0,06 \cdot (1802,72 + 9014 + 49783,23 + 11970) = 4354,18 \text{ (грн/рік)}.$$

Загальні річні експлуатаційні витрати

$$C_{\text{річні}} = C_{\text{ін}} + C_{\text{пр}} + C_{\text{а}} + C_{\text{еє}} + C_{\text{зп}} , \quad (5.8)$$

$$C_{\text{річні}} = 1802,72 + 9014 + 49783 + 11970 + 4354 = 76923,18 \text{ (грн/рік)}.$$

Собівартість готової продукції

$$CB = \frac{C_{\text{річні}}}{(Q_{\text{річне}})}, \quad (5.9)$$

$$CB = \frac{76923,18}{46440} = 1,66 \text{ (грн/кг)}.$$

Ефект від продажу

$$E = Q_{\text{річне}} \cdot Ц_{\text{суш}}, \quad (5.10)$$

$$E = 4644 \cdot 30 = 109320 \text{ (грн/рік)}.$$

Термін окупності

$$T = \frac{K_{\text{пр}}}{E - C_{\text{річні}}}, \quad (5.11)$$

$$T = \frac{159022}{109320 - 76923,18} = 4,9 \text{ (років)}.$$

Висновки до розділу 5.

Склали кошторисний документ – локальний кошторис. В локальному кошторисі пораховано:

- кошторисна вартість $K_{\text{в}} = 159,022$ тис. грн.
- кошторисна заробітна плата ЗП = 19,686 тис. грн.
- кошторисна трудомісткість $T = 0,924$ тис. люд – год.
- вартість матеріалів – 133,832 тис. грн.

Термін окупності, розрахований методом усереднених параметрів – 4,9 років.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У випусковій кваліфікаційній роботі розробляються заходи з підвищення енергоефективності камерних сушильних установок.

Соціальне значення охорони праці полягає в сприянні зростанню ефективності суспільного виробництва шляхом безперервного вдосконалення та поліпшення умов праці, підвищення її безпеки, зниження виробничого травматизму та захворюваності.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори за ГОСТ 12.003-74, які впливають на електромонтерів, що обслуговують технологічне обладнання камерних сушильних установок:

1) фізичні:

- рухомі машини і механізми;
- рухомі частини виробничого обладнання;
- вироби, заготовки, матеріали, що пересуваються;
- підвищена та знижена температура поверхонь обладнання;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та знижена рухомість повітря;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- небезпечне значення напруги в електричному колі, замикання якого може відбутись через тіло людини;
- підвищений рівень інфрачервоної радіації;
- нестача природного освітлення;
- недостатнє освітлення робочої зони;
- розташування робочого місця на значній висоті відносно поверхні землі (підлоги);
- гострі кромки, задирки та шорсткість на поверхнях заготовок, інструментів та

обладнання;

2) хімічні:

- загальнотоксичні речовини, які діють на нервову систему (оксид вуглецю);
- подразнюючі речовини, що діють на очі, ніс, тіло людини (двоокис азоту).

3) психофізіологічні:

- фізичні перевантаження (статичні);
- нервово-психічні перевантаження (монотонність праці, перенапруга аналізаторів).

6.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкту

6.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Приміщення для обслуговуючого персоналу сушарок повинно бути сухим, світлим і теплим а також забезпечене роздягальною з вішалками для одягу. Площа робочих приміщень повинна складала для 3 працівників не менше 15 м², щоб на одного працюючого припадало не менше 4,5 м². Стіни робочих приміщень – світлих відтінків, а стеля – пофарбована в білий колір.

Експлуатацію газопроводів та газового устаткування зерносушарок, що працюють на газоподібному паливі, здійснюють відповідно до вимог Правил безпеки систем газопостачання, затверджених наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 15 травня 2015 року № 285, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 08 червня 2015 року за № 674/27119.

Під час експлуатації топків, що працюють на рідкому паливі, перед розпалюванням впевнюються про відсутність підтікання палива в нижній площині. Щозміни перевіряють місця з'єднань паливних комунікацій і провертають рукоятку паливного фільтра на 1-2 оберти для його очищення. Тиск палива в паливопроводі повинен бути в межах 0,1-0,2 МПа (1-2 кгс/см²).

Забороняється розпалювати топки зерносушарок, що працюють на твердому паливі, легкозаймистими речовинами. Дистанційний та місцевий пуск машин, механізмів та топків зерносушарок здійснюють після подання попереджувального звуко-

вого сигналу щодо пуску до всіх робочих приміщень.

Обслуговування топків запалювання палива допускається тільки після продувки топки. У передтопковому приміщенні вивішують плакат «Для уникнення вибуху запалювання палива дозволяється після продувки топки протягом часу, передбаченого експлуатаційною документацією». Система автоматики та блокування зерносушарок, що працюють на газоподібному або рідкому паливі, забезпечує виконання цієї вимоги. Перед пуском сушарки переконуються у відсутності в ній осередків загоряння і стороннього запаху. Пуск сушарки починають після завантаження бункера зерном.

З метою запобігання виникненню протягу забір повітря для спалювання твердого палива та створення теплоносія (теплого повітря) відбувається поза топковим простором. Топки для рідкого чи газоподібного палива мають автоматичну систему, що не допускає: подачі палива в топку при загаслому факелі; розпалювання палива без попереднього запуску вентилятора та продувки топки для вилучення застійних парів палива.

В топках для спалювання рідкого чи газоподібного палива розміщено пристрій для автоматизованого вимкнення доступу палива у випадку згасання факела. Після кожного згасання факела ретельно провітрюють топку для запобігання накопиченню в ній парів палива чи газу, що утворюють вибухонебезпечну суміш. Забороняється залишати працюючу топку без нагляду. Простір топків, в якому відбувається спалювання рідкого чи газоподібного палива, обладнують вибухорозрядними пристроями (клапанами), якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та зазначено у паспорті або інструкції заводу-виробника. Паливопроводи, паливна арматура мають бути міцнішими та щільними. Витікання з них рідкого чи газоподібного палива не допускається. Сумісна їх прокладка чи підвішування з електрокабелем забороняється.

Гарячі конструктивні частини зерносушарок (вентилятори, повітропроводи, стінки топків тощо) покривають теплоізоляцією, якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та встановлено у паспорті або інструкції заводу-виробника. Температура зовнішніх поверхонь не повинна перевищувати 45° С. Забороняється відкривати оглядові люки повітропроводів під час роботи вентиляторів через небезпеку опіків теплоносієм.

Конструктивні частини зерносушарок (камери нагріву, шахти, тепловологообмінювачі, повітропроводи тощо) мають бути герметичні і не пропускати агент сушки у робоче приміщення. Двері до відповідних камер шахт зерносушарок щільно зачиняють під час роботи зерносушарок. Конструкція дверей передбачає пристрої, що унеможливають доступ працівників до зерносушарки під час роботи. Двері відкриваються всередину камери і заблоковані з приводом вентилятора.

Під час роботи сушарки постійно стежать за справним станом випускних механізмів та не допускають їх засмічення. У сушарках з безперервним випуском зерна забороняється затримувати його випуск без попереднього припинення доступу у сушильну камеру теплоносія (агента сушки).

Вантажно-розвантажувальні механізми сушарки очищають від пилу через кожну добу їхньої роботи, якщо інше не передбачено інструкцією виробника сушарки. Проби зерна з гарячих зон зерносушарки відбирають тільки за допомогою спеціальних совків з дерев'яними ручками.

Ліквідацію пошкоджень, завалів і підпорів зерна, а також ремонт та очистку устаткування сушарки, здійснюють за нарядом-допуском тільки після повної її зупинки. Під час перебування працівника у зерносушарці чи нижньому бункері вживають заходів, що унеможливають пуск вентиляторів або доступ зерна. З цією метою вивішуються попереджувальні написи на пусковій апаратурі, а для надання допомоги (за необхідності) поблизу зерносушарки має бути інший працівник.

Відстань між складом зерна та пересувним сушильним агрегатом повинна бути не менше 10 м. Усі стаціонарні і пересувні сушильні агрегати обладнуються автоматичним регулюванням доступу рідкого і газоподібного палива в топкові пристрої та системи регулювання температури теплоносія (агента сушки), що подається в сушильну зону.

Пульти управління зерносушарок надійно заземлюють.

В камерах нагріву та надсушарних бункерах рециркуляційних сушарок, у пристроях для попереднього нагріву зерна, якщо це передбачено конструкцією зерносушарки та встановлено у паспорті або інструкції заводу-виробника, нових та реконструйованих зерносушарок передбачають вибухорозрядні пристрої.

В тепловологообмінювачі рециркуляційних сушарок передбачають датчики рівня зерна з відповідним блокуванням та встановлюють зливні самопливи.

Зберігання палива і мастильних речовин на відстані менше 20 м від сушарки не допускається. Поблизу сушарки встановлюють первинні засоби пожежогасіння відповідно до вимог Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30 грудня 2014 року № 1417, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 року за № 252/26697. Дерев'яні споруди повинні бути на відстані від топки і розтопної труби не менше ніж на 5 м.

Електродвигун паливного насоса, що знаходиться під паливним баком, накривають листовим металом для попередження потрапляння на нього палива.

У зерносушарок відкритого типу передтопковий простір має бути з укриттям від атмосферних опадів і вітру, приміщення для працівників, експлуатуючих сушарку, - ізольованим від загазованості і шуму. Приводи зерносушарок відкритого типу та інші їхні механізми необхідно укривати від опадів (якщо це передбачено конструкцією заводу-виробника сушарок).

У випадку виявлення запаху підгорілого зерна негайно вимикається подача палива в топку, зупиняються вентилятори, що подають теплоносій в сушильну камеру, і припиняється випуск зерна із сушарки. Подачу вологого зерна допускається припинити тільки у тому випадку, коли сушарка заповнена зерном. Необхідно виявити та ліквідувати причини появи запаху підгорілого зерна.

6.1.2 Електробезпека

Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби

захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що працюють з електроустановками. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробію і створити небезпеку при дотику людини до ізолюваних проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Приміщення в якому розташовані стенди повинно бути сухим, світлим і теплим а також забезпечене роздягальною з вішалками для одягу.

Площа робочих приміщень повинна бути така, щоб на одного працюючого припадало не менше 4,5 м².

Стіни робочих приміщень мають бути світлих відтінків, а стеля повинна бути пофарбована в білий колір.

Не правильне поводження з електрообладнанням і джерелами електричної енергії може призвести до враження електричним струмом і виходу приборів з ладу, тому:

- не проводити будь-яких втручань, як відкриття руками, так і за допомогою інструмента і сторонніх предметів в електрообладнання при встановлених на контактний провід струмоприймачів. Це стосується не лише електрообладнання 550 В, але і електрообладнання 24 В;

- не допускати струми витоку більше 0,003 А. Контроль струмів витоку проводять щодня міліамперметром або спеціальним пристроєм для вимірювання стану електроізоляції;

- ретельно слідкувати, щоб не виникали обриви проводів і інші порушення цілісності електричних кіл;

6.1.3 Роботи з обслуговування електродвигунів.

При роботі, яка зв'язана з доторканням до струмоведучих частин електродвигуна або до обертових частин електродвигуна, який приводить в рух механізм, необхідно зупинити електродвигун та на його пусковому пристрої або ключі керування повісити плакат "НЕ ВМИКАТИ, ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ".

При роботах за межами КРУ на відхідних ПЛ або КЛ на підключеному до них обладнанні візок з вимикачем необхідно викотити з шафи; верхню заслінку або дверці закрити на замок та вивісити плакати "НЕ ВМИКАТИ!" або "НЕ ВМИКАТИ! РОБОТА НА ЛІНІЇ".

При накладенні заземлювачів у шафах КРУ у випадку роботи на відходячих ПЛ необхідно враховувати наступні вимоги: ПЛ напругою вище 1000 В заземлюються в усіх РУ і у секційних комутаційних апаратах, де відключена лінія.

Якщо дозволяє конструктивне виконання апаратів та характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або від'єднанням кінців кабелю проводів від комутаційного апарату або обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Розшиновку або від'єднання кабеля при підготовці робочого місця може виконати ремонтний робітник, який має третю групу. Під наглядом чергового або оперативно-ремонтного робітника. З найближчих до робочого міста струмоведучих частин до наступних доторканню повинна бути знята напруга або вони повинні бути огорожені.

Відключене положення комутаційних апаратів до 1000 В з недоступними для огляду контактами (автоматичні вимикачі, пакетні вимикачі, рубильники в закритому виконанні тощо) визначається перевіркою відсутності на їх затискачах або на відходячих шинах, проводах або затискачах обладнання, яке відключається цими комутаційними апаратами.

Вмикання електродвигуна для перевірки до повного закінчення роботи проводиться після виводу бригади з робочого місця.

Після випробування проводиться повторний допуск з оформленням в наряді. При виконанні роботи по розпорядженню на повторний допуск розпорядження дається заново.

6.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

6.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні [8] встановлюють оптимальну та допустиму температуру, відносну вологість і швидкість руху повітря у певних діапазонах в залежності від періоду року та категорії робіт і допустиму інтенсивність опромінення.

Таблиця 6.1 – Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні з категорією робіт Па

Період року	Категорія робіт	Допустимі		
		t, °C	W, %	V, м/с
Теплий	Середньої важкості Па	18-27	65 при 26°C	0,2-0,4
Холодний		17-23	До 75%	не більше 0,3

Для забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату проектом передбачено:

1. Температура внутрішніх поверхонь будівельних конструкцій робочої зони і зовнішніх поверхонь обладнання при забезпеченні оптимальних

параметрів мікроклімату не повинні бути більше ніж на 2°C за діапазон норм.

2. Якщо температура поверхонь вище або нижче оптимальної температури повітря, то робочі місця повинні бути віддалені від них на відстань не менше їм.

3. Для забезпечення нормованих значень руху кисню проектом передбачається витяжна та припливна вентиляційні системи.

6.2.2 Склад повітря робочої зони

Згідно ГОСТ 12.1.005-88, концентрація шкідливих речовин у повітрі робочої зони приміщення котельні не повинно перевищувати гранично допустиму концентрацію (ГДК). Повітря у приміщенні повинно бути чистим.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в атмосферному повітрі населених пунктів

Речовина	Гранично допустима концентрація, мг/м ²		Клас безпеки
	Максимально разова, ГДК _{МАХ}	Середньодобова, ГДК _{СЕР}	
Двоокис азоту (NO ₂)	0,085	0,04	2
Вуглець (СО)	3,0	1,0	3

Для нормалізації повітря робочої зони котельня містить дві системи вентиляції: приточну та витяжну. Перша призначена для постачання чистого повітря, а друга – видаляє забруднене пилом та іншими речовинами повітря із приміщення котельні. Повітря в котельні повинно бути очищене від пилу, шкідливих домішок, крім того мати необхідну температуру і вологість для створення сприятливого мікроклімату.

6.2.3 Освітлення робочої зони

При поганому освітленні зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Близько 5% травм можна пояснити недостатнім освітленням, а у 20% випадків воно сприяло їх появі. Погане освітлення може призвести до професійних захворювань: погіршують загальне самопочуття, зменшують фізичну і ро-

зумову працездатність.

Природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення – КПО або e

$$e = E_{\text{вн}} / E_{\text{зов}} \cdot 100\%, \quad (6.1)$$

де $E_{\text{вн}}$ – внутрішня природна освітленість у приміщенні в місці, що розглядається, лк;

$E_{\text{зов}}$ – зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, виміряна одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк.

Характеристика зорових робіт - середньої точності.

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 розряд зорової роботи IV, підрозряд «в».

Таблиця 6.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне E_n пр	Сумісне $E_{\text{сум}}$
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітленням, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Для загального освітлення приміщень рекомендується використовувати головним чином, світлодіодні лампи, що обумовлюється наступними перевагами: високою світловою віддачею (до 75 лм/Вт і більше); довгим часом використання (до 10000 годин); малою яскравістю поверхні, що світиться; спектральним складом випромінюючого світла (для деяких видів ламп цей склад є близьким до природного світла, що забезпечує гарну передачу кольорів). Разом з тим необхідно врахувати і недоліки цих ламп: висока пульсація світлого потоку та пов'язана з цим можливість

стробоскопічного ефекту; для запалювання та горіння лампи необхідно включення послідовно з ним пускорегулюючих апаратів; працездатність ламп залежить від температури оточуючого середовища, до кінця часу роботи світловий потік зменшується більш ніж на половину від номінального.

Світильники з світлодіодними лампами розміщують рядами; що дозволяє здійснювати їх послідовне включення (відключення) в залежності від величини природної освітленості.

6.2.4 Виробничий шум

Під поняттям шуму розуміють звук (або сукупність звуків різної інтенсивності та частоти) незалежно від його характеру та походження, який несприятливо впливає на здоров'я і працездатність людини та заважає сприйняттю корисної інформації. Зростання рівнів виробничих шумів, які суттєво перевищують нормативні значення. Шкідливо впливають на людський організм, знижує продуктивність праці та стає фактором ризику і виробничого травматизму. У замкненому просторі (виробниче приміщення) звукові хвилі багато разів відбиваються від огорожуючих поверхонь, якими є стіни, стеля, підлога при цьому рівень шуму зростає, оскільки за умов утворення дифузійного звукового поля має місце накладання відбитої звукової хвилі на пряму.

Димососи, вентилятори, насоси, пальники котлів – це основні джерела шуму котельні. Дія шуму на людину шкідлива. Нормування шуму проводиться за граничним спектром шуму і за рівнем звуку. За характером спектру шум – широкосмуговий з безперервним спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням – гідродинамічний. Допустимі рівні звукового тиску представлені в таблиці 6.4.

Найбільш раціональними способами є пониження шуму в джерелі, або зміна напрямку його випромінювання. Однак вони потребують конструкторської переробки джерела, яке випромінює шум, або механізми в цілому, що є несприятливими. Але можна рекомендувати застосування менш шумного обладнання. Пониження рівнів шуму, який проникає зовні, може бути отримано збільшенням звукоізоляції

огороджуючих конструкцій. Звукопоглинання є найбільш простим і в той же час найбільш достатньо ефективним способом зменшення шуму в виробничих приміщеннях. Звукопоглинаюче облицювання слід розміщувати на стелі та на верхній частині стін.

Таблиця 6.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Найбільше поглинання шуму досягається при облицюванні 60% та більше загальної поверхні приміщення. Ефект пониження шуму збільшується із зниженням висоти приміщення.

6.2.5 Виробничі вібрації

Вібрація – процес розповсюдження механічних коливань різних видів у твердому тілі з частотою від 3 до 100 Гц . Параметри, які нормуються згідно ГОСТ 12.1.012-90 є: середньоквадратичне значення віброшвидкості V (та їх логарифмічних рівнів L_v) або віброприскорення A (та їх логарифмічні прискорення L_a).

У приміщенні котельні розміщуються прилади, що є джерелом вібрації. Дії вібрації на людину класифікуються по способу передачі вібрації на загальну і локальну (місцеву). В котельні на людину діє загальна і місцева вібрація. Загальна вібрація у котельні по джерелу виникнення відноситься до 3 категорії, тип «а» - технологічна, критерій оцінка – межа зниження продуктивності праці.

Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях представлені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньо геометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1.3}{108}$	$\frac{0.45}{99}$	$\frac{0.22}{93}$	$\frac{0.2}{92}$	$\frac{0.2}{92}$	$\frac{0.2}{92}$	-	-	-	-
Локальна вібрація	-	-	$\frac{2.8}{115}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$	$\frac{1.4}{109}$

Основними засобами колективного захисту є: зниження вібрації впливає на джерело збудження, динамічне гасіння коливань та заміна конструктивних елементів пристроїв та будівельних конструкцій.

6.2.5 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу, затвердженої Наказом Міністерства охорони здоров'я № 528 від 27 грудня 2001 року.

Фізичні навантаження.

Робоча поза: Вільна зручна поза, можливість зміни пози (сидячи, стоячи) за бажанням працівника. Знаходження в позі стоячи до 40% часу зміни.

Сумарна маса вантажів, що переміщуються протягом кожної години зміни: з робочої поверхні (чоловіки): до 250

Нахили корпусу (вимушені, більше 30), кількість за зміну: до 50

Переміщення у просторі (переходи, обумовлені технологічним процесом протягом зміни), км

По горизонталі: до 4

По вертикалі: до 2

Інтелектуальні навантаження: Відсутня необхідність прийняття рішення

Зміст роботи: Сприймання сигналів, але без потреби в корекції дій, Обробка та виконання завдання, Робота за індивідуальним планом

Сенсорні навантаження:

Тривалість зосередженого спостереження (в % від часу зміни) до 25

Щільність сигналів (світлових, звукових) та повідомлень в середньому за годину роботи до 75

Кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження до 5

Навантаження на зоровий аналізатор (Спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) до 2

Навантаження на слуховий аналізатор (при виробничій необхідності сприйняття мови чи диференційованих сигналів) Розбірливість слів та сигналів від 100% до 90%

Навантаження на голосовий апарат (сумарна кількість годин, що наговорюються протягом тижня) до 16

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності. Значущість помилки – Несе відповідальність за виконання окремих елементів завдання. Вимагає додаткових зусиль в роботі з боку працівника

Ступінь ризику для власного життя – Виключений

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – Виключений

Монотонність навантажень:

Кількість елементів (прийомів), необхідних для реалізації простого завдання або в операціях, які повторюються багаторазово більше 10

Тривалість виконання простих виробничих завдань чи операцій, що повторюються (сек.) більше 100

Монотонність виробничої обстановки (час пасивного спостереження за технологічним процесом в % від часу зміни) менше 75

Режим праці

Фактична тривалість робочого дня (год.) 6–7

Змінність роботи: однозмінна робота (без нічної зміни)

Наявність регламентованих перерв та їх тривалість Перерви регламентовані, достатньої тривалості 7% і більше часу зміни

ВИСНОВКИ

1. Визначені аналітичні та експериментальні закономірності кінетики сушіння сільськогосподарських продуктів.
2. За допомогою відносних координат узагальнено результати досліджень і описано кінетику зміни вологовмісту єдиною залежністю.
3. Узагальнені результати наявних та проведених досліджень сушіння плодочовчевої сировини так як експериментальні дані, що є в літературі, не є систематизованими і мають велику розбіжність між собою.
4. Виявлено залежності зміни вологовмісту сушильного агента, виходу вологи із сушарки і вологості матеріалу.
5. На підставі температурних кривих сушіння за допомогою машинної обробки визначено залежності інтенсивності та швидкості сушіння сільськогосподарських продуктів.
6. Розроблено схему автоматизації камерної конвективної сушарки «Садочок-1». Розроблено технологію монтажу сушильного комплексу на базі камерної конвективної сушарки «Садочок-1», визначено трудомісткість робіт і складено календарний план робіт, графік руху робітників і механізмів.
7. Визначено термін окупності сушарки після її модернізації і автоматизації, який складає 4,9 років.
8. Розроблено заходи з охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Теория сушки. URL : <https://elemash-m.ru/news/teoriya-sushki> (дата звернення 12.10.21).
2. Анохіна В. І. Зберігання і переробка овочів, фруктів та винограду в домашніх умовах. – Київ: Урожай. – 1992. – 216 с.
3. Технология сушки овощей и фруктов URL : <http://agromolmash.ru/tehnologii/tehnologiya-sushki-ovoshhej-fruktov> (дата звернення 22.11.2021.)
4. Бурич О., Берки Ф. Сушка плодов и овощей: (Пер. с венг.). – М.: Пищевая промышленность. – 1978. – 279 с.
5. Верба М. И. Теория сушки. – М.: МЭИ. – 1960. – 170 с.
6. Воронцов И. И. Сушка в химических производствах. – М. – Л.: ГХИ. – 1951. – 180 с.
7. Воскобойников В. А., Гуляев В. Н., Кац З. А. Сушеные овощи и фрукты. – М.: Пищевая промышленность. – 1980. – 189 с.
8. Гамаюнов Н. И., Шишкин И. Г., Афанасьев А. Е., Янковский В. Л. Структурообразование в дисперсных материалах при различных режимах теплопереноса. – Минск: АН БССР. – 1972. – 167 с.
9. Геккер И.Е. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Государственное издательство торговой литературы. – 1963. – 291 с.
10. Генин С.А. Технология сушки картофеля, овощей и плодов. – М.: Пищевая промышленность. – 1971. – 193 с.
11. Гинзбург А.С. Сушка пищевых продуктов. – М.: Пищепромиздат. – 1960. – 683 с.
12. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 528 с.
13. Зозулевич Б.В., Кабанов Л.М., Поповский В.П., Синич А.А. Справочник мастера сушильного производства. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 175 с.
14. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1976. – 248 с.

15. Гинзбург А.С. Расчёт и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 336 с.
16. Грачёв Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. – М.: Пищевая промышленность. – 1979. – 200 с.
17. Громов М.А. Теплофизические характеристики плодов. // Консервная и овощесушильная промышленность. – 1971. – №10. – С.35-36.
18. Гуляев В.Н. Сушеные овощи и фрукты. – М.: Пищевая промышленность. – 1980. – 190 с.
19. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена. – М.: Высшая школа. – 1974. – 328 с.
20. Данилов О.Л., Рогачевский В.И. Аналитический расчет статики конвективной сушки. – Труды МЭИ. – 1976. – С. 96-103.
21. Данилов О.Л. Теория и расчёт сушильных установок. – М.: МЭИ. – 1987. – 70с.
22. Ефимов М.Г., Ульянов В.М. Теория и расчёт сушильных процессов. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 186 с.
23. Измайлова В.Н., Ребиндер П.А. Структурообразование в белковых системах. – М.: Наука. – 1974. – 268 с.
24. Изотов А.К. Консервная промышленность в Болгарии. – М.: Пищевая промышленность. – 1957. – 180 с.
25. Ильясов С.Г., Красников В.В. Методы определения терморadiационных характеристик пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1972. – 170 с.
26. Кафаров В.В., Дорохов Н.Н. Системный анализ процессов тепло- и массопереноса. – ИФЖ. – 1980, т. XXXIX. - №3. – С.396-415.
27. Кац З.А. Новые способы сушки овощей и фруктов. – М.: ЦНИИТЭИпищепром. – 1975. – 54 с.
28. Гинзбург А.С. Современные методы интенсификации тепломассообмена в процессах сушки капиллярно-пористых материалов. – В сб.: Тепломассообмен-VI, т. VII. – Минск. – 1980. – С. 139-145.

29. Кац З.А. Производство сушеных овощей, картофеля и фруктов. – М.: Лёгкая и пищевая промышленность. – 1984. – 216 с.
30. Гнила тема: цьогоріч у садах пропадають тисячі тонн яблук
URL :<http://www.golos.com.ua/article/309936> (дата звернення 06.11.21).
31. Красников В.В. Конвективная сушка. – М.: Энергия. – 1973. – 218 с.
32. Красовская Г.И., Черненко Л.Е., Шалыт С.Я. Физико-химические основы пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность. – 1971. – 305 с.
33. Кремнев О.А., Боровский В.Р., Долинский А.А. Скоростная сушка. – Киев: Гостехиздат УССР. – 1963. – 382 с.
34. Кришер О. Научные основы техники сушки: (Пер. с нем). – М.: ИЛ. – 1961. – 539 с.
35. Крюсс В.В. Промышленная переработка плодов и овощей. – М.: Пищевая промышленность. – 1963. – 258 с.
36. Куц П.С., Ольшанский А.И. Некоторые закономерности тепловлагообмена и приближённые методы расчёта кинетики процесса сушки влажных материалов. – ИФЖ. – 1977, т. XXXII. - №6. – С.1007-1014.
37. Лебедев П.Д. Расчёт и проектирование сушильных установок. – М.: Госэнергоиздат. – 1973. – 320 с.
38. Лебедев П.Д. Теплообменные, сушильные и холодильные установки. – М.: Энергия. – 1972. – 318 с.
39. Левин Д.М. Термодинамическая теория и расчёт сушильных установок. – М.: Пищепромиздат. – 1958. – 167 с.
40. Липатов С.М. Физикохимия коллоидов. – М.: Госхимиздат. – 1950. – 372 с.
41. Лыков А.В., Ауэрман Л.Я. Теория сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов пищевой промышленности. – М.: Пищепромиздат. – 1946. – 287 с.
42. Лыков А.В., Ауэрман Л.Я., Гинзбург А.С. Исследование тепло- и массообмена в капиллярно-пористых телах методами теории подобия применительно к процессам сушки и выпечки. – Труды МТИПП. – 1956, т. VI. – С. 5-18.
43. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. – Минск: АН БССР. – 1959. – 330 с.

44. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория тепло- и массопереноса. – М.: Госэнергоиздат. – 1963. – 535 с.
45. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. – М.: Госэнергоиздат. – 1956. – 464 с.
46. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия. – 1968. – 470 с.
47. Лыков А.В. Тепломассообмен: Справочник. – М.: Энергия. – 1978. – 479 с.
48. Любошиц И.Л., Слободкин Л.С., Пикус И.Ф. Сушка дисперсных термочувствительных материалов. – Минск: Наука и техника. – 1969. – 214 с.
49. Мазяк З.Ю. Тепло- и массоперенос в пористых телах при переменных потенциалах среды. – Львов: Высшая школа. – 1979. – 119 с.
50. Марх А.Т. Биохимия консервирования плодов и овощей. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 371 с.
51. Муштаев В.И. Теория и расчёт сушильных процессов. – М.: МИХМ. – 1974. – 152 с.
52. Мыскин М.М., Иванов С.В. Технология переработки плодов, ягод и овощей. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 62 с.
53. Назаров Н.И. Технология и оборудование пищевых производств. – М.: Пищевая промышленность. – 1977. – 351 с.
54. Никитина Л.М. Термодинамические параметры и коэффициенты массопереноса во влажных материалах. – М.: Энергия. – 1968. – 500 с.
55. Орловский М.А., Кукушкина Т.И. Оборудование сушильных производств. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 237 с.
56. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность. – 1973. – 367 с.
57. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника. Справочник / Под ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 584с.
58. Рамзин Л.К. Расчет сушилок и $I-d$ – диаграмма. – М.: ВТИ. – 1930. – 48 с.
59. Ребиндер П.А., Лыков А.В. Физико-химические основы пищевых производств. – М.: МТИПП. – 1946-1952. – 412 с.

60. Рогов И.А., Горбатов А.В. Физические методы обработки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1974. – 583 с.
61. Рыбак Г.Н., Сердюк Т.Л. Хранение и переработка овощей и фруктов. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 365 с.
62. Сабуров Н.В. Хранение и переработка плодов и овощей. – М.: Сельхозиздат. – 1963. – 463 с.
63. Скрипников Ю.Г. Технология переработки плодов и ягод. – М.: Агропромиздат. – 1988. – 257 с.
64. Смольский Б.М. Внешний тепло- и массообмен в процессе конвективной сушки. – М.: БПИ. – 1957. – 205 с.
65. Сполдинг Д.П. Конвективный массоперенос: (Пер. с англ.). – М.: Энергия. – 1965. – 384 с.
66. Спосіб сушіння матеріалів і камера для здійснення способу: А.с.32043 UA. МПК F 26 B 7/00/Файдюк Л.А. і ін. – №98126651; Заявл.16.12.1998. Опубл. 15.12.2000, Бюл.№7 – 3 с., 3 іл.
67. Ставников В.Н., Лисянский В.М., Попов В.Д. Процессы и аппараты пищевых производств. – М.: Агропромиздат. – 1985. – 503 с.
68. Ставников В.М. Процеси і апарати харчових виробництв. – Київ: Урожай. – 1983. – 345.
69. Сушильна шафа: А.с.13833 UA. МПК-5 Г26 В 9/06/Мельник І.Г. і ін. - №52678319; Заявл. 25.08.1995. Опубл. 28.08.1997, Бюл.№2 – 3с., 1 іл.
70. Сушильна шафа: А.с. 49170 UA. МПК-5 F 26 B 9/06/Співак О.Ю. і ін. - №52968143; Заявл. 22.04.2000.0публ. 12.05.2002, Бюл.№9 – 5 с., 2 іл.
71. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. // Под ред. Ильченко О.Т. – М.: Высшая школа. – 1985. – 378 с.
72. Федоров Н.Е. Аналитические расчёты сушильных установок. – М.: Пищевая промышленность. – 1967. – 304 с.
73. Филоненко Г.К., Лебедев П.Д. Сушильные установки. – М.: Госэнергоиздат. – 1952. – 264 с.

74. Чернобыльский И.И., Тананайко Ю.М. Сушильные установки химической промышленности. – К.: Техника. – 1969. – 273 с.
75. Чубик И.А., Маслов А.М. Справочник по теплофизическим константам пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность. – 1965. – 248 с.
76. Чудновский А.Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов. – М.: Госфизматиздат. – 1962. – 456 с.
77. Шервуд Т.К. Сушка твердых тел: (Пер. с англ.). – М.: Гослесиздат. – 1939. – 64 с.
78. Методичні вказівки до виконання розділу з охорони праці в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього ступеня магістра за спеціальностями 153, 163, 171 і 172 / Уклад.: С. В. Дембіцька, І. М. Кобилянська, О. В. Кобилянський. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 51 с.
79. Кобилянський О. В., Кобилянська І. М., Яблочников С. Л. Основи охорони праці. – Вінниця: Планер, 2007. – 171 с.
80. Кобилянський О. В. Охорона праці при експлуатації електроустановок. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 125 с.
81. Кобилянський О. В. Охорона праці у галузі. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 139 с.
82. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 1. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 183 с.
83. Кобилянський О. В. Основи охорони праці. Ч. 2. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 171 с.
84. ДСН «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», Наказ МОЗ № 248 від 08.04.2014 [Електронний ресурс]. –URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (дата звернення 08.12.21).
85. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – [Електронний ресурс] – URL : <http://vsegost.com/Catalog/41/41131.shtml> (дата звернення 08.12.21).
86. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. – [Електронний ресурс] – URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf

- (дата звернення 08.12.21).
87. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення. – [Електронний ресурс] – URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/docpage.html?id_doc=79885 (дата звернення 08.12.21).
88. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд. – Київ : Мінбуд України, 2006. – 154 с.
89. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування – Київ : Мінрегіонбуд України, 2013. –149 с.
90. ДБН А.3.1-5:2016. Організація будівельного виробництва [Електронний ресурс]. –URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-294> (дата звернення 08.12.21).
91. ДБН Б.2.2-12:2018 Планування і забудова територій [Електронний ресурс]. – URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76667 (дата звернення 08.12.21).
92. ДБН В.2.1-10:2018 Основи і фундаменти будівель та споруд [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_1_10/1-1-0-1828 (дата звернення 08.12.21).
93. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення [Електронний ресурс]. – URL: https://www.minregion.gov.ua/wpcontent/uploads/2016/04/32_2_2009.pdf (дата звернення 08.12.21).
94. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. – [Електронний ресурс] – URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html> (дата звернення 08.12.21).
95. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – [Електронний ресурс] – URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972> (дата звернення 08.12.21).
96. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/>

- [va039282-99](#). (дата звернення 08.12.21).
97. ДСН 3.3.6.096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів [Електронний ресурс]. – URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03>. (дата звернення 08.12.21).
98. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Терміни та визначення [Електронний ресурс]. – URL : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text> (дата звернення 08.12.21).
99. ДСТУ ОHSAS18002:2015. Системи управління гігієною та безпекою праці. Основні принципи виконання. – Київ : ГП «УкрНИУЦ», 2016. – 21 с.
100. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпек [Електронний ресурс]. – URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759 (дата звернення 08.12.21).
101. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с.
102. Кодекс цивільного захисту України. Київ : ВР України, 2012 [Електронний ресурс]. – URL : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. (дата звернення 08.12.21).
103. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартів безпеки труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности [Електронний ресурс]. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/901702428>. (дата звернення 08.12.21).
104. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартів безпеки труда. Шум. Общие требования безопасности [Електронний ресурс]. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/5200291> (дата звернення 08.12.21).

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)

ЗАТВЕРДЖЕНО
В.о. завідувача кафедри ТЕ
_____ Д.В. Степа-
нов
“ _____ ” _____ 2021 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
до магістерської кваліфікаційної роботи

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
КАМЕРНИХ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК**

за спеціальністю 144 – теплоенергетика
08-11.МКР.001.00.00.000 ТЗ

Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи
_____ к.т.н. Співак О. Ю.
“ _____ ” _____ 2021 р.

Розробив студент гр.ТЕ–20м
_____ Антошків Д.О.
“ _____ ” _____ 2021 р.

1 Найменування та область застосування розробки

Розробка та модернізація сушильного комплексу для сушіння сільськогосподарської сировини. Розробка стосується процесу сушіння сировини (плодоовочева), з подальшим використанням в різних галузях.

2 Основа для проведення розробки

Наказ ректора ВНТУ №277 від 24.09.2021 р.

Основою для розробки стала технічна документація на камерну конвективну сушарку «Садочок-1». Розрахунки по підвищенню енергоефективності сушарки. Літературні джерела, патентна документація та розробки кафедри ТЕ ВНТУ. Тематичний план науково-дослідних робіт кафедри теплоенергетики, протокол №12 від 25.01.2021 р.

3 Джерела розробки

Основним джерелом розробки є параметри теплоносія в сушильній камері сушарки, а також нормативні дані по необхідних параметрах, наведених в інших теплоенергетичних джерелах:

- 3.1 Ткаченко С. Й. Сушильні процеси та установки / С. Й. Ткаченко, О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ. 2008.-98 с.
- 3.2 Співак О. Ю. Сушильні процеси та установки. Приклади та задачі / О. Ю. Співак. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 112 с.
- 3.3 Патент України. Сушильна шафа. – U200704163.– 16.04.2007. – F26.B9/06. – №29962, опубл. 11.02.2008. – бюл.№3.
- 3.4. Патент України. Пристрій для сушіння. – U200387725. – 14.08.2003. – F26B9/06. – №71120A, опубл. 15.11.2004. – бюл. №11.
- 3.5 Патент України. Пристрій для сушіння. – U200608145. – 20.07.2006. – F26B9/06. – №20276, опубл. 15.01.2007. – бюл. №1.
- 3.6 Патент України. Сушильна камера. – U190041958. – 07.04.1999. – F26B9/06. – №32327, опубл. 15.12.2000. – бюл. №7 – II.
- 3.7 Патент України. Сушильна шафа. – U2001031697. – 13.03.2001. –

F26B9/06. – №49170A, опубл. 16.09.2002. – бюл. №9.

4 Технічні вимоги

Визначення температури та вологості повітря на всіх етапах проведення експериментальних досліджень, витрати повітря для основного технологічного процесу. Побудова математичної моделі і відносної швидкості сушіння. Схематичне зображення сушарки на плакатах, графіки залежностей значень поточних абсолютних вологостей, залежність зміни інтенсивності сушіння, залежність відносної швидкості сушіння. Дотримання стандартів щодо виготовлення готової продукції та її якості.

5 Економічні показники

На сьогоднішній день більша частина готової сушеної продукції має низьку якість, саме тому потрібно інтенсифікувати і оптимізувати процеси сушіння продукції.

В даному проекті проводиться: дослідження кінетики сушіння плодово-овочевої сировини у конвективній сушарці; побудова математичної моделі і відносної швидкості сушіння; розробка сушильного комплексу.

Буде проведений багатоваріантний аналіз зміни відносної швидкості сушіння за часом.

6 Заходи з енергозбереження

Автоматичне регулювання основних параметрів роботи сушарки «Садочок-1».

Використання сучасного обладнання, що дозволяє значно зменшити теплові втрати.

7 Вимоги до стандартизації та уніфікації

Дипломний проект виконується згідно ДСТУ та нормативної документації, яка діє в Україні. Креслення основного обладнання виконується на листах формату А3. Деталі обладнання можливості виконуються стандартними та уніфікованими, щоб забезпечити можливість швидкого монтажу та можливість їх ремонту чи заміни.

8 Вимоги з надійності

На ефективність роботи впливає розрахунок та монтаж проекту. Усі розрахунки проводяться згідно державних стандартів. Процес монтажу та експлуатації повинен проводитися згідно стандартів з охорони праці.

9 Стадії і етапи розробки

9.1 Аналіз сучасного стану конвективної сушильної техніки та її енергоефективності.

9.2 Результати аналітичних і експериментальних досліджень. математичне моделювання.

9.3 Аналітичне дослідження ефективності теоретичних конвективних сушарок.

9.4 Експериментальні результати та їх обробка

9.5 Технологічний розділ

9.5.1 Модернізація схеми автоматики сушарки “Садочок-1”

9.5.2 Технологія монтажу системи відведення відпрацьованого повітря

9.5.3 Економічне обґрунтування проекту

9.5.4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

10 Порядок контролю та прийняття дипломної роботи

Виконання етапів графічної та розрахункової документації дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи.

Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

Коректування технічного завдання допускається з дозволу керівника роботи.

Технічне завдання розроблено на підставі джерел розробки і може уточнюватися протягом виконання дипломної роботи.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

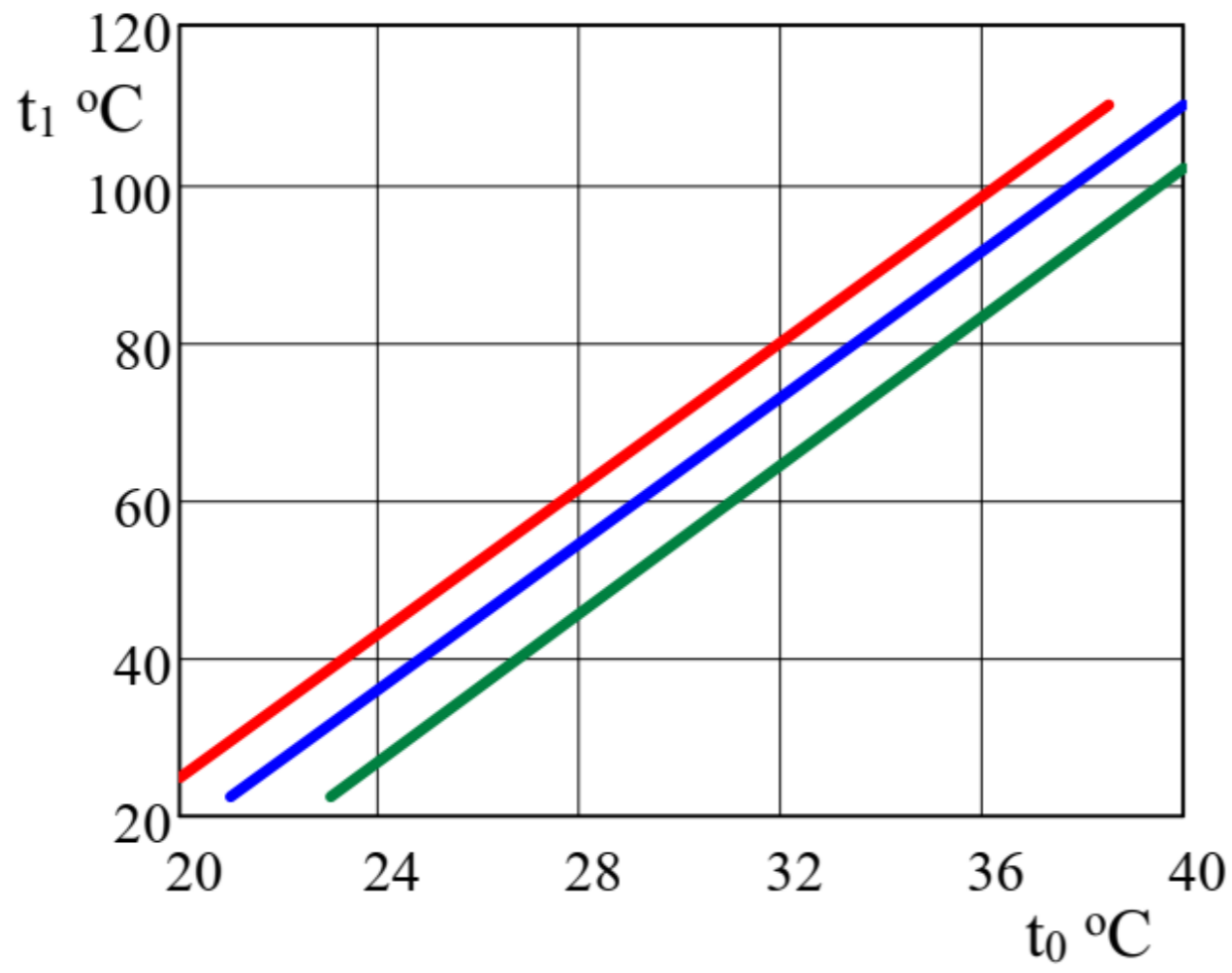
**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ
КАМЕРНИХ СУШИЛЬНИХ УСТАНОВОК**

(Назва магістерської кваліфікаційної роботи)

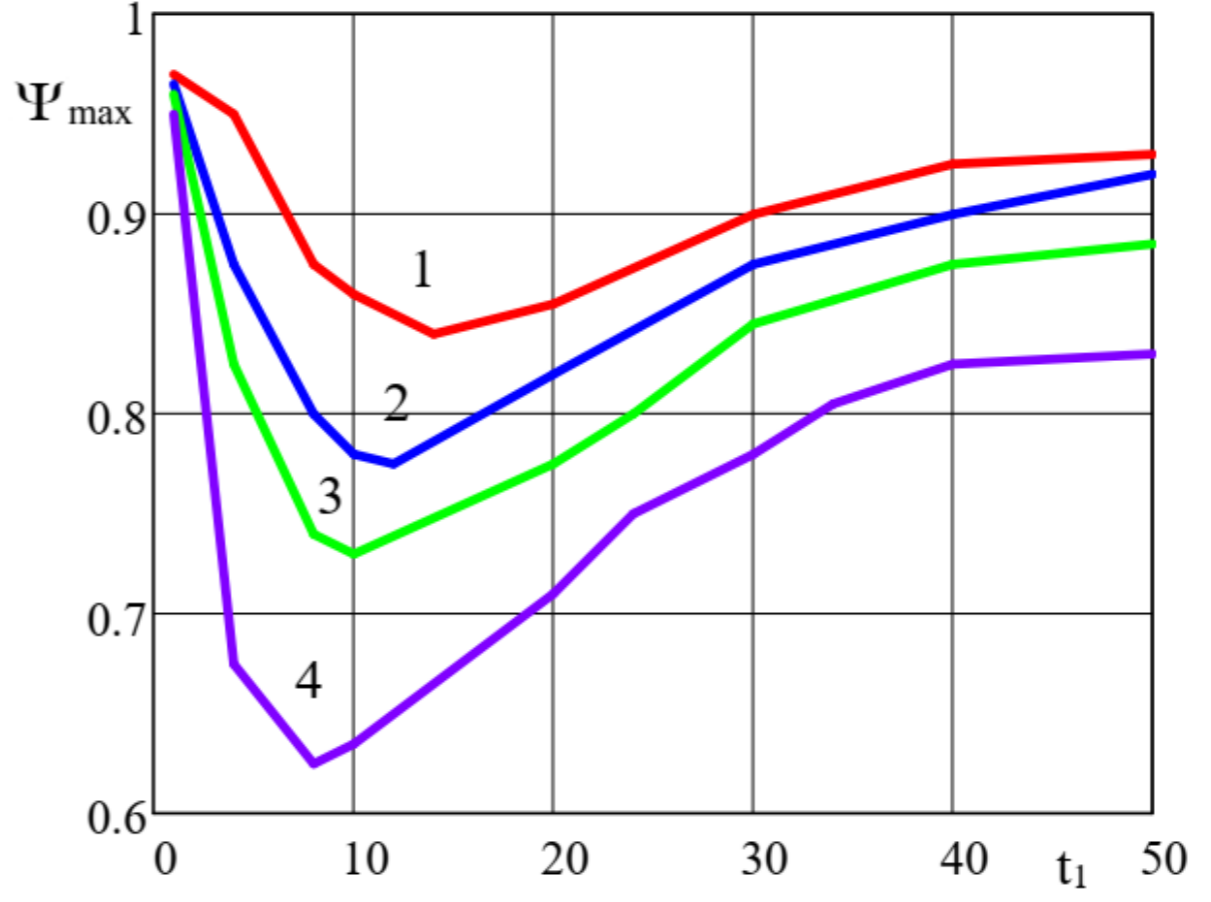
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание						
Перв. примен.			08-11.МКР.001.02.00.000СК	Сушарка камерна "Садочок"	1							
							Складальні одиниці					
								1	08-11.МКР.001.02.01.000	Корпус	1	
								3	08-11.МКР.001.02.03.000	Двері	1	
								4	08-11.МКР.001.02.04.000	Клапани	2	
								5	08-11.МКР.001.02.05.000	Двері	1	
								6	08-11.МКР.001.02.06.000	Блок нагнітальних вентиляторів	1	
								7	08-11.МКР.001.02.07.000	Стелаж в зборі	1	
								8	08-11.МКР.001.02.08.000	Електропідвід	2	
								Справ. №				
Стандартні одиниці												
	9		ТЕН електричний 1000Вт	1								
	10		Ніжки	4								
	11		Петля дверна	2								
Подп. и дата												
							Матеріали					
Взам. инв. №		2										
							Изоляция теплова	3	кг			
Подп. и дата												
							Инд. № подл.					
08-11.МКР.001.02.00.000				Лит.	Лист	Листов						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.				Дата	Сушарка камерна "Садочок-1"	1			
Разраб.	Антошків Д.О.											
Пров.	Співак О.Ю.											
Опонент	Сердюк В.Р.											
Н.контр.	Співак О.Ю.											
Утв.	Степанов Д.В.				ТЕ-20М							

Перв. примен.	Поз. обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
Справ. №	1	Контроллер МИК-51Н	1				
	2	Датчик температуры DS18D20 Діапазон вимірювання -55...+125 С Похибка вимірювання 0,5 С	5				
	3	Портативний прилад ВТ-1 Похибка вимірювання 3%	2				
	4	Термопара ТС-81	2				
	5	Витратомір DY-500	1				
	6	Вентилятор	4				
	7	Шибер з електроприводом	3				
	8	Звуковий сигналізатор	2				
	9	Світловий сигналізатор	1				
Подп. и дата	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	08-11.МКР.001.08.00.000		
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Антошків Д.О.					
	Пров.	Співак О.Ю.					
	Опонент	Сердюк В.Р.					
	Н.контр.	Співак О.Ю.					
	Утв.	Степанов Д.В.					
					Лит.	Лист	Листов
							1
					ТЕ-20М		

Вплив параметрів навколишнього середовища на значення температури теплоносія за умови $\psi = 1$



Зміна ψ_{max} для теоретичної сушарки



Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

					08-11.МКР.001.01.00.000 Т8			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Графічна інтерпретація результатів теоретичних досліджень	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Антошків Д.В.						1:1
Пров.		Співак О.Ю.				Лист	Листов	1
Т.контр.		Співак О.Ю.				ТЕ-20М		
Опонент		Сердюк В.Р.				Формат А3		
Н.контр.		Співак О.Ю.						
Утв.		Степанов Д.В.			Копировал			

08-11.МКР.001.02.000.СК

Перв. примен.

Справ. №

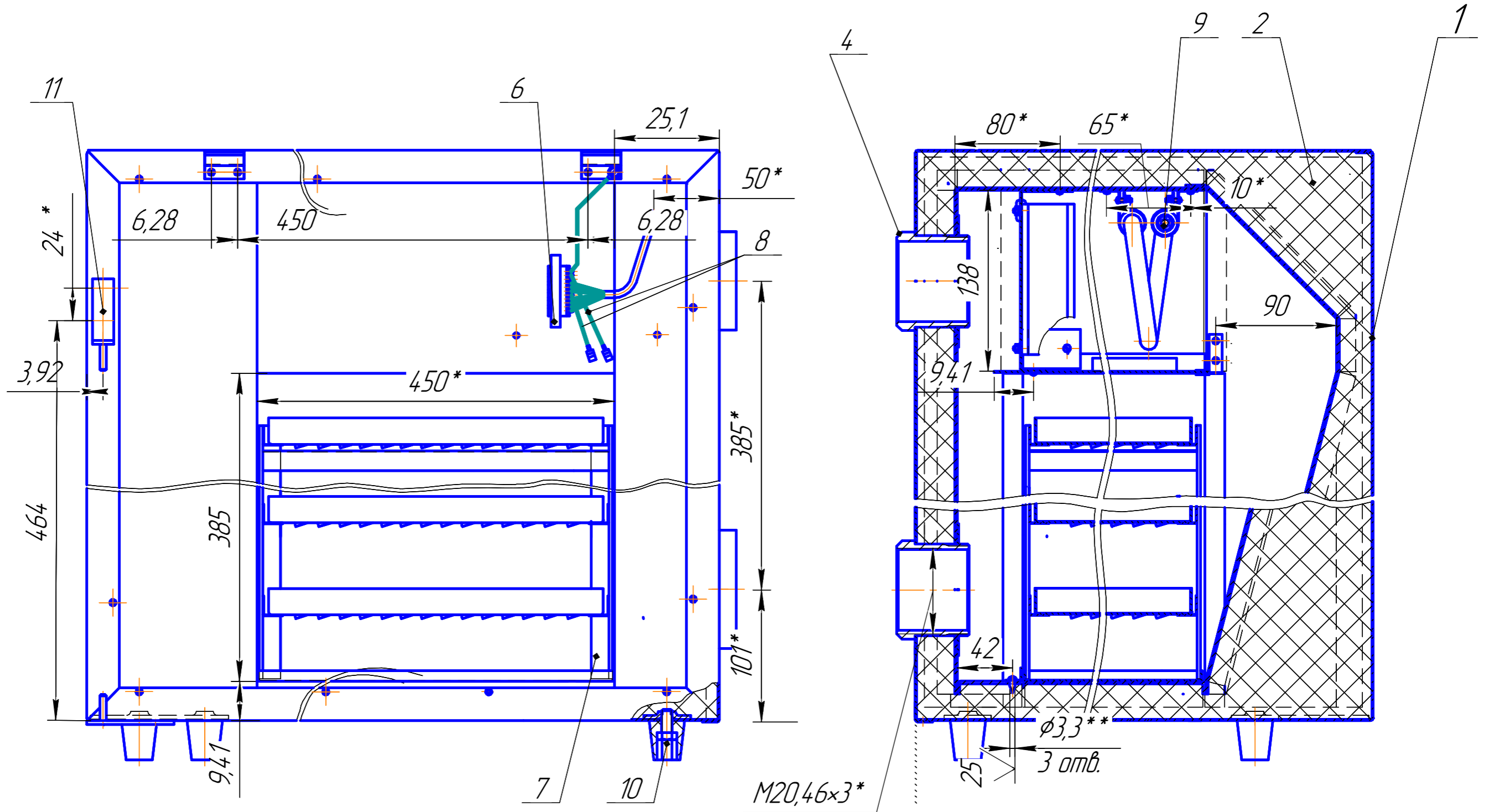
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



*Двери поз. 3 та пульт керування поз. 5 умовно не показані.

Технічні характеристики

Маса 12 кг

Ел. потужність 1 кВт

Завантаження 10 кг/період

				08-11.МКР.001.02.000.СК			
				Сушарка камерна "Садочок-1" складальне креслення			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Антошків Д.О.					1:1
Пров.		Співак О.Ю.					
Т.контр.		Співак О.Ю.					
Опонент		Сердюк В.Р.			Лист 2	Листов	
Н.контр.		Співак О.Ю.					
Утв.		Степанов Д.В.					
					ТЕ-20М		

Копировал

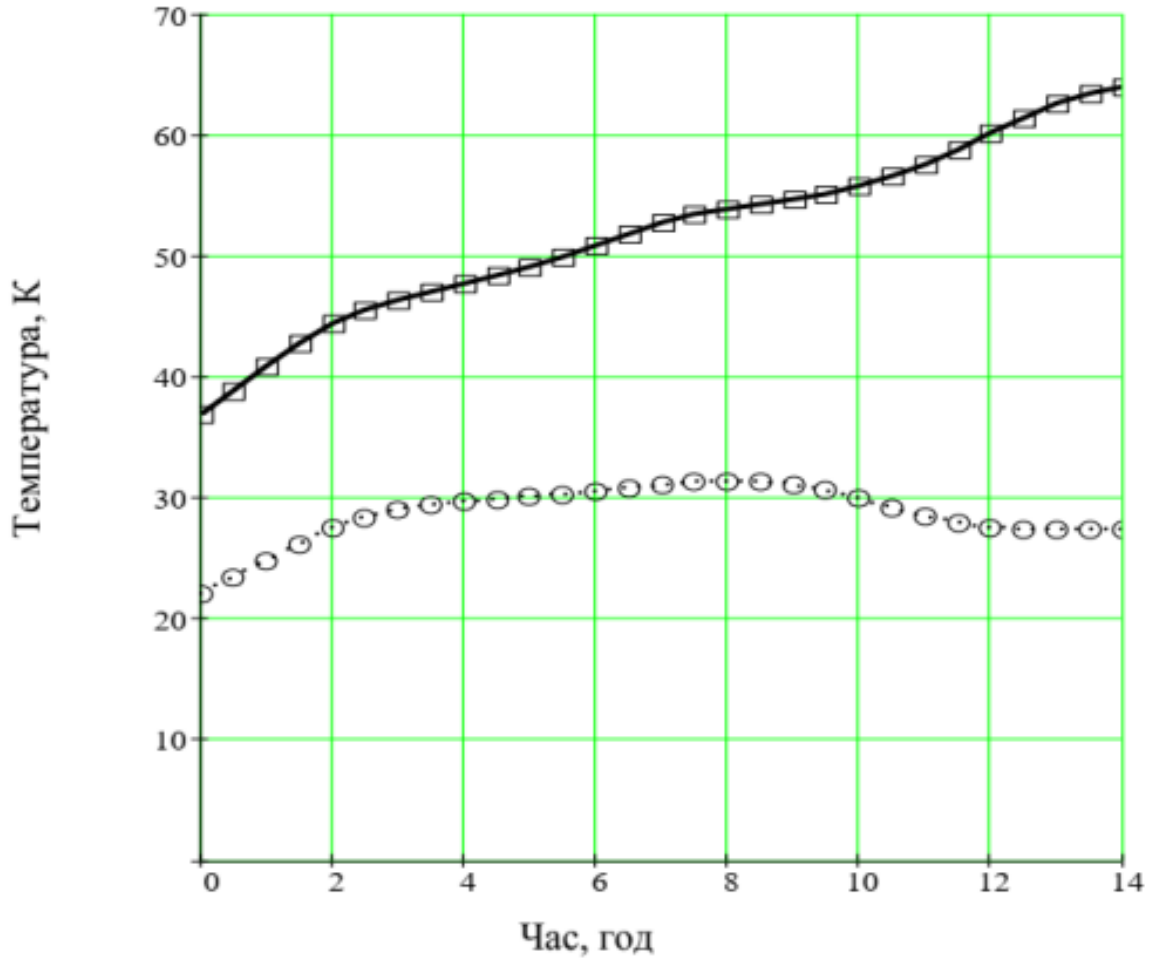
Формат А3

08-11.МКР.001.03.00.000 Т8

Перв. примен.

Справ. №

Температурні криві теплоносія для сушіння яблук
з початковою вологістю $W=86\%$



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

08-11.МКР.001.03.00.000 Т8

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Антошків Д.В.		
Пров.		Співак О.Ю.		
Т.контр.		Співак О.Ю.		
Опонент		Сердюк В.Р.		
Н.контр.		Співак О.Ю.		
Утв.		Степанов Д.В.		

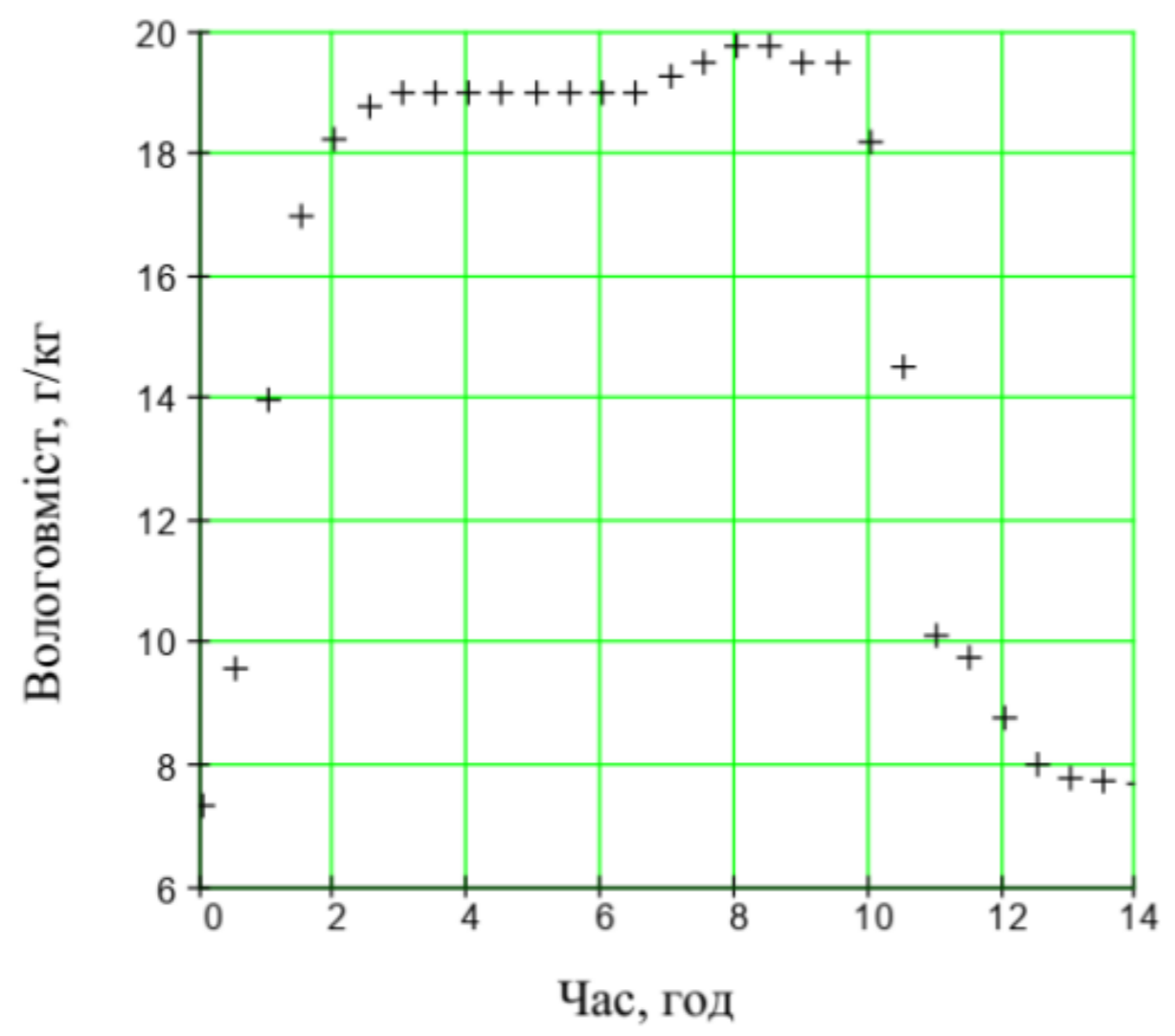
Графічна інтерпретація результатів
експериментальних досліджень

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист		Листов 1

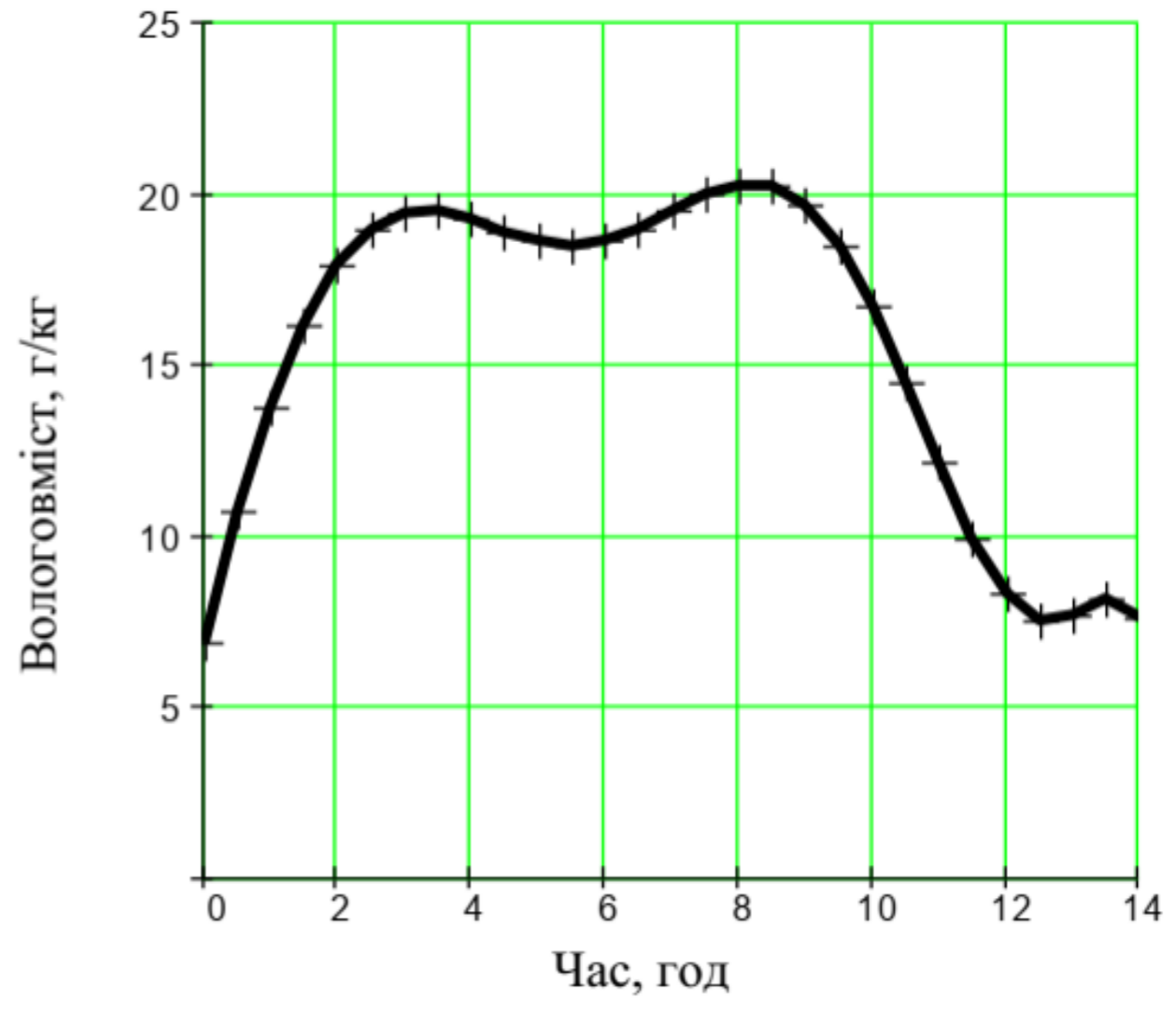
ТЕ-208

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Експериментальні дані вологовмісту теплоносія в процесі сушіння яблук



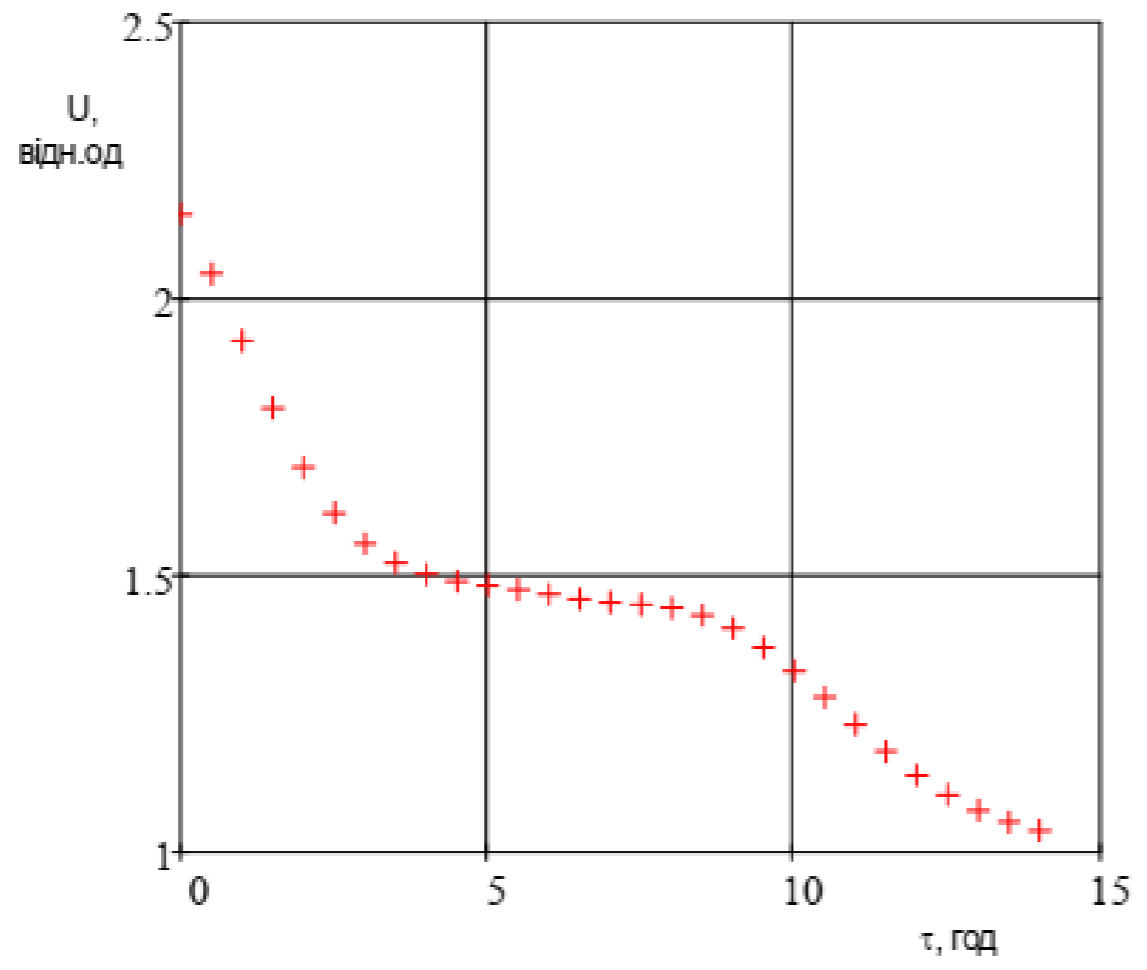
Регресійна крива вологовмісту теплоносія в процесі сушіння яблук



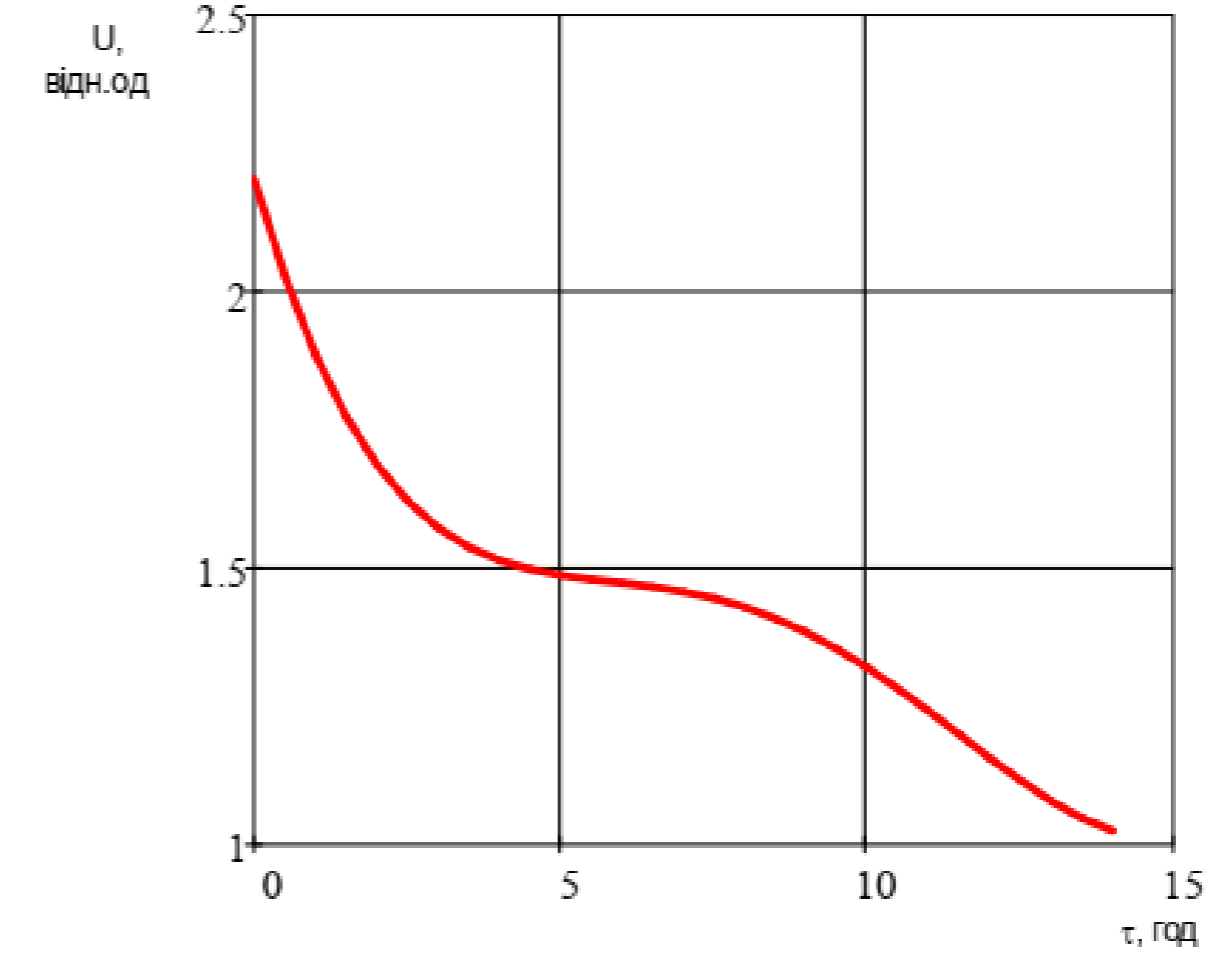
				08-11.МКР.001.04.00.000 Т8				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Результати експериментальних досліджень	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Антошків Д.В.						1:1
Пров.		Співак О.Ю.				Лист	Листов	1
Т.контр.		Співак О.Ю.				ТЕ-20М		
Опонент		Сердюк В.Р.				Формат А3		
Н.контр.		Співак О.Ю.						
Утв.		Степанов Д.В.			Копировал			

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Зміна вологості сировини в процесі сушіння



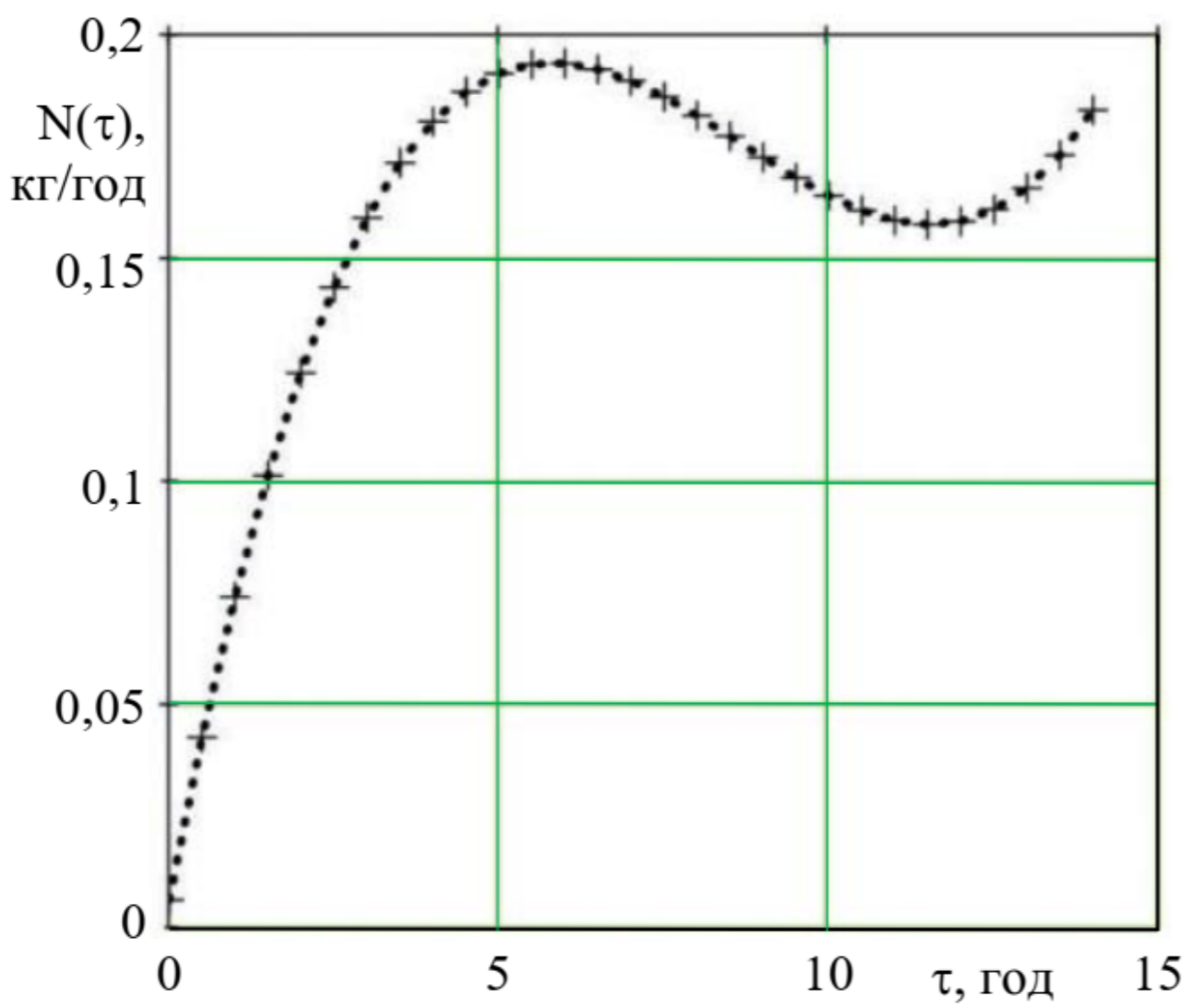
Регресійна крива зміни вологості сировини в процесі сушіння



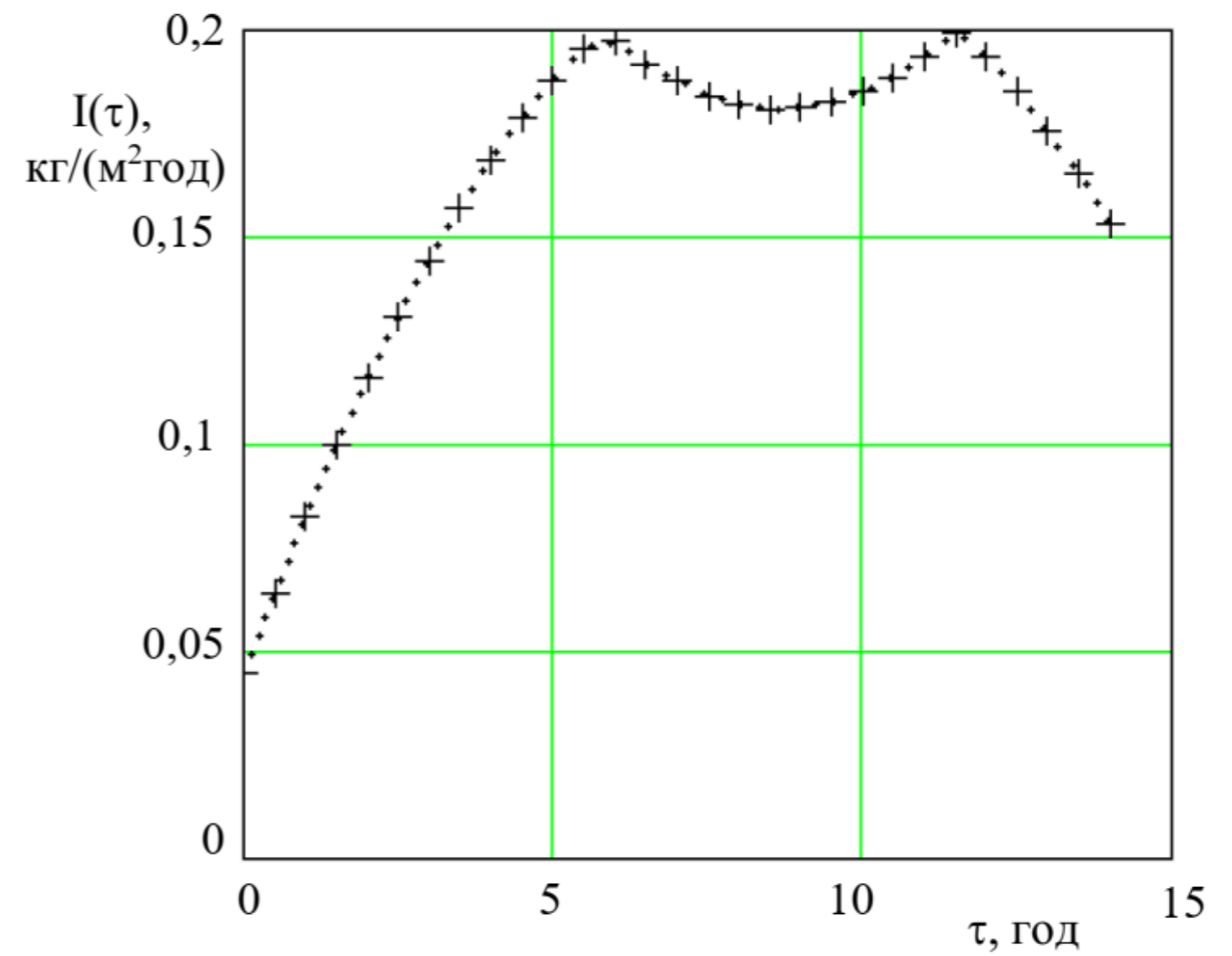
				<i>08-11.MKP.001.05.00.000 T8</i>				
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміна вологості сировини в процесі сушіння</i>	<i>Лит.</i>	<i>Масса</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Антошків Д.В.</i>						1:1
<i>Пров.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>				<i>Лист</i>	<i>Листов</i>	1
<i>Т.контр.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>				<i>ТЕ-20М</i>		
<i>Опонент</i>		<i>Сердюк В.Р.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Співак О.Ю.</i>						
<i>Утв.</i>		<i>Степанов Д.В.</i>			<i>Копировал</i>			
					<i>Формат А3</i>			

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.

Швидкість сушіння



Інтенсивність сушіння



					<i>08-11.МКР.001.06.00.000 Т8</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Результати обробки експериментальних даних</i>	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.		Антошків Д.В.						1:1
Пров.		Співак О.Ю.				Лист	Листов	1
Т.контр.		Співак О.Ю.				<i>ТЕ-20М</i>		
Опонент		Сердюк В.Р.				Формат А3		
Н.контр.		Співак О.Ю.						
Утв.		Степанов Д.В.			Копировал			

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

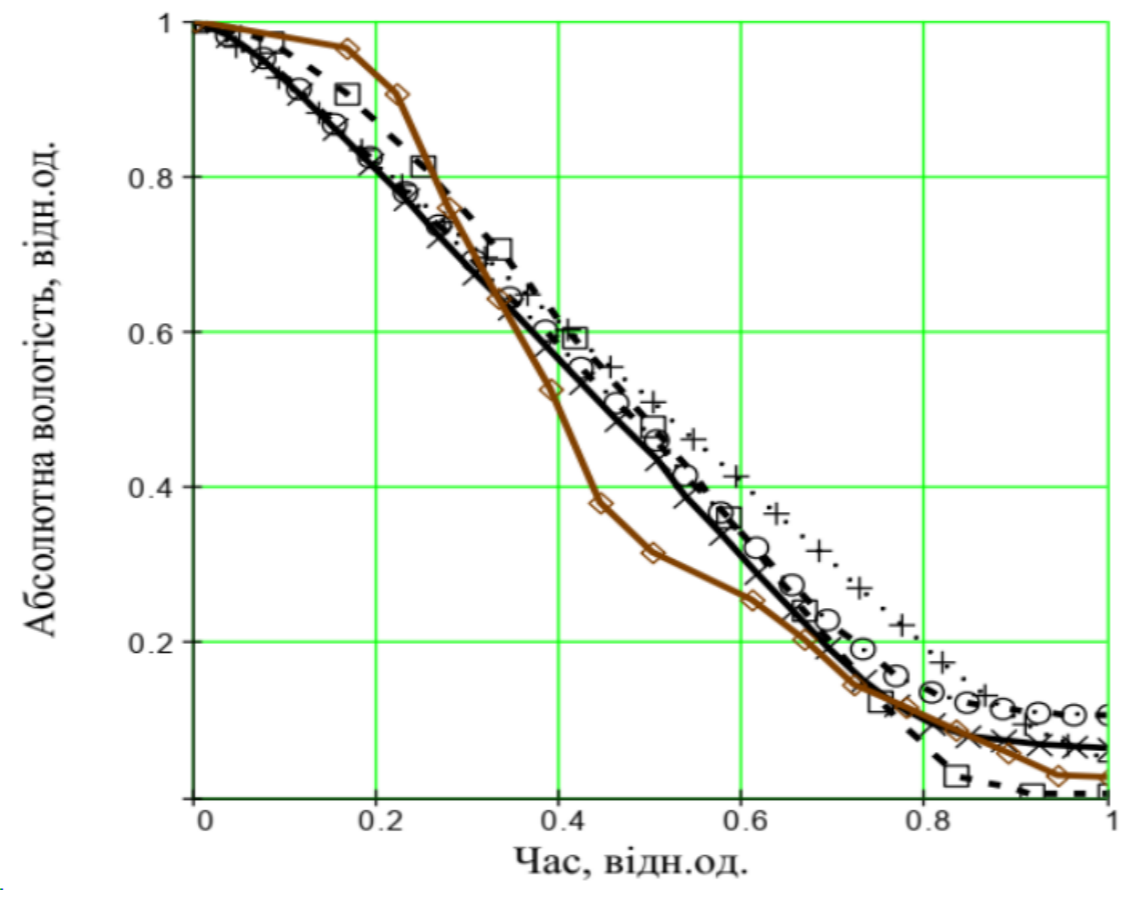
Инв. № дубл.

Взам. инв. №

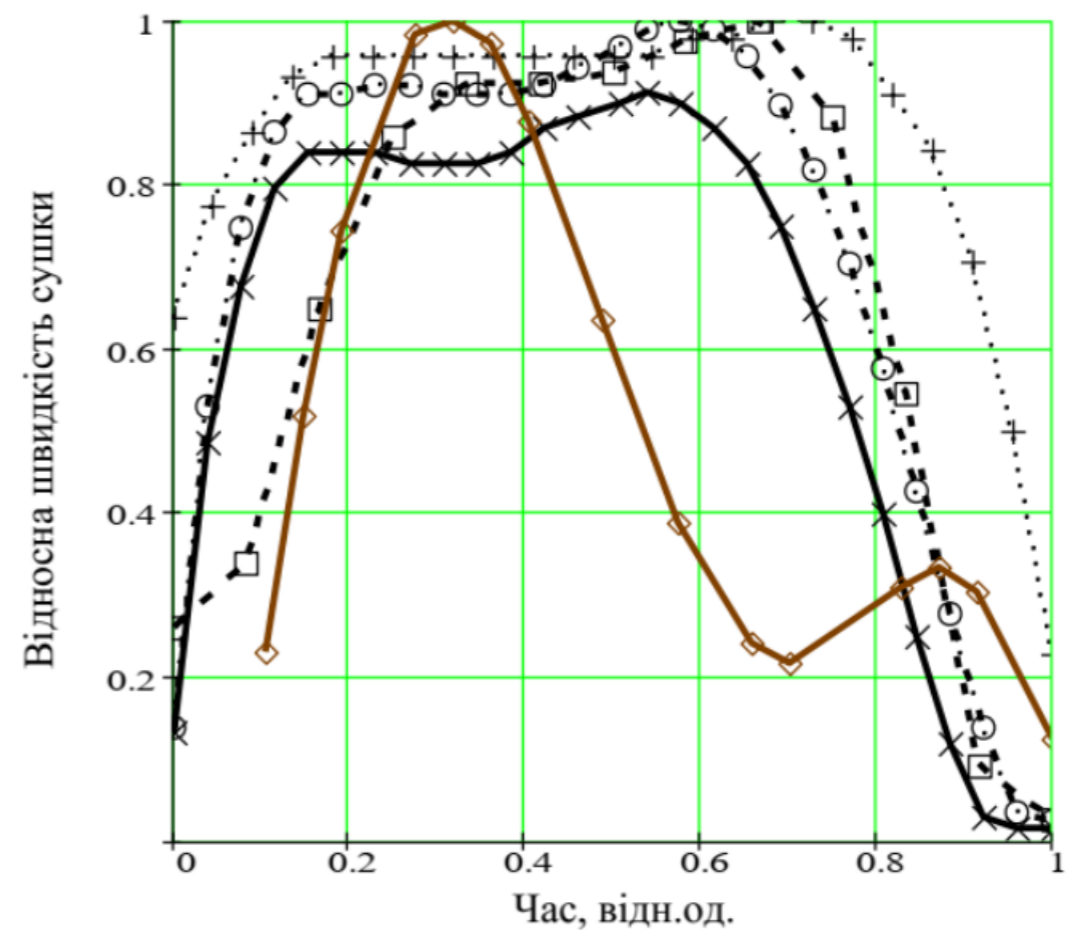
Подп. и дата

Инв. № подл.

Значення поточних абсолютних вологостей:
 1 – яблука ранніх сортів (початкова вологість $W_0 = 90\%$);
 2 – кріп ($W_0 = 76\%$); 3 – буряк ($W_0 = 82\%$);
 4 – яблука пізніх сортів ($W_0 = 86\%$); 5 – абрикоси (урюк) за даними [32]



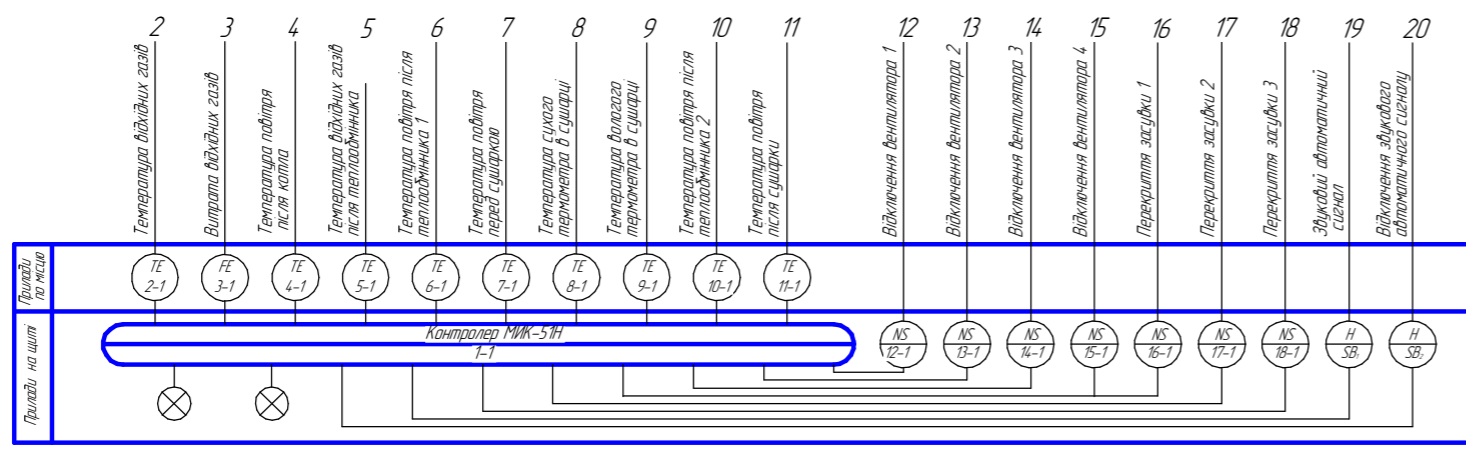
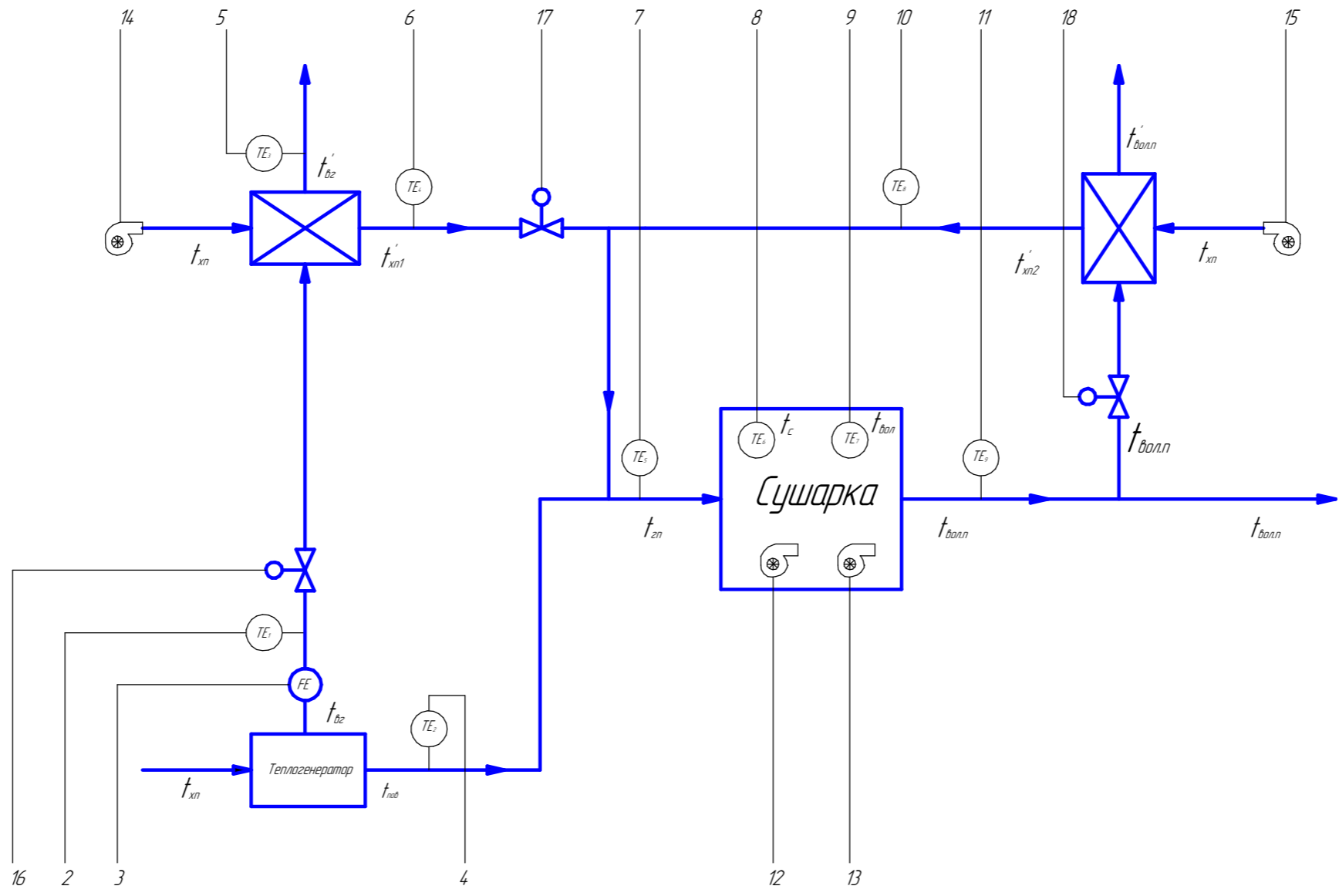
Залежності відносної швидкості сушіння: 1 – яблука ранніх сортів (початкова вологість $W_0 = 90\%$); 2 – кріп ($W_0 = 76\%$); 3 – буряк ($W_0 = 82\%$);
 4 – яблука пізніх сортів ($W_0 = 86\%$); 5 – абрикоси (урюк) за даними [32]



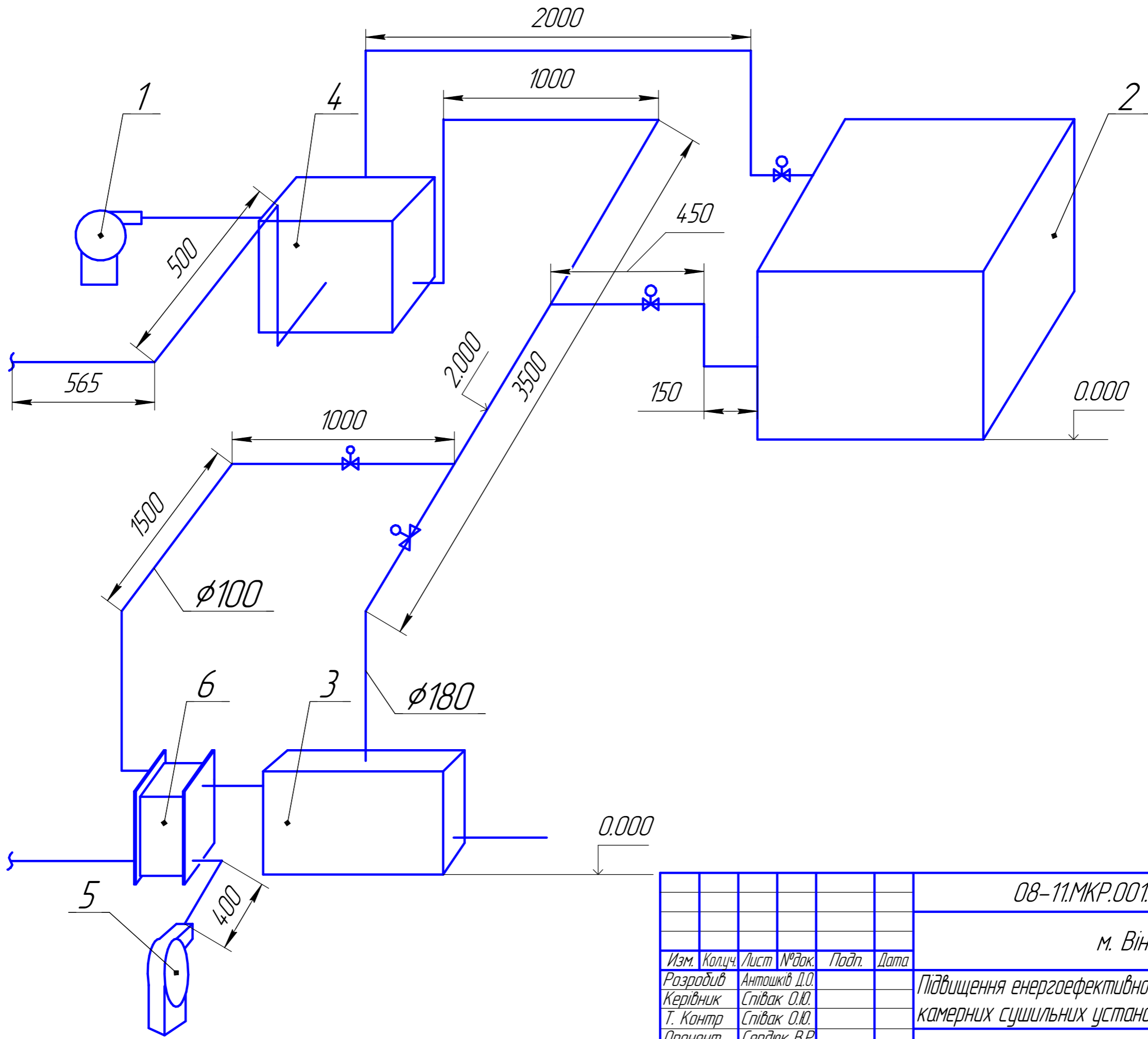
				<i>08-11.MKP.001.07.00.000 T8</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Зведені експериментальні та розрахункові залежності</i>	<i>Лист</i>	<i>Масштаб</i>
<i>Разрад.</i>	<i>Антошків Д.В.</i>						<i>1:1</i>
<i>Пров.</i>	<i>Співак О.Ю.</i>					<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Т.контр.</i>	<i>Співак О.Ю.</i>						<i>1</i>
<i>Опонент</i>	<i>Сердюк В.Р.</i>					<i>ТЕ-20М</i>	
<i>Н.контр.</i>	<i>Співак О.Ю.</i>						
<i>Утв.</i>	<i>Степанов Д.В.</i>				<i>Копирвал</i>		
						<i>Формат А3</i>	

08-11.MKP.001.08.00.000 A3

Перв. примен.
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № подл.



				08-11.MKP.001.08.00.000 A3				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Схема автоматизації сушарки функціональна	Лист	Масса	Масштаб
Разраб.	Пров.	Т.контр.	Опонент	Н.контр.		Утв.		
						Лист	Листов	1
						ВНТУ ст.гр. ТЕ-20М		
						Копировал Формат А3		



Согласовано

Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Изм.	Кол.ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разработчик		Антошків Д.О.			
Керівник		Слівак О.Ю.			
Т. Контр		Слівак О.Ю.			
Опонент		Сердюк В.Р.			
Н. Контр		Слівак О.Ю.			
Перевірив		Степанов Д.В.			

08-11.МКР.001.09.00.000 АР		
м. Вінниця		
Підвищення енергоефективності камерних сушильних установок	Стадія	Лист
		1
Схема монтажу повітропроводів	ст. гр. ТЕ-20м	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН МОНТАЖНИХ РОБІТ

2021

Листопад

№ П/П	Найменування робіт	Облн. вим.	Об'єми	Норма часу люд/год	Трудо-міст-кість	Склад бригади	К-сть бригад	Трива-лість	Шифр РЕКН	2021						
										1	2	3	4	5	6	7
1	Доставлення деталей і обладнання до місця монтажу	т	0,09636	3	0,036	робітник 4р.-1 2р.-1	1	0,018	Г1-1-1	2×0,018						
2	Розмітка місць прокладання повітропроводу	100м	0,2462	1,2	0,0369	монтажник 3р.-2 ; 2р.-2	1	0,009	46-31-1	4×0,009						
3	Прокладання повітропроводу діаметром 180 мм	100м	0,1665	4,8,71	1,013	ел.звар 6р.-1. 5р.-1 слюсар 4р.-1	1	0,338	16-8-1	3×0,338						
4	Прокладання повітропроводу діаметром 100 мм	100м	0,0797	4,8,71	0,485	ел.звар 6р.-1. 5р.-1 слюсар 4р.-1	1	0,162	16-8-2	3×0,162						
5	Встановлення фланців	шт	0,5	4,8,71	3,045	ел.звар 6р.-1. 5р.-1 слюсар 4р.-1	1	1,015	16-8-3	3×1,015						
6	Встановлення трійників повітропроводу	шт	0,03	5,95	0,022	монтажники 4р.-1. 3р.-1	1	0,011	16-8-4	2×0,011						
7	Встановлення заглушки на повітропровод	шт	0,01	1,67	0,002	монтажник 3р.-1	1	0,002	16-8-5	1×0,002						
8	Встановлення переходу повітропроводу	шт	0,02	1,67	0,004	монтажник 3р.-1	1	0,004	16-8-6	1×0,004						
9	Встановлення колектору повітря	шт	0,01	1,67	0,002	монтажник 3р.-1	1	0,002	19-3-5	1×0,002						
10	Випробування повітропроводів	100м	0,1062	8,22	0,109	монтажники 4,3,2 р.-2	1	0,018	19-9-1	6×0,018						
11	Транспортування допоміжного обладнання	т	0,01938	3	0,0065	робітник 4р.-1. 2р.-1	1	0,0032	19-16-1	2×0,0032						
12	Монтаж вентиляторів ВЦУН 140 × 74-0,5-2	шт	2	21,3	5,325	монтажники 3р.-2. 7р.-2	1	0,76	19-1-2	4×0,76						
13	Монтаж електронних регуляторів витрати повітря ERP-1	шт	4	6,83	3,415	монтажники 3р.-1 7р.-1	1	1,707	19-15-1	2×1,707						

Соголасовано

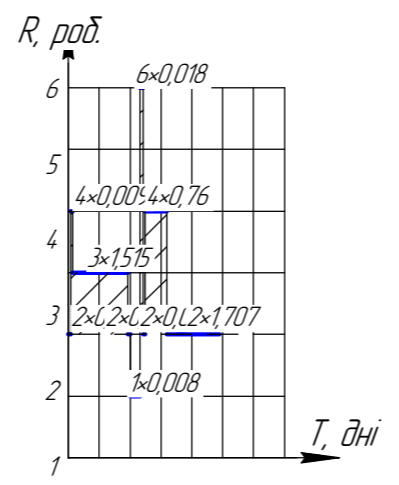
Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № подл.

ГРАФІК РОБОТИ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

Автомобіль Мерседес-Спринтер	0,018	0,0032		
Перфоратор MAKITA HR 501C	0,5	0,76		
Зварювальний апарат СТЕ-24У	1,515			



08-11.МКР.001.10.00.000 АР					
м. Вінниця					
Ізм.	Колуч.	Лист	№ док.	Підп.	Дата
Розробив	Антошків Д.О.				
Керівник	Слівак О.Ю.				
Т. Контр	Слівак О.Ю.				
Опонент	Сердюк В.Р.				
Н. Контр	Слівак О.Ю.				
Затвердив	Степанов Д.В.				
Підвищення енергоефективності камерних сушильних установок				Стадія	Лист
Календарний план монтажних робіт					Листов
					1
				ст.гр. ТЕ-20М	