

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

### Розробка конструкції та схеми керування побутової сушарки

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТМ-23-1

  
Підпис

Москалюк О.М.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

проф. д.т.н., Скиба М.Є.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С.І. Пухаренко  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

доц. к.т.н., Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту і архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр і назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


Шифр і назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доцент Неймак В.С.

 . 12 . 2024р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Москалюк Олександр Михайлович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції та схеми керування побутової сушарки

керівник роботи д.т.н., проф. Скиба М.Є.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи Технологічні та технічні рішення застосування сушарок для побутових потреб

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

Вступ. Огляд та аналіз технології та обладнання сушіння. Теплотехнічні схеми та розрахунки для конвективних процесів сушіння. Проектні розрахунки для побутових сушарок. Висновки. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Аркуш 1. Огляд та аналіз технології та обладнання для сушки. Документ оглядовий (A1). Аркуш 2. Діаграма сушки. Документ технологічний Схема сушки. Документ технологічний (A2). Аркуш 3. Побутова сушарка. Схема структурна принципова. Аркуш 4. Побутова сушарка. Схема електрична принципова (A1). Аркуш 5. Побутова сушарка. Схема електрична (A1). Аркуш 6,7,8. Складальне креслення побутової сушарки. (3 креслення A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис завдання видав

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

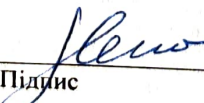
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим.
1. Огляд та аналіз технології та обладнання сушіння.	до 15.10.22р.	
2. Теплотехнічні схеми та розрахунки для конвективних процесів сушіння.	до 30.10.22р.	
3. Теплотехнічні схеми та розрахунки для конвективних процесів сушіння.	до 5.11.22р.	
4. Проектні розрахунки для побутових сушарок	до 20.11.22р.	
5. Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	до 12.12.22р.	

Студент

  
Підпис

О.М. Москалюк  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

М.Є. Скиба  
Ініціали, прізвище

## АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Москалюк Олександр Михайлович
2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції та схеми керування побутової сушарки
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 8 арк., сторінок записки 75

5. Ця робота присвячена розробці побутової сушарки з метою забезпечення оптимальних умов виконання технологічного процесу сушіння, зручності користувачів та ефективності енергоспоживання.

Запропоновано конструкцію побутової сушарки, здійснено підбір основних елементів та зроблено розрахунки основних технічних та технологічних параметрів сушарки щодо забезпеченню оптимальних параметрів. Розроблено схему керування побутовою сушаркою.

У роботі описується розробка та реалізація побутової сушарки.

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі було здійснено огляд конструкцій сушильного обладнання на основі патентної та технічної літератури, було зроблено висновок про доцільність використання сушильних шаф для сушіння в домашніх умовах. Проаналізувавши наявне аналогічне обладнання, було зроблено висновок, що воно не має відповідних конструктивних і технічних параметрів, які забезпечують універсальність установки, зниження енергоспоживання в процесі сушіння та дають змогу використовувати ці сушильні агрегати як для побутових, так і для промислових потреб.

У другому розділі аналізуються методи сушіння та обирається найбільш енергоефективний метод - конвективне сушіння з частковою циркуляцією повітря. Розраховано матеріальний баланс, внутрішній баланс і тепловий баланс для конвективного сушіння та сушильного обладнання. Розраховано загальне споживання тепла в процесі сушіння матеріалу. Наводяться формули для визначення мінімальної та максимальної швидкості матеріалу в процесі конвективного сушіння. Розроблено схему керування побутовою сушаркою та розроблено електричну схему підключення терморегулятора на базі широтно-імпульсного контролера (ШИМ-контролера).

У третьому розділі для теплообмінників сушарки розробили конструкцію з погляду енергоспоживання і обрали нову систему вентиляції, що значно підвищило енергоефективність побутової сушарки. Конструкція вийшла більш компактною порівняно з аналогічними сушарками та має поліпшені характеристики. Це знижує витрату матеріалів, необхідних для її виробництва.

Підпис студента \_\_\_\_\_  
« 19 » 12 20 24 р.

### РІШЕННЯ ЕК

Протокол 4 від « 26 » 12 20 24 р.

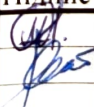



Оцінка проекту ЕК добре  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_  
Технічний секретар \_\_\_\_\_

« 26 » 12 20 24 р.

## ЗМІСТ

Вступ		6
1 Огляд та аналіз технології та обладнання сушіння.....		7
1.1 Огляд і аналіз процесів сушіння .....		7
1.2 Огляд і аналіз конструкції сушильного обладнання .....		20
2 Теплотехнічні схеми та розрахунки для конвективних процесів сушіння..		28
2.1 Порядок технічного розрахунку сушильного обладнання.....		28
2.2 Теплотехнічна схема конвективної сушарки .....		29
2.3 Матеріальний баланс у конвективному сушінні та сушильному обладнанні.....		34
2.4 Внутрішній баланс сушильної камери .....		35
2.5 Розрахунок теплового балансу сушарки.....		39
2.6 Тепловий баланс сушильної камери.....		41
2.7 Розрахунки коефіцієнта теплопередачі.....		46
2.8 Розробка структурної принципової схеми побутової сушарки.....		47
2.9 Розробка електричної схеми керування терморегулятора .....		49
2.10 Розробка електричної схеми побутової сушарки .....		
3 Проектні розрахунки для побутових сушарок.....		54
3.1 Принцип роботи побутових сушильних машин конвективного типу.....		54
3.2 Розрахунок об'єму сушильної камери .....		59
3.3 Розрахунки підкладок та ізоляції .....		61

<b>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</b>								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка конструкції та схеми керування побутової сушарки	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Москалюк				у	4	75
Перевір.		Скиба						
Н.контр.						ХНУ, ЕТМ-23		
Затвер.		Неймак						

3.6 Розрахунок потрібної продуктивності вентилятора .....	64
3.7 Розробка електричної схеми побутової конвективної сушарки .....	66
3.8 Налаштування універсальної шафи для технологічного процесу сушки.....	66
Висновки.....	68
Перелік посилань.....	69
Додатки.....	71

## ВСТУП

Завданням магістерської роботи є розробка побутової сушарки з низьким енергоспоживанням у процесі експлуатації як конструктивною особливістю, малими габаритами, низькими матеріальними витратами на виробництво та оптимальним співвідношенням енергоспоживання і якості продукції як технічного параметра.

Актуальність роботи. На сьогодні існує велика потреба в розвитку конструкції машин і механізмів шляхом упровадження вдосконалених конструкцій, методів керування та різних нових технологій з метою поліпшення технічних і технологічних параметрів машин, які проєктуються і модернізуються.

У нашому дипломному проєкті порушуються питання, пов'язані з технологією сушіння, розробкою та модернізацією обладнання, що використовується в цьому процесі.

Метою дослідження є визначення гіротермічних характеристик процесу сушіння та сушильного обладнання.

Завдання дослідження полягає у необхідності розглянути характеристики процесу сушіння з різних сторін. Обрати найоптимальнішу з точки зору енергоефективності та застосувати її в процесі розробки сушильного обладнання.

Об'єктом дослідження є вологісні та теплові характеристики процесу сушіння.

Предметом дослідження є побутові сушарки для сушіння овочів і фруктів.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		









$P_m < P_{nas}$ .

Хоча описані вище класифікації відображають якісні властивості матеріалу, для розрахунків необхідні кількісні характеристики.

Кількісними характеристиками змочування матеріалу є відносна вологість, абсолютна вологість і вологовміст.

Маса вологого матеріалу,  $G_{wet}$ , може бути виражена як сума маси сухого матеріалу,  $G_{сух}$ , і пов'язаної з ним маси води,  $W$ :

$$G_{вол} = G_{сух} + W, \text{ кг} \quad (1.1)$$

Відносна вологість матеріалу - це відношення маси води,  $W$ , до загальної маси вологого матеріалу,  $G_{wet}$ , виражене у відсотках.

$$\omega_{від} = \frac{W}{G_{вол}} 100, \% \quad (1.2)$$

Іноді використовується термін «абсолютний вміст води». Це відношення маси води  $W$  до маси сухої речовини  $G_{сух}$ , виражене у відсотках.

$$\omega_{абс} = \frac{W}{G_{сух}} 100, \% \quad (1.3)$$

Вміст води у висушеному матеріалі зручніше виражати через вміст води, виражений у відносних одиницях, тобто масове відношення води  $W$  до маси висушеного матеріалу  $G_{сух}$ .

$$U = \frac{W}{G_{сух}}, \text{ кг/кг} \quad (1.4)$$

Перерахунок відносної вологості в абсолютну або навпаки проводиться у відсотках.

$$\omega_{abc} = \frac{\omega_{vid} \cdot 100}{100 - \omega_{vid}}, \quad (1.5)$$

$$\omega_{vid} = \frac{\omega_{abc} \cdot 100}{100 + \omega_{abc}}, \quad (1.6)$$

отже,

$$\omega_{abc} = \frac{\omega_{vid}}{1 - \omega_{vid}}, \quad (1.7)$$

$$\omega_{vid} = \frac{\omega_{abc}}{1 + \omega_{abc}}. \quad (1.8)$$

Кінетика процесу сушіння і зміни в структурі висушеного матеріалу сильно залежать від зовнішніх умов сушіння (температури, швидкості і вологості вологопоглинача) і стану матеріалу щодо навколишнього середовища.

Що стосується навколишнього середовища, то розрізняють рівноважний стан матеріалу, гігроскопічний стан і вологий стан. Для аналізу цих станів матеріалу необхідно враховувати відносну вологість, яка є одним із параметрів вологого повітря. Відносна вологість - це відношення маси парів в 1 м<sup>3</sup> вологого повітря до максимально можливої маси парів в 1 м<sup>3</sup> вологого повітря за тих самих умов (тиск P і температура t):

$$\varphi = \frac{\rho_n}{\rho_{нас}} = \frac{P_n}{P_{нас}} \quad (1.9)$$

де  $P_{п}$  і  $P_{нас}$  – парціальний тиск парів і тиск насичених парів за тих самих умов.

### 1.1.2 Кінетика процесу сушіння

Кінетику процесу сушіння зазвичай розуміють як зміну в часі середнього вмісту вологи  $U$  і температури матеріалу  $\theta$  на об'єм висушуваного матеріалу. Графічна залежність  $U = f(\tau)$  називається кривою сушіння. Зміна в часі швидкості сушіння також має велике практичне значення. Швидкість сушіння - це зміна вмісту вологи в матеріалі за одиницю часу. Важливо відрізнити швидкість сушіння  $du/d\tau$  від швидкості масопереносу або швидкості випаровування вологи  $dW/sd\tau$ .  $dW/sd\tau$  визначає масу вологи, яка випаровується з одиниці поверхні матеріалу в одиницю часу.

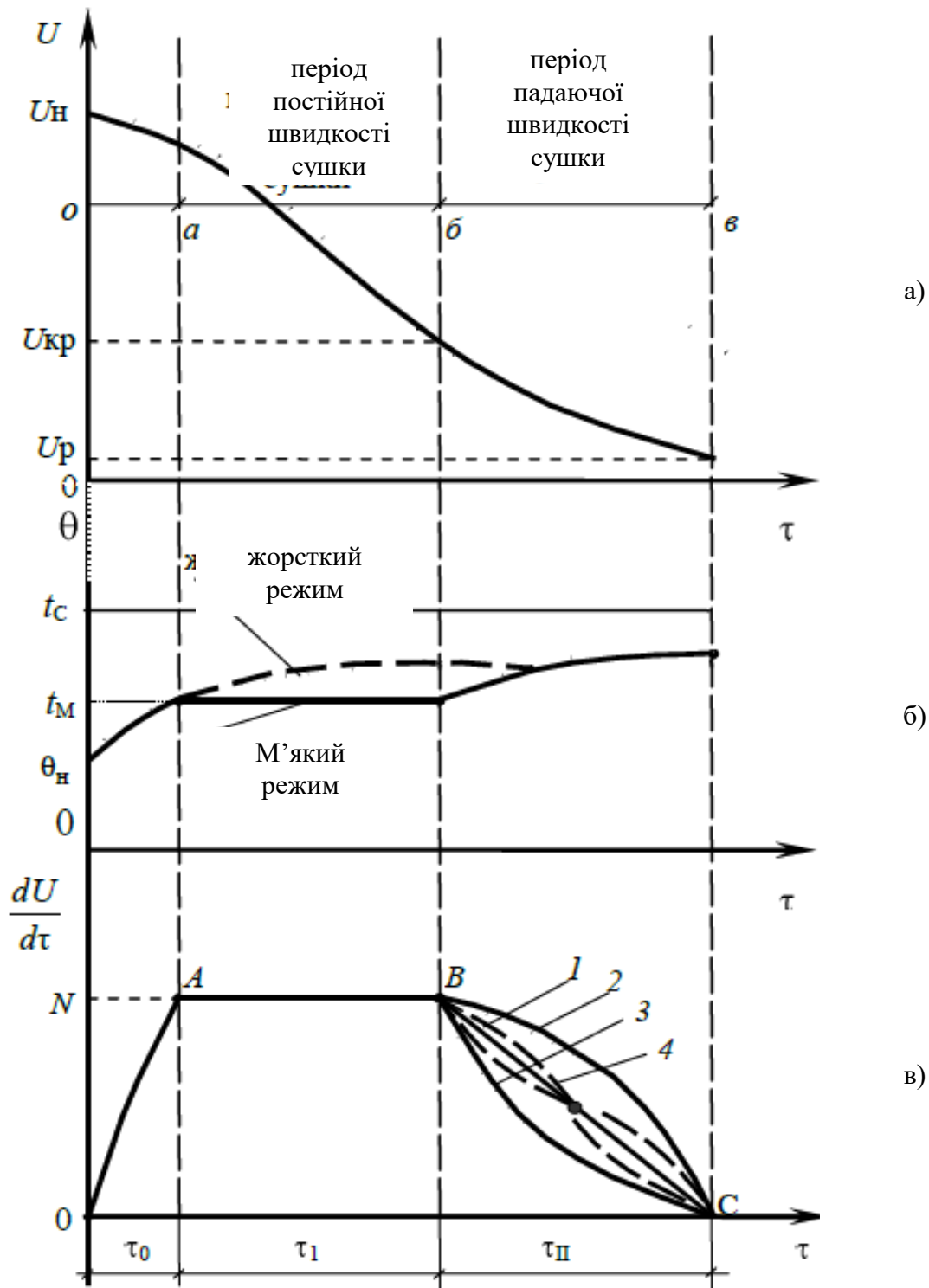
Швидкість сушіння може бути визначена шляхом диференціювання кривої сушіння за тангенсом кута нахилу до абсциси дотичної лінії, проведеної до будь-якої точки кривої сушіння. Побудувавши графік  $tg\tau=du/d\tau$  у координатах  $U-du/d\tau$ , можна побудувати криву швидкості сушіння (рис. 1.1). Як видно з рис. 1.1, на цих кривих спостерігаються характерні періоди.

Період прогрівання (інтервал О-а) характеризується зниженням вологовмісту від початкового  $U_{п}$  до деякого проміжного значення, підвищенням температури матеріалу від початкової  $\theta_{п}$  до температури зволоження  $t_m$  і збільшенням швидкості сушіння від нуля до максимального значення  $N$ . Ділянка а-б, де вміст вологи зменшується до критичного значення  $U_c$ , називається періодом постійної швидкості сушіння і її добре видно на нижній кривій. Інтенсивність випаровування з поверхні вологого матеріалу в цей період за м'яких умов сушіння відповідає інтенсивності випаровування рідини з вільної поверхні за тих самих параметрів сушильного агента.

Низька температура вологопоглинача, низька швидкість вологопоглинання і відносно висока відносна вологість повітря за м'яких умов сушіння

сприяють тому, що температура матеріалу залишається практично незмінною протягом усього періоду і близька до температури вологого термометра, а парціальний тиск пари на випаровуючій поверхні дорівнює тиску насичення за температури вологого термометра. У цей період все тепло, що підводиться, витрачається не на нагрівання матеріалу, а на випаровування поверхневої вологи. Тому температура залишається незмінною, а біля поверхні матеріалу встановлюється гігроскопічна рівновага, що відповідає стану мокрого термометра.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – волокнисті матеріали; 2 – колоїдні матеріали;

3 – капілярно-пористі колоїдні; 4 – глина; 5 – сухарі

Рисунок 1.1 - Криві сушіння: а) вид кривих сушіння; б) криві зміни температури матеріалу; в) криві швидкості сушіння

Оскільки зміна вмісту вологи в часі лінійна, швидкість сушіння постійна

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

15

і залежить тільки від умов тепло- і масообміну між вологопоглиначем і висушуваним матеріалом, тобто від температури, відносної вологості та швидкості вологопоглиначя.

Рівняння теплового балансу можна записати для першого періоду щадного режиму сушіння:

$$q = \alpha(t_c - t_m) = g \cdot r, \quad (1.10)$$

де  $q$  – густина теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;

$\alpha$  – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>°С);

$t_c$  і  $t_m$  – температури сушильного агента й поверхні тіла, °С;

$g$  – інтенсивність випаровування, кг/(м<sup>2</sup>·с);

$r$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг.

Швидкість висихання ( $du/d\tau$ ) =  $N$  у період постійної швидкості максимальна завдяки тому, що видаляється вільна вода, не дуже міцно пов'язана зі «скелетом» тіла. Її можна визначити за формулою:

$$N = \frac{g \cdot F}{\rho_0 V} = K \quad (1.11)$$

де  $K$  – константа швидкості сушіння, (кг/кг)/с;  $\rho_0$  – щільність сухого матеріала, кг/м<sup>3</sup>;  $F$  і  $V$  – площа поверхні, м<sup>2</sup>, і об'єм, м<sup>3</sup>, матеріалу, що сушиться.

Виходячи з відомої швидкості сушіння, тобто інтенсивності випаровування води з поверхні вологого матеріалу, визначається тривалість періоду постійної швидкості сушіння  $\tau_1$ .

$$\tau_1 = \frac{1}{K} (U_n - U_{кр}) = \frac{1}{N} (U_n - U_{кр}) = \frac{\rho_0 V}{gF} (U_n - U_{кр}) \quad (1.12)$$



Крива швидкості сушіння має дві критичні точки (рис. 1.1): перша критична точка (точка С) відповідає початку зниження швидкості, коли температура на поверхні матеріалу ще дорівнює  $t_m$ , а вологовміст досягає критичного значення  $U_c$ . Характер зміни швидкості сушіння при зниженні швидкості залежить від форми зв'язування води з матеріалом. Побудувавши залежність  $du/d = f(U)$  від кривих сушіння різних матеріалів, можна отримати деякі види зміни швидкості в цей період.

У період зниження швидкості сушіння вода всередині твердого матеріалу рухається у вигляді рідини і пари під дією капілярних сил і теплових ефектів. Швидкість внутрішньої дифузії залежить від структури матеріалу, його температури і фізико-хімічних властивостей рідини. У більшості випадків час сушіння для періоду II визначається експериментально, але може бути визначений з достатньою точністю за допомогою рівнянь:

$$\tau_2 = \frac{U_{кр} - U_p}{N} \lg \frac{U_{кр} - U_p}{U_k - U_p} \quad (1.13)$$

де  $U_k$  – кінцевий вологовміст матеріалу, кг/кг.

Дослідники запропонували метод спрощення кінетичних розрахунків для другого періоду сушіння. Вони замінюють криву фактичної швидкості сушіння для другого періоду сушіння лінією, що з'єднує  $U_p$  і  $AB(N)$ , так, щоб заштриховані області були рівними (рис. 1.2).

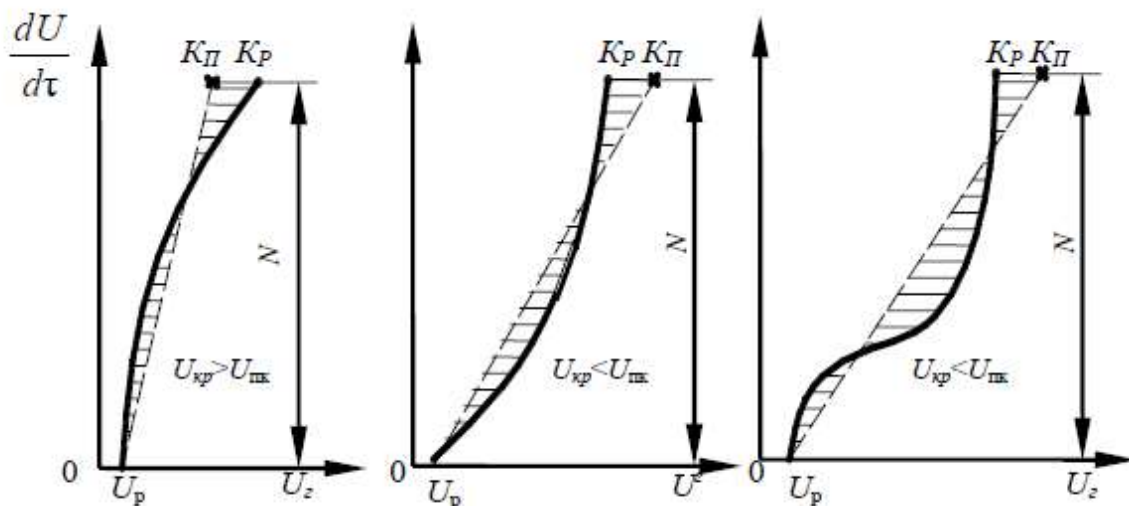


Рисунок. 1.2 – Графічний метод визначення критичного вмісту відновленої ВОЛОГИ

Потім критична точка зміщується вправо або вліво. Вміст вологи, що відповідає отриманій критичній точці, називається зменшеною критичною точкою ( $U_{c.c}$ ).

Звідси,

$$\tau_2 = \frac{1,28U_{\epsilon}}{N} \lg \frac{U_{n.k} - U_p}{U_k - U_p} \quad (1.14)$$

Загальний час процесу сушіння отримують шляхом підсумовування часу сушіння в період постійної швидкості і в період зниження швидкості за формулою:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = \frac{1}{N} [(U_n - U_{n.k}) + 1,28U_n \lg H (U_k - U_p)] \quad (1.15)$$

де  $H$  – відносний коефіцієнт сушіння, який залежить від властивостей матеріалу і початкового вмісту вологи.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Під час визначення щільності теплового потоку  $q$  (Вт/м<sup>2</sup>) до матеріалу в період падіння температури слід враховувати, що тепло витрачається не тільки на випаровування вологи, а й на нагрів усього виробу:

$$q = \left( c \cdot \rho_0 \frac{V}{F} \frac{dt}{d\tau} + \frac{\rho_0 V}{F} r \frac{du}{d\tau} \right) \quad (1.16)$$

де  $c$  – питомі теплоємності вологого тіла, Дж/(кг °С);

$dt/d$  – зміна температур тіла за нескінчений малий проміжок часу, °С/с;

$du/d$  – зміна вологовміста тіла за нескінчений малий проміжок часу.

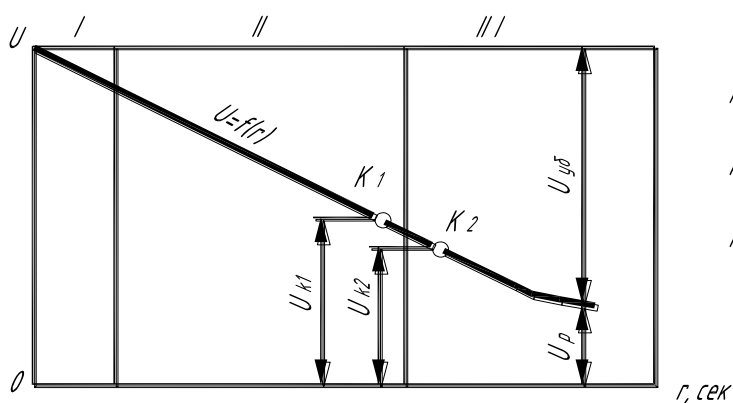
Значення інших величин наведено вище. Перший член у правій частині рівняння (1.16) відповідає кількості тепла, витраченого на нагрівання тіла, а другий член - кількості тепла, витраченого на випаровування води.

Процес сушіння ділиться на два періоди. У першому періоді температура постійна, а вміст вологи зменшується за лінійним законом. У другому періоді температура безперервно підвищується, а швидкість сушіння (зниження вологовмісту за одиницю часу) безперервно зменшується.

Режими сушіння характеризуються температурою, вологістю і швидкістю газу. Необхідно підібрати такий режим сушіння овочів і плодів, за якого кінцеві властивості (температура) заданого матеріалу можна отримати за найменшої тривалості сушіння та мінімальної витрати тепла.

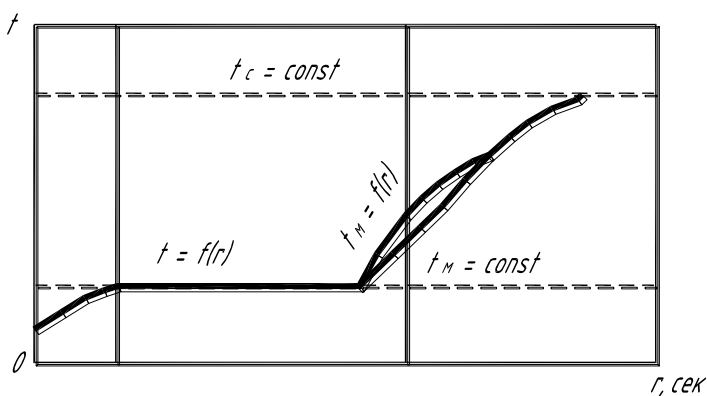
На основі попереднього матеріалу було побудовано графіки, що безпосередньо стосуються сушіння овочів і фруктів, які показують оптимальний для них режим.

Крива сушки  $U = f(r)$



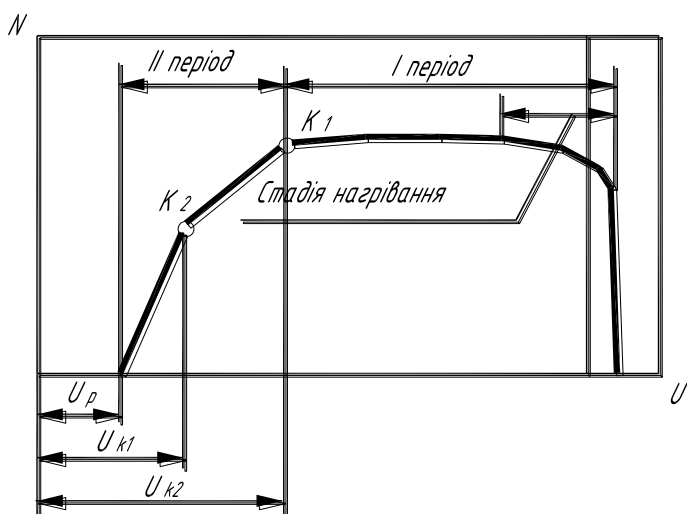
- I - розігрів продукції
- II - випаровування вологи
- III - заглиблення поверхні випаровування

Температурна крива  $t = f(r)$



- $U$  - вологовмісткість
- $r$  - час сушки
- $N$  - швидкість сушки

Крива швидкості сушки  $N = f(r)$



- I період - температура постійна
- II період - температура тіла безперервно підвищується

Рисунок 1.3 – Графік процесу сушіння для овочів та фруктів

Під час вивчення залежності інтенсивності сушіння від інтенсивності випаровування вологи було експериментально помічено, що інтенсивність сушіння в першому періоді, тобто кількість рідини, що випаровується за одиницю часу з одиниці площі розкриваємої поверхні тіла, має дорівнювати інтенсивності випаровування рідини з вільної поверхні за того самого режиму й тих самих заданих розмірів.

В ділянці I (рис. 1.3) вода нагрівається і випаровується. Фактична поверхня, що випаровується, в цій точці велика і більша, ніж уявна геометрія висушеного продукту, тому швидкість падіння вологи на продукт також більша.

У секції II (рис. 1.3) рідина всмоктується зсередини, тому волога випаровується на поверхневому шарі.

У секції III (рис. 1.3) зв'язана волога видаляється з внутрішнього шару, і випаровування швидко збільшується вглиб поверхневого шару.

Поділ на секції було зроблено умовно, і явних меж між ними немає. Під час конвективного сушіння температура спочатку дуже швидко падає до температури вологого термометра, а потім повільно починає підвищуватися, зрівнюючись із температурою повітря, що вдувається, під час повного висихання.

## 1.2 Огляд і аналіз конструкції сушильного обладнання

У процесі сушіння використовуються різні види обладнання, але їхня конструкція і технічні параметри мають відповідати стандартам, що висуваються до цього типу обладнання.

Обладнання для термічного сушіння називають сушарками.

Залежно від способу передачі тепла вони можуть бути конвективними, контактними, терморадіаційними, сублімаційними або високочастотними.

У конвективних сушарках тепло процесу забезпечується газоподібними вологопоглиначами (нагріте повітря, вихлопні гази або суміш цих газів із повітрям), які безпосередньо стикаються з поверхнею матеріалу. Водяну пару за-

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

бирає той самий вологопоглинач. Якщо висушуваний матеріал не контактує з киснем або якщо водяна пара, що видаляється, вибухонебезпечна або легкозаймиста, як вологопоглинач використовують газ, інертний до висушуваного матеріалу, наприклад, азот, вуглекислий газ, гелій, інші інертні гази або перегріту пару.

У багатьох типах сушарок із плаваючим шаром матеріалів, що висушуються, вологопоглинач не тільки переносить тепло і вологу, а й служить транспортним середовищем для дисперсних матеріалів, що висушуються.

У контактних сушарках тепло від сушарки передається вологопоглиначу через розділову стінку.

У терморадіаційних сушарках матеріал сушиться інфрачервоним випромінюванням, у сублімаційних - заморожуванням під вакуумом, а в електричних - струмом високої частоти.

Сушіння відбувається за атмосферного тиску і під вакуумом, а висушуваний матеріал може бути нерухомим, перемішуваним або перебувати в «киплячому шарі».

Існує сушильний пристрій [2] з барабаном для продукту, встановленим на корпусі, що обертається відносно горизонтальної осі, та має вхідний і вихідний отвори, з'єднані з торців із системою всмоктування, причому остання виконана симетричною відносно осі обертання барабана для поліпшення якості сушіння.

Винахід належить до сушильної техніки і може бути використаний у барабанних сушарках.

Система сушіння текстилю показана на рис. 1.4.

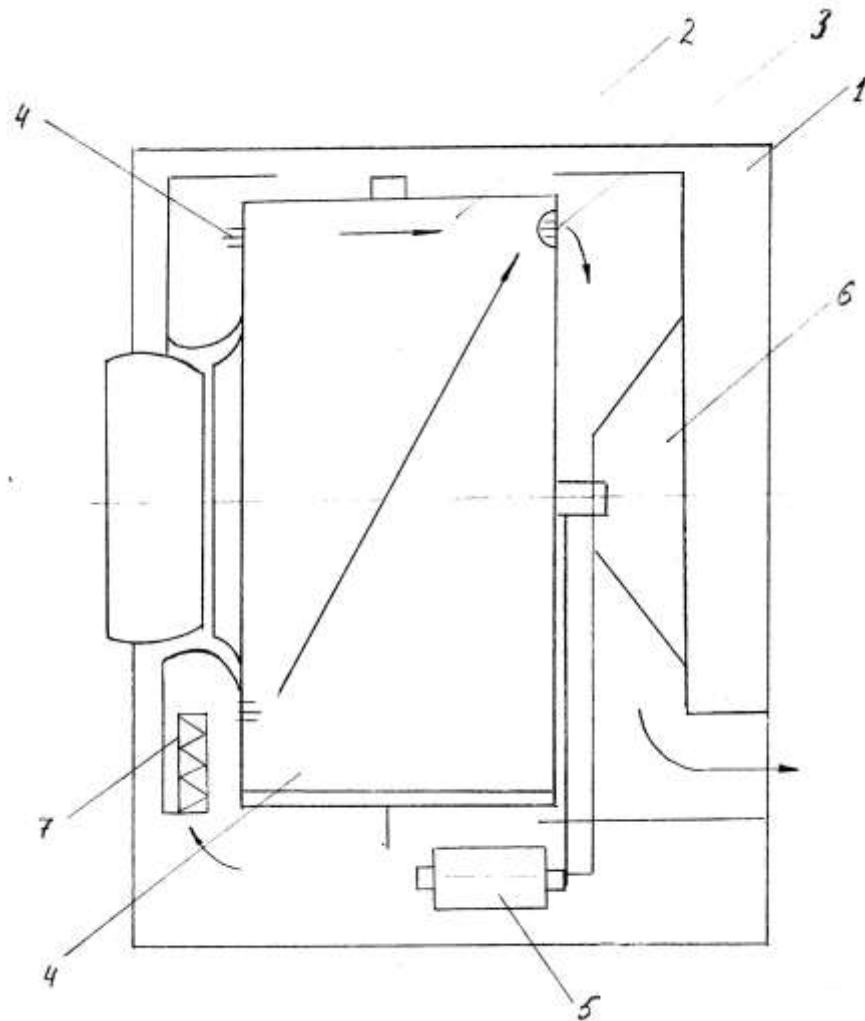


Рисунок 1.4 – Пристрій для сушіння

Сушильна установка має барабан 2, встановлений у корпусі 1, що обертається навколо горизонтальної осі, із входними отворами 4 та вихідними отворами 3 на торцях з обох боків, які з'єднані із системою подачі та всмоктування вологопоглинача. Отвір 3 для виходу вологопоглинача розташований на периферії одного сектора торця барабана. Сушильний агрегат також має привід 5, вентилятор 6 і нагрівач 7.

Вологопоглинач надходить до барабана 2 через нагрівач і входний отвір 4 під час обертання відносно горизонтальної осі. Відпрацьований вологопоглинач видаляється вентилятором 6 через випускний отвір 3 на периферії одного сектора торця барабана 2. Вологопоглинач витягується під час обертання барабана 2, що сприяє поліпшенню якості висушеного продукту.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

Для сушіння матеріалу використовується сушарка (рис. 1.5). Винахід належить до сушильного обладнання, що дає змогу знизити енергоспоживання та підвищити продуктивність [3].

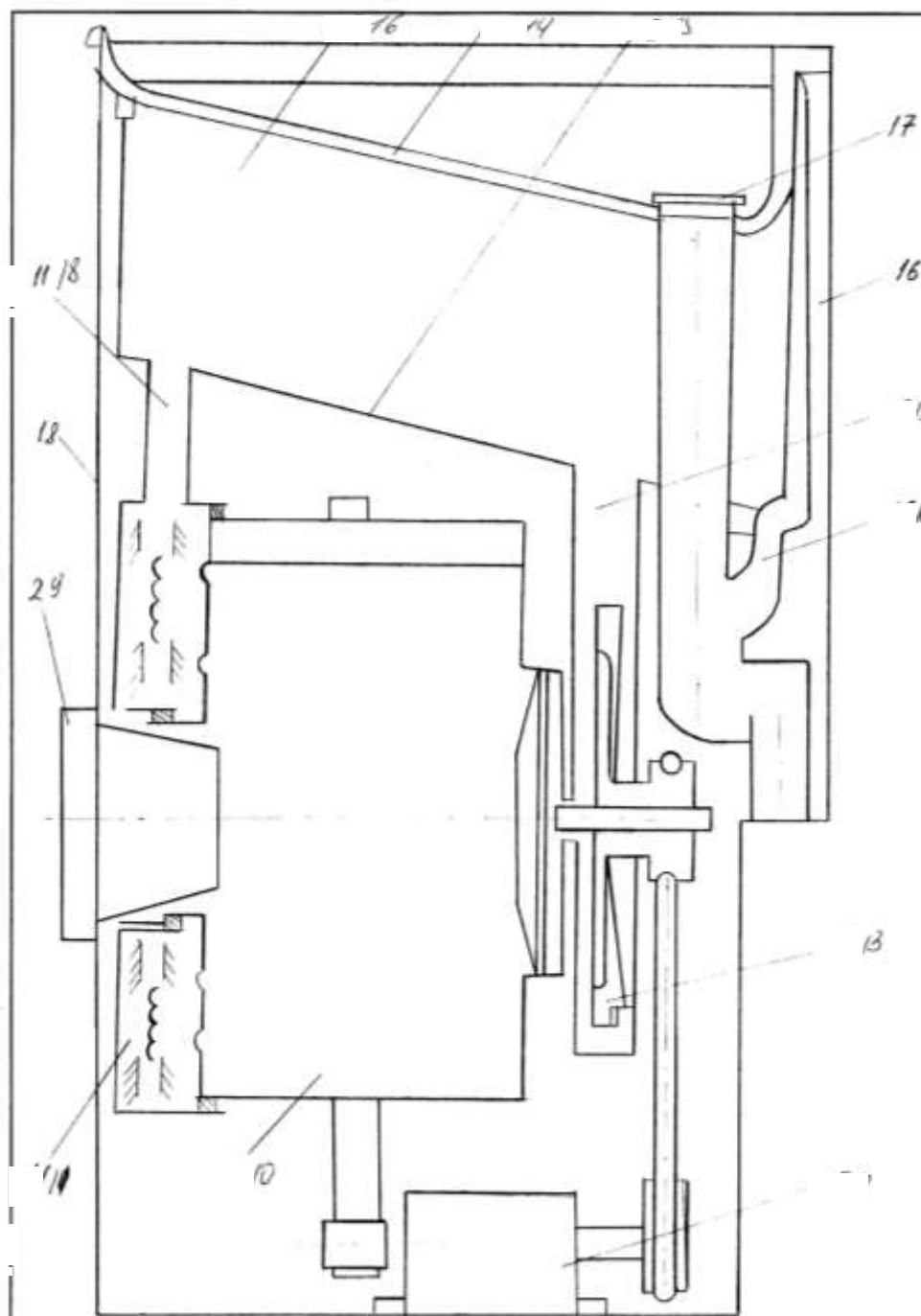


Рисунок 1.5 – Сушильна машина

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
25

Машина складається з барабана 10, встановленого в корпусі 8, нагрівача 11, приводу 12, вентилятора 13 і пристрою, що конденсує вологу з вологопоглинача над корпусом.

Конденсатор являє собою раковину 14 з піддоном 15. У процесі сушіння повітря потрапляє в зазор між раковиною 14 і піддоном 15, і волога, що міститься в повітрі, конденсується на холодній поверхні раковини. Конденсат зливається в дренажну трубу. Осушене повітря направляється в камеру з нагрівачем 4 для циркуляції.

Конденсат, відокремлений від повітря, під дією сили тяжіння потрапляє в конденсатозбірник 19 завдяки формі піддону 15, звідки зливною трубою 20 відводиться в зливну трубу 21 в раковині 14.

Нагріте нагрівачем повітря надходить у барабан, і процес сушарки повторюється.

Сушарка складається з барабана для продукту, встановленого в корпусі, вентилятора, нагрівача, каналів для циркуляції вологопоглинача і пристрою для конденсації вологопоглинача, обертально встановленого відносно горизонтальної осі обертання з метою зниження споживання енергії та збільшення продуктивності.

Пристрій для конденсації вологопоглинача містить раковину з теплопровідного матеріалу, розташовану над барабаном у верхній частині корпусу, яка містить холодну воду, і піддон, розташований під раковиною.

Існують сушарки для сушіння овочів і фруктів (рис. 1.6) [4]. Винахід належить до побутової техніки. Мета винаходу - зниження енерговитрат і підвищення продуктивності. На схемі сушарки із системою вторинної рекуперації парів вода також є системою вторинної рекуперації парів і повітряним теплообмінником. Машина складається з барабана 21, вентилятора 22, нагрівачів 23 і 24, конденсатовідвідника і конденсатопроводу системи розширення теплообмінника «повітря-повітря».



нагрівальним баром.

Існують сушарки для сушіння матеріалів (рис. 1.7) [5]. Цей винахід належить до машини з обертовим барабаном. Метою винаходу є зниження енергоспоживання та прискорення процесу сушіння.

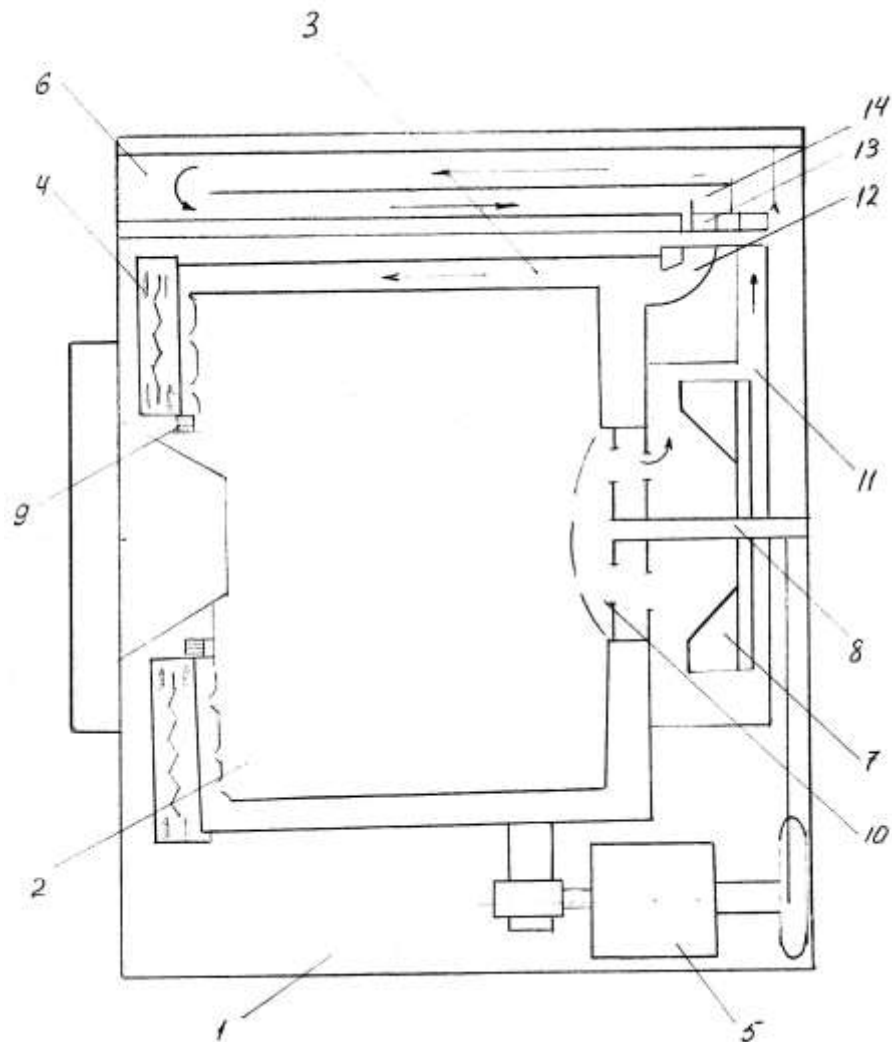


Рисунок 1.7 – Машина для сушіння овочів та фруктів

Сушарка оснащена горизонтальним барабаном 2 для продукту, встановленим в корпусі, що обертається, вентилятором 7, конденсатором, охолоджувачем і нагрівачем, виконаним у вигляді теплообмінника, встановленого до і після конденсатора, і нагрівальної камери з нагрівачем 4, який утворює замкнений контур для циркуляції повітря і зменшення споживання енергії, а також розподільчою камерою, встановленою після нагрівача та сполученою з

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

28

однією з торцевих стінок внутрішньої сторони барабана порожнистим лезом, щоб полегшити процес сушіння.

У розподільчій камері 12 і регенеративному теплообміннику 14 у крильовій щілині 3 барабана повітря попередньо нагрівається теплообмінником, а також холодним і гарячим повітрям перед надходженням до камери нагрівання. Це знижує кількість теплової енергії, необхідної для нагрівання повітря до заданої температури.

У результаті процес сушіння скорочується, а споживання енергії знижується за незмінної продуктивності машини, що підвищує її ефективність.

Крім того, попереднє охолодження повітря, що подається в конденсаторний блок, знижує витрати енергії на конденсацію вологи, що також підвищує ефективність машини за рахунок зниження енергоспоживання.

Регенеративний теплообмінник 14 оснащений попереднім охолоджувачем і попереднім нагрівачем.

## Висновки до розділу 1

Вивчивши конструкцію сушильного обладнання на основі патентної та технічної літератури, було зроблено висновок про доцільність використання сушильних шаф для сушіння в домашніх умовах.

Проаналізувавши наявне аналогічне обладнання, було зроблено висновок, що воно не має відповідних конструктивних і технічних параметрів, які забезпечують універсальність установки, зниження енергоспоживання в процесі сушіння та дають змогу використовувати ці сушильні агрегати як для побутових, так і для промислових потреб.

## 2 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ СХЕМИ ТА РОЗРАХУНКИ ДЛЯ КОНВЕКТИВНИХ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ

### 2.1 Порядок технічного розрахунку сушильного обладнання

Побутові шафи призначені для сушіння овочів, фруктів та інших продуктів, а також можуть використовуватися для сушіння інших продуктів (наприклад, риби, м'яса). До сучасних побутових сушильних шаф висувається низка вимог, серед яких технічні, конструктивні та експлуатаційні.

Побутові шафи мають відповідати таким технічним параметрам, як висока продуктивність сушильного агрегату, висока якість процесу сушіння, короткий час сушіння і низьке споживання енергії в процесі сушіння. За конструктивними параметрами побутова шафа має бути легкою, щоб вона не була громіздкою, мала невеликі габаритні розміри і не перешкоджала транспортуванню агрегату. Експлуатаційні параметри пристрою мають відповідати всім санітарно-гігієнічним нормам і нормам пожежної безпеки.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка конструкції побутової універсальної сушарки з поліпшеними технічними, конструктивними та експлуатаційними характеристиками.

Розрахунки для сушильної установки виконуються в такому порядку:

1) на основі запропонованих потужностей складається матеріальний баланс сушильної установки. Для кожної зони визначте кількість води, що випаровується, за годину, кількість одержуваного висушеного продукту та інші параметри;

2) Під час складання теплового балансу сушарки визначте витрату тепла, пари, палива і вологопоглиначу; 3. Визначте кількість води, що випаровується, за годину, кількість одержуваного висушеного продукту та інші параметри; 4. Якщо процес сушіння відбувається за високих температур ( $> 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), то сушарку розраховують, виходячи із зимових умов. Використовуються середні зна-

чення для найхолоднішого місяця року.

У разі низькотемпературного сушіння тепловий баланс розраховується окремо для зими і літа. У цьому випадку витрата електроенергії (палива) на сушарку розраховується для зимового сезону.

Вентиляційну систему обирають виходячи з витрати вологопоглинача (повітря), розрахованої для літнього сезону. Це пов'язано з тим, що в теплу пору року повітря в атмосфері більш насичене вологою, що збільшує витрату вологопоглинача, необхідного для сушіння продукту.

3) Після визначення необхідного режиму сушіння і розрахунку витрати вологопоглинача необхідно розрахувати масу і поверхню теплопередачі продукту. Ці параметри безпосередньо відображають продуктивність розрахованої сушарки.

4) після визначення поверхонь маси і теплообміну визначають габаритні розміри сушильної камери;

5) на цьому етапі розраховують допоміжне обладнання сушарки, наприклад, вибір термостата і системи вентиляції;

б) в основу розрахунку сушарки також входить визначення питомого тепла, споживаної потужності і вологопоглинача (за необхідності).

Усі розраховані параметри зводяться в техніко-економічні характеристики сушарки.

## 2.2 Теплотехнічна схема конвективної сушарки

На практиці найчастіше використовують сушильні установки, що працюють на паливному газі та з частковою рециркуляцією вологопоглинача.

Теплові розрахунки сушильних установок виконуються аналітично або графічно з використанням I-X діаграм стану вологого повітря. Аналітичний метод розрахунку з використанням графіків широко застосовується в техніці, оскільки він економічний, простий і наочний.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		





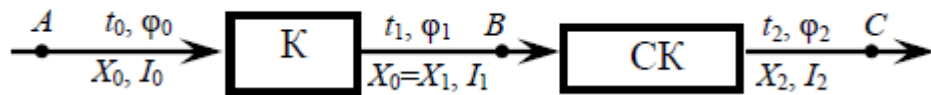


Рисунок 2.2 – Схема осушувача повітря з одним вологопоглиначем

Для розрахунку та конструювання необхідно знати два параметри зовнішнього повітря. Зазвичай це початкові значення температури  $t_0$  і вологості  $X_0$  на вході в калорифер (К) і  $t_1$  і  $t_2$  або на виході з калорифера або сушильної камери (С).

Сушіння з частковою рециркуляцією вологопоглинача. Одним зі способів підвищення ефективності використання повітря є рециркуляція частини повітря, що виходить із сушарки, шляхом змішування його зі свіжим повітрям перед подачею в нагрівач або сушильну камеру. Це дає змогу повернути частину тепла в сушарку.

За однакових температурних умов, що вищий  $X$  на вході і виході та вологопоглинача в сушарці, то вища теплова ефективність (що вищий коефіцієнт рециркуляції  $K_p$ , то нижча питома витрата тепла). Що вищий  $X$  на вході і виході, то рівномірніше можна висушити матеріал у щадному режимі.

Коефіцієнт рециркуляції  $K_p$  - це відношення обсягу сухого рециркуляційного  $L_p$  до обсягу сухого змішаного (свіжого) вологопоглинача  $L_0$ :

$$K_p = \frac{L_p}{L_0} \quad (2.2)$$

Принципово можливі повернення та змішання деякої частини, відпрацьованого повітря перед сушаркою та перед калорифером.

Для заданої температури вологопоглинача  $t_1$  і коефіцієнта рециркуляції  $K_p$  невелику кількість свіжого повітря з параметрами точки А необхідно



них міркуваннях.

### 2.3 Матеріальний баланс у конвективному сушінні та сушильному обладнанні

Мета розрахунку матеріального балансу сушарки - визначити кількість вологи, що випаровується в сушарці за одиницю часу, і витрату вологого або сухого матеріалу.

Маса вологи, що випарувалася з матеріалу, і маса вологого і сухого матеріалу виражаються в рівнянні матеріального балансу.

$$W = G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_2}, \quad (2.3)$$

$$W = G_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{1 - \omega_1}, \quad (2.4)$$

де  $G_1, G_2$  – вага вологої та сухої речовини, відповідно., кг;

$\omega_1, \omega_2$  – початковий і кінцевий вміст вологи в матеріалі у відносних одиницях, відповідно.

За умови відсутності припливу повітря з сушильної шафи і підсосу зовнішнього повітря маса сухої частини вологопоглинача, що проходить через систему, постійна.

У цьому разі баланс вологості матеріалу конвективної сушарки з одноразовим використанням вологопоглинача в кг/с має такий вигляд:

$$G_1 = G_2 + W \quad (2.5)$$

$$G_1(1 - \omega_1) = G_2(1 - \omega_2) \quad (2.6)$$

Кількість вологи, що видаляється з продукту за годину, залежить від потужності побутової сушарки та відносної вологості овочів, фруктів та інших продуктів, що підлягають сушінню, і визначається за такою формулою:

$$W = \frac{P \cdot \varphi_n}{100} \quad (2.7)$$

де  $P$  - продуктивність шаф, кг/год, приймаємо  $P = 1$  кг/год.

$\varphi_n$  - початкова відносна вологість продукції,  $\varphi_n = 50\%$ .

$$W = \frac{1 \cdot 50}{100} = 0,5 \text{ кг/год.}$$

#### 2.4 Внутрішній баланс сушильної камери

Величина  $\Delta$ , звана внутрішнім балансом сушильної камери, являє собою різницю між тепловим входом безпосередньо в сушильну камеру і тепловим виходом, за виключенням тепла від вологопоглинача:

$$q = q_{el} - (q_m + q_{o.e} + q_{mp} + q_n) \quad (2.8)$$

Питома теплота випаровування води дорівнює такому рівнянню:

$$q_{el} = C_{el} \cdot \Theta_1 \quad (2.9)$$

де  $C_{el}$  – питома теплоємність води, видаленої з матеріалу за його початкової температури  $\Theta_1$ ; для води  $c_v = 4,19$  кДж/(кг·К).

Питома витрата тепла на нагрівання висушеної сировини наступна:

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$q_m = \frac{G_2(1 - \omega_2)C_{c.m}(\Theta_1 - \Theta_2)}{W} \quad (2.10)$$

Питома теплоємність абсолютно сухих речовин  $C_{c.m}$  знаходимо по [13, додаток 1].

Температура матеріалу приймається рівною температурі вологого термометра за середніх параметрів навколишнього середовища. У зимових умовах допускається приймати  $\theta_1 = 0^\circ\text{C}$  (якщо матеріал зберігається в приміщенні). В іншому разі необхідно враховувати додаткову витрату тепла на нагрівання і відтавання замерзлої вільної води в матеріалі.

Рекомендується, щоб температура  $\theta_2$  висушеного матеріалу в м'якому режимі зберігання була на  $10-15^\circ\text{C}$  вищою, ніж температура змочування, яка визначається параметрами вологопоглинача на вході в сушарку. У жорсткому режимі сушіння температура матеріалу наближається до температури кипіння води.

Питома витрата тепла на нагрівання залишкової вологи в матеріалі розраховується за таким рівнянням:

$$q_{o.e} = \frac{G_2\omega_2C_g(\Theta_2 - \Theta_1)}{W} \quad (2.11)$$

де  $C_g$  – середня питома теплоємність вологи.

Питомі втрати тепла на нагрівання транспортного обладнання (візків, конвеєрів тощо) розраховують з урахуванням маси  $G_{tr}$  транспортного обладнання, що проходить через сушарку в одиницю часу:

$$q_{mp} = \frac{G_{mp}C_{mp}(t_{TK} - t_{Tn})}{W} \quad (2.12)$$

де  $G_{mp}$  – маса обладнання, що транспортується, яке проходить через сушарку



Положення цієї точки визначається співвідношенням відрізків  $CM/AM = K_p$ , яке чисельно дорівнює коефіцієнту рециркуляції.  $K_p$  зазвичай визначається за розрахунковою часткою рециклату  $G_p$ , вираженою у відсотках від загального обсягу суміші:

$$G_p = \frac{K_p}{K_p + 1} 100\% \quad (2.14)$$

Звідки,

$$K_p = \frac{G_p}{100 - G_p} \quad (2.15)$$

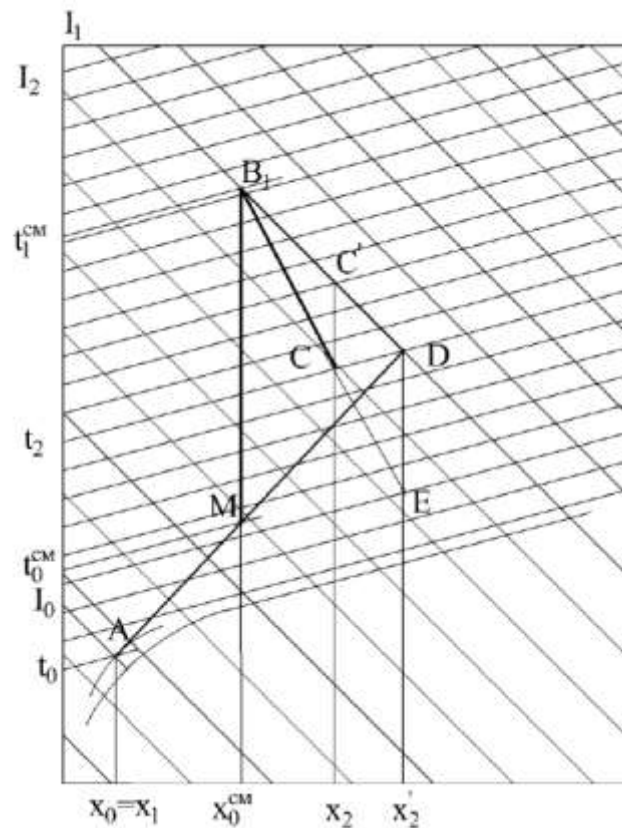


Рисунок 2.4 – I-X діаграма процесу сушіння з частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря

$$K_p = \frac{L_p}{L} = \frac{X_{oc.c} - X_o}{X_2 - X_{oc.c}} \quad (2.16)$$

Вміст вологи у вологопоглиначі після змішування на вході в нагрівач визначається за такою формулою:

$$X_{oc.c} = \frac{X_o + nX_2}{1 + n_p} \quad (2.16)$$

Точка перетину В характеризує склад повітря на вході в сушильну камеру, а ізотерма  $t_{1cm}$  - температуру суміші на вході в сушильну камеру.

Якщо задана величина  $K_p$  невідома, а склад припливного і витяжного повітря (т. А і С) і допустима температура нагріву суміші  $t_{1cm}$  задані, то положення точки В визначається перетином прямої  $I_2 = I_1 = const$ , проведеної з точки С, і заданої  $t_{1cm} = const$ . Положення точки М ( $t_{0cm}$ ,  $\varphi_{0cm}$ ,  $X_{0cm}$ ) визначається перпендикуляром, проведеним із точки В1 до лінії АС.

Процес сушіння загалом представлений ламаною лінією АМВС, де на діаграмі І-Х лінія АМ представляє змішування свіжого і витяжного повітря, лінія МВ - нагрівання суміші в калорифері, а лінія ВС - теоретичний процес сушіння в сушильній камері.

Фактичний процес сушіння будується так само, як і в повітроосушувачах зі звичайними методами сушіння.

## 2.5 Розрахунок теплового балансу сушки

Для теплових розрахунків під час конвективного сушіння необхідно знати об'єм осушуваного повітря  $M_v$  (кг/с), який визначається з балансу вологості:

$$M_B = X_{вх} = M_B \cdot X_{вих} + W \quad (2.17)$$

де  $X_{\text{вх}}$  - вміст вологи в повітрі на виході з сушарки, кг/кг повітря;  
 $X_{\text{вих}}$  - вміст вологи в повітрі на вході в сушарку, кг/кг повітря.

Тоді,

$$M_{\text{в}} = \frac{W}{X_{\text{вх}} - X_{\text{вих}}} \quad (2.18)$$

Значення  $X_{\text{вх}}$  та  $X_{\text{вих}}$  визначаються по  $H$ - $X$  діаграмах вологого повітря,  $X_{\text{вх}} = 26$ ,  $X_{\text{вих}} = 20$ .

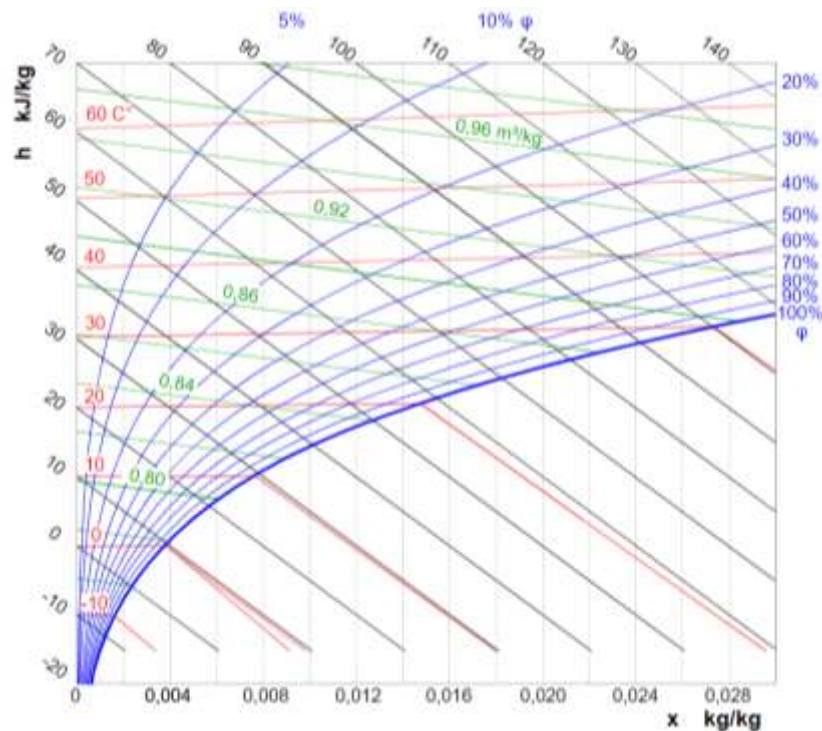


Рисунок 2.1 -  $I - d$  ( $H$ - $x$ ) діаграма вологи повітря

$$M_{\text{в}} = \frac{0,5}{26 - 20} = 0,083 \text{ кг/с}$$

Ефективність сушильної установки визначається відношенням продуктивності до 1 кг випаруваної вологи.

Витрата повітря для сушіння на 1 кг випаровуваної вологи:

$$l = \frac{L}{W} \quad (2.19)$$

$$l = \frac{476,6}{0,5} = 880,6 \text{ кг повітря/кг вологи}$$

## 2.6 Тепловий баланс у сушильних шафах

Загальна кількість тепла в сушильній шафі така:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (2.20)$$

де  $Q_1$  - витрати тепла на нагрів продуктів;

$Q_2$  - витрата тепла на нагрів вологи, яка видаляється із продуктів;

$Q_3$  - витрати тепла на випаровування вологи із продуктів;

$Q_4$  - витрати тепла нагрітим поверхням шафи у навколишнє середовище;

$Q_5$  - витрата тепла із видаленого з шафи повітря.

Витрата тепла на нагрівання продукту визначається за таким рівнянням:

$$Q_1 = P \cdot C_{\bar{b}} (t_{н.б} - t_{н.с}) \quad (2.21)$$

де  $C_{\bar{b}}$  - теплоємності продуктів в повітряно-сухому станах,  $C_{\bar{b}}=1,7$  кДжС./кг.

$t_{н.б}$  - кінцева температура продукції,  $t_{н.б} = 50$  °С.

$t_{н.с}$  - температура зовнішнього середовища,  $t_{н.с} = 25$  °С.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Тоді за формулою  $l_t$  одержимо

$$l_t = \frac{1000}{26 - 20} = 166,6 \text{ кг повітря/ кг вологи.}$$

$$\frac{\Delta}{l_{cm}} = \frac{212,5}{416} = 0,5$$

Давайте подивимося на діаграму процесу сушіння. З будь-якої точки на лінії В-С вертикальний відрізок прямої:

$$cE = ef \frac{\Delta}{m} \quad (2.25)$$

де  $m = 1000 \frac{m_1}{m_d}$  та проводимо з точки В<sub>1</sub> відрізок дійсного значення процесу

В<sub>1</sub>С<sub>1</sub> до визначеного значення  $t_2$ .

Величина відрізка  $cE = ef \frac{\Delta}{m}$ , де  $m = 1000 \frac{m_3}{m_d}$ .

Підставимо  $m_3 = 0,89$   $m_d = 0,44$ .  $ef = 27$  мм і знаходимо  $cE$ .

$$cE = 27 \frac{83,3}{200} = 1,12 \text{ мм.}$$

Процес повного висихання визначається таким чином  $AMB_1C_1M$ .

При реальному сушінні рециркуляція знижує витрату тепла. Із трикутнього рівняння  $ABC$  та  $MB_1C_1$ . бачимо, що  $\frac{AB}{DC} > \frac{MB_1}{DC_1}$ , а це означає, що витрати тепла без рециркуляції більші.

Уся витрата повітря, що викидається в атмосферу

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$l_{c.в} = \frac{1000}{d_2 - d_0} \quad (2.26)$$

$$l_{c.в} = \frac{1000}{25,5 - 14} = 86,2 \text{ кг повітря/кг}$$

Витрату вологи і загальну витрату повітря, що циркулює в сушарці, можна розрахувати за таким рівнянням:

$$l_{cm} = \frac{1000}{d_2 - d_{cm}} \quad (2.27)$$

$$l_{cm} = \frac{1000}{25,6 - 20} = 178,5 \text{ кг повітря/кг вологи.}$$

Загальна кількість повітря, що використовується для сушіння.

$$L = l_{cm} \cdot W \quad (2.28)$$

$$L = 178,5 \cdot 0,5 = 246,7 \text{ кг повітря/г}$$

Результати перевіряються за формулою:

$$L = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{C_{c.n} + \frac{C_n - d_{cm}}{1000} (t_2 - t_y)} \quad (2.29)$$

де  $C_{c.n}$  - теплоємність сухого повітря,  $C_{c.n} = 1 \text{ кДж/кг.}$

$C_n$  - теплоємність водяної пари,  $C_n = 1,96 \text{ кДж/кг.}$

$t_2$  - температура повітря, яке потрапляє у сушильну камеру,  $^{\circ}\text{C}$ .

$t_y$  - температура повітря, яке виходиться камери,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$L = \frac{215,5 + 261,5 + 5949}{1 + \frac{1,96 - 20}{1000}(65 - 50)} = 212 \text{ кг повітря/г.}$$

Підставимо у формулу значення  $d_y$  та  $d_n$  знайдем

$$Q_5 = 2,5(240 + 0,47 \cdot 20) \frac{50 - 40}{25,6 - 20} = 4555,2 \text{ кДж/г.}$$

Сумарні витрати тепла

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + A \quad (2.30)$$

де  $A$  - неврахована витрата тепла, приймаємо  $A = 5\%$  від  $Q_c$ .

$$Q_c = 212,5 + 261,6 + 5949 + 549 = 11527 \text{ кДж/г}$$

Загальна кількість споживаного тепла розраховується за такою формулою

$$Q_c = L_0(I_2 - I_3) \quad (2.31)$$

де  $I_2$  - утримання тепла гарячого повітря, нагрітого до  $t_2 = 65^{\circ}\text{C}$ .

$I_3$  - утримання тепла зовнішнім повітрям, що надходить у сушильну ка-

					<i>MPMA 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

меру.,  $t_3 = 40^{\circ}\text{C}$ .

Підставивши це значення, загальна вартість стає рівною

$$Q_c = 446,2(118 - 92) = 11601,2 \text{ кДж/г.}$$

## 2.7 Розрахунок коефіцієнта теплопередачі

Для розрахунку конвективного теплообміну використовується емпіричне рівняння, що встановлює залежність критерію Нуссельта  $Nu = \alpha l / \lambda$  від критерію Рейнольдса  $Re = \rho v l / \mu$ . де  $v$  - середня швидкість газу, а  $l$  - визначальний лінійний розмір. Коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт кінематичної в'язкості  $\nu$ , питома теплоємність  $C_p$  і критерій Прандтля ( $Pr$ ) обирають із таблиці фізичних властивостей повітря за середньої температури вологопоглинача [13]. Середня температура вологопоглинача визначається за таким рівнянням:

$$t_{cp} = \Theta_m + \Delta t_{cp} \quad (2.32)$$

де  $\Theta_m$  – температура матеріалу.

Для розрахунку коефіцієнта конвективного теплообміну в поздовжньому потоці біля поверхні за турбулентної течії газу використовується таке рівняння:

$$Nu = 0,02 Re^{0,8} Pr^{0,4} \quad (2.33)$$

Лінійний розмір, який необхідно визначити - це еквівалентний діаметр каналу:

$$d_e = \frac{4S}{\Pi} \quad (2.34)$$

де  $S$  – живий (поперечний) перетин каналу;

$\Pi$  – замочений периметр каналу.

Коефіцієнт теплопередачі до частинок (фрагментів) матеріалу може бути розрахований за таким рівнянням  $Re > 1000$ :

$$Nu = 2 + 1,05 Re^{0,5} Pr^{0,33} Gu^{0,175} \quad (2.35)$$

Лінійний розмір, який необхідно визначити, - це діаметр частинки, шматка матеріалу або виробу. Якщо шматок матеріалу або виріб мають неправильну форму, його можна умовно прийняти за розмір, що визначає середнє геометричне:

$$l = \sqrt{l_{\max} \cdot l_{\min}} \quad (2.36)$$

де  $l_{\max}$  і  $l_{\min}$  – максимальні та мінімальні розміри матеріалів і виробів.

Введений у рівняння критерій Гуффмана враховує ефекти масо- і теплообміну:

$$Gu = \frac{(t_{cp} - t_m)}{(273 - t_{cp})} \quad (2.37)$$

де  $t_{cp}$  - середня температури газу (гарячого повітря), °С;

$t_m$  - температура вологого термометра, °С.

Висновки до розділу 2

У цьому розділі аналізуються методи сушіння та обирається найбільш енергоефективний метод - конвективне сушіння з частковою циркуляцією повітря.

Розраховано матеріальний баланс, внутрішній баланс і тепловий баланс для конвективного сушіння та сушильного обладнання.

Розраховано загальне споживання тепла в процесі сушіння матеріалу.

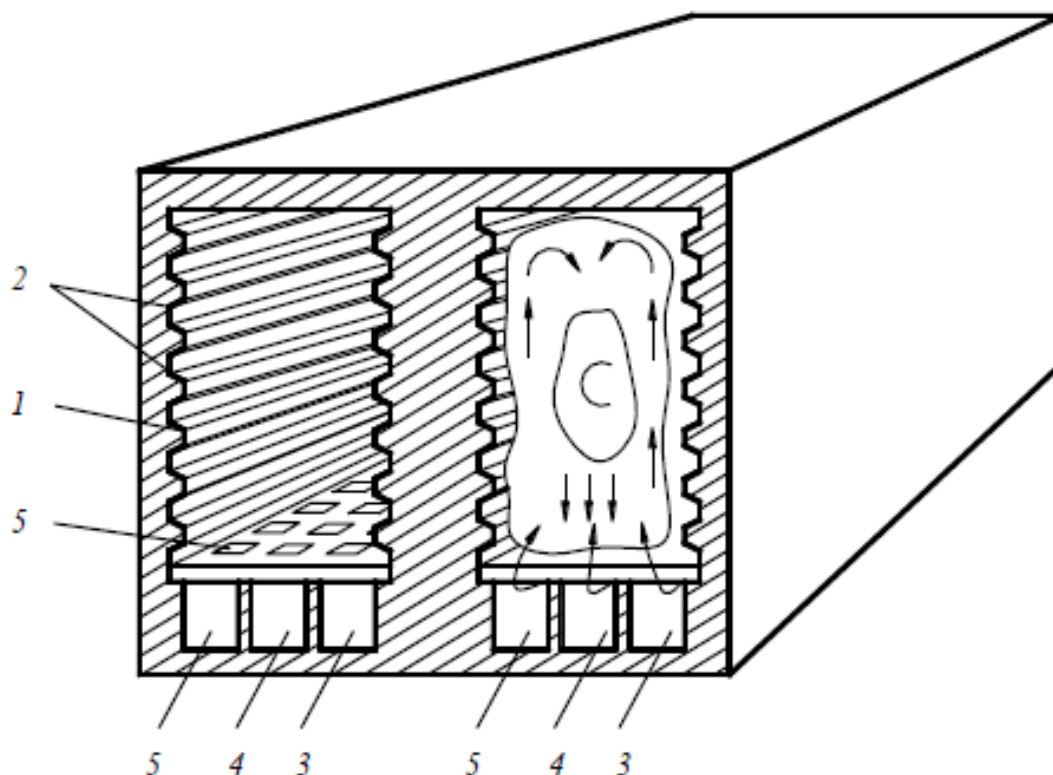
Наводяться формули для визначення мінімальної та максимальної швидкості матеріалу в процесі конвективного сушіння.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3 ПРОЕКТНІ РОЗРАХУНКИ ДЛЯ ПОБУТОВИХ СУШАРОК

#### 3.1 Принцип роботи побутових сушильних машин конвективного типу

До таких сушарок належать сушарки з нерухомими полицями і колективним рухом повітря в камері. Схема найпростішої камерної сушарки з фіксованою полицею показана на рис. 3.1.



1 – камера; 2 – виступи; 3, 5 – канали для подачі сушильного агента;  
4 – канал для відводу сушильного агента; 5 – настили

Рисунок 3.1 – Схема камерної сушарки з фіксованими полицями:

Камера 1 має фіксовану довжину і висоту, залежно від проєктної місткості, і призначена для розміщення полиць із матеріалами. Ці полиці розміщуються на полицях у камері 2. Нижче рівня підлоги розташовані три водяні канали 3, 4 і 5, причому водяні канали 3 і 5 розташовані по обидва боки для подачі вологопоглиначача, а водяний канал 4 - посередині для відведення волого-

поглинача.

Водяні канали покриті підлоговим покриттям з отворами 6. Кожна камера може бути з'єднана в блоки і забезпечуватися спільною подачею деззасобу з каналами шляхом примусової витяжки.

Вологопоглинач подається в камеру через канали 3 і 5 і, будучи легшим за повітря, що займає робочий об'єм камери, піднімається вгору (вказано стрілками на рис. 3.1), поки його густина не зрівняється з густиною повітря в камері в процесі охолодження. Дорогою нагрітий вологопоглинач починає рухатися вниз, передаючи тепло холоднішому матеріалу, який поступово зменшується, потрапляє в нижній проточний канал 4 і викидається в атмосферу.

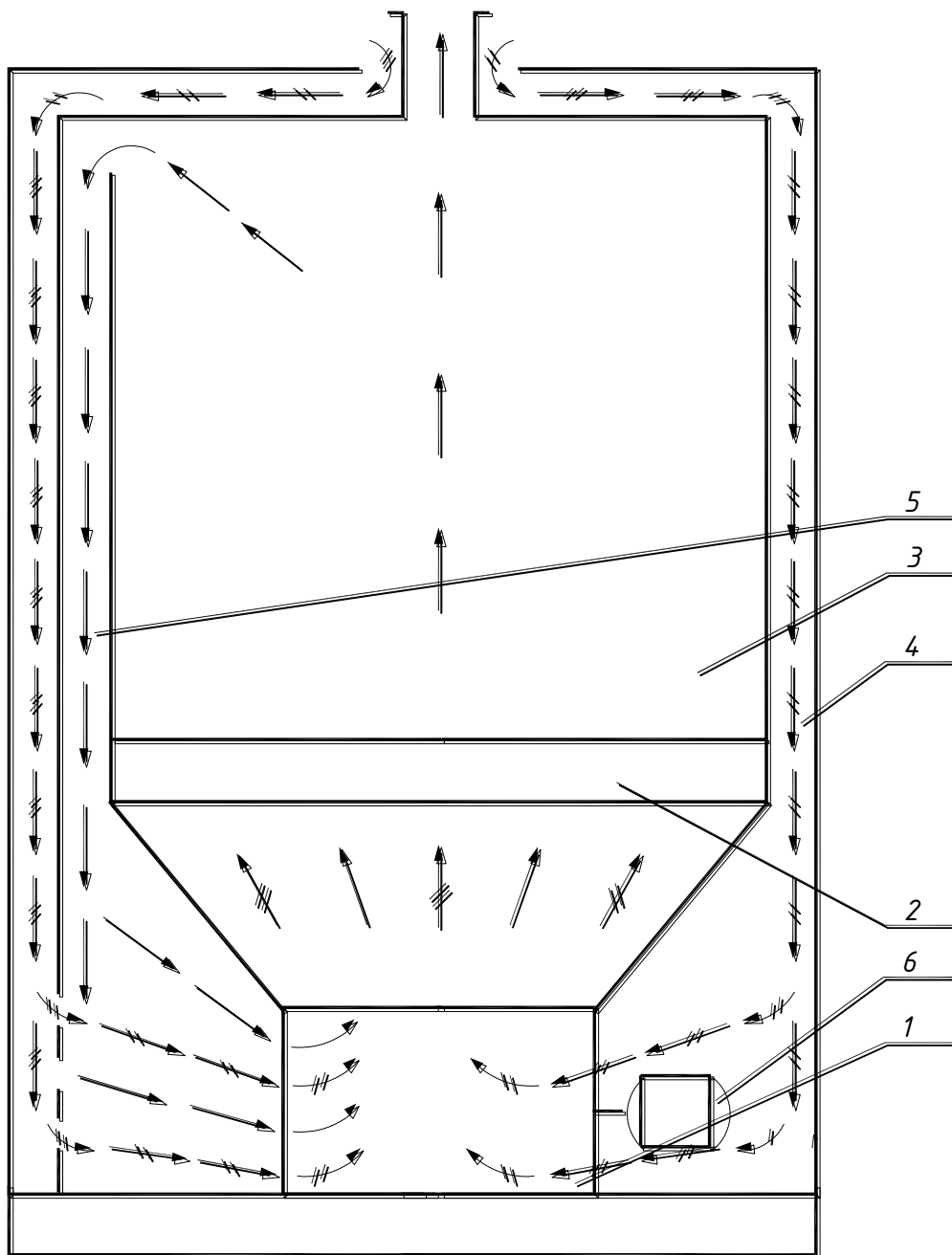
Змішування висхідного і низхідного потоків вологопоглинача викликає багаторазову циркуляцію, що призводить до рівномірного сушіння продукту. У середині сушарки є зона слабкого сушіння, куди опускається вологопоглинач. Процес у цій зоні може бути поліпшений за рахунок збільшення швидкості вологопоглинача і зниження початкової температури.

Температура газів, що відходять, на початку циклу становить 25-30°C, підвищуючись до 50-55°C наприкінці циклу. Швидкість газу в камері становить 2,5-3,5 м/с, а вакуум підтримується в межах 10 Па.

На рис. 3.2 показано основні компоненти конвективної сушарки та напрямки руху повітря в ній. Сушильна шафа складається з вентилятора 1 для переміщення повітря, сушильного відділення 3, трубчастого нагрівального елемента 2 для нагріву повітря, повітропроводу 4 для подачі гарячого повітря і повітропроводу 5 для відведення гарячого повітря.

Сушильні шафи призначені для сушіння овочів і фруктів. Сушильна шафа являє собою прямокутний корпус із вентилятором і нагрівачем у нижній частині, панеллю керування та витяжною трубою у верхній частині. Корпус має подвійну стінку, при цьому міжстійковий простір з'єднано з атмосферою верхнім отвором, а нижнім отвором - з'єднано з всмоктуючим отвором вентилятора.





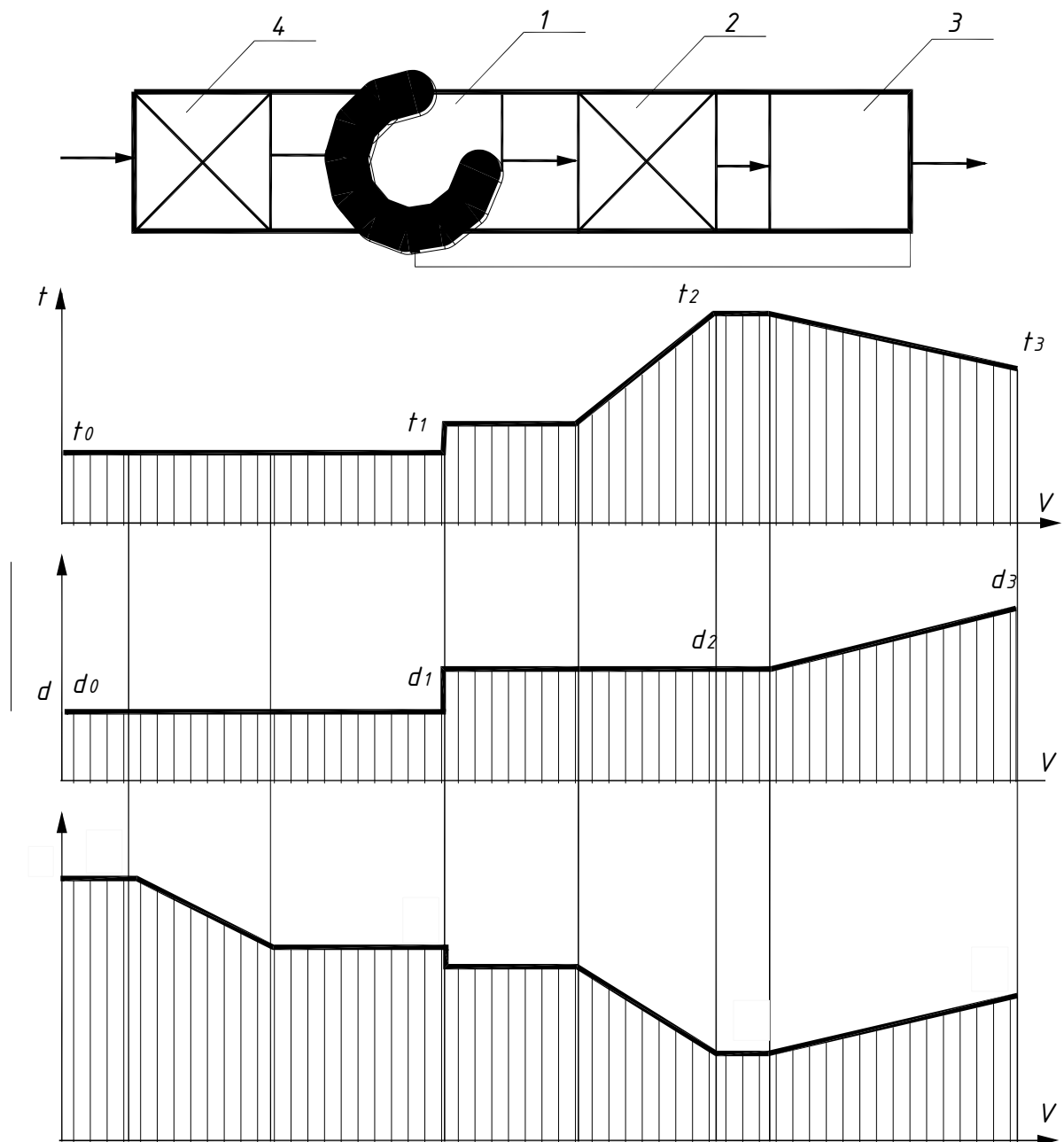
- > нагріте повітря  
 - - - - -> холодне повітря  
 1 - вентилятор  
 2 - трубчаті електричні нагрівачі (ТЕНи)  
 3 - сушильний відсік  
 4 - повітропровід подачі холодного повітря  
 5 - повітропровід подачі гарячого відпрацьованого повітря  
 6 - повітропровід

Рисунок 3.2 – Сушіння в конвекційних сушильних шафах із частковою циркуляцією повітря

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Діаграма сушки з допомогою повітря показана на рис. 3.3.



Умовні позначення  
 1 - вентилятор  
 2 - електронагрівач  
 3 - сушильний відсік  
 4 - повітропровід подачі холодного повітря

$t$  - температура повітря  
 $d$  - вологовмісткість повітря  
 $\varphi$  - відносна вологість повітря

Рисунок 3.3 – Діаграма сушки з допомогою повітря у сушильній шафі

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

55

Повітря з приміщення попередньо нагрівається до температури за рахунок контакту з нагрітими стінами сушильної камери та подається у вентилятор 1 повітропроводом 4. При цьому вміст вологи в повітрі підтримується постійним, а його відносна вологість становить . Частина витяжного повітря з параметрами. Коли потік повітря в барабані вентилятора перемішується, повітря з параметрами надходить до нагрівального елемента і температура на виході з нього . підвищується до , а відносна вологість . Відносна вологість знижується до . У сушильній камері температура падає до , оскільки тепло втрачається під час випаровування вологи. У процесі випаровування повітря зволожується, і його вміст вологи збільшується до . Відносна вологість повітря падає до . Відносна вологість падає до.

### 3.2 Розрахунок об'єму сушильної камери

Розмір сушарки значною мірою залежить від інтенсивності процесу теплообміну.

Загальну кількість тепла, що споживається за секунду в процесі сушіння, можна визначити за таким рівнянням:

$$Q_0 = L(I_1 - I_0) \quad (3.1)$$

З цієї втрати тепла, віднімаючи втрати тепла на нагрівання транспортно-го обладнання та навколишнього середовища, виходить кількість тепла, переданого висушуваному матеріалу в робочому об'ємі сушарки за секунду:

$$Q = Q_0 - W(q_{mp} + q_n) \quad (3.2)$$

Якщо співвідношення між поверхнею теплообміну і масою матеріалу відома, наприклад, під час сушіння виробу, розраховують коефіцієнт теплопере-

дачі  $\alpha$  і поверхню теплообміну:

$$S_T = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.3)$$

де  $\Delta t_{cp}$  - середній температурний напір, °С.

Робочий об'єм сушарки вибирають із розрахункового значення поверхні теплообміну з продуктом (матеріалом) у сушарці.

В іншому разі для безпосереднього розрахунку робочого об'єму сушарки використовується об'ємний коефіцієнт теплопередачі  $\alpha_v$  або об'ємний коефіцієнт тепломасопередачі  $K_v$ .

Для розрахунку робочого об'єму сушарки,  $V_p$ , використовується рівняння для теплопередачі від вологопоглинача до матеріалу:

$$V_p = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.4)$$

Інтенсивність теплообміну в сушарці характеризується величиною продуктивності  $\pi$  робочого об'єму по відношенню до вологи:

$$A_v = \frac{W}{V_p} \quad (3.5)$$

Об'ємний коефіцієнт тепломасопереносу  $K_v$  розраховується виходячи з продуктивності сушарки [13]. Цей коефіцієнт сильно залежить від характеристик сушіння і кінцевого вмісту вологи в висушуваному матеріалі.

Середній температурний напір розраховується за таким рівнянням:



$$Q_n = K \cdot \Delta t_{cp} S_{cm} \quad (3.8)$$

Теплопровідність  $K$  розраховується за допомогою рівняння для багатошарових плоских стінок:

$$K = \frac{1}{\left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right)} \quad (3.9)$$

де  $\delta$  та  $\lambda$  – товщина і теплопровідність підкладкового та ізоляційного шарів відповідно.

Коефіцієнт теплопередачі від сушильного агрегату до внутрішньої стінки вище за потоком розраховується за такою стандартною формулою:

$$Nu = 0,66 Re^{0,5} Pr^{0,33} \quad \text{при} \quad Re < 5 \cdot 10^5 \quad (3.10)$$

$$Nu = 0,037 Re^{0,8} Pr^{0,43} \quad \text{при} \quad Re > 5 \cdot 10^5 \quad (3.11)$$

Визначальним лінійним розміром у критеріях  $Nu$  і  $Re$  у цьому разі є довжина стіни  $l$  у напрямку потоку газу.

Якщо сушарка встановлена всередині приміщення, то загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок конвекції та випромінювання від зовнішньої поверхні стіни до зовнішнього повітря знаходиться за емпіричною формулою:

$$\alpha_2 = 9,74 + 0,07(t_{cm} - t_e) \quad (3.12)$$

де  $t_{ст}$  – температура зовнішніх поверхонь стінок;

$t_b$  – температура зовнішнього середовища ( $t_b = 20^\circ\text{C}$ ).

Температура зовнішньої стіни сушарки не повинна перевищувати 40-50 $^\circ\text{C}$ . Товщина облицювання та ізоляції вибирається відповідно до цих умов. Приблизну товщину футерування з внутрішньої сторони металевго корпусу наведено в [13, Додаток 14].

Зовні сушарки або корпусу димоходу може бути нанесено додатковий ізоляційний шар товщиною 60-100 мм. Питомі втрати тепла в навколишнє середовище визначаються за таким рівнянням.:

$$q_n = \frac{Q_n}{W} \quad (3.13)$$

де  $W$  – маса води, що видаляється з висушеного матеріалу за одну секунду.

Теплопровідність ізоляції було обрано з довідника [18].

### 3.4 Розрахунок трубчастих нагрівачів (ТЕНів)

Потужність (кВт) нагрівального елемента визначається за таким рівнянням

$$P = W \cdot F \quad (3.14)$$

де  $W$  - питома потужність ТЕНів, Вт/см<sup>2</sup>;

$F$  - поверхня теплопередач (активна поверхня нагрівача), м<sup>2</sup>.

Знайте номінальну теплову потужність  $Q_c = 11601,2$  кДж/г або  $Q_c = 3222$  Дж/с потужність установки може бути визначена.

$$P_{уст} = K \cdot P_{роз.г} \quad (3.15)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де  $K$  - коефіцієнт безпеки, що враховує необхідність збільшення потужності через старіння нагрівачів, можливі перепади напруги і збільшення витрат у процесі експлуатації,  $K = 1,1 \dots 1,3$ . приймаємо  $K = 1,11$ .

$$P_{уст} = 1,11 \cdot 3222 = 3577 \text{ Вт.}$$

встановлена потужність

$$P_{уст} = 3600 \text{ Вт.}$$

Виходячи зі встановленої потужності, можна визначити поверхню теплопередачі, тобто активну поверхню нагрівача.

$$F_{акт} = \frac{P_{уст}}{10W_{доd}} \quad (3.16)$$

де  $W_{доd}$  - граничне значення навантаження,  $W_{доd} = 4,5$ .

$$F_{акт} = \frac{3,6}{10 \cdot 4,5} = 0,08 \text{ м}^2.$$

Визначимо скільки обігрівачів потрібно

$$n = \frac{F_{акт}}{F_{1акт}} \quad (3.17)$$

де  $F_{1акт} = \pi d_n l_n \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .

$d_n$  - діаметр нагрівача, мм.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

$l$  - довжина нагрівача, м.

$$n = \frac{F_{акт}}{\pi \cdot d \cdot l_{акт} \cdot 10^{-3}} \quad (3.18)$$

Крім того, необхідна кількість обігрівачів має відповідати таким умовам:

$$n = \frac{P_{уст}}{P_1} \quad (3.19)$$

де  $P_1$  - потужність одного нагрівача.

На підставі цих двох параметрів з каталогу вибирають тип електронагрівача.

Нагрівач ТЕН - 85/0,4 S220 має наступні характеристики.

$P_1 = 0,4$  кВт;  $d_n = 13$  мм;  $l = 0,85$  м.

$$n = \frac{3,6}{0,4} = 9 \text{ штук.}$$

Залежно від максимального навантаження кількість нагрівачів має бути такою

$$n = \frac{0,08}{3,14 \cdot 13 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}} = 6,3 \text{ штуки.}$$

Умови завантаження дотримано, тому кінцева сушильна шафа матиме такий вигляд ТЕН- 85 А13/0,4 S220 ГОСТ 132Е8-88 в кількості 9 штук.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3.5 Розрахунок повітроосушувальних калориферів

Поверхня теплопередачі  $S_T$  нагрівача визначається за рівнянням теплопередачі:

$$S_T = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.20)$$

Загальна кількість тепла  $Q_0$ , яку отримує повітря в калорифері за секунду, розраховується за таким рівнянням (2.26).

Середній температурний напір розраховується за такою формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\lg \left( \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \right)} \quad (3.21)$$

У цьому разі температурні напори  $t_{\delta}$  і  $t_m$  наприкінці теплообмінника розраховують як різницю між температурою нагрітої пари  $t_1$  (що дорівнює температурі насичення пари за заданого тиску) і температурою повітря на вході  $t_2H$  або виході  $t_2k$  нагрівача:

$$\Delta t_{\delta} = t_1 - \Theta_m \quad \Delta t_m = t_2 - \Theta_m \quad (3.22)$$

Коефіцієнт теплопередачі  $K$  пластинчастого нагрівача для обігріву парою розраховується за емпіричною формулою:

$$K = 14,1(\rho v)^{0,66} \quad (3.23)$$

Рекомендована швидкість вітру  $v = 7 \dots 10$  кг/(м<sup>2</sup> с). Для ребристих нагрівачів значення коефіцієнта теплопередачі залежно від масової швидкості повітря  $v$  наведено в [13, Додаток 18].

Секції нагрівача встановлюють паралельно вздовж повітряного потоку для отримання рекомендованої швидкості повітря в ньому та послідовно за напрямком вітру для створення необхідної поверхні теплопередачі.

Визначаємо необхідне число  $n_k$  послідовно встановлених секцій калорифера:

$$n_k = \frac{S_T}{S_C} \quad (3.24)$$

Розміри та поверхня теплопередачі  $S_C$  однієї секції пластинчастого нагрівача відповідають ДСТУ 7201-90 і секціям ребристого нагрівача [13, Додаток 17]. Фактичну кількість секцій вибирають із запасом у 15-20% порівняно з розрахунковим значенням.

Для визначення кількості паралельно встановлених секцій калорифера  $n_v$  розраховується середня масова швидкість повітря в калорифері.:

$$\rho v = \frac{L}{S} \quad (3.25)$$

де  $L$  – абсолютна витрата сухого повітря;

$S$  – площа поперечного перерізу паралельно з'єднаних секцій за ходом повітряного потоку.

Якщо фактична швидкість вітру  $v$  значно відрізняється від попередньо ро-

зрахованої  $\nu_p$ , кількість паралельно з'єднаних секцій нагрівача,

$$n_s = \frac{\rho \nu}{\rho \nu_{np}} \quad (3.26)$$

Перепад тиску під час проходження повітря через секцію нагрівача можна розрахувати за такою формулою

$$\Delta p = 2,75(\rho \nu)^{1,7} \quad (3.27)$$

в орєбреному калорифері великої моделі

$$\Delta p = 4,4(\rho \nu)^{1,85} \quad (3.28)$$

### 3.6 Розрахунок необхідної продуктивності вентилятора

Вентилятори характеризуються витратою  $V_m$  (м<sup>3</sup>/год) і перепадом тиску між вихідним і вхідним патрубками, званим тиском вентилятора  $p_f$ . Вентилятори слід вибирати з деяким запасом міцності за витратою і тиском.

Розрахункова витрата  $V_n$  вентилятора, встановленого на повітряній стороні повітропроводу, визначається за таким рівнянням.:

$$V_n = \frac{\beta \cdot L}{\rho} \quad (3.29)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт запасу, рівний 1,05;

$L$  – витрата сухого повітря;  $L = 212$  м<sup>3</sup>/год

$\rho$  – щільність повітря,  $\rho = 1,06$  кг/ м<sup>3</sup> при температурі  $t = 50-65$  °С/

$$V_n = \frac{1,05 \cdot 212}{1,06} = 210 \text{ м}^3/\text{год}$$

Розрахункова витрата вентилятора (системи димовидалення), встановленого на газовій стороні повітропроводу, становить:

$$V'_n = \beta' V_T \quad (3.30)$$

де  $V_T$  – Об'ємна витрата газу в системі пиловловлювання;

$\beta'$  – Коефіцієнт безпеки, що враховує також всмоктування повітря системою пиловловлювання  $\beta' = 1,1 \dots 1,2$ .

Розрахунковий тиск вентилятора визначається таким рівнянням:

$$p_n = \beta_2 \Delta p \quad (3.31)$$

де  $\beta_2$  – коефіцієнт запасу, рівний 1,1;

$\Delta p$  – повний опір тиску води на ділянках трубопроводів, що перебувають під тиском. ( $p_{\text{тиск}}$ ) або під розрідженням ( $p_{\text{розр}}$ ).

Оскільки заводські характеристики вентилятора зазвичай наводять для повітря з температурою, відмінною від розрахункової, під час вибору вентилятора слід використовувати задане розрахункове значення тиску, що відрізняється від значення  $p_n$  на поправочний коефіцієнт  $K_p$ , що враховує різницю в густині газу в розрахункових і заводських умовах:

$$p_{n,p} = K_p p_n \quad (3.31)$$

$$K_p = \frac{\rho_0}{\rho_2} \frac{273}{273 + t_{\text{зав}}} \quad (3.32)$$

де  $\rho_0$  – густина повітря при нормальних умовах;

$\rho_r$  – густина газу (повітря) біля вентилятора (приблизно рівна щільності сушильного газу  $\rho_2$  на виході із сушарки);

$t_{зав}$  – температура повітря відповідно до характеристик установки, °С.

Виберіть вентилятор із витратою  $V_f$  і тиском  $p_f$ , які відповідають розрахунковим значенням  $V_g$  і  $p_{f.p}$  або трохи перевищують їх, відповідно до заводських характеристик, і визначте швидкість обертання та ККД вентилятора за розрахункової витрати  $V_f$ . Розрахункове значення ККД у принципі має становити не менше 90% від максимального значення ККД, визначеного за характеристиками вентилятора.

Було обрано вентилятор типу ВДН-8 зі швидкістю обертання 750 об/хв, витратою 4,8 тис. м, повним тиском 600 Па і споживаною потужністю 1 кВт..

### 3.7 Розробка електричних схем для побутових конвективних сушарок

Для забезпечення надійної роботи конвекційних сушарок необхідно підібрати необхідне електрообладнання.

Електрообладнання містить у собі вентилятор ВДН-8 потужністю 1 кВт і електродвигун ДАТС 90 ЛВ493 за ГОСТ 133-84, для регулювання потужності нагріву гарячого повітря використовується резистор ОНЛП-05-510, ОЖО 467. 10Т ТУ і конденсатор М6Г0.ОЖО.462. 124, кнопковий і контактний вимикач ВПК 2110БУ 2ТУ16-525322-88, індикаторні лампи служать для індикації режиму роботи осушувача..

### 3.8 Встановлення універсальних шаф для процесів сушіння

Шафу встановлюють на звичайну поверхню підлоги, тому основа не потрібна.

Якщо термостійкий підлоговий матеріал недоступний, під опорну плас-

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



## Висновок до третього розділу

Для теплообмінників заводу розробили економічну конструкцію з погляду енергоспоживання і обрали нову систему вентиляції, що значно підвищило енерго-ефективність заводу.

Конструкція вийшла більш компактною порівняно з аналогічними продуктами. Це знижує витрату матеріалів, необхідних для виробництва.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі наводиться огляд літератури щодо конструкції та технічних характеристик універсальних сушильних шаф, а також розглядаються технології сушіння в сушильних шафах.

На основі проаналізованої конструкції ми розробили і створили універсальну шафу для сушіння продуктів, яка вирізняється особливою простотою в експлуатації та оптимальними експлуатаційними параметрами.

Було обрано найбільш енергоефективний метод сушіння продукту - сушіння з частковою рециркуляцією відпрацьованого повітря.

Було розраховано тепловий і масовий баланс установки для сушіння продуктів.

Було розраховано об'єм сушильної камери і встановлено нагрівальні елементи в сушильній шафі.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



12. Гриценко О.П., Шаповалов С.М. Інтеграція сенсорних технологій у побутові сушарки // "Журнал технічних інновацій." - 2022. - № 114. - С. 70-78.

13. Петренко Л.В., Савчук О.В. Енергоефективність побутових сушарок нового покоління // "Технічний вісник України." - 2016. - № 115. - С. 88-96.

14. Бондар О.В., Гончаренко А.М. Розробка конструкції побутових сушарок з додатковими функціями // "Інженерні рішення." - 2017. - № 116. - С. 60-68.

15. Ткаченко А.М., Кузьменко І.В. Інноваційні системи автоматизації сушильних пристроїв // "Технічні системи та їх автоматизація." - 2018. - № 117. - С. 90-97.

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		72

# ДОДАТКИ

					<i>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

