

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут
ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»

Директор інституту (декан факультету)

(підпис) **Сергій БЛАЖЕНКО**
(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) **Микола ЯКИМЧУК**
(ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв
на тему: Дослідження системи розподілу повітря в розпилювальній сушильній
установці А1-ОР2Ч з метою її удосконалення

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-3М

Бобровський Дмитро Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник **Лементар Святослав Юрійович**

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Інжиніринг харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри ТОКТП
проф. Микола ЯКИМЧУК

« ____ » _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Бобровського Дмитра Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження системи розподілу повітря в розпилювальній сушильній установці А1-ОР2Ч з метою її удосконалення»

Керівник проекту (роботи) Лементар Святослав Юрійович, канд. техн. наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» листопада 2023 р. № 940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи « 01 » лютого 2024р.

3. Вихідні дані до проекту роботи: технічний паспорт обладнання; кресленики обладнання; навчальна, нормативна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки: *реферат, зміст, перелік умовних позначень, термінів, вступ, аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження, розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження, дослідна частина та узагальнення результатів, розрахункова частина, принципи автоматизованого управління об'єктом проектування, заходи з охорони праці та охорони довкілля, маркетингове обґрунтування проекту, висновки, список використаних джерел, додатки.*

5. Перелік графічного матеріалу: загальний вигляд обладнання (1 аркуш); кресленики збіркових одиниць, вузлів та деталей (2 аркуші); технологія машинобудування (1 аркуш); автоматизація обладнання (1 аркуш); науково-дослідна робота (5 аркушів).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

Дата видачі завдання « » _____ 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Реферат. Зміст. Перелік умовних позначень, термінів	23.11.2023р.	
2	Вступ. Аналіз сучасного стану об’єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження	08.12.2023р.	
3	Розробка нового технічного рішення об’єкту дослідження	12.12.2023р.	
4	Дослідна частина та узагальнення результатів	3.01.2024р.	
5	Розрахункова частина	10.01.2024р.	
6	Принципи автоматизованого управління об’єктом проектування	14.01.2024р.	
7	Заходи з охорони праці та охорони довкілля	18.01.2024р.	
8	Маркетингове обґрунтування проекту	21.01.2024р.	
9	Висновки. Список використаних джерел. Додатки	25.01.2024р.	
10	Графічна частина формату А1 – 10 шт.	29.01.2024р.	
11	Подання кваліфікаційної роботи на кафедру	01.02.2024р.	

Здобувач _____
(підпис)

Керівник проекту (роботи) _____
(підпис)

Дмитро БОБРОВСЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

Святослав ЛЕМЕНТАР
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Актуальність теми. Молочна промисловість є однією з провідних галузей харчової промисловості України, а молокопродукти відіграють важливу роль у постачанні високопоживних речовин і біологічних продуктів в організм людей при харчуванні. Увага спеціалістів молочної промисловості спрямована на максимально повну переробку сировини, створення і широке використання в промисловості відповідних технологічних процесів та енергоефективного обладнання, які б зберігали сировинні, матеріальні та енергетичні ресурси.

Окремо потрібно виділити сухі молочні продукти, зокрема сухе молоко, як такі, що мають значний термін зберігання, високі якісні показники і тому широко розповсюджені на ринку. Для отримання сухих молокопродуктів вологий продукт висушують до заданого значення вологості. Сушіння є оптимальним способом одержання продуктів тривалого зберігання при максимальному збереженні їх вихідної якості без використання консервантів та харчових добавок.

Одним з традиційних методів сушіння є конвективний метод. Основними недоліками цього методу є довга тривалість процесу, висока температура сушильного агенту, значна енергоємність. Проте, технології сушіння сьогодення дають змогу отримувати продукти широкого асортименту з покращеними фізико-хімічними властивостями, котрі матимуть задану форму та тривалий термін зберігання без втрати якості. Одним із методів вдосконалення технології конвективного сушіння можна вважати застосування сушильних установок, зокрема розпилювальної сушарки.

В розпилювальних сушарках підготовлений розчин проходить через

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бадровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Вступ	221867.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

розпилювальний диск, що обертається з великою частотою, в наслідок чого частинки рідини диспергуються. Дрібнодисперсні частинки під впливом сушильного агенту (гарячого повітря), який подається в середину сушарки, швидко втрачають вологу.

Розвиток техніки і технології сушіння в молочній промисловості йде, в першу чергу, в напрямку досягнення високої якості вироблених продуктів. З цим пов'язане широке застосування процесу розпилювального сушіння для отримання сухого молока. З огляду на високу енергоємність цього процесу, завжди гостро стоять питання його оптимізації. Розрахунки розпилювальних сушарок базуються на узагальнених емпіричних даних, основу яких складають балансові рівняння, що не враховують ні локальну аеродинаміку, ні розподіл полів температур і вмісту вологи, висушуваних матеріалів і сушильного агента.

Враховуючи те, що на багатьох підприємствах обладнання відпрацювало свій ресурс і морально застаріло, що проявляється в завищених енерговитратах і недостатній якості оброблення молока, актуальним є питання або про модернізацію вказаних сушарок з метою забезпечення високої якості вироблюваних на них продуктів при відносно низьких енерговитратах, або про їх заміну на нове високоефективне обладнання. Більший пріоритет слід віддати вдосконаленню існуючого обладнання, оскільки капіталовкладення на це в рази менші за придбання нового обладнання.

Об'єкт досліджень – аеродинаміка потоку сушильного агенту у флюїдному дні сушильної установки А1-ОР2Ч під час сушіння молока.

Предмет досліджень – вузол досушування молока в киплячому шарі (флюїдне дно) розпилювальної сушильної установки А1-ОР2Ч.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження системи розподілу повітря в розпилювальній сушильній установці А1-ОР2Ч з метою її удосконалення.

Для досягнення поставленої мети сформовані такі завдання:

- розглянути теоретичні основи процесу сушіння;
- розглянути конструкції сушильного обладнання для виявлення його недоліків та запропонувати шляхи їх усунення;
- провести дослідження системи розподілу повітря в сушильній установці А1-ОР2Ч;
- на основі результатів наукового дослідження встановити ефективність запропонованого технічного рішення щодо вдосконалення сушильної установки А1-ОР2Ч.

Наукова новизна кваліфікаційної роботи полягає у вирішенні проблеми забезпечення рівномірної швидкості сушильного агенту над розподільчою решіткою флюїдного дна сушильної установки А1-ОР2Ч, що дасть змогу покращити процес сушіння сухого молока.

В процесі вирішення даної проблеми отримано такі нові наукові результати:

- сформовано модель для проведення CFD моделювання аеродинаміки сушильного агенту в флюїдному дні сушильної установки;
- отримано дані щодо впливу конструктивного виконання розподільчого пристрою у вигляді конічних вставок на аеродинаміку сушильного агенту в флюїдному дні.
- науково обґрунтовано раціональні розміри розподільчого пристрою.

Практичне значення кваліфікаційної роботи полягає в розробленні нової конструкції флюїдного дна сушильної установки А1-ОР2Ч, що забезпечує покращення процесу сушіння сухого молока.

ЗМІСТ

Вступ.....	
1. Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження.....	
1.1. Огляд літературних джерел, аналіз прогресивних конструкційних рішень.....	
1.1.1. Теоретичні основи процесу сушіння.....	
1.1.2. Конвекційне сушіння та обладнання для його здійснення.....	
1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдання дослідження.....	
1.3. Висновки.....	
2. Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження.....	
2.1. Постановка завдань нового технічного рішення, визначення необхідних технічних параметрів, розробка і опис нового технічного рішення, устрій та принцип його роботи.....	
2.2. Висновки.....	
3. Дослідна частина та узагальнення результатів.....	
3.1. Об'єкт та предмет досліджень.....	
3.2. Опис імітаційної моделі об'єкту досліджень та методика проведення досліджень.....	
3.3. Результати наукових досліджень та їх аналіз.....	
3.3.1. Результати дослідження аеродинаміки повітря в флюїдному дні штатної конструкції, їх аналіз.....	
3.3.2. Результати дослідження аеродинаміки повітря в флюїдному дні модернізованої конструкції, їх аналіз.....	
3.4. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування..	

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Зміст	221867.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

3.5. Висновки.....	
4. Розрахункова частина.....	
4.1. Технологічний розрахунок охолоджувача	
4.2. Тепловий розрахунок сушильної башти	
4.3. Розрахунок розпилювального диску.....	
4.4. Розрахунок приводу розпилювального диску.....	
4.5. Розрахунок пасової передачі розпилювального диску.....	
4.6. Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора для охолоджувача.....	
4.7. Перевірочний розрахунок калорифера для підігрівання повітря, що подається в охолоджувач.....	
4.8. Технологічний розрахунок вібраційної сушарки.....	
4.9. Розрахунок теплоізоляції.....	
4.10. Підбір конструкційних матеріалів.....	
4.11. Технологія машинобудування.....	
4.12. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання.....	
5. Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування.....	
6. Заходи з охорони праці та охорони довкілля.....	
6.1. Заходи з охорони праці.....	
6.2. Заходи з охорони довкілля.....	
7. Маркетингове обґрунтування проекту.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	
Додатки.....	

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Огляд літературних джерел, аналіз прогресивних конструкційних рішень

1.1.1. Теоретичні основи процесу сушіння

Сушіння, як спосіб видалення вологи з твердих і рідких матеріалів, набув найбільшого поширення. Процес сушіння пов'язаний з підведенням до висушуючого тіла тепла, за рахунок якого відбувається випаровування вологи. Для відведення вологи, яка випаровується, застосовуються сушильні агенти (повітря, перегріта пара, топкові гази), які насичуються вологою.

На рис. 1.1 показана принципова схема процесу сушіння. У сушарку надходить вологий матеріал, який контактує з гарячим повітрям, нагрівається, і в результаті відбувається випаровування вологи з поверхні матеріалу. Волога дифундує в повітря. Останнє не лише охолоджується але і зволожується. Таким чином, сушіння - це термічний процес видалення вологи, що відбувається внаслідок її випаровування і дифузії.

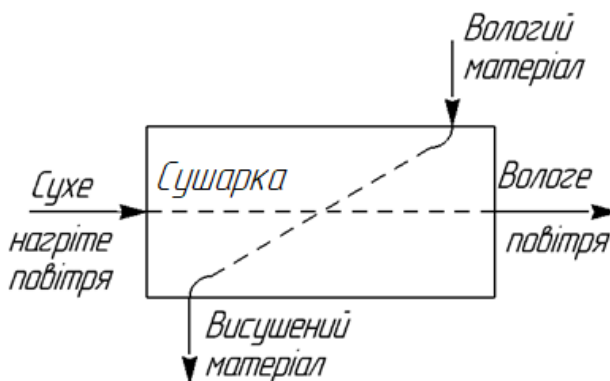


Рис. 1.1. Принципова схема процесу сушіння

Процес сушіння матеріалу складається з 3-х послідовних етапів:

- переміщення вологи з середини матеріалу до його поверхні;

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Аналіз сучасного стану об'єкта дослідження, вибір і обґрунтування напрямку дослідження		221867.KP.14.001.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/12

- пароутворення;
- переміщення пари від поверхні матеріалу в навколишнє повітря.

На поверхні вологого матеріалу утворюється прикордонний повітряно-паровий шар, який знаходиться в рівновазі з вологою матеріалу. Рушійною силою дифузії вологи з поверхні плівки в навколишнє середовище є різниця парціальних тисків:

$$\Delta P = P_n - P_e,$$

де: P_n - парціальний тиск водяної пари в прикордонному паровому шарі;

P_e - парціальний тиск водяної пари в навколишньому середовищі.

Кількість продифундованої пари:

$$m = B \cdot (P_n - P_e) \cdot F \cdot \tau,$$

де: B - коефіцієнт випаровування;

F - площа поверхні випаровування.

Спостерігаючи за зміною маси матеріалу в процесі сушіння будують криву сушіння. Крива сушіння будується в координатах W (вологість матеріалу) і τ (час). На рис.1.2 представлена принципова крива сушіння матеріалу.

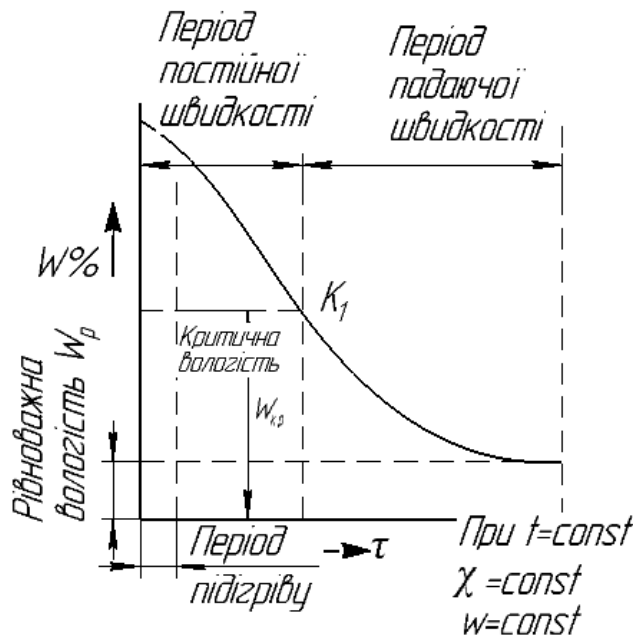


Рис.1.2. Принципова крива сушіння матеріалу

На початку сушіння впродовж незначного проміжку часу лінія сушіння має вигляд кривої - це період прогріву матеріалу. Потім починається період постійної швидкості сушіння. У цей період лінія сушіння має вигляд прямої. У точці K_1 , яка відповідає певній вологості матеріалу, характер лінії сушіння змінюється – вона стає кривою, асимптотично наближається до значення ω_p - рівномірної вологості при заданих умовах сушіння. У другому періоді швидкість сушіння безперервно зменшується.

Точка K_1 , яка розділяє сушіння на два періоди, називається критичною точкою, а вологість матеріалу, відповідна їй - критичною вологістю.

У перший період сушіння відбувається видалення вільної води (води макрокапілярів і змочування). У цей період тиск пари над матеріалом дорівнює тиску пари чистої рідини, що випаровується при тих же умовах.

Коли вільна вода повністю вилучена настає другий період - період видалення зв'язаної води. У цей період форма кривої сушіння залежить від характеру зв'язку води з матеріалом, а також від структури матеріалу, що обумовлює механізм переміщення води.

Крім кривої сушіння для аналізу процесу сушіння слугує крива швидкості сушіння (рис. 1.3). Для побудови її використовується крива сушіння.

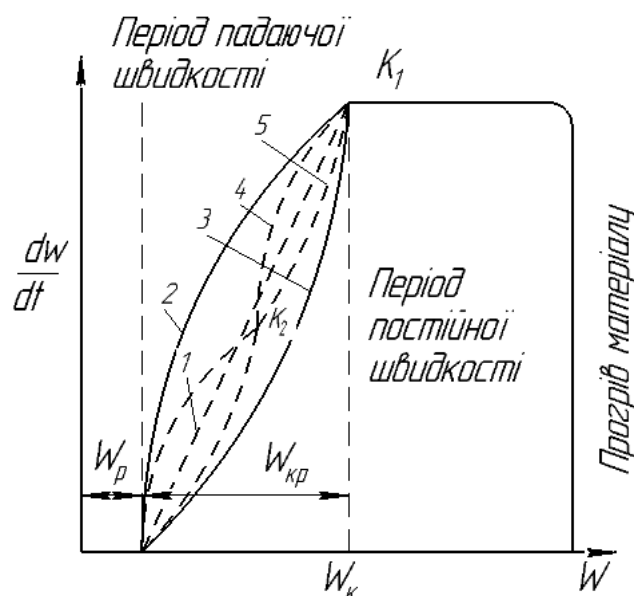


Рис.1.3. Крива швидкості сушіння

Якщо на цій кривій виміряти кут нахилу дотичної до кривої в різних точках, то значення $tg\varphi$ дорівнюватимуть похідній $d\omega/d\tau$, тобто швидкості сушіння. Якщо на горизонтальній осі відкласти вміст вологи в матеріалі у відсотках, а на вертикальній $d\omega/d\tau$ у відсотках на годину, отримаємо лінію, що називається кривою швидкості сушіння. У період постійної швидкості лінія буде горизонтальною. У період спадної швидкості характер кривих швидкості сушіння різний в залежності від характеру матеріалу і виду зв'язку в ньому вологи. На рис. 1.3 представлені криві швидкості сушіння в цей період. Всі вони закінчуються в точці, яка відповідає рівноважній вологості матеріалу, при якій $d\omega/d\tau = 0$.

Найпростіша лінія сушіння типу кривої 1 є прямою. Такі лінії дають грубо пористі матеріали (папір, тонкий картон). Лінії типу кривої 2 відповідають сушінні тканини, тонкої шкіри, макаронного тіста. Лінія типу кривої 3 характерна для пористих керамічних матеріалів. Ці криві мають лише одну критичну точку.

Матеріали більш складної структури мають більш складні криві швидкості сушіння. Крива 5, наприклад, характерна для сушіння сухарів, крива 4 - для сушіння глини. На цих кривих спостерігається друга критична точка. Ця точка відповідає границі вологості, при якій змінюється механізм переміщення вологи в матеріалі. Для багатьох матеріалів ця точка означає початок видалення адсорбційно-зв'язаної вологи, тоді як в перший період спадної швидкості сушіння видаляється волога мікрокапілярів.

Оптимальний режим сушіння вибирається з урахуванням максимально можливого збереження хімікобіологічних та фізичних властивостей вихідної речовини при найменшій енерговитраті. Кількість підведеного тепла до висушеного матеріалу та швидкість її відводу від поверхні тіла, а також інтенсивність переміщення вологи визначають ефективність самого процесу.

Залежно від властивостей висушуваних продуктів та умов технологічного процесу застосовують різні способи сушіння, що

забезпечують високу якість готового продукту, збереження його харчової цінності і раціональне ведення процесу. В даній кваліфікаційній роботі розглядається молоко, як матеріал, який підлягає сушінню.

Окремо потрібно відмітити питання енерговитрат на процес сушіння. В цілому на даний процес витрачається в 2,5...3 рази більше енергії, ніж потрібно для перетворення вологи в пару, тому виникає потреба в удосконаленні технології сушіння та обладнання для його здійснення на основі науково-обґрунтованих даних.

1.1.2. Конвекційне сушіння та обладнання для його здійснення

З економічної точки зору метод конвекційного сушіння слід застосовувати для продуктів, які знаходяться в стані наближеному до стану насичення або за умови здійснення в сушарці комбінованого гігротермічного способу оброблення. До таких матеріалів належить молоко, яке за допомогою конвекційного сушіння переробляється на сухе молоко.

Матеріал, який висушується в конвекційних сушарках, за допомогою обертових дисків або форсунок розпилюється (диспергується) в сушильну камеру (башту), де контактує з сушильним агентом. Завдяки значній поверхні випаровування досягається інтенсивний тепломасообмін між компонентами і утворені дрібнодисперсні краплі молока швидко віддають вологу. При висиханні сухе молоко під дією сили тяжіння опускається на дно сушарки, де накопичується і безперервно видаляється з сушильної зони.

При роботі сушарки деякий відсоток частинок сухого молока не осяде на дно сушарки, а видалиться разом з відпрацьованим сушильним агентом. В подальшому ці частинки будуть вловлені в пилоочисному обладнанні.

Розпилювальне сушіння має суттєві переваги над іншими видами сушіння сухого молока, такі як:

- висока продуктивність розпилювальних сушарок;

- суттєвий діапазон робочих температурних режимів у сушарці – 60...1200 °C;
- коротка тривалість сушіння (15...30 с);
- висушений продукт повністю придатний до використання, оскільки відсутня потреба у його подрібненні;
- легкість регулювання якісних показників висушеного сухого молока (розмір частинок порошку, температура, об'ємна вага, залишкова вологість) шляхом корегування режиму сушіння;
- використання сушіння методом розпилення дозволяє, здебільшого, спростити технологію екстракції сухого порошку. При цьому непотрібними стають такі операції, як подрібнення, центрифугування, фільтрація;
- розпилювальне сушіння унеможливорює потрапляння висушеного продукту у виробничі приміщення.

Однак, розпилювальне сушіння має і недоліки:

- даний метод сушіння характеризується доволі значними витратами енергоресурсів (електроенергії для розпилення рідини, витрати тепла на нагрівання значного об'єму сушильного агенту становлять 750...1400 ккал на 1 кг води);
- значна вартість устаткування для розпилення рідини та відділення сухого продукту від відпрацьованого сушильного агенту;
- отриманий порошок має низьке значення об'ємної ваги, тому виникає потреба його ущільнення (брикетування).

Що стосується досліджень процесу сушіння, то значні наукові досягнення у розвиток теорії і практики розпилювального сушіння були зроблені такими вченими як Г.М. Абрамовичем, Л.И. Кудряшовим, Н.Н. Ліпатовим, Г.А. Куком, W. Woo, J.N. Friedman, L.X. Huang та ін.

Починаючи з 50-х років минулого століття було зроблено багато спроб математичного опису процесу розпилювального сушіння на основі законів збереження імпульсу, тепла, маси. В багатьох випадках аналітичні моделі для

опису процесу сушіння та розрахунку розмірів обладнання є емпіричними, що призводить до значних похибок між прогнозованими даними та фактичними. Причиною цього є, зокрема, складна аеродинаміка потоків всередині сушарки та тепломасообмін між теплоносієм і матеріалом, які складно повноцінно аналітично врахувати.

Науково-технічний прогрес дозволив здійснювати дослідження процесу сушіння за допомогою методів обчислювальної гідрогазодинаміки (CFD – computational fluid dynamics), реалізованих у спеціалізованому програмному забезпеченні.

Так, Langrish та Zbicinski використали CFD моделювання для пошуку шляхів зменшення налипання продукту на стінках сушарки. На основі CFD моделювання встановлено, що використання перегрітої пари забезпечує більш ефективне теплоперенесення і сприяє пришвидшенню процесу розпилювального сушіння.

Беззаперечною перевагою числового CFD моделювання над аналітичними моделями є те, що при моделюванні рівняння імпульсу, маси та енергії вирішуються з урахуванням конструкції обладнання, умов підведення і відведення потоків. Завдяки цьому можна отримати адекватні дані для подальшого проектування обладнання.

Що стосується самого обладнання для сушіння молочних продуктів, то відомо багато його конструкцій, кожне з яких має свої переваги та недоліки. Розглянемо декілька типів розпилювальних сушарок.

Двостадійна установка з віброфлюїдизатором (рис. 1.4.) На рис. 1.4. показано принципову схему двостадійної установки з віброфлюїдизатором. Першою стадією є розпилювальне сушіння за дуже короткий проміжок часу. Цей період характеризується високими швидкістю сушіння й інтенсивністю дифузії вологи з частинок порошку, а також підвищеним вологовмістом продукту, який вивантажується з розпилювальної сушарки. Друга стадія процесу (досушування продукту до потрібної вологовмісту та його подальше

охлаждения) відбувається в окремому апараті за більш м'яких режимів термооброблення (сушіння при температурі не вище 120 °С і охолодження при 15 °С) і більшої тривалості.

Для проведення другої стадії використано вібраційні конвективні сушарки (інстантайзери або віброфлюїдизатори), в яких порошок переводять у псевдо зріджений стан за допомогою вібрації, а також потоком гарячого або холодного повітря, при цьому повітря є одночасно теплоносієм, що забезпечує термооброблення продукту до необхідних параметрів.

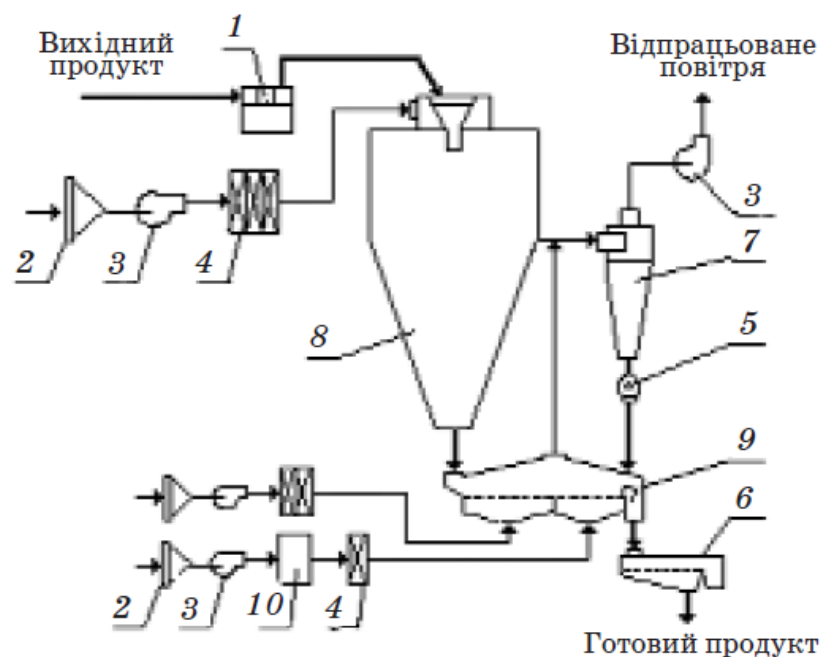


Рис. 1.4. Двостадійна установка з віброфлюїдизатором

Сушильна установка RSM-500 (рис. 1.5.). Сушильна установка RSM-500 складається з вертикальної сушильної башти 1 із конічним дном, циклонів 7, калорифера 12, бункера 6 для збирання сухого молока, розпилювального диску 2, системи пневмотранспорту 8.

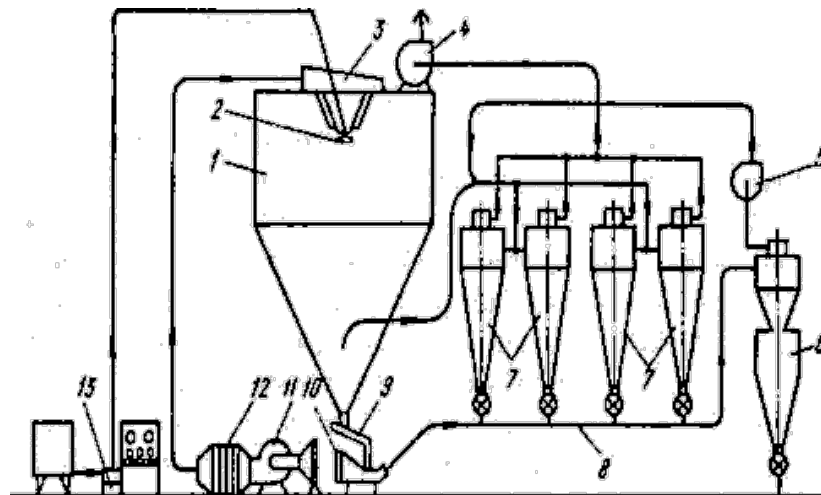


Рис. 1.5 Сушильна установка RSM-500

Сушильна вібраційна установка ОСВ-1 (рис. 1.6). Дана сушарка використовується для сушінні різних молочних продуктів, зокрема, незбираного молока. У сушарці ОСВ-1 сушіння відбувається в два етапи: перший в сушильній башті, другий - у вібраційній конвективній сушарці. У такій сушильній установці згущене молоко диспергується і висушується в потоці гарячого повітря. Далі одержаний молочний порошок надходить для кінцевої досушування та охолодження на вібраційну конвективну сушарку. Після завершення сушіння молочний порошок елеватором подається на вібраційне сито.

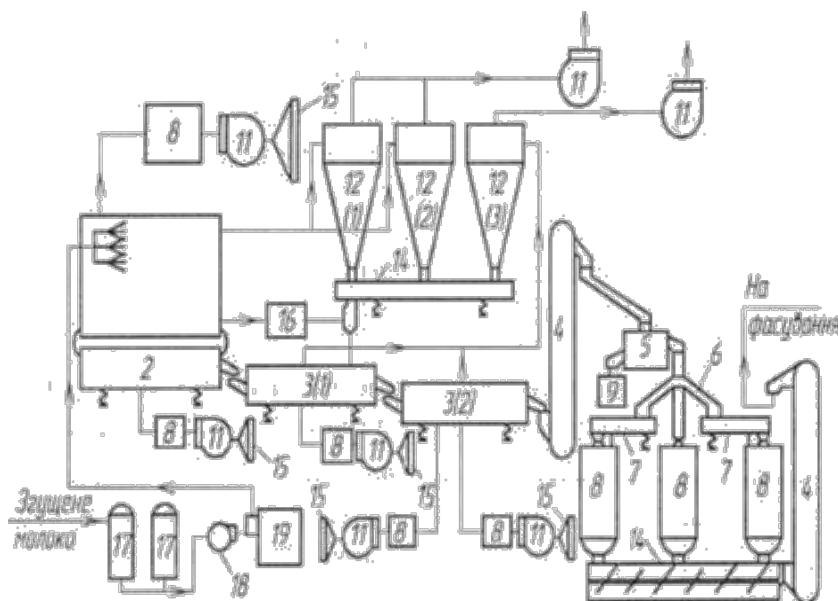


Рис. 1.6 Сушильна установка ОСВ-1

Продуктивність сушарки ОСВ-1 становить 900...1000 кг/год. Температура сушильного агента на вході в сушарку 160...180 °С, на виході – 95 °С.

Прямоточна розпилювальна сушарка з циклонним очищенням відпрацьованого повітря (рис.1.7). У такій сушарці продукт подається на розпилювальний диск. Очищене в фільтрі та нагріте в калорифері повітря через повітророзподільну голівку подається в середину башти. В нижній частині сушильної башти відпрацьоване повітря надходить спочатку в повітропровід, а потім в перший циклон. Тут сухий порошок опускається донизу, а очищене повітря вентилятором відводиться із сушарки. Порошок з першого циклона у другий циклон, повітря з якого вентилятором повертається у вивідний повітропровід.

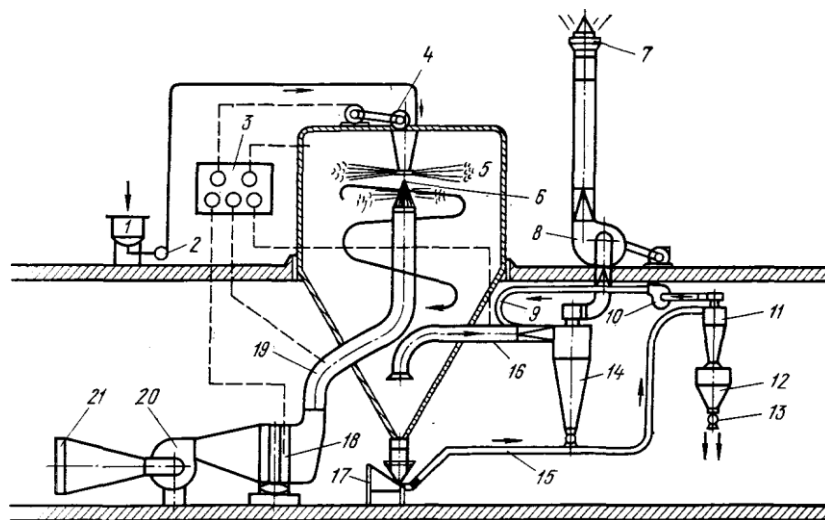


Рис. 1.7. Прямоточна розпилювальна сушарка з циклонним очищенням відпрацьованого повітря

Сушильна установка А1-ОР2Ч (рис. 1.8). Дана сушарка є тріступеневою: сушіння розпиленого молока в башті, сушіння в киплячому шарі та конвективне сушіння. Перший ступінь сушарки представляє собою розпилювальну сушарку у вигляді башти з циліндричної та конічної та частин, в якій за допомогою розпилювального диску розпилюється молоко. Повітря рухається паралельно з сухим молоком. На дні сушарки знаходиться

флюїдне дно, де продукт переміщається напівсухою масою. Після чого відбувається друга ступінь сушіння. Гаряче повітря виходить крізь шар молока, забираючи частину вологи. Сухе молоко на виході з башти потрапляє в доохолоджувач (інстантайзер – розділену на секції вібраційну конвективну установку), де в псевдокиплячому шарі окрім охолодження може, за потреби, досушуватися і агломеруватися.

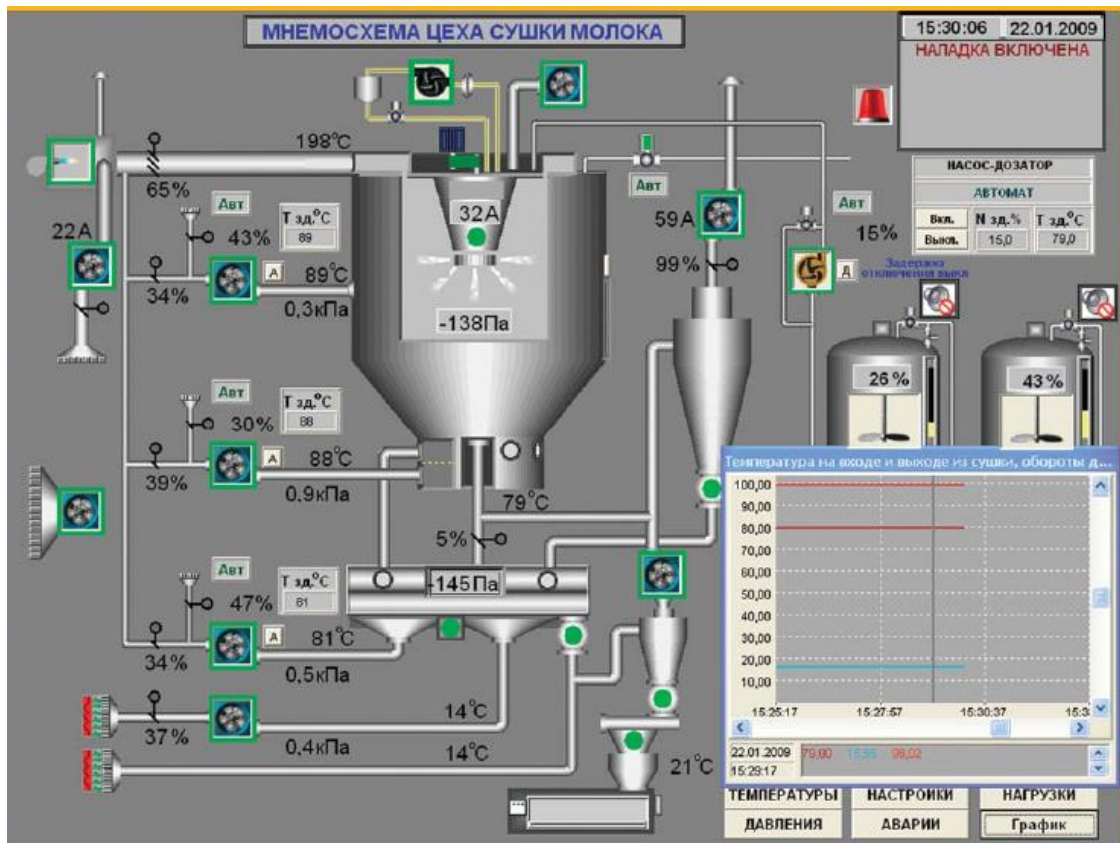


Рис. 1.8 Сушильна установка А1-ОР2Ч

1.2. Обґрунтування актуальності дослідження, формулювання мети та завдання дослідження

Щоб забезпечити раціональне використання енергоресурсів, високу якість продукту, мінімальний негативний вплив на навколишнє середовище потрібно детально досліджувати роботу обладнання та процеси, які у ньому відбуваються. Такі дослідження є актуальними повсякчас.

Проведений аналіз обладнання для проведення сушіння дозволив дійти до висновку, що найкращими є багатостадійні сушарки. Тому, модернізовувати доцільно саме такі сушарки, зокрема, сушарку А1-ОР2Ч.

Метою наукового дослідження є розроблення та обґрунтування технічного рішення для удосконалення конструкції флюїдного дна сушильної установки А1-ОР2Ч на основі результатів CFD моделювання.

Для досягнення визначеної мети потрібно:

- запропонувати технічне рішення для покращення процесу сушіння;
- розробити методику CFD моделювання аеродинаміки повітря у флюїдному дні сушарки та провести таке моделювання;
- на основі результатів моделювання обґрунтувати ефективність запропонованого технічного рішення.

1.3. Висновки

Сушіння є важливим етапом виробництва сухих молочних продуктів (сухого молока, сироватки казеїну), що впливає на якість і вартість готового продукту. Актуальним у покращенні процесу сушіння є пошук такої конструкції флюїдного дна сушарки, яка забезпечить найкраще розподілення повітря під і над його решіткою і, відповідно, приведе до покращення процесу досушування частинок сухого молока.

Науково-обґрунтовані рекомендації щодо проектування обладнання можна надати на основі результатів CFD моделювання. Таке моделювання є ефективне та економічно доцільне, оскільки не потребує створення дослідних зразків. Саме воно буде використане при проведенні наукових досліджень в даній кваліфікаційній роботі.

2. РОЗРОБКА НОВОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Постановка завдань нового технічного рішення, визначення необхідних технічних параметрів, розробка і опис нового технічного рішення, устрій та принцип його роботи

Проведений аналіз конструкцій розпилювальних сушарок дозволив встановити їх переваги та недоліки, і як результат, виявити однин із напрямків вдосконалення конструкції.

Метою вдосконалення обраної розпилювальної сушильної установки А1-ОР2Ч є покращення розподілення повітря, яке подається під решітку флюїдного дна, що приведе до інтенсифікації процесу сушіння за рахунок кращого досушування частинок сухого молока.

Суть інновації полягає в розміщенні у флюїдному дні сушарки конусних вставок (рис. 2.1.,б)

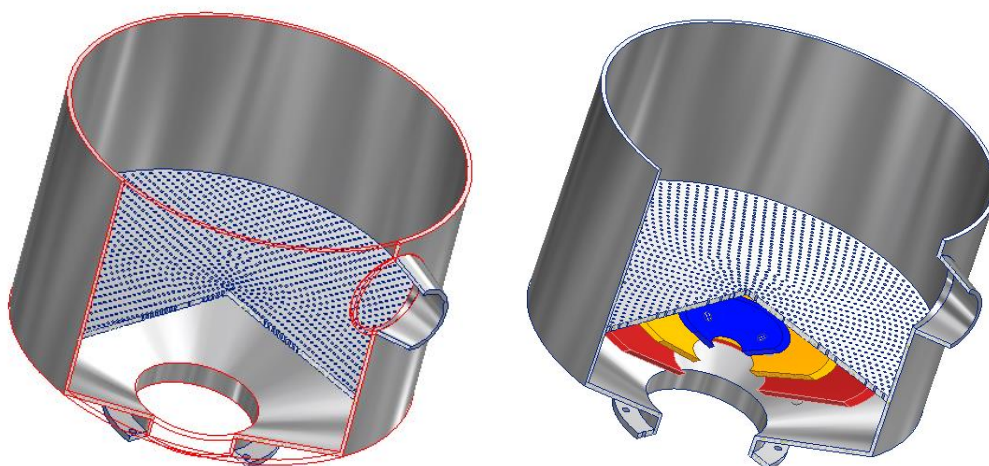


Рис. 2.1. Флюїдне дно сушарки:

а – до вдосконалення; б – після вдосконалення

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Розробка нового технічного рішення об'єкту дослідження		221867.KP.14.002.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.						
		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2		

До вдосконалення у флюїдному дні була лише решітка, під яку подається повітря (рис. 2.1, а). При проходженні через отвори в решітці гаряче повітря додатково досушує частинки молока, які опускаються на неї з дна сушарки. При цьому, основна маса потоку повітря зосереджена в центральній частині решітки за рахунок відсутності пристрою для забезпечення рівномірного розподілення потоку сушильного агенту по всій решітці.

В запропонованій конструкції флюїдного дна сушарки (рис. 2.1, б) під решітками встановлено три концентричні конусні вставки, які забезпечують покращення процесу сушіння за рахунок кращого розподілення сушильного агенту по площі решітки при проходженні через зазор між вставками. Розміри та розміщення конусних вставок будуть визначатися на основі результатів CFD моделювання аеродинаміки потоку повітря.

2.2. Висновки

Для покращення процесу сушіння пропонується нове технічне рішення в конструкції флюїдного дна сушарки А1-ОР2Ч. Для підтвердження його ефективності необхідно здійснити моделювання аеродинаміки повітря.

3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1. Об'єкт та предмет досліджень

Об'єктом досліджень є аеродинаміка потоку сушильного агенту у флюїдному дні сушильної установки А1-ОР2Ч під час сушіння молока.

Предметом досліджень є вузол досушування молока в киплячому шарі (флюїдне дно) розпилювальної сушильної установки А1-ОР2Ч..

3.2. Опис імітаційної моделі об'єкту досліджень та методика проведення досліджень

Розвиток комп'ютерної техніки та програмного забезпечення дав змогу змоделювати і дослідити динаміку рідин і газів за допомогою спеціалізованих програмних засобів. В даній кваліфікаційній роботі CFD моделювання параметрів потоку сушильного агенту всередині флюїдного дна сушильної установки А1-ОР2Ч проводиться за допомогою академічної версії програмного комплексу ANSYS CFX.

Для проведення числового моделювання аеродинаміки повітря в САПР Autodesk Inventor створено декілька варіантів 3D моделей флюїдного дна сушильної установки (рис. 3.1.):

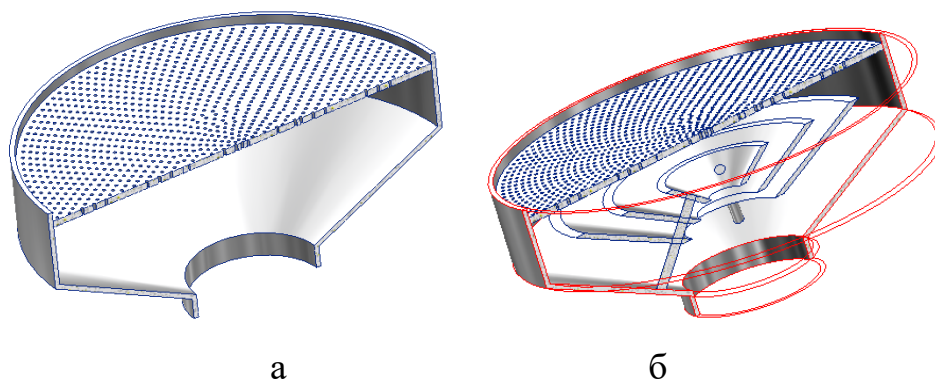


Рис. 3.1. Моделі флюїдного дна:

а – штатна конструкція; б – вдосконалена конструкція

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бобрівський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Дослідна частина та узагальнення результатів		221867.KP.14.003.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.						
		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/16		

- типовий з решіткою (рис. 3.1, а),
- вдосконалений з різними розмірами конічних вставок та їх розміщенням (для прикладу показано лише одну модель) (рис. 3.1,б).

Розміри 3D моделей відповідають розмірам реального обладнання.

Кожна з моделей була імпортована в програму ANSYS CFX, де її засобами згенеровано розрахункову область для проведення імітаційного моделювання (область, в якій відбувається рух повітря), яка показана на рис. 3.2. Для прикладу на рис. 3.2 показано лише одну модель і в подальшому налаштування умов моделювання будуть зазначені лише для одного варіанту (для всіх інших варіантів вони є аналогічними).

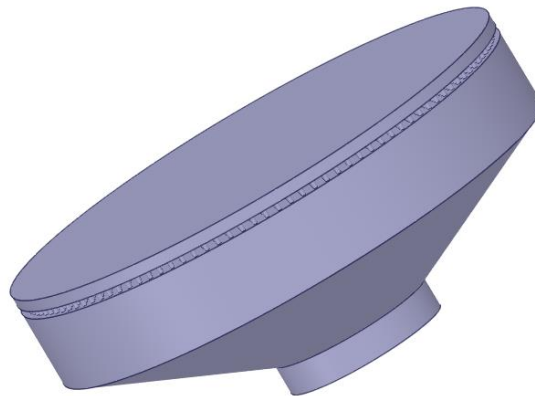


Рис. 3.2. Модель розрахункової області

В подальшому розрахункову область розбито на комірки, в кожній з яких визначаються параметри потоку повітря (рис. 3.3).

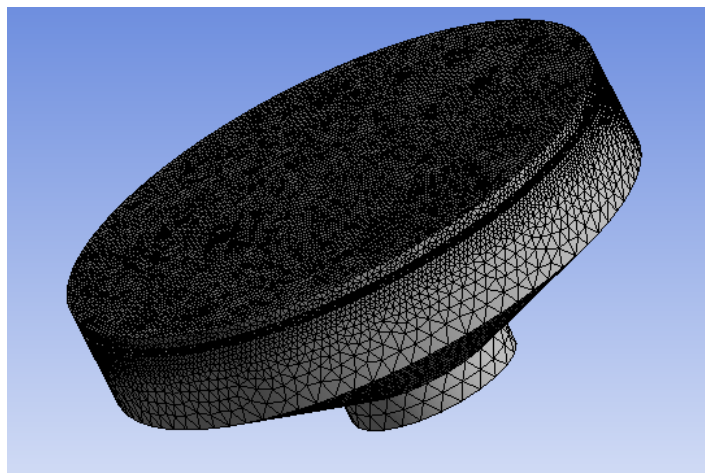


Рис. 3.3. Розрахункова сітка

Дрібні комірки розміщені в області максимальної концентрації повітря, комірки більшого розміру – поблизу зовнішніх стінок. Загальна кількість комірок в розрахункових областях всіх моделей була в діапазоні 417-420 тис., що входить в межі академічної версії програми Ansys.

Для проведення CFD моделювання використано тип аналізу Steady State (стаціонарна задача). З бази даних завантажено матеріал, що розглядається в розрахунку – повітря. При проведенні моделювання враховано прискорення вільного падіння. Для урахування турбулентності, яка виникає при русі, обрано $k-\varepsilon$ модель, оскільки вона забезпечує достатньо високу точність результатів при незначних вимогах до розрахункової сітки.

Визначено поверхні, до яких прикладаються граничні умови: вхід повітря, вихід повітря, стінка (рис. 3.4).

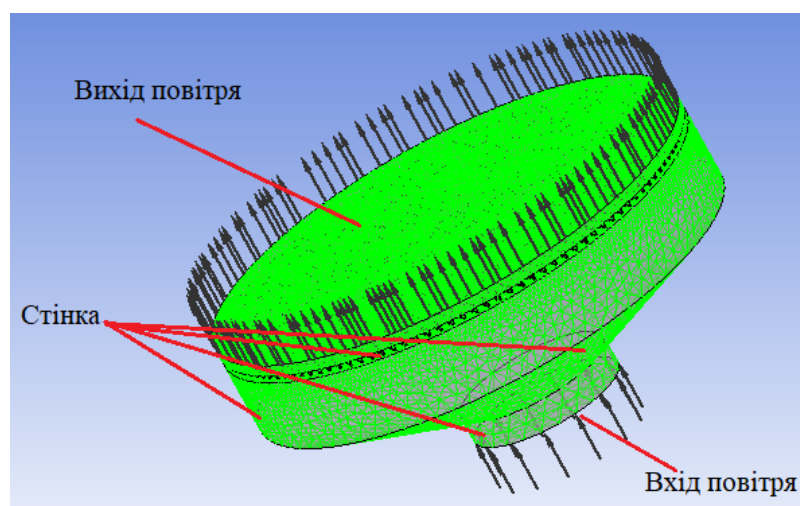


Рис. 3.4. Поверхні, до яких прикладаються граничні умови

Для граничної умови «Вхід повітря» задано значення масової витрати повітря 0,4 кг/с, що відповідає роботі сушарки А1-ОР2Ч продуктивністю 600 кг/год по випаренні волозі. Для граничної умови «Вихід повітря» задано нульовий тиск виходу (без протитиску). Для граничної умови «Стінка» (всі інші поверхні) встановлено параметр Smooth Wall (гладка стінка).

Критерій збіжності результатів встановлено 0,0001, кількість розрахункових ітерацій – 1000.

Після введення всіх необхідних значень виконується запуск пошуку рішення. Процес пошуку рішення засобами програми Ansys представлено на рис. 3.5.

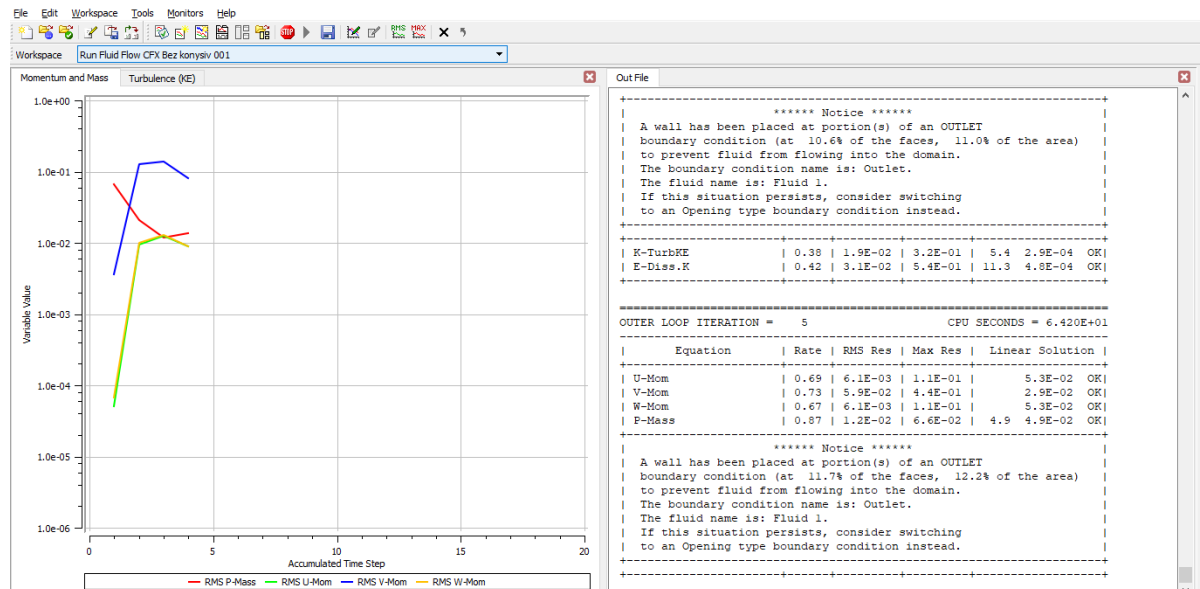


Рис. 3.5. Проведення числового розрахунку

3.3. Результати наукових досліджень та їх аналіз

3.3.1. Результати дослідження аеродинаміки повітря в флюїдному дні штатної конструкції, їх аналіз

На рис. 3.6 представлено розподілення швидкості повітря в перерізі флюїдного дна.

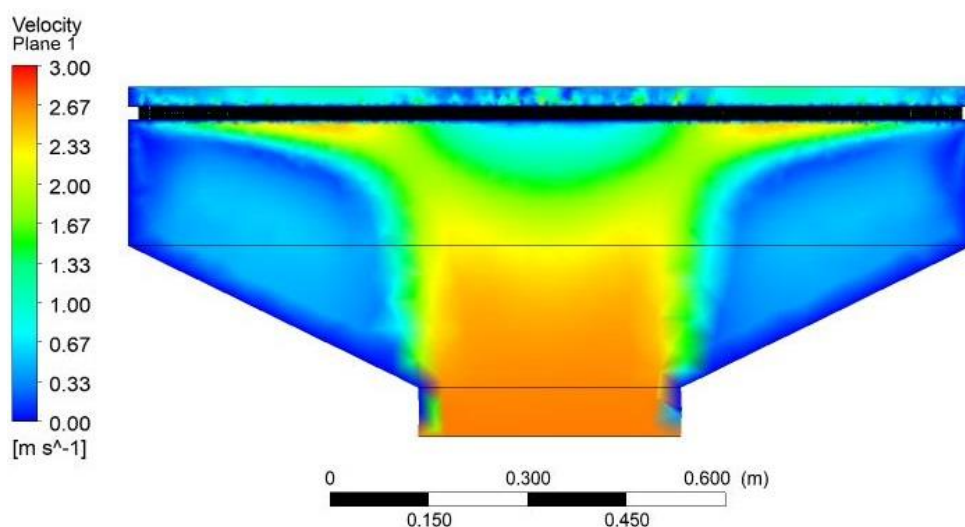


Рис. 3.6. Розподілення швидкості повітря в перерізі флюїдного дна

Аналіз розподілення швидкості показує, що швидкість повітря при вході в флюїдне дно становить близько 2,5 м/с, а потік повітря має циліндричну форму. При наближенні до розподільчої решітки центральна частина потоку сушильного агенту за рахунок опору зі сторони решітки гальмується до приблизно 1 м/с, потік повітря розходить до країв решітки. При цьому швидкість повітря під решіткою суттєво відрізняється: біля її центру вона становить близько 1 м/с, швидко зростає 2...2,5 м/с при віддаленні від центральної частини, і при наближенні до стінки корпусу флюїдного дна знижується до 0,5 м/с.

На рис. 3.7 представлено розподілення швидкості над розподільчою решіткою.

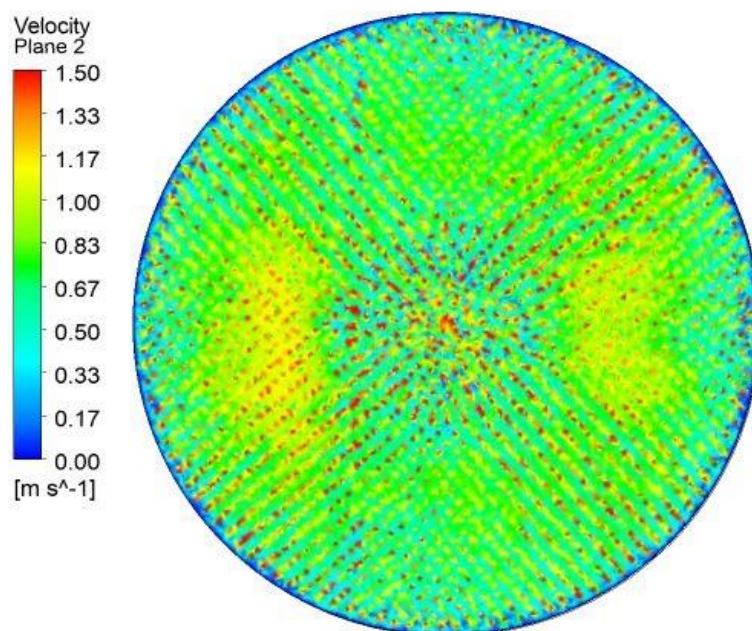


Рис. 3.7. Розподілення швидкості над розподільчою решіткою

На основі результатів CFD моделювання встановлено (рис. 3.7), що швидкість повітря над решіткою нерівномірна – чітко помітно кільцеву область, де основна частина повітря рухається зі швидкістю 0,9...1,1 м/с. В зонах всередині «кільця» та поза ним основна частина повітря має швидкість 0,4...0,7 м/с. Максимальне значення швидкості над решіткою (1,5 м/с)

знаходиться в межах раціонального діапазону, при якому не відбувається витіснення (повернення) частинок сухого молока назад в сушильну башту.

На рис. 3.8 показані лінії напрямку руху потоку, які якісно демонструють рух повітря під решіткою.

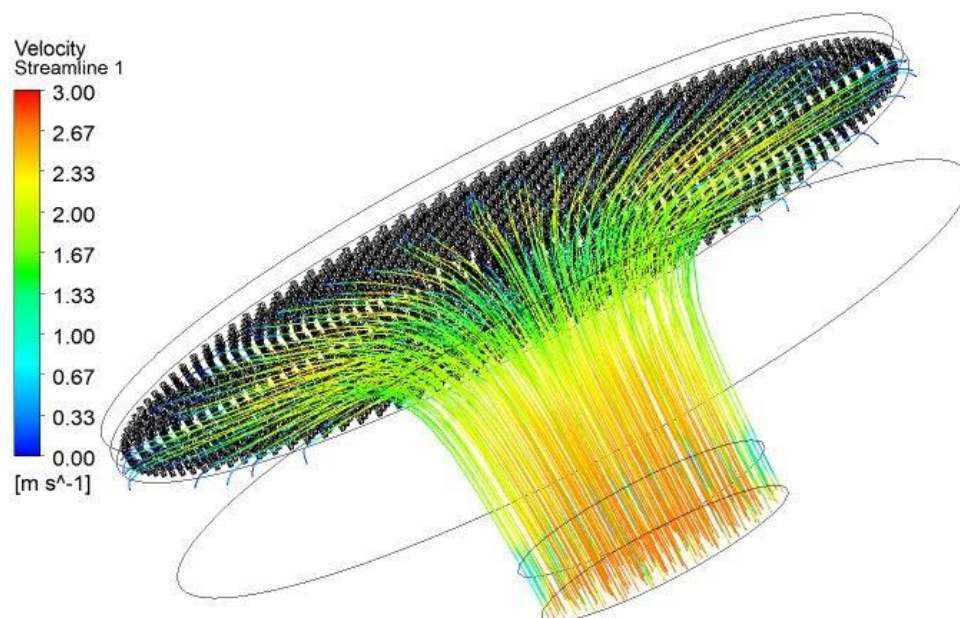


Рис. 3.8. Лінії напрямку руху потоку

Що стосується тиску повітря в флюїдному дні (рис. 3.9), то він найбільш сконцентрований в центральній частині решітки. Максимальний надлишковий тиск становить 20 Па.

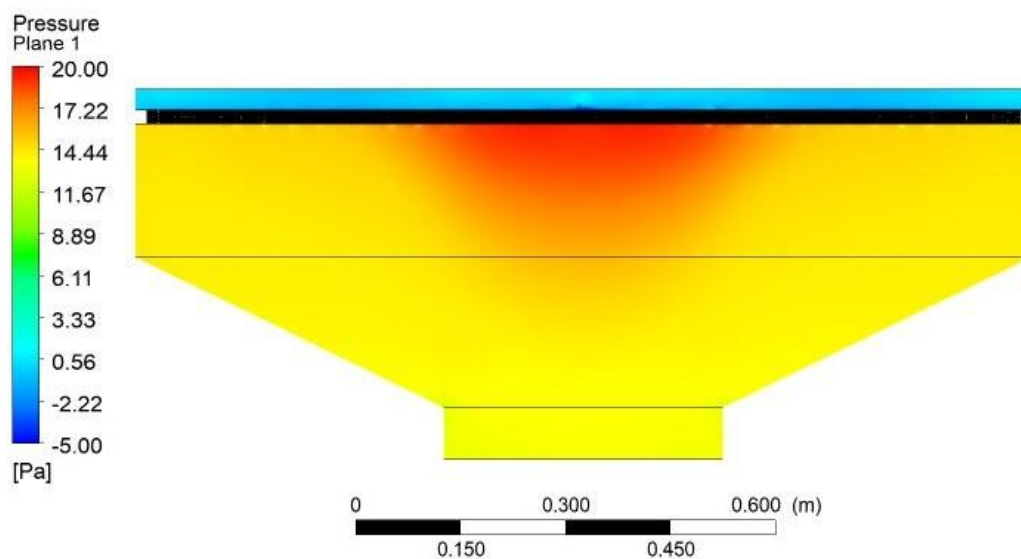


Рис. 3.9. Тиск повітря в флюїдному дні

Таким чином, проведене моделювання аеродинаміки сушильного агенту в флюїдному дні штатної конструкції підтверджує його недостатню ефективність. Вона проявляється в тому, що частинки сухого молока, які рухаються в напрямку решітки, будуть недостатньо ефективно досушуватися за рахунок різної швидкості сушильного агенту над решіткою.

3.3.2. Результати дослідження аеродинаміки повітря в флюїдному дні модернізованої конструкції, їх аналіз

Було змодельовано аеродинаміку повітря в флюїдному дні з конічними розподільним вставками при різних їх розмірах. Варіювалося співвідношення між розмірами конічних вставок (діаметр при основі та вершини вставки) відносно внутрішнього діаметра корпусу та патрубку підведення сушильного агенту (рис. 3.10):

- більша вставка: $D_o^b = 0,5 \dots 0,75 D_k$, $D_e^b = 0,5 \dots 0,75 D_n$;
- середня вставка: $D_o^c = 0,25 \dots 0,5 D_k$, $D_e^c = 0,25 \dots 0,5 D_n$;
- менша вставка: $D_o^m = 0,1 \dots 0,25 D_k$, $D_e^m = 0,1 \dots 0,25 D_n$.

Позначення:

- D_o^b , D_o^c , D_o^m – діаметр вставки, відповідно, більшої, середньої та меншої при основі;
- D_e^b , D_e^c , D_e^m – діаметр вставки, відповідно, більшої, середньої та меншої при вершині;
- D_k – внутрішній діаметр корпусу флюїдного дна (1280 мм);
- D_n – внутрішній діаметр патрубка підведення повітря (400 мм).

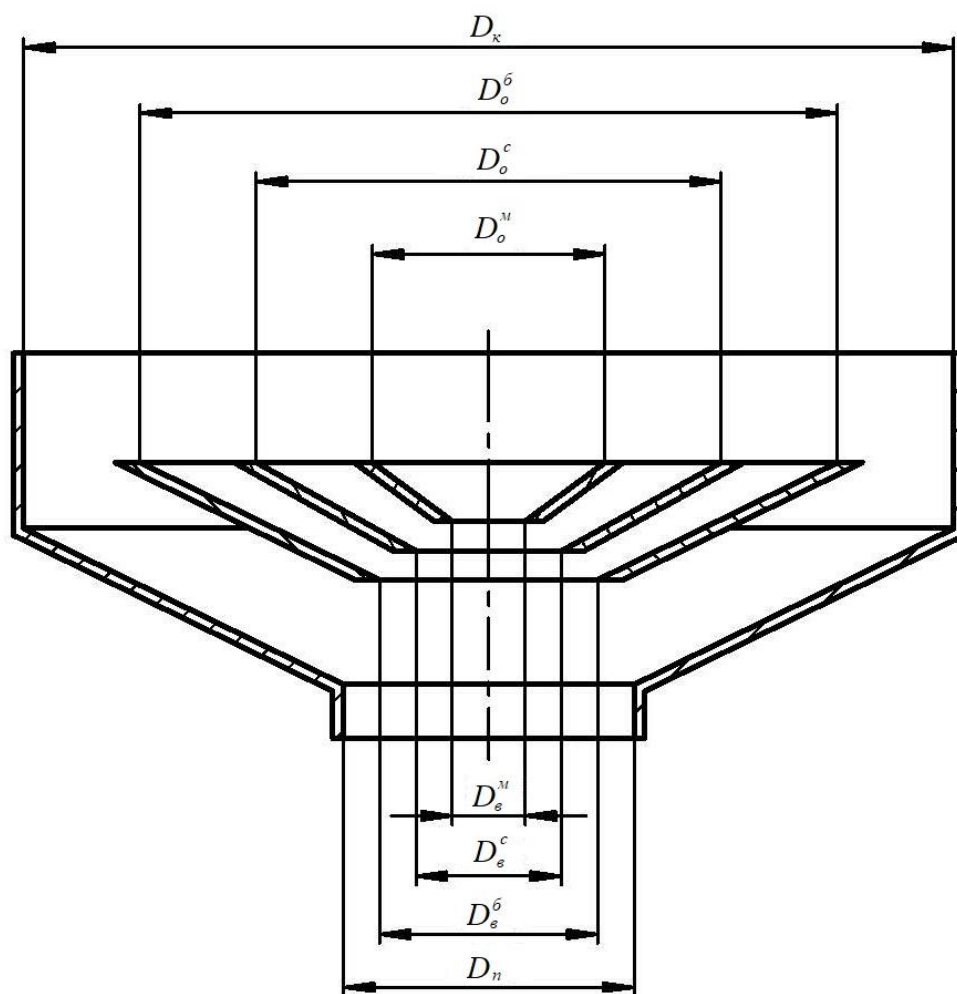


Рис. 3.10. Розміри конічних вставок

В кваліфікаційній роботі представлені лише два характерні варіанти з різними розмірами конічних вставок при їх раціональному розташуванні відносно решітки (100 мм від неї).

Так, на рис. 3.11-3.14 представлені результати моделювання з таким співвідношенням розмірів конічних вставок:

- більша вставка $D_o^δ = 0,75D_k$, $D_δ^δ = 0,75D_n$;
- середня вставка $D_o^c = 0,5D_k$, $D_δ^c = 0,5D_n$;
- менша вставка $D_o^M = 0,25D_k$, $D_δ^M = 0,25D_n$.

На рис. 3.11 показано швидкість повітря в поперечному перерізі флюїдного дна.

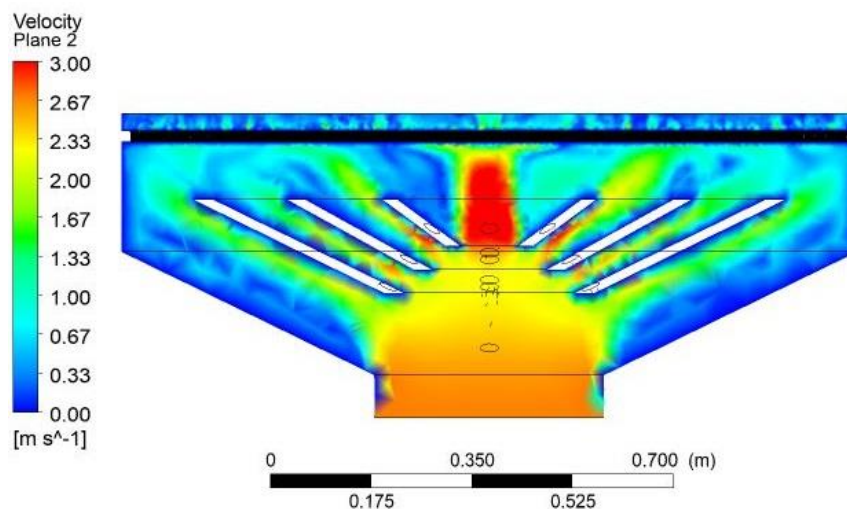


Рис. 3.11. Швидкість повітря в поперечному перерізі флюїдного дна (конструкція 1)

Аналіз отриманих даних (рис. 3.11) показує, що інтеграція в флюїдне дно конічних вставок позитивно вплинула на рівномірність розподілення повітря під решіткою. Однак, як видно з наведеного рисунка, при виході повітря з конічних вставок досягається його турбулізація, про що свідчить наявність значних перепадів швидкості.

Аналіз розподілення швидкості повітря над розподільчою решіткою (рис. 3.12) також підтверджує доцільність встановлення вставок в флюїдне дно. Розподілення швидкості повітря є більш рівномірним, однак в центрі решітки є незначна область з підвищеною швидкістю (2 м/с).

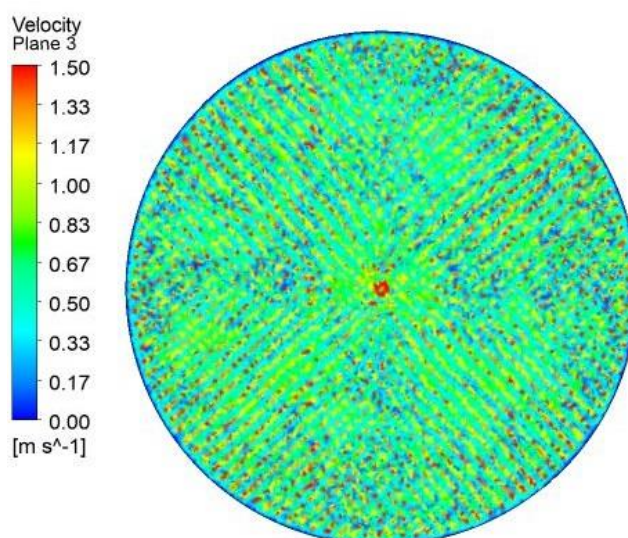


Рис. 3.12. Швидкості повітря над розподільчою решіткою (конструкція 1)

Лінії напрямку течії, які представлені на рис. 3.13, показують рух потоку повітря в даній конструкції флюїдного дна.

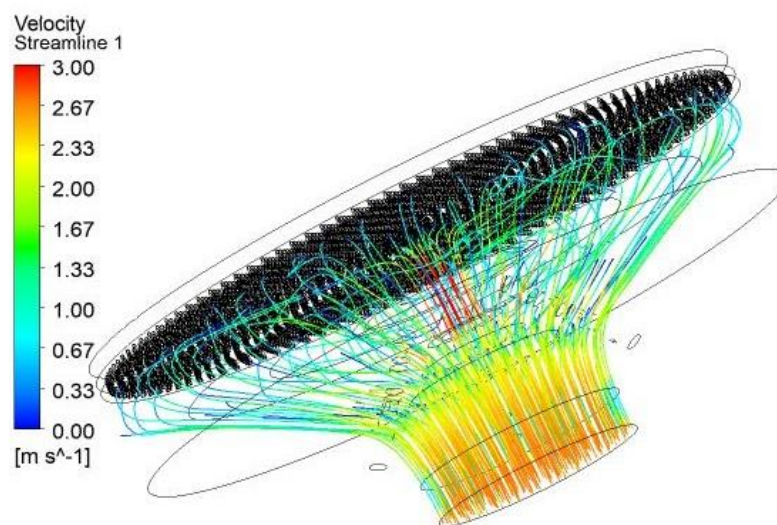


Рис. 3.13. Лінії напрямку течії повітря (конструкція 1)

Біля нижньої частини конічних вставок (відносно напрямку руху повітря) виникає незначний надлишковий тиск (18 Па), що видно з рис. 3.14.

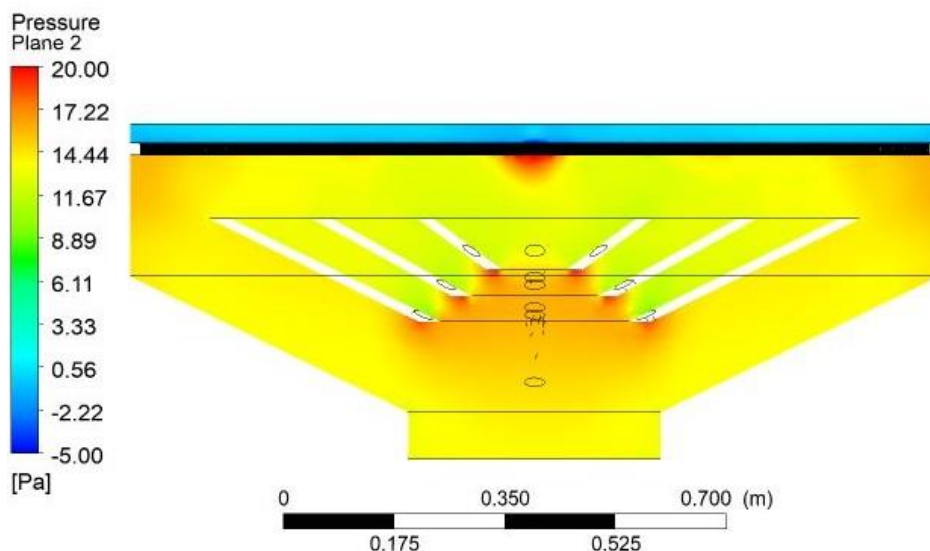


Рис. 3.14. Тиск повітря в флюїдному дні (конструкція 1)

На рис. 3.15-3.18 представлені результати моделювання при такому співвідношенні розмірів вставок:

- більша вставка: $D_o^b = 0,65D_k$, $D_e^b = 0,75D_n$;
- середня вставка: $D_o^c = 0,4D_k$, $D_e^c = 0,5D_n$;
- менша вставка: $D_o^m = 0,15D_k$, $D_e^m = 0,25D_n$.

Зменшення діаметра при основі всіх конусів привело (рис. 3.15) до зниження турбулентності потоку та покращення розподілення повітря під решіткою (в порівнянні з попереднім варіантом).

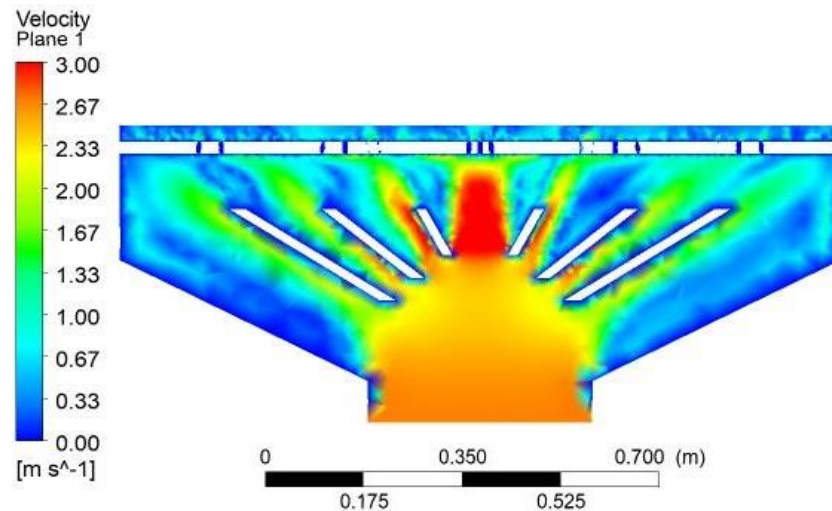


Рис. 3.15. Розподілення швидкості повітря в флюїдному дні (конструкція 2)

Аналіз розподілення швидкості над решіткою (рис. 3.16) показує, що в центрі решітки за рахунок зміни розмірів конічних вставок відбулося зниження швидкості до 1,4 м/с.

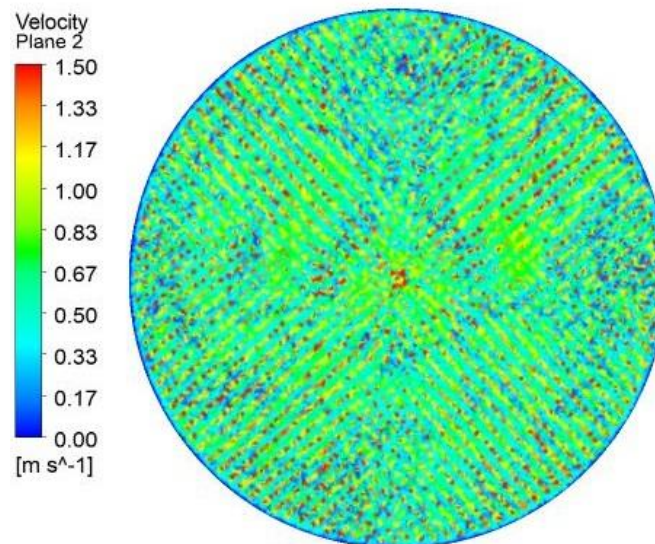


Рис. 3.16. Швидкість повітря над решітками (конструкція 2)

Лінії напрямку руху повітря в флюїдному дні конструкції №2 представлені на рис. 3.17. Їх аналіз показує незначне покращення розподілення потоку повітря під решіткою.

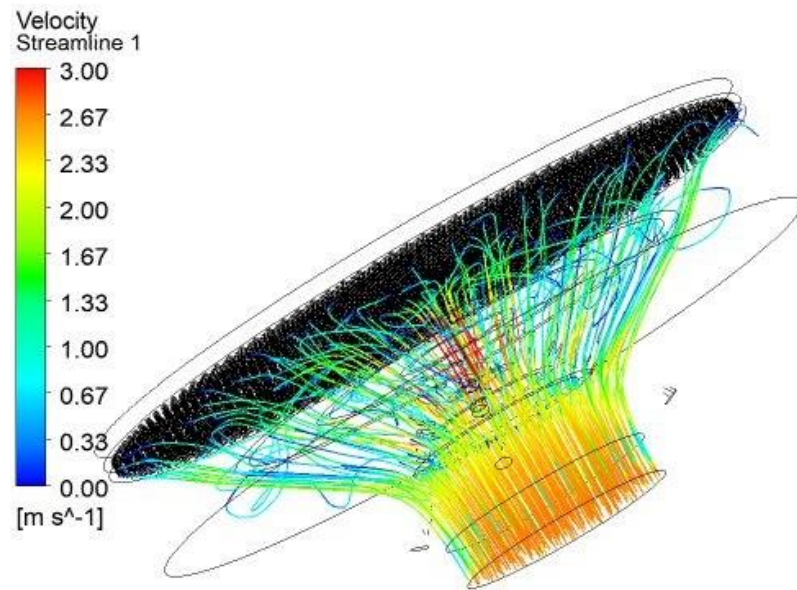


Рис. 3.17. Лінії напрямку руху повітря в флюїдному дні (конструкція 2)

Встановлено, що максимальний надлишковий тиск, який діє на конічні вставки флюїдного дна даної конструкції, становить 16 Па (рис. 3.18).

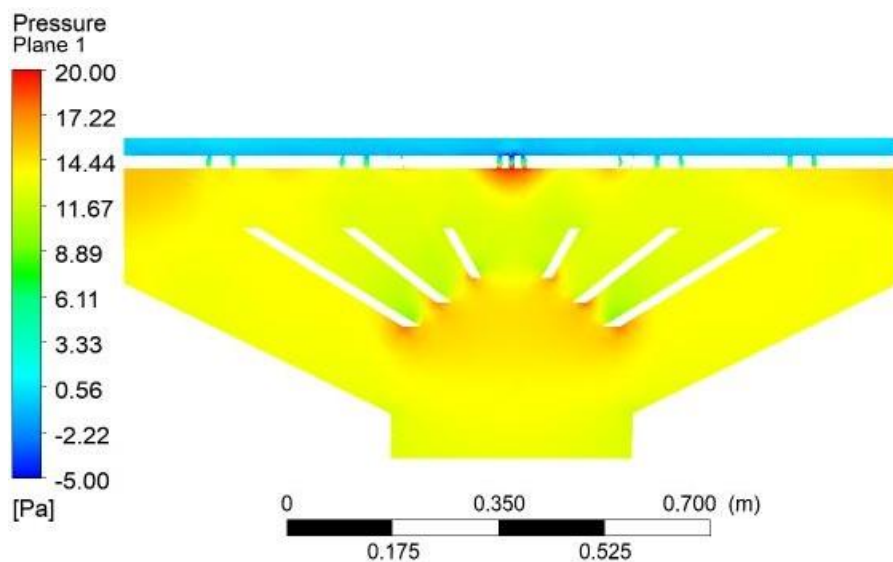


Рис. 3.18. Тиск повітря в флюїдному дні (конструкція 2)

Проведене CFD моделювання аеродинаміки повітря в флюїдному дні сушильної установки А1-ОР2Ч дозволило визначити раціональне

співвідношення розмірів конічних вставок, при яких досягається найкраще розподілення повітря над решіткою, що однозначно приводить до покращення сушіння частинок сухого молока. Раціональні розміри вставок:

- більша вставка: $D_o^b = 0,65D_k$, $D_e^b = 0,75D_n$;
- середня вставка: $D_o^c = 0,4D_k$, $D_e^c = 0,5D_n$;
- менша вставка: $D_o^m = 0,15D_k$, $D_e^m = 0,25D_n$.

3.4. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування

Метою даної кваліфікаційної роботи є покращення процесу сушіння сухого молока шляхом модернізації сушильної установки А1-ОР2Ч. Це може бути досягнуто шляхом реконструкції флюїдного дна (секції з киплячим шаром), де розташований розподілювач повітря (рис. 3.19). Це технічне рішення забезпечує покращення рівномірності розподілення повітря по всій розподільчій решітці з забезпеченням необхідної для ефективного сушіння частинок молока швидкості.

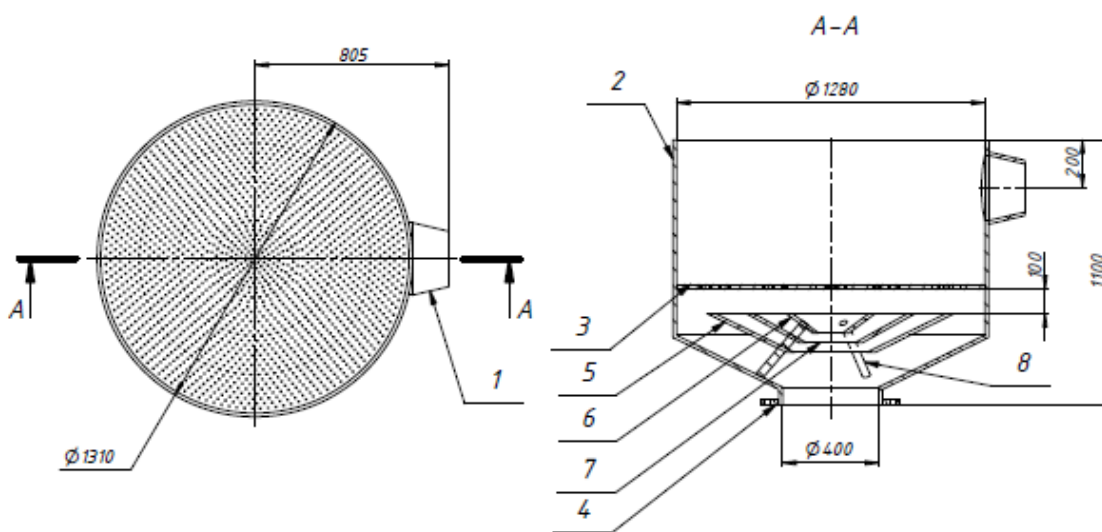


Рис. 3.19. Модернізоване флюїдне дно:

1 – відвідний патрубок; 2 – корпус; 3 – розподільча решітка; 4 – підвідний патрубок; 5 – більша решітка; 6 – менша решітка; 7 – середня решітка; 8 – розпорка

Апаратне оформлення трьохстадійної сушильної установки А1-ОР2Ч представлено на рис. 3.20. В даній сушарці перша стадія сушіння відбувається в сушильній башті, друга в апараті киплячого шару, третя в інстатайзері.

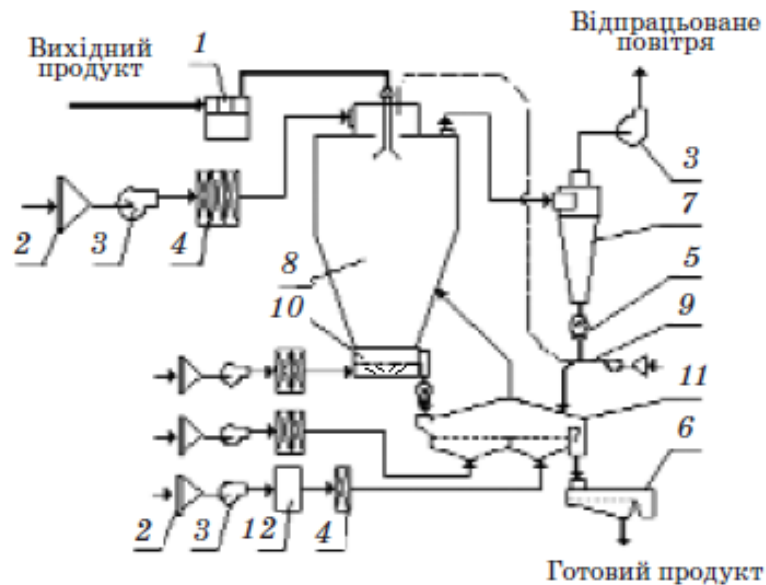
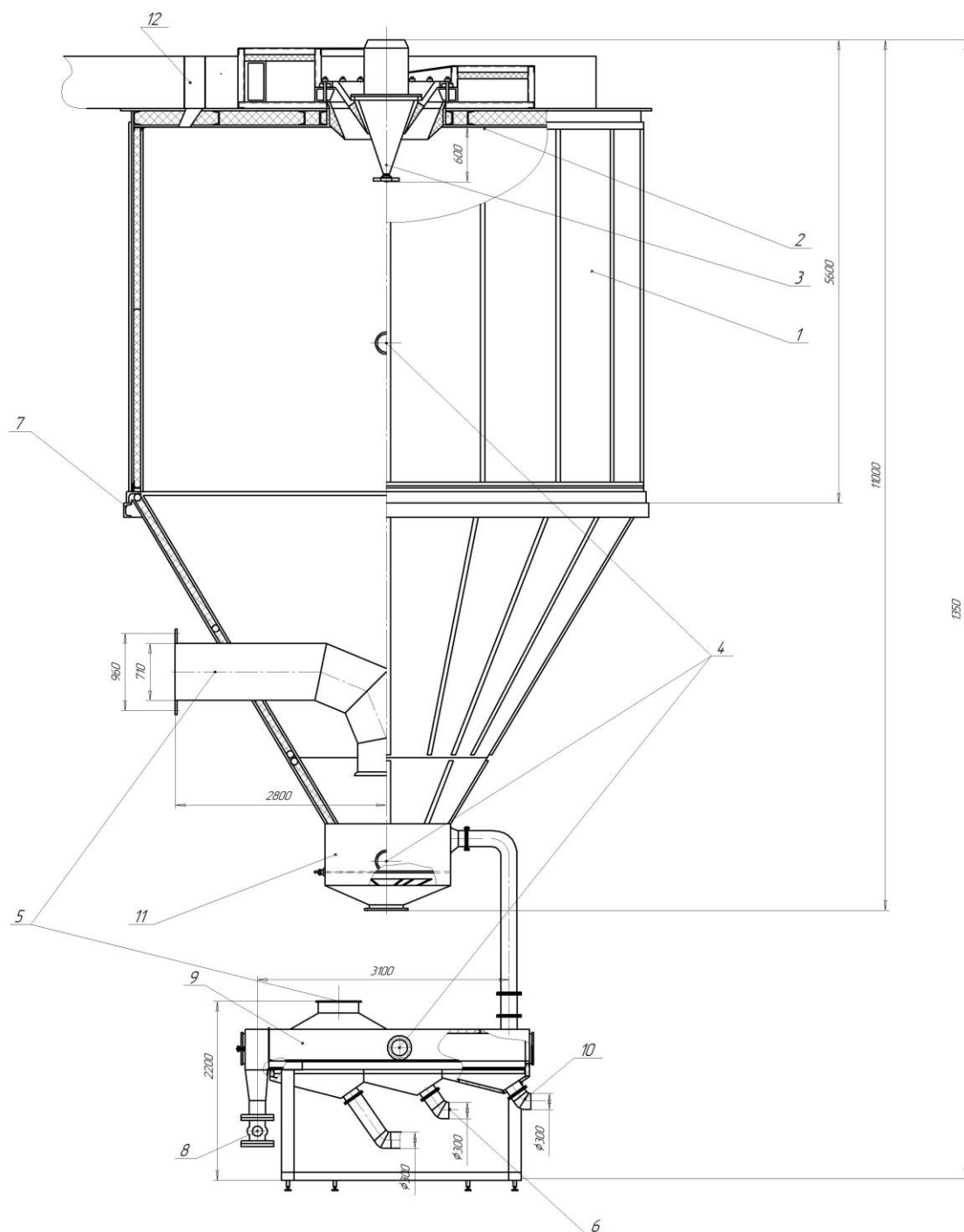


Рис. 3.20. Апаратне оформлення трьохстадійної сушильної установки А1-ОР2Ч:

1 – насос; 2 – повітряний фільтр; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – шлюзовий живильник; 6 – вібраційне сито; 7 – циклон; 8 – сушильна башта; 9 – пневмотранспортна лінія; 10 – сушарка киплячого шару; 11 – вібраційна сушарка; 12 – охолоджувач

Модернізована сушильна установка А1-ОР2Ч представлена на рис. 3.21. В даній установці перша стадія сушіння відбувається в сушильній башті, де диспергування молока здійснюється за допомогою розпилювального диска, а сушильний агент (гаряче повітря) рухається в потоці паралельно з продуктом. Друга стадія сушіння відбувається в модернізованому апараті киплячого шару (флюїдному дні), а також в першій частині інстатайзера (друга частина інстатайзера необхідна для подальшого охолодження сухого молока).



1 – сушильна башта; 2 – розподільник повітря; 3 – розпилювальний пристрій;
4 – оглядове вікно; 5 – трубопровід для відведення відпрацьованого
сушильного агенту; 6 – патрубок для підведення сушильного агенту; 7 –
опора; 8 – шлюзовий затвор; 9 – конвективна сушарка (флюїдне дно); 10 –
патрубок для введення холодного повітря; 11 – інстатайзер (сушарка
киплячого шару)

Інд. змін.

Коли продукт потрапляє в секцію з киплячим шаром (флюїдне дно), здійснюється наступна стадія його сушіння. Сушильний агент рухається по конічних розподільниках та рівномірно розподіляється під решіткою. В подальшому він проходить через отвори розподільчої решітки і крізь шар продукту, який знаходиться над нею. При цьому відбувається видалення вологи з частинок молока.

Сухе молоко вологістю 6...8 % в подальшому надходить на третю стадію сушіння – в інстатайзер, який представляє собою поділену на три секції вібраційну конвективну сушарку. В першій секції інстатайзера частинки молока досушуються, в двох наступних охолоджується.

3.5. Висновки

Проведені наукові дослідження із застосуванням CFD моделювання дозволили встановити причину недостатньо ефективного сушіння сухого молока в флюїдному дні сушарки А1-ОР2Ч – нерівномірна швидкість сушильного агенту над розподільчою решіткою.

Для усунення цього недоліку запропоновано інтегрувати в флюїдне дно розподільчий пристрій у вигляді конічних вставок. На основі проведених досліджень встановлено раціональні розміри таких вставок.

4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1. Технологічний розрахунок охолоджувача

Технологічні параметри процесу сушіння молока:

$\omega_1 = 50 \%$ - початкова вологість сухого молока;

$\omega_2 = 8 \%$ - кінцева вологість сухого молока;

$W_1 = 500$ кг/год - кількість видаленої вологи;

$t_1 = 190$ °С - температура сушильного агенту на вході в сушильну башту;

$t_2 = 90$ °С - температура сушильного агенту на виході з сушильної башти;

$t_0 = 20$ °С - температура повітря у виробничому приміщенні.

Визначаємо масову витрату молока, що надходить на сушіння:

$$m = \frac{W}{1 - \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}}, \text{кг} / \text{год}$$

Тоді,

$$m = \frac{500}{1 - \frac{100 - 50}{100 - 8}} = 1080 \text{кг} / \text{год}$$

Обчислюємо продуктивність установки з висушеним матеріалом:

$$G = m \cdot \left(\frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \right) = 1080 \cdot \left(\frac{100 - 50}{100 - 8} \right) = 580 \text{кг} / \text{год}$$

Визначаємо кількість видаленої вологи:

$$W_2 = m - G = 1080 - 580 = 500 \text{кг} / \text{год}$$

З урахуванням ККД установки, який знаходиться в межах 80... 85%,
(прийmemo ККД – 83%), перерахуємо продуктивність:

$$G_{\text{prod}} = G \cdot 0,83 = 580 \cdot 0,83 = 480 \text{кг} / \text{год}$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина		221867.KP.14.004.ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.					
		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/25	

Визначаємо діаметр сушильної камери:

$$D = 1,05 \cdot \sqrt[3]{\frac{W_1}{q}}$$

де: q - допустиме напруження об'єму камери, $q = 4.5$;

W_1 - продуктивність по випареній волозі.

Тоді,

$$D = 1.05 \cdot \sqrt[3]{\frac{500}{4.5}} = 5.04 \text{ м}$$

Прийmemo $D = 5$ м

Визначаємо висоту сушильної камери:

$$H = 1.2 \cdot D = 1.2 \cdot 5 = 6 \text{ м}$$

Розраховуємо об'єм камери:

$$V_k = \frac{W}{A}$$

де: $A = 5 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot \text{г}$ - величина, яка враховує властивості матеріалу, конструктивні особливості сушарки та температурний режим сушіння.

Тоді,

$$V_k = \frac{580}{5} = 116 \text{ м}^3$$

4.2. Тепловий розрахунок сушильної башти

Вихідні дані для розрахунку:

$G = 580$ кг/год - продуктивність сушарки по випареній волозі;

$t_0 = 20$ °C - температура повітря у виробничому приміщенні;

$t_1 = 190$ °C - температура сушильного агента на вході в сушильну башту;

$t_2 = 90$ °C - температура сушильного агента на виході з сушильної башти;

$\omega_1 = 50$ % - початкова вологість сухого молока;

$\omega_2 = 8$ % - кінцева вологість сухого молока.

Визначаємо кількість теплоти, необхідну для сушіння. Розраховуємо її

по кількості теплоти Q , необхідної для нагрівання теплоносія у калорифері:

$$Q = G_I (I_1 - I_0)$$

де: I_0, I_1 - ентальпія теплоносія у калорифері на вході та на виході з нього, кДж/кг;

G_I - кількість повітря, яка необхідна для висушування, кг;

Розраховуємо кількість повітря:

$$G_I = \frac{1000 \cdot W}{(d_2 - d_0)}$$

де: d_2, d_1 - вологість повітря на вході та на виході з сушильної башти, г/кг;

W - кількість випареної води в сушильній башті.

Щоб знайти ентальпію та вологовміст повітря, яке відбирається для сушіння молока, визначаємо два основні параметри повітря, побудувавши процес сушіння в I - d діаграмі.

За температурою та відотною вологістю визначаємо основні параметри повітря, котрі характеризують його перед забором у калорифер розпилувальної сушарки. Знаходимо вологовміст сухого повітря $d_0=10$ г/кг і ентальпію $I_0=45$ кДж/кг по точці A , яка знаходиться на перетині двох ліній при температурі сушильного агента 20 °С та відносної вологості $\varphi=70\%$. Потім повітря подається у калорифер, в якому нагрівається при сталому вологовмісті до температури 190 °С. На перетині лінії $d_0=10$ г/кг сухого повітря з ізотермою $t=190$ °С отримуємо точку B , яка характеризує параметри повітря на вході і виході з калорифера в сушильну камеру ($d_1=10$ г/кг сухого повітря, $I_1=220$ кДж/кг сухого повітря).

Теоретично, у процесі сушіння ентальпія повітря залишається незмінною, оскільки повітря, яке надходить в сушильну камеру, втрачає тепло, але на виході отримує його назад разом із випареною водою. Знаючи температуру повітря, що виходить з сушарки, визначаємо точку C , котра є характеристикою повітря на виході з сушильної установки ($d_2 = 49$ г/кг сухого повітря, $I_2=220$ кДж/кг).

Таким чином отримано дані, необхідні для визначення теплоти на нагрівання та теоретичну витрату повітря. Аналітично розрахувати втрату теплоти можна відклавши на $I-d$ діаграмі дійсне положення точки C . Провівши розрахунки встановлено, що втрати більші на 15-20% від теоретичної.

Розраховуємо кількість повітря, необхідного для сушіння:

$$G_{\Pi} = \frac{1000 \cdot 500}{(49 - 10)} = 12820 \text{ кг}$$

Кількість теплоти, що необхідна для сушіння:

$$Q = 12820 \cdot (220 - 45) = 2,2 \cdot 10^6 \text{ кДж}$$

Розраховуємо витрату пари на нагрівання повітря:

$$D = \frac{Q}{[(i_r - i_e) \cdot \eta]}$$

де: i_n, i_k - ентальпія гріючої пари та конденсату, кДж/кг;

$\eta = 0,95$ - ККД калорифера.

Обчислюємо ентальпію конденсату за його температурою $t_k = 146^\circ\text{C}$ та теплоємністю $c = 4,2 \text{ кДж/кг}$:

$$i_{\text{кон}} = 146 \cdot 4,2 = 613,2 \text{ кДж/кг}$$

Знаходимо ентальпію гріючої пари за її температурою $t_{\text{г.п.}} = 247^\circ\text{C}$ та теплоємністю $c = 5,5 \text{ кДж/кг}$:

$$i_{\text{г.п.}} = 247 \cdot 5,5 = 1358,5 \text{ кДж/кг};$$

Отже, витрата пари:

$$D = \frac{2,2 \cdot 10^6}{[(1358,5 - 613,2) \cdot 0,95]} = 960,5 \text{ кг/год};$$

Обчислюємо термічний коефіцієнт розпилювальної сушарки:

$$\tau = \frac{(t_{\text{вих.к.}} - t_{\text{вих.с.б.}})}{(t_{\text{вих.к.}} - t_{\text{вх.к.}})}$$

де: $t_{\text{вх.к.}}$ - температура повітря, яке входить у калорифер;

$t_{вих.к.}$ - температура повітря, яке виходить із калорифера;

$t_{вих.с.б.}$ - температура повітря, яке виходить із сушильної башти.

$$\tau = \frac{(190 - 90)}{(190 - 20)} = 0,588$$

Кількість вологи, яка видаляється з молока:

$$B_{вид.} = B_l - B_p$$

де: B_l - початкова вологість молока, $B_l = 50\%$;

B_p - рівноважна вологість сухого молока:

$$\lg B_p = 0,01445 \cdot \varphi_i + \lg(1,423 + 0,00543 \cdot t)$$

де: φ_n - відносна вологість повітря, %;

t - температура повітря, °C.

$$\lg B_p = 0,01445 \cdot 70 + \lg(1,423 + 0,00543 \cdot 20) = 1,2$$

Отже,

$$B_{вид} = 50 - 1,2 = 48,8\%$$

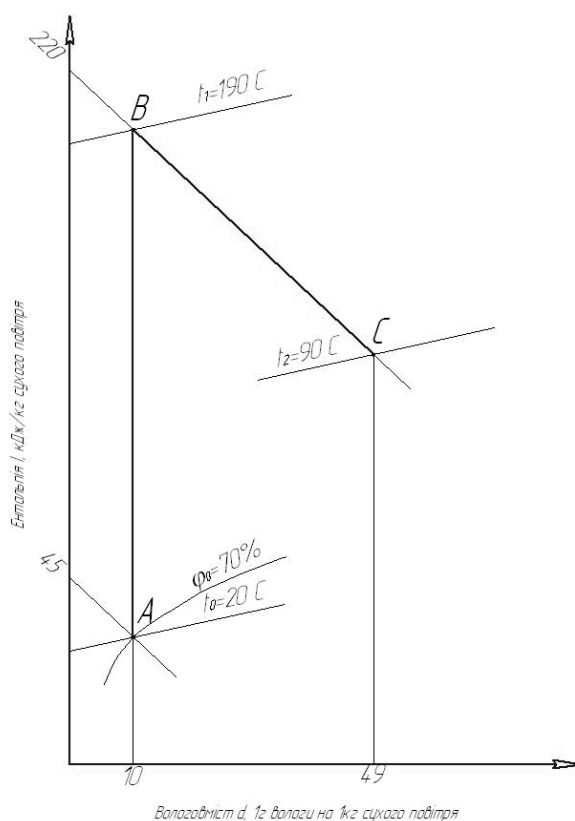


Рис. 4.1. I - d діаграма вологого повітря

4.3. Розрахунок розпилювального диску

Визначаємо діаметр розпилювача:

$$D = \frac{\omega}{\pi \cdot n}$$

де: n - кількість обертів диску об/хв.

Тоді:

$$D = \frac{60 \cdot 150}{3.14 \cdot 12000} \approx 0.25 \text{ м} = 250 \text{ мм.}$$

Для визначення радіуса або діаметра факела розпилення використаємо формулу:

$$R_{\varphi} = \frac{21.7 \cdot d \cdot \rho_m^{cp}}{C \rho_n} \cdot \lg \frac{\omega_n}{\omega_k}$$

де: ω_n - початкова швидкість руху краплі м/с, $\omega_n = 150 \text{ м/с}$;

ω_k - кінцева швидкість руху краплі; $\omega_k = 0,5 \text{ м/с}$;

ρ_m^{cp} - середня густина сухого молока, кг/м^3 :

$$\rho_m^{cp} = \frac{\rho_m^g + \rho_m^k}{2};$$

ρ_m^g, ρ_m^k - густина сухого молока на початку та в кінці сушіння, кг/м^3 ;

$\rho_m^k = 800 \text{ кг/м}^3, \rho_m^g = 1080 \text{ кг/м}^3$.

Тоді:

$$\rho_m^{cp} = \frac{1080 + 800}{2} = 940 \text{ кг/м}^3$$

де: C - розрахунковий коефіцієнт;

ρ_n - густина повітря;

ω - початкова швидкість руху краплі;

d - діаметр краплі, м.

Визначаємо діаметр краплі при розпиленні рідини диском:

$$d = \frac{98.5}{n} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_n^g R_d g}}$$

де: σ - поверхневий натяг. Н/м;

R_d - радіус диска. м;

Тоді :

$$d = \frac{98.5}{12000} \cdot \sqrt{\frac{0.042}{1080 \cdot 0.125 \cdot 9.81}} = 0.000046 = 46 \text{ мкм}$$

Визначаємо дальність польоту краплі (радіус):

$$R_\phi = \frac{21.7 \cdot 46 \cdot 10^{-6} \cdot 940}{1.3 \cdot 1.27} \cdot \lg \frac{150}{0.5} = 1.4 \text{ м}$$

Отже, середня довжина польоту каплі менша за радіус камери 3 м.

Обчислюємо діаметр каналу сопел:

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{m}{i \cdot \rho_i \cdot \omega}};$$

де: i - кількість сопел; $i = 6$;

Тоді,

$$d_c = 18.8 \sqrt{\frac{1900}{6 \cdot 1080 \cdot 150 \cdot 3600}} = 0.014 \text{ м} = 14 \text{ мм};$$

4.4. Розрахунок приводу розпилювального диску

Потужність на валу розпилювального диску:

$$N = \frac{(\kappa_0 \cdot D^2 \cdot \omega + 0.37) 10^{-4} \cdot \omega}{\eta_i};$$

де: κ_0 - дослідний коефіцієнт, $\kappa_0 = 35-55$;

D - діаметр диску, м;

ω - колова швидкість диску, м/с;

η_m - механічний ККД.

Тоді:

$$N = \frac{(35 \cdot 0.25^2 \cdot 150 + 0.37) 10^{-4} \cdot 150}{0.83} = 19.9 \text{ кВт};$$

Згідно літературних даних, при довжині сопла 0.075 м та частоті обертання 12000 об/хв, затрачена потужність на одне сопло становить 0.1 кВт. Визначимо повну потужність:

$$N_p = N + 8 \cdot N_{\text{сопла}} = 19,9 + 8 \cdot 0,1 = 20,7 \text{ кВт}$$

Розраховуємо крутний момент на валу розпилювального диску:

$$T_p = 9550 \frac{N_p}{n_p} = 9550 \frac{20,7}{12000} = 16,47 \text{ Нм}$$

Розраховуємо потужність на валу електродвигуна:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_p}{\eta_1 \cdot \eta_2}$$

де: $\eta_2 = 0,96$ – ККД пасової передачі;
 $\eta_1 = 0,99$ – ККД пари підшипників.

Таким чином,

$$N_{\text{дв}} = \frac{20,7}{0,99 \cdot 0,96} = 21,78 \text{ кВт}$$

Обчислюємо крутний момент на валу електродвигуна:

$$T_{\text{дв}} = 9550 \frac{N_{\text{дв}}}{n_{\text{дв}}} = 9550 \frac{22}{2945} = 74,33 \text{ Нм}$$

За отриманими значеннями приймаємо електродвигун 4A180S2Y3, який має наступні характеристики: потужність $N_{\text{дв}} = 22$ кВт, частота обертання $n_{\text{дв}} = 2945$ об/хв, ККД $\eta = 88,5\%$.

4.5. Розрахунок пасової передачі розпилювального диску

Вихідні дані для розрахунку:

$N_1 = 22$ кВт - потужність, яку передає передача;

$\omega_1 = 308$ рад/с - кутова швидкість ведучого шківів;

$\omega_2 = 1256$ рад/с - кутова швидкість веденого шківів.

Для проводу використаємо плоский гумо-тканевий пас із бельтинга 820 з кількістю прокладок $i_{\text{п}} = 5$ та товщиною $\delta = 7,5$ мм.

Визначаємо передаточне число передачі:

$$i = \omega_2 / \omega_1 = 1256 / 308 = 4,07$$

Розраховуємо діаметр ведучого шківa:

$$d_1 = (520 \dots 610) \cdot \sqrt[3]{\frac{N_1}{\omega_1}} = (520 \dots 610) \cdot \sqrt[3]{\frac{22}{308}} = (216 \dots 253) \text{ мм}$$

Прийmemo $d_1 = 250$ мм.

При цьому, відношення $d_1 / \delta = 250 / 7,5 = 33,3$.

Обчислюємо швидкість пасу:

$$v = \omega_1 \cdot d_1 / 2 = 308 \cdot 250 / 2 = 38500 \text{ мм/с} = 38,5 \text{ м/с},$$

Розраховуємо діаметр веденого шківa:

$$d_2 = d_1 / i = 250 / 4,07 = 61,4 \text{ мм}.$$

За нормованим рядом прийmemo $d_2 = 63$ мм.

Тоді, передаточне число пасової передачі:

$$I = d_1 / d_2 = 250 / 63 = 3,97.$$

Визначаємо міжосьову відстань пасової передачі:

$$a = 2 (d_1 + d_2) / 2 = 2 (250 + 63) = 626 \text{ мм}.$$

Визначаємо кут обхвату більшого шківa:

$$\alpha_1 = 180 + 57 (d_1 - d_2) / a = 180 + 57 (250 - 63) / 626 = 197^\circ.$$

Визначаємо кут обхвату меншого шківa:

$$\alpha_2 = 180 - 57 (d_1 - d_2) / a = 180 - 57 (250 - 63) / 626 = 163^\circ.$$

Розрахункова довжина паса:

$$l = 2a + \pi (d_1 + d_2) / 2 + (d_1 - d_2)^2 / 4a = \\ = 2 \cdot 626 + 3,14 (250 + 63) / 2 + (250 - 63)^2 / (4 \cdot 626) = 1758 \text{ мм}.$$

Розраховуємо корисне навантаження, котре передає пасова передача.

$$F_t = N_1 / v = 22000 / 38,5 = 571,5 \text{ Н}$$

Щоб розрахувати тягову здатність обраного паса прийmemo оптимальне питоме корисне навантаження, яке може передаватись одиницею ширини

пасу, $i_{\Pi} f_{to} = 14$ Н/мм, питому силу попереднього натягу паса, яка припадає на одиницю товщини однієї прокладки, $f_o = 2,25$ Н/мм.

Допустиме питоме корисне навантаження становить:

$$[i_{\Pi} f_{to}] = i_{\Pi} f_{to} \cdot C_{\gamma} \cdot C_{\alpha} \cdot C_v \cdot C_p = 14 \cdot 1 \cdot 0.949 \cdot 0.4471 \cdot 1 = 5,94 \text{ Н/мм.}$$

В даній формулі вибрані такі значення розрахункових коефіцієнтів:

$$C_{\gamma}=1; C_{\alpha}=1 - 0.003(180 - \alpha_2) = 1 - 0.003(180 - 163) = 0.949; C_v=1.04 - 0.0004 \cdot 38.5^2 = 0.4471; C_p=1.$$

Потрібна для нормальної роботи ширина паса:

$$b = F_t / [i_{\Pi} f_{to}] = 571.5 / 5,94 = 96.21 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартну ширину паса $b = 100$ мм

Площа поперечного перерізу паса становить:

$$A = b \cdot \delta = 100 \cdot 7,5 = 750 \text{ мм}^2.$$

Потрібне зусилля попереднього натягу паса:

$$F_o = f_o \cdot i_{\Pi} \cdot b = 2.25 \cdot 5 \cdot 100 = 1125 \text{ Н.}$$

Обчислюємо навантаження на валах пасової передачі:

$$R = 2F_o \cdot \sin(\alpha_1/2) = 2 \cdot 1125 \cdot \sin(163/2) = 2225.3 \text{ Н.}$$

Щоб визначити термін роботи паса, визначаємо складову максимального напруження, яке утворюється в пасі при роботі передачі:

- напруження попереднього натягу:

$$\sigma_o = F_o / A = 1125 / 750 = 1,5 \text{ МПа;}$$

- напруження від корисного навантаження:

$$\sigma_t = F_t / A = 571.5 / 750 = 0,762 \text{ МПа;}$$

- напруження від дії відцентрової сили:

$$\sigma_v = 10^{-6} \cdot \rho \cdot v^2 = 10^{-6} \cdot 1,15 \cdot 10^3 \cdot 38.5^2 = 1.704 \text{ МПа;}$$

- згинальні напруження у пасі:

$$\sigma_{зг} = E \cdot \delta / d_2 = 200 \cdot 63 = 23.8 \text{ МПа.}$$

Визначаємо максимальне напруження, що виникає у пасі:

$$\sigma_{\max} = \sigma_o + 0.5 \cdot \sigma_t + \sigma_v + \sigma_{zg} = 1.5 + 0.5 \cdot 0.762 + 1.704 + 23.8 = 27,385 \text{ МПа.}$$

При межі витривалості $\sigma_N = 7 \text{ МПа}$, показнику ступеня втоми $m = 6$, кількості шківів $n = 2$ та $v = 0,5$ термін роботи пасу становитиме:

$$h = 10^7 (\sigma_N / \sigma_{\max})^m / (3600 \cdot v \cdot n \cdot v) = 10^7 \cdot (7 / 27.385)^6 / (3600 \cdot 21.89 \cdot 2 \cdot 0.5) = 1274.3 \text{ год.}$$

4.6. Перевірочний розрахунок нагнітаючого вентилятора для охолоджувача

Вихідні дані для розрахунку:

- витрата повітря $G_{\Pi} = 12820 / 1,27 = 10100 \text{ м}^3/\text{год}$;
- тиск 250 кг/м^2 ;
- встановлено відцентрові вентилятори Ц7-40.

При відомому повному тиску визначаємо статистичний та динамічний тиск, який розвивається у вентиляторі.

Прийmemo, що динамічний тиск становить 15...40 % від повного:

$$P_{\text{дин}} = \frac{250 \cdot 15}{100} = 37,5 \text{ кг/м}^2;$$

Статистичний тиск складатиме:

$$P_{\text{ст}} = 250 - 37,5 = 212,5 \text{ кг/м}^2;$$

Визначаємо швидкість сушильного агента в нагнітаючому вентиляторі:

$$C = \sqrt{\frac{2g \cdot P_{\text{дин}}}{\gamma}};$$

де: $\gamma = 1,271 \text{ кг/м}^3$ – питома вага 1 м^3 повітря при температурі 20°C .

$$C = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 37,5}{1,27}} = 24 \text{ м/с};$$

Площа перерізу вихідного штуцера становить:

$$F = \frac{G_n}{C} = \frac{10100}{3600 \cdot 24} = 0,12 \text{ м}^2;$$

Необхідну для створення тиску 250 кг/м^2 колову швидкість ротора

визначимо з рівняння:

$$P = \varphi \frac{g_p^2}{g} \gamma$$

де: φ - коефіцієнт, що характеризує форму лопатей (у вентиляторах Ц7 - 40 лопаті радіального типу, для яких $\varphi = 0.7 \dots 0.9$).

Тоді,

$$g_z = \sqrt{\frac{gP}{\varphi\gamma}} = \sqrt{\frac{9,81 \cdot 250}{0,7 \cdot 1,27}} = 52,5 \text{ м/с};$$

Обчислюємо частоту обертання та діаметр ротора:

$$g_z = \frac{\pi \cdot D_2 \cdot n}{60} = 52,5 \text{ м/с, то}$$

$$D_2 n = 60 \cdot 52,5 / 3,14 = 1003,2; \quad D_2 = D_1 / m;$$

де: D_1 - діаметр внутрішнього ротора, м;

D_2 - зовнішній діаметр ротора, м;

m - коефіцієнт, який залежить від значення тиску (для вентиляторів середнього тиску $m = 0,5 - 0,85$).

Таким чином:

$$D_2 n = \frac{D_1 n}{m}, \text{ звідси}$$

$$D_1 = A^3 \sqrt{\frac{G}{n}}, \text{ де } A = 3,24 - 4$$

Далі вирішуємо систему рівнянь:

$$D_1 n = D_2 n \cdot m = 1003,2 \cdot 0,85 = 853$$

$$D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{10100}{3600 \cdot n}}; \quad n = \frac{853}{D_1}; \Rightarrow n = 853 / m = 853 / 0,85 = 1003,5;$$

$$D_1 = 3,24 \cdot \sqrt[3]{\frac{10100}{3600 \cdot 1003,5}} = 0,46 \text{ м}$$

звідси отримуємо:

$$D_2 = \frac{D_1}{m} = \frac{0,46}{0,85} = 0,54 \text{ м};$$

Визначаємо частоту n та діаметр D_1 :

$$n = \frac{D_1 n}{D_1} = \frac{853}{0,46} = 1854,3 \text{ хв}^{-1}, \text{ де } D_1 = D_2 \cdot m = 0,54 \cdot 0,85 = 0,46 \text{ м};$$

Висота лопаті:

$$Z = \frac{D_2 - D_1}{2} = \frac{0,54 - 0,46}{2} = 0,04 \text{ м}.$$

Кількість лопатей:

$$n_1 = \frac{\pi \cdot D_2}{k} = \frac{3,14 \cdot 0,54^2}{0,15} = 6,1$$

Прийmemo 8 лопатей.

Для приводу даного вентилятора прийmemo двигун 4А 160S4У3, який має такі характеристики: $N = 15 \text{ кВт}$, $n = 1860 \text{ хв}^{-1}$.

4.7. Перевірочний розрахунок калорифера для підігрівання повітря, що подається в охолоджувач

Вихідні дані для розрахунку:

- теплоносій – пар температурою $t = 247 \text{ }^\circ\text{C}$ та тиском $P = 1,1 \text{ МПа}$;
- кількість сушильного агента, який подається в охолоджувальну камеру, $G_n = 10100 \text{ м}^3/\text{год}$;
- початкова температура сушильного агента $t_n = 20^\circ \text{C}$;
- кінцева температура сушильного агента $t_k = 190 \text{ }^\circ\text{C}$;
- витрата тепла на нагрівання сушильного агента $Q = 4,9 \cdot 10 \text{ кДж/год}$.

Визначаємо витрату тепла, необхідну для нагрівання повітря:

$$Q' = \frac{Q}{3600} = \frac{2,2 \cdot 10^6}{3600} = 610 \text{ кДж/с}$$

Площа перерізу каналу в калорифері для проходження теплоносія:

$$f = \frac{G \cdot \rho_n}{V}$$

де: V - вагова швидкість теплоносія $\text{кг/м}^2\text{с}$. (приймається з діапазону

7...12 кг/м²с).

Тоді:

$$f = \frac{10100 \cdot 1,27}{3600 \cdot 12} = 0,3 \text{ м}^2;$$

За отриманим значенням прощі перерізу вибираємо калорифер КФБ № 11, який має:

- поверхню нагріву – 34,8 м²;
- живий переріз для проходження сушильного агента – 0,35 м²;
- живий переріз для проходження теплоносія – 0,7 м²;
- кількість пластин - 1025;
- кількість патрубків - 36.

Виконаємо уточнення вагової швидкості сушильного агента, оскільки відомо дійсний переріз калорифера:

$$V = \frac{10100 \cdot 1,27}{3600 \cdot 0,7} = 5,1 \text{ кг/м}^2 \text{с}$$

Обчислюємо площу гріючої поверхні, необхідної для нагрівання повітря від 20 °С до 190 °С:

$$F' = \frac{Q'}{K(t_{cp.m} - t_{cp.n})},$$

де: $t_{cp.n}$ - середня температура повітря, °С

$$t_{cp.n} = \frac{t_n + t_k}{2} = \frac{20 + 190}{2} = 105^\circ \text{C},$$

$t_{cp.m} = 247^\circ \text{C}$ - середня температура теплоносія;

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі пари для калорифера з теплоносієм:

$$K = 14,1(V)^{0,366} = 14,1 \cdot 5,1^{0,366} = 25,6 \text{ Вт/м}^2 \text{К} = 0,0256 \text{ кВт/м}^2 \text{К};$$

Тоді,

$$F' = \frac{610}{0,0256 \cdot (247 - 105)} = 167,8 \text{ м}^2;$$

Так як потрібна гріюча поверхня більша за гріючу поверхню

калорифера КФБ №11, то потрібно установити послідовно декілька таких калориферів.

Визначимо кількість калориферів:

$$n = \frac{F'}{F} = \frac{167,8}{34,8} = 4,8$$

Приймаємо 5 калориферів.

Обчислюємо установчу поверхню:

$$F' = 5 \cdot 34,8 = 174 \text{ м}^2; \text{ при цьому запас складає } 24\%.$$

4.8. Технологічний розрахунок вібраційної сушарки

Вихідні дані для розрахунку:

- продуктивність охолоджувача по вологому сухому молоку $G_1 = 500$ кг/год;
- товщина шару сухого молока у сушці $h = 25$ мм;
- початкова вологість сухого молока $W_1 = 8\%$;
- кінцева вологість сухого молока $W_2 = 3\%$;
- температура сушильного агента $t_1 = 120$ °C;
- початкова температура сухого молока $t_n = 90$ °C;
- максимально допустима температура нагрівання сухого молока $t_m = 100$ °C;
- швидкість сушильного агента $v = 1,7$ м/с;
- температура повітря у виробничому приміщенні $t_3 = 20$ °C;
- швидкість повітря в цеху $v_{ox} = 1,7$ м/с.

Обчислюємо швидкість сушіння сухого молока в зоні нагрівання:

$$\begin{aligned} N^C &= \left[0.46 \cdot (t_1 - 60)^{0.7} + k \cdot (\omega_1 - 25) + 8 \right] \cdot \sqrt{v \cdot \rho_g} \cdot \left(\frac{G_1}{F_p} \right)^{-0.6} = \\ &= \left[0.46 \cdot (120 - 60)^{0.7} + 0.48 \cdot (8 - 25) + 8 \right] \cdot \sqrt{1.7 \cdot 0.9} \cdot (9.5)^{-0.6} = 2.538\% / \text{хв} \end{aligned}$$

Значення коефіцієнта k отримано з довідникової літератури.

Визначаємо початкове питоме навантаження сухого молока на решітку з товщиною шару та питомій насипній вазі.

$$\frac{G_1}{F_p} = \rho_{нас} \cdot h = 0.025 \cdot 380 = 9.5 \text{ кг/м}^2$$

Розраховуємо тривалість циклу нагрівання сухого молока по відношенню до максимально допустимої температури без урахування втрат у навколишнє середовище:

$$\tau_1 = \frac{C'_3 \cdot (100 + w_1)}{N} \cdot \left[1 - \left(\frac{A - B \cdot t_n}{A - B \cdot t_m} \right)^{\frac{N^C}{B \cdot (100 + w_1)}} \right] =$$

$$\frac{0.417 \cdot (100 + 8)}{2.538} \cdot \left[1 - \left(\frac{4.58 - 0.04 \cdot 100}{4.58 - 0.04 \cdot 90} \right)^{\frac{2.538}{0.04 \cdot (100 + 8)}} \right] = 113.5 \text{ сек}$$

$$A = \left(\frac{v \cdot \rho_2 \cdot c_p}{\rho_{нас} \cdot h} - \frac{0.05515 \cdot N^C}{(100 + w_1)} \right) \cdot t_1 - \frac{627.1 \cdot N^C}{(100 + w_1)} =$$

$$= \left(\frac{1.7 \cdot 0.9 \cdot 0.25}{9.5} - \frac{0.05515 \cdot 2.538}{(100 + 8)} \right) \cdot 120 - \frac{627.1 \cdot 2.538}{(100 + 8)} = 4.58$$

$$A = \left(\frac{v \cdot \rho_2 \cdot c_p}{\rho_{нас} \cdot h} - \frac{0.61515 \cdot N^C}{(100 + w_1)} \right) = \left(\frac{1.7 \cdot 0.9 \cdot 0.25}{9.5} - \frac{0.61515 \cdot 2.538}{(100 + 8)} \right) = 0.4$$

$$C'_{3'} = \frac{100 \cdot c_{с.печ} + w_1}{(100 + w_1)} = \frac{100 \cdot 0.37 + 8}{(100 + 8)} = 0.417$$

Вологість сухого молока при виході з зони нагрівання:

$$\Delta W^C = N^C \cdot \tau_1 = \frac{2.538 \cdot 113.5}{60} = 5.1\%$$

Вологість сухого молока на виході з зони нагрівання:

$$W_2 = W_1 \cdot \Delta W^C = 8 - 5.1 = 2.9\%$$

Кількість вологи, яка випарюється в зоні нагрівання:

$$W = \frac{W_1 - W_2}{100 + W_1} \cdot G_1 = \frac{8 - 2.9}{100 + 8} \cdot 500 = 23.667 \text{ кг/год}$$

Площа решітки нагрівальної зони:

$$F_p = \frac{G_1 \cdot \tau}{\rho_{нас} \cdot h} = \frac{500 \cdot 113.5}{380 \cdot 0.025 \cdot 3600} = 1.593 m^2$$

Прийmemo розміри робочої камери:

- ширину: $A = 1000$ мм.
- довжину: $B = \frac{F_p}{1} = \frac{1.593}{1} = 1.593 m$, прийmemo $B = 1600$ мм.

Визначаємо необхідну кількість повітря:

$$V = v \cdot F_p \cdot 3600 = 1.7 \cdot 1.593 \cdot 3600 = 9749.16 m^3$$

Приймаємо розміри зони охолодження такими ж, що і зони нагрівання.

Визначаємо кількість сушильного агенту, необхідного для охолодження:

$$V_{ox} = v_{ox} \cdot F_p \cdot 3600 = 1.5 \cdot 1.593 \cdot 3600 = 8602.2 m^3$$

Визначаємо витрати теплоти на 1 кг випареної води з продукту:

$$q = \frac{\frac{V}{V_o} (I_1 - I_0)}{W} = \frac{\frac{2800}{1.15} (30.8 - 1.37)}{22.6} = 3171 \text{ Дж/кг випар. води (Ккал/кг випар. в)}$$

де: I_1 - ентальпія сушильного агенту при вході в зону нагрівання;

I_0 - ентальпія сушильного агенту в приміщенні;

V_o - об'єм вологого сушильного агенту.

Обчислюємо потужність, яка необхідна для двигунів вентиляторів :

- для зони нагрівання:

$$N_{\epsilon} = \frac{V \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_m \cdot \eta_n} = \frac{9749.16 \cdot 220}{3600 \cdot 102 \cdot 0.6 \cdot 0.96 \cdot 0.95} = 10.67 \text{ кВт}$$

де: H - загальний опір газового тракту та киплячого шару;

η_{ϵ} - ККД вентилятора

η_m - ККД муфти;

η_n - ККД передачі до вентилятора від двигуна.

- для зони охолодження:

$$N_{\epsilon} = \frac{V \cdot H}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_m \cdot \eta_n} = \frac{8602.02 \cdot 220}{3600 \cdot 102 \cdot 0.6 \cdot 0.96 \cdot 0.95} = 9.4 \text{ кВт}$$

4.9. Розрахунок теплоізоляції

Для визначення товщини шару ізоляційного матеріалу використовуємо формулу:

$$\delta = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t)}{q_n},$$

де: t_1 - температура теплоносія, °С;

t - температура на поверхні ізоляційного шару, °С;

q_n - гранично допустимі втрати з 1 м² поверхні ізоляції при заданій температурі, Вт/м²·К

λ - коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати, Вт/м²·К.

$$\delta = \frac{0,095 \cdot (190 - 20)}{162} = 0,0996 \text{ м} = 99,6 \text{ мм}.$$

Приймаємо товщину шару теплоізоляції 100 мм.

4.10. Підбір конструкційних матеріалів

Безпосередній контакт з технологічними середовищами, миючими і дезинфікуючими розчинами, довготривала робота, абразивна дія домішок, висока робоча температура, а також інші умови, визначають особливості вибору конструкційних матеріалів для виготовлення обладнання.

Враховуючи те, що в середину сушарки надходить молоко, яке в подальшому висушується гарячим повітрям, то для її виготовлення слід обрати корозійностійку та жаростійку сталь, яка задовольняє всі вимоги щодо безпеки харчової продукції та умов експлуатації обладнання. Дані показники в повній мірі забезпечить сталь 12Х18Н10Т ДСТУ 10027-1:2004. Таким чином, всі деталі сушильної установки А1-ОР2Ч, які контактують з продуктом, слід виготовляти саме з такої сталі.

Таблиця 4.1. Склад шлюзового затвору

Позиція	Назва деталі	Кількість
1	Корпус	1
2	Вал	1
3	Фланець	2
4	Бічна стінка	2
5	Лопать	1
6	Болт	12
7	Підшипник	2
8	Прокладка	2
9	Шпонка	1

Схема складання шлюзового затвору представлена на рис. 4.3 .

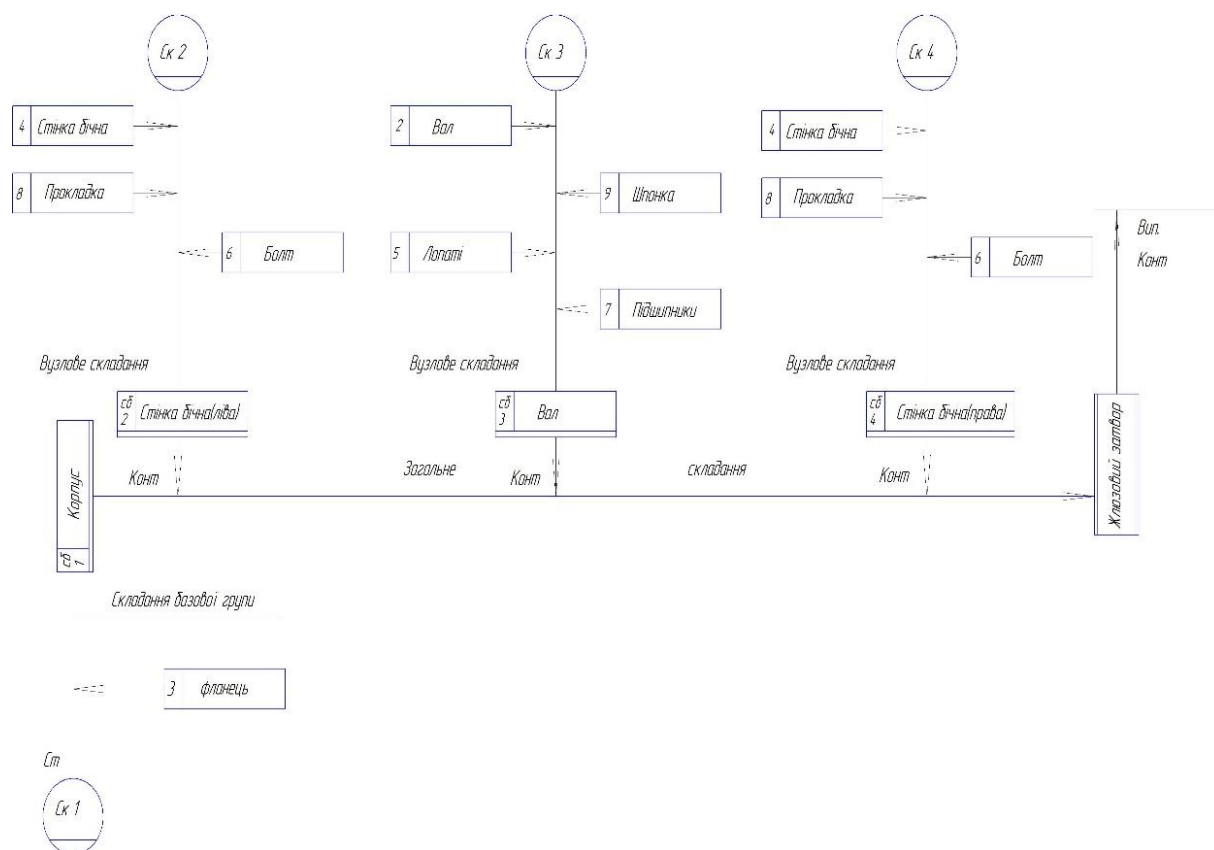


Рис. 4.3. Технологічна схема складання шлюзового затвору

Аналізуючи конструкцію шлюзового затвору (рис. 4.2) можна виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме Ск. 1 – корпус, Ск. 2 – ліва бічна стінка, Ск. 3 – вал, Ск. 4 – права бічна стінка, а також стандартні деталі – болти 6, підшипники 7, прокладки 8, шпонку 9.

На схемі складання (рис. 4.3) вертикальні лінії зі стрілками вказують послідовність складання окремих одиниць, а горизонтальні лінії в центрі схеми – послідовність з'єднання одиниць 1-го порядку. В прямокутниках зазначено найменування деталей і номери позицій даних деталей на кресленні. В прямокутниках з двома товстими лініями вказано найменування одиниць 1-го порядку. Використовуються також такі умовні позначення, що є технологічними вказівками: Конт. – контроль; Ст. – складання на стенді.

Технологічний маршрут складання шлюзового затвору полягає в описі короткого змісту операцій з переходами (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. Технологічний маршрут складання шлюзового затвору

Номер операції	Номер переходу, зміст переходу
10. Складання корпусу(Ск.1)	10.1 Встановити корпус на складальний стенд та закріпити його 10.2 Очистити отвори від стружки
20. Складання стінки бічної (лівої) (Ск.2)	20.1 Встановити кришку на складальний стенд та закріпити її 20.2 Очистити отвори від стружки 20.3 Встановити прокладку 20.4 Встановити складальний вузол Ск.2 в Ск.1, закрутити болти
30. Складання валу (Ск.3)	30.1 Встановити вал на складальний стенд та закріпити його 30.2 Встановити підшипник 30.3 Встановити шпонку 30.4 Встановити лопаті 30.5 Встановити підшипник 30.6 Встановити складальний вузол Ск.3 в Ск.1, закрутити болти
40. Складання стінки бічної (правої) (Ск.2)	40.1 Встановити кришку на складальний стенд та закріпити її 40.2 Очистити отвори від стружки 40.3 Встановити прокладку 40.4 Встановити складальний вузол Ск.4 в Ск.1, закрутити болти
50. Контрольна	50.1 Проконтролювати правильність збирання
60. Консервація	60.1 Нанести захисне покриття

Розрахунок розмірного ланцюга для складання підшипникового вузла шлюзового затвору

Зазвичай в процесі складання вузлів обладнання виникає похибка в розмірі ланки, що замикає відповідну складальну одиницю. Це спричинено похибками в розмірах деталей та їх розміщенням у складальній одиниці. Дійсні значення складальних ланок розмірних ланцюгів утворюються лише в процесі складання. При великій кількості ланок розмірного ланцюга і малому допуску замикаючої ланки ретельність створення ланок може суттєво ускладнити виробництво й переважити економічну доцільну точність. У цих випадках доводиться або використовувати в конструкції складальних одиниць компенсатори або виконувати підгонку ланок за місцем.

Розглянемо підшипниковий вузол шлюзового затвору, що має компенсатор у вигляді прокладки (рис. 4.4.).

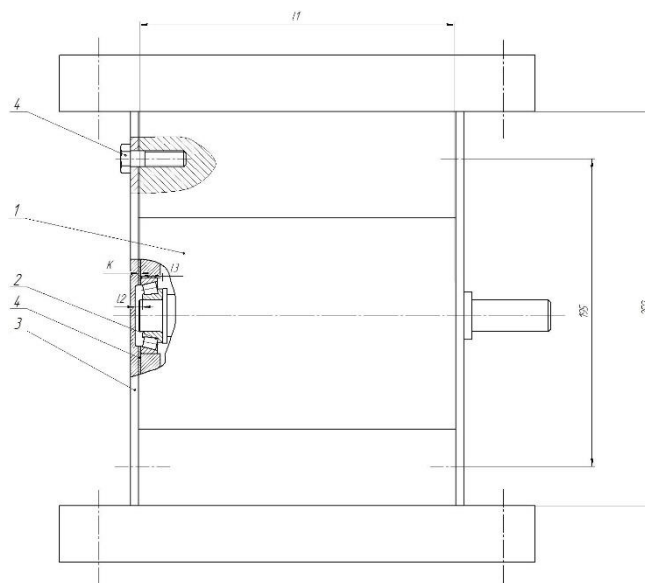


Рис. 4.4. Підшипниковий вузол шлюзового затвору

У корпусі встановлено підшипник, в якому обертається вал. Підшипник з одного боку впирається в торець буртика валу. Для уникнення зміщення підшипника він підпирається кришкою. Між кришкою та корпусом підшипника встановлено прокладку.

З метою забезпечення надійної роботи підшипникового вузла та уникнення осьового переміщення підшипника, зазор між корпусом та прокладкою підшипника має бути незнаним (в межах $\Delta = 0.1 \dots 0.3$ мм). Для розрахунку приймемо $\delta_{\Delta} = 0.2$ мм.

Враховуючи допуски на розміри ланок, що входять в розмірний ланцюг:

$$\delta_{l_1} = +0.22; \delta_{l_2} = +0.54; \delta_{l_3} = -0.19; \delta_{l_{зам}} = +0.54, \text{ визначаємо розміри всіх ланок:}$$

$$l_1 = 70^{+0.22}, l_2 = 12^{+0.54}, l_3 = 30_{-0.19}, l_{зам} = 2^{+0.54}.$$

Значення компенсатора потрібно скорегувати на значення компенсації, що обчислюється за формулою:

$$\delta_k = \left[\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i \right] - \delta_{\Delta}$$

де: δ_i – величина допуску;

δ_{Δ} – розмір замикаючої ланки;

m – кількість ланок розмірного ланцюга.

Отже, найбільша величина значення компенсації складає:

$$\delta_k = (\delta_{l_1} + \delta_{l_2} + \delta_{l_3} + \delta_{l_{зам}}) - \delta_{\Delta} = (0.22 + 0.54 - 0.19 + 0.54) - 0.2 = 1.11 \text{ мм}$$

У межах отриманого значення $\delta_k = 1.11$ мм., визначаємо кількість компенсаторів, потрібних для забезпечення надійної експлуатації складальної одиниці.

$$n = \frac{\delta_k}{\delta_{\Delta}} + 1 = \frac{1.11}{0.2} + 1 \approx 6$$

4.12. Правила монтажу та технічного сервісу модернізованого обладнання

Сушарка А1-ОР2Ч доставляється на монтажний майданчик у розібраному вигляді. Для приймання призначається відповідальна особа, яка здійснює приймання обладнання, що надійшли на об'єкт, і записує в журнал

«Прийому і огляду обладнання». Після перевірки стану обладнання підписується акт «приймання – здачі обладнання».

Перед монтажем необхідно ознайомитися з проектною документацією, очистити сушарку від антикорозійного покриття. Сушарка встановлюється на бетонний фундамент, глибина залягання якого не повинна бути менше 500мм.

Монтаж починають із підйому апарата за допомогою крану. Далі обладнання встановлюється на фундамент. Необхідна точність установки сушарки в обох напрямках 0,5 / 1000 мм. Після вивірки апарата фундаментні болти заливаються бетоном. Після затвердіння бетону слід затягнути гайки фундаментних болтів, перевіряючи положення сушарки по рівню. Затягування гайок повинно проводитися рівномірно і плавно.

При здійсненні монтажу обладнання потрібно впевнитися, що:

- всі зварні шви є надійними;
- усі заглушки та люки в закритому стані забезпечують герметичність.

Після установки і вивірки сушарки перевіряють надійність зачеплення зубчастої передачі проводу розпилювального диску, надійність усіх з'єднань. Після підключення розпилювальної сушарки до електромережі перевіряють захисне заземлення.

Якщо всі роботи виконані відповідно до технічних вимог, то обладнання готують до випробовування під навантаженням. В процесі налагоджування перевіряють частоту обертання двигунів, визначають витрати електроенергії, вимірюють тиск у трубопроводах і сушарці, об'ємну витрату сушильного агенту. Після проведення випробовування під навантаженням складається відповідний акт.

Що стосується технічного сервісу сушарки А1-ОР2Ч, то він полягає в підтриманні обладнання у працездатному стані. Для цього передбачаються два види робіт: проведення міжремонтного обслуговування та здійснення періодичних планових ремонтних робіт.

Міжремонтне обслуговування передбачає огляд і контроль устаткування, окремих агрегатів і вузлів обладнання, налаштування засобів контролю та керування, усунення незначних неполадок. Результати комплексного обстеження зводяться в єдину схему за якою складається відомість дефектів обладнання.

Здійснення періодичних планових робіт передбачає проведення огляду обладнання, поточного чи капітального ремонту обладнання згідно розробленим графікам.

Поточний ремонт здійснюється з метою підтримання обладнання в працездатному стані до настання чергового капітального ремонту. Поточний ремонт передбачає заміну чи ремонт дрібних вузлів і деталей, регулювання механізмів, здійснення статичного балансування деталей, які обертаються, ремонт та очищення інженерних мереж.

При капітальному ремонті обладнання розбирається повністю. Такий ремонт передбачає заміну або ремонт всіх зношених деталей, повне регулювання обладнання. При проведенні капітального ремонту здійснюють і модернізацію устаткування.

Пакет документації для проведення технічного сервісу розпилювальної сушарки включає в себе: ескіз чи кресленик сушарки, методи перевірки працездатності, перелік ремонтних операцій та їх зміст, технічні умови на виконання таких операцій, перелік матеріальних ресурсів.

5. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

У харчовій промисловості комплексній автоматизації процесів (апаратів) приділяється велика увага, що є наслідком складності і високої швидкості протікання технологічних процесів, а також чутливості їх до порушення технологічного режиму.

Комплексна автоматизація процесів припускає не тільки автоматичне забезпечення нормального ходу цих процесів з використанням різних автоматичних пристроїв (контролю, керування, сигналізації, тощо), але й автоматичне керування пуском і зупинкою апаратів для ремонтних робіт та в критичних ситуаціях. Впровадження автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення навколишнього середовища промисловими викидами.

На рис. 5.1 представлена принципова схема автоматизованого керування об'єктом.

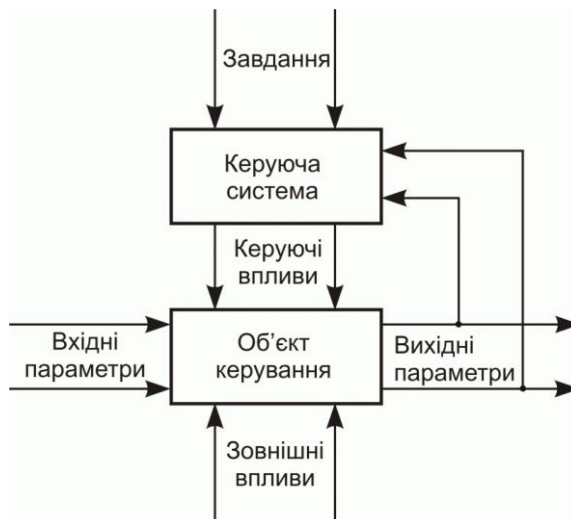


Рис. 5.1. Принципова схема автоматизованого керування об'єктом керування

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Принципи автоматизованого управління об'єктом проектування		221867.KP.14.005.ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.			Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/4

До об'єкта керування надходять збурюючі впливи, що приводять до відхилення вихідних параметрів. Інформація про відхилення вихідних параметрів за допомогою пристроїв контролю передається в керуючу систему, де відбувається порівняння її з відповідним завданням. За розміром відхилення у керуючій системі виробляється по визначеному закону вплив, що приводить об'єкт керування до нормального технологічного режиму.

Процеси харчових технології (при розгляді їх з точки зору задач управління) подають у вигляді динамічних систем, поведінка яких у часі визначається поточними значеннями ряду характерних величин – витрати речовин, їхньої температури, тиску та ін. При нормальному протіканні процесу ці величини мають певні, так звані номінальні значення.

В силу ряду зовнішніх причин (зміна витрати потоку його тиску, температури і ін.) або явищ, що протікають у самому апараті (зміна гідродинамічної обстановки в апараті, умов передачі тепла через поверхні та ін.), зазначені величини можуть відхилятися від номінальних значень. Це призведе до порушення процесу, зниження кількості і якості одержуваної продукції, інтенсивного зносу устаткування. Щоб процес протікав нормально, ним потрібно керувати.

У кваліфікаційній роботі в якості об'єкту керування технологічним обладнанням обрано розпилювальну сушильну установку А1-ОР2Ч. До складу структури підсистеми керування входять такі сигнали керування: вологість, витрата та температура сухого молока, витрата та температура сушильного агента, тиск. Номінальні параметри стабілізації витрат, вологості та тиску залежать від технологічної карти ведення процесу. Датчики температури, тиску і вологості забезпечують необхідною інформацією систему керування з метою підтримки заданого режиму роботи технологічного обладнання.

Для підтримання процесу сушіння молока в заданих режимах потрібно в автоматичному режимі регулювати рівень в резервуарі для зберігання

сухого молока, температуру сушильного агенту на вході в виході з сушарки, тиск пари в калорифері.

У зв'язку з тим, що процес сушіння молока є вибухо- та пожежонебезпечним, то слід прийняти найбезпечніші для здоров'я та життя людей системи управління і регулювання. Так, з метою запобігання самозаймання порошку сухого молока в сушарці потрібно забезпечити блокування подачі в башту гарячого сушильного агенту і молока.

На рис. 5.2 представлена принципова структурна схема інформаційних потоків при керуванні роботою обладнання.



Рис. 5.2. Принципова структурна схема інформаційних потоків при керуванні роботою обладнання

Нижче подано опис системи управління сушарки А1-ОР2Ч (рис. 5.3). Молоко з вакуум-випарного апарата потрапляє в резервуар для відстоювання, рівень молока в якому визначається ємнісним рівнем – сигнал надходить на потенціометр. Температура сухого молока в апараті визначається термометром опору. На вході і виході з сушарки здійснюється вимірювання і регулювання температури сушильного агенту. В місці під'єднання повітропроводу до сушарки встановлено манометричний термометр. Сигнал надходить на самописний прилад, звідки далі подається на систему пневматичного регулювання, що відправляє керуючу дію на робочий орган контролю витрати пари у калорифері. На виході з сушарки манометричним термометром здійснюється визначення температури вторинного сушильного

агенту. Сигнал надходить на вторинний показниковий прилад на щиті керування

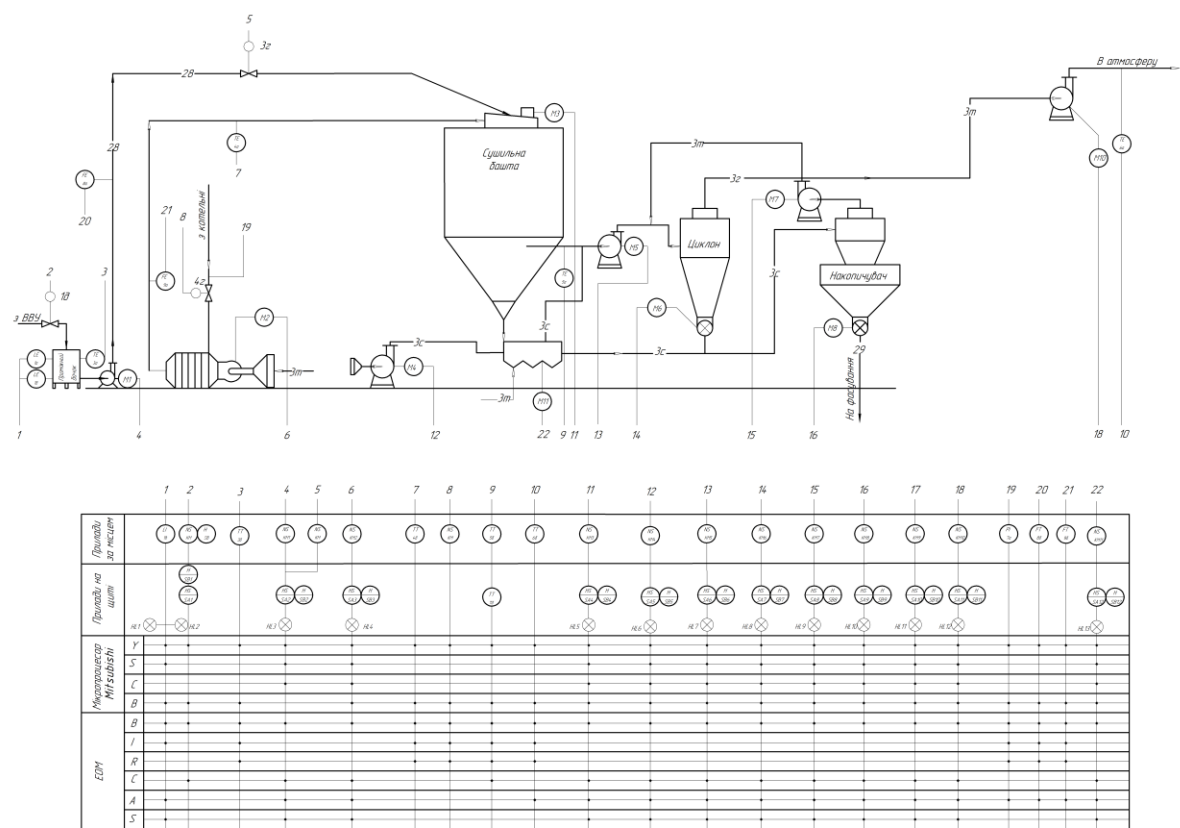


Рис. 5.3. Схема автоматизованого управління сушарки А1-ОР2Ч

6. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

6.1. Заходи з охорони праці

У процесі праці людина сприймає і переробляє інформацію, реалізує комунікативну функцію психіки, проявляє індивідуальні властивості поведінки у тих чи інших небезпечних ситуаціях. Тому, для забезпечення безпечних та комфортних умов праці потрібно дотримуватися заходів з охорони праці. Терміни і визначення основних понять з охорони праці висвітлені у стандарті ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять».

Відповідно до вимог статті 14 Закону України «Про охорону праці» працівник зобов'язаний:

- піклуватися про особисту безпеку і здоров'я, а також про безпеку і здоров'я оточуючих людей під час виконання будь-яких робіт чи при перебуванні на території підприємства;
- знати і виконувати вимоги: нормативно-правових актів з питань охорони праці; правила поводження з машинами, механізмами, устаткуванням та іншими засобами виробництва;
- використовувати засоби колективного та індивідуального захисту (ЗІЗ);
- проходити у встановленому законодавством порядку попередні та періодичні медичні огляди.

Важливою умовою організації безпечного виробничого процесу на підприємстві є проведення інструктажів, навчання та перевірка знань з питань охорони праці. Відповідальність за організацію навчання та перевірки знань працівників в цілому по підприємству покладається на роботодавця. При цьому особи, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань, до роботи не допускаються.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Заходи з охорони праці та охорони довкілля	221867.KP.14.006.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/9	

Важливим фактором, що впливає на роботу працівника, є мікроклімат робочої зони. Стан навколишнього виробничого середовища характеризується такими метеорологічними умовами: температурою, відносною вологістю, барометричним тиском і швидкістю руху повітря. Вищевказані параметри визначають умови теплообміну організму працівника із довкіллям і повинні бути в межах нормованих значень.

В контексті забезпечення комфортних умов праці потрібно також відмітити про освітлення. Правильно виконане раціональне освітлення промислових підприємств має важливе значення для виконання всіх видів робіт. Недостатня освітленість, або її надмірна кількість, знижує рівень збудженості центральної нервової системи і, природньо, активність усіх життєвих процесів.

Покращення умов праці та зростання продуктивності праці нерозривно пов'язані з проблемою зменшення вібрації на виробництві. Систематичний вплив вібрації може бути причиною вібраційної хвороби – стійких порушень фізіологічних функцій організму, зумовлених переважною дією вібрації на центральну нервову систему. Вібрація негативно впливає на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, м'язи, кістково-суглобний апарат, зір, слух.

Негативний вплив на працівника має також шум. У разі тривалого його впливу в людини знижується гострота слуху, погіршується стан центральної нервової і серцево-судинної системи, шлунково-кишкового тракту та органів дихання. Захист працівників від шуму можна забезпечувати, як колективними засобами та методами, так і індивідуальними.

Безпека праці досягається забезпеченням безпеки будівель та споруд, виробничих процесів і обладнання. Вирішення питань охорони праці здійснюється на стадіях проектування, виготовлення й експлуатації різних об'єктів виробничого призначення. Будівлі, споруди підприємств мають відповідати будівельним нормам і правилам, санітарним нормам

проектування промислових підприємств, а також галузевим нормативним документам.

Важливе значення для здорових та безпечних умов праці мають раціональне розміщення основного і допоміжного устаткування, правильна організація робочих місць. Організація робочих місць повинна забезпечувати вільність рухів працівників, безпеку виконання трудових операцій. Безпека виробничих процесів значною мірою залежить від рівня організації та планування цехів, ділянок, від облаштованості та організації робочих місць. Вона забезпечується комплексом проектних та організаційних рішень, який містить: відповідний вибір технологічних процесів, робочих операцій, виробничого обладнання, порядок його обслуговування й умови його розміщення, засоби зберігання і транспортування матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готової продукції та відходів виробництва, засобів захисту працівників.

Виробничі процеси мають бути пожежо- і вибухобезпечними, а також не повинні забруднювати навколишнє середовище шкідливими виробами. Загальні вимоги до виробничих процесів передбачають:

- заміну технологічних процесів та операцій, пов'язаних з виникненням небезпечних і шкідливих факторів, процесами та операціями, при виконанні яких ці фактори відсутні;
- комплексну механізацію та автоматизацію виробництва;
- застосування дистанційного управління технологічними процесами; герметизацію обладнання;
- застосування засобів колективного захисту працівників;
- усунення контакту працівників з матеріалами, заготовками, готовою продукцією, відходами виробництва, які справляють небезпечну дію; перехід від періодичних процесів до безперервних;
- застосування контролю й управління технологічними процесами;
- використання раціональних режимів праці та відпочинку.

Щодо безпеки виробничого обладнання, то її слід охарактеризувати як властивість виробничого обладнання зберігати відповідність вимогам безпеки праці при виконанні заданих функцій в умовах, установлених нормативно-технічною документацією. Конструкції машин і виробничого обладнання повинні проектуватися так, щоб вони не були джерелом несприятливого впливу на людину. У проектуванні конструкцій машин і виробничого обладнання має враховуватися також забезпечення обслуговування обладнання в сприятливих для працівника позах із застосуванням зусиль, траєкторії, швидкості та кількості рухів суглобів у фізіологічно допустимих позах. Рівень безпеки виробничого обладнання забезпечується технічними й організаційними заходами, здійсненням атестації робочих місць, контролем за станом і експлуатацією обладнання; проведенням згідно з графіком планових ремонтів.

Що стосується безпеки сушарки А1-ОР2Ч, то на рис. 6.1. відмічено основні небезпечні фактори: Ш – шум, В – вібрація, Т – підвищена температура, Е – можливість ураження електричним струмом, П – можливість виникнення пожежі.

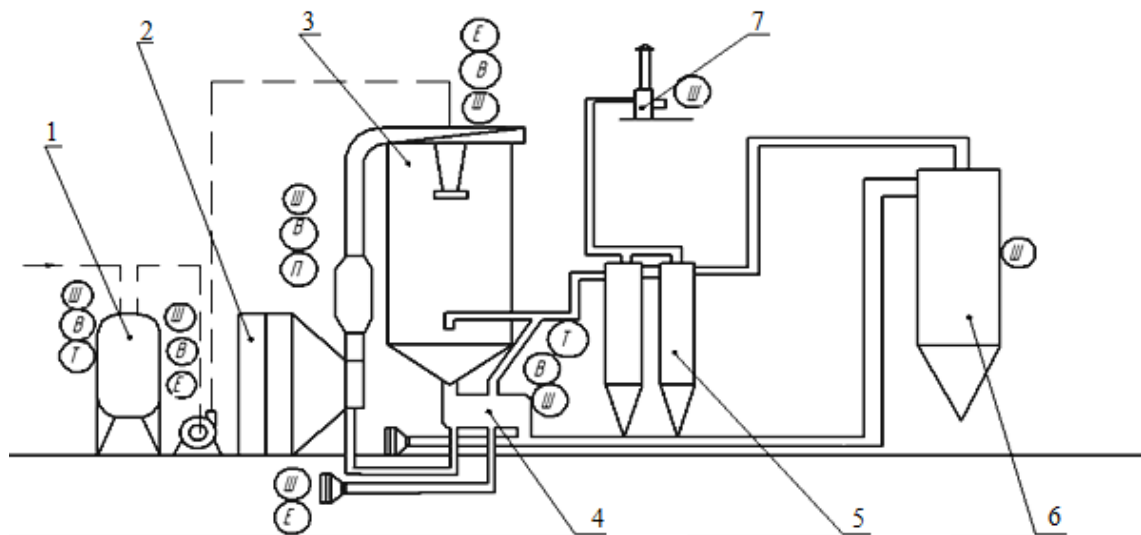


Рис. 6.1. Основні небезпечні фактори при роботі обладнання: 1 – ємність для молока; 2 – калорифер з вентилятором; 3 – розпилювальна сушарка; 4 – вібросушарка; 5, 6 – циклони; 7 – вентилятор

З метою зниження загрози отримання опіків, обладнання ізолюється шаром теплоізоляції. Температура теплоізованих поверхонь сушильного устаткування (сушарки, калориферів, трубопроводів) повинна бути менше 45 °С. З метою зниження рівня шумів і вібрації – обладнання встановлюється на віброопори.

Як колективний засіб від шкідливих та небезпечних факторів застосовується сигналізація безпеки – сигнальні кольори та знаки. Сигнальні кольори і знаки безпеки призначені для привертання уваги працюючих до безпосередньої небезпеки, застереження про можливу небезпеку, приписування і дозволу певних дій з метою забезпечення безпеки, а також для необхідної інформації. В Україні вони регламентуються ДСТУ ISO 6309:2007. Знаки безпеки повинні контрастно виділятися на навколишньому фоні і знаходитися у полі зору людей, яких вони стосуються. Форма, розмір і колір знаків безпеки повинні відповідати чинним стандартам.

Знаки безпеки праці поділяються на чотири групи:

- заборонні знаки – призначені для заборони певних дій у визначених місцях або приміщеннях (заборона користуватись відкритим вогнем, курити, входити чи проходити, гасити водою та ін.);
- попереджувальні знаки – призначені для попередження працівників про можливу небезпеку (електричний струм, легкозаймисту чи отруйну речовину, лазерне випромінювання тощо);
- приписуючі знаки – призначені для дозволу на певні дії працівників лише при виконанні конкретних вимог (припису) з охорони праці (обов'язкове застосування засобів захисту, виконання заходів щодо забезпечення безпеки праці);
- вказівні знаки – призначені для інформування про місце знаходження відповідних об'єктів та засобів (пункту медичної допомоги, пожежної охорони, вогнегасника, пожежного крану, пункту сповіщення про пожежу тощо).

Отже, дотримання правил і норм щодо охорони праці є основним чинником безпечної та комфортної роботи працівників.

6.2. Заходи з охорони довкілля

Інтенсивний розвиток харчової промисловості призвів до загострення проблеми із забрудненням навколишнього середовища від діяльності підприємств, тому питання охорони навколишнього середовища є надзвичайно актуальним. Дане питання слід розглядати всебічно, оскільки антропогенна діяльність вносить фізичні, хімічні, біологічні зміни в природне середовище. Забруднення навколишнього середовища шкідливо впливає на всі сторони суспільного життя. Створюється загроза для здоров'я і життя людей, що може стати причиною підвищеної захворюваності, передчасного старіння, виникнення важких віддалених наслідків.

В сучасних умовах розвитку необхідно застосовувати прогресивні методи та засоби екологічного контролю при вирішенні проблем охорони навколишнього середовища. Для зменшення негативного впливу на довкілля від діяльності підприємств потрібно ощадливо і раціонально використовувати природні ресурси, впроваджувати сучасні високоефективні методи очищення викидів.

Оскільки в кваліфікаційній роботі розглядається сушарка, робота якої характеризується пиловиділеннями, то зупинимося на питанні охорони атмосфери.

Забруднення атмосфери – це потрапляння в неї речовин різного походження, які або не властиві природному складу атмосфери, або знаходяться в концентраціях, які значно відрізняються від їх природного вмісту в атмосфері і шкідливо впливають на живі організми або пригнічують їх життєдіяльність.

Згідно з законом України «Про охорону атмосферного повітря», для обмеження забруднення та можливості контролю стану повітряного

середовища Міністерством охорони здоров'я встановлюються гранично допустимі концентрації (ГДК) забруднюючих атмосферу речовин. Нормативи гранично допустимих концентрацій, що затверджуються Міністерством охорони здоров'я України, встановлені для 600 речовин у повітряному середовищі. Усі шкідливі речовини за ступенем небезпечної дії на людину поділяються на чотири класи: I – надзвичайно небезпечні, II – високо-небезпечні, III – помірно-небезпечні (сажа, цемент); IV – мало-небезпечні. Що шкідливіша речовина, то складніше здійснити захист атмосферного повітря. Для кожної речовини встановлюються два нормативи концентрації: максимальна разова і середньодобова.

Для оцінки стану повітряного середовища в цілому запропонований ряд комплексних показників забруднення атмосфери (сумісно з декількома забруднюючими речовинами). Найпоширенішим є комплексний індекс забруднення атмосфери, який розраховують як суму нормованих за гранично допустимих концентрацій і приведених до концентрації середнього вмісту різних шкідливих речовин.

Також для оцінки ступеня забрудненості атмосфери проводять визначення категорії небезпечності підприємств (КНП), залежно від маси, виду та складу забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферу. Для розрахунку категорії небезпечності підприємств за відсутності середньодобових значень ГДК використовують значення максимально-разової гранично допустимої концентрації або зменшують в десять разів значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин для робочої зони.

За величиною категорії небезпечності підприємств підприємства поділяють на 4 категорії небезпечності. Граничні умови для виділення підприємства за категоріями небезпечності наведено в табл. 6.1.

Категорії небезпечності підприємств та граничні значення КНП

Категорії небезпечності	Значення КНП	Санітарно-захисна зона, м
I	$\geq 10^8$	1000
II	$10^8 < \text{КНП} \leq 10^4$	500
III	$10^4 < \text{КНП} \leq 10^3$	300

Залежно від категорії небезпечності підприємства здійснюється облік викидів забруднюючих речовин в атмосферу і запроваджується періодичність контролю за викидами підприємств, а також визначається розмір санітарно-захисних зон від джерел забруднень до житлових районів.

Гранично допустимі концентрації, що є нормативами якості навколишнього природного середовища, є підґрунтям, на основі якого розробляються заходи, приймаються рішення, підраховуються затрати на охорону природи і оплату за користування природою.

Щоб знайти компроміс між екологією та економікою, дуже важливо встановлювати науково обґрунтовані, ретельно перевірені і досяжні нормативи.

Відповідно до Закону «Про охорону атмосферного повітря», з метою обмеження техногенної дії на атмосферу, в якості охоронного заходу, поряд з ГДК, передбачають регулювання і кількісне обмеження викидів в атмосферу. Реалізація цього положення Закону здійснюється нормуванням гранично допустимим викидом забруднюючих речовин стаціонарними і пересувними джерелами забруднення.

Гранично допустимий викид – це маса шкідливої речовини, яка не повинна перевищуватися під час викиду в атмосферу за одиницю часу. ГДВ встановлюється для кожного джерела забруднення атмосфери (і для кожного інгредієнту, який надходить до атмосфери з цього джерела), таким чином, що

викиди шкідливих речовин від даного джерела та від сукупності джерел усього населеного пункту з урахуванням перспектив розвитку інфраструктури промислових підприємств і розсіювання шкідливих речовин в атмосфері не створюють приземну концентрацію, яка перевищувала б їх ГДК_{мр} (гранично допустима концентрація максимально разова). Основні значення ГДВ_{мр} (максимальні разові), встановлюються за умови повного навантаження як технологічного, так і газоочисного обладнання та їх нормальної роботи, і не повинні перевищуватись в будь-який довільний 20-хвилинний період часу.

Як зазначалося, при роботі сушарки А1-ОР2Ч утворюється значна кількість пилу (дрібнодисперсні частинки матеріалу). Для зменшення негативного впливу на атмосферу, повітря, що містить даний пил, перед відведенням в атмосферу потрібно очищати.

Для очищення повітря від пилу використовується різноманітне обладнання – фільтри, скрубери, циклони, труби Вентурі, тощо. Використовують також комбіновані способи очищення повітря: спочатку вловлюють пил в циклонах, а потім застосовують мокрий спосіб вловлювання частинок для остаточного очищення.

Найбільш розповсюдженим обладнанням для вловлювання пилу є циклон. Ефективність вловлювання твердих частинок в циклонах досягає 99,6 %. Перевагами циклонів є: висока ефективність очищення, незначні енергозатрати, простота конструкції. До недоліків циклонів відносять недостатньо високу ступінь очищення пилу з розмірами частинок до 10 мкм. Тому, застосування одних циклонів при сухому способі очищення відпрацьованого сушильного агенту від молочного пилу недостатньо.

7. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Щоб забезпечити постійне надходження прибутку та достатній рівень конкурентоспроможності кожне підприємство повинно здійснювати свою діяльність на основі дослідження потреб і запитів споживачів. Це стає можливим за рахунок застосування елементів маркетингу.

Застосуємо елементи маркетингу для оцінки можливості використання удосконаленої розпилювальної сушарки А1-ОР2Ч. Почнемо з розгляду тенденції виробництва сухого молока.

Впродовж останніх років виробництво сухого молока в Україні почало плавно збільшуватися, що пов'язано, насамперед, з інтенсивним розвитком молочної промисловості (обладнання та технологій) та розширенням застосування сухого молока у харчових технологіях. За даними аналітиків впродовж 2019 року об'єм виробництва сухого молока зріс на 147%, і продовжує зростати. Серед виробників сухого молока провідні позиції посідає група компаній «Молочний альянс», що реалізують власну продукцію не лише в Україні, а і в країнах Європейського союзу.

Однак, також і є певні проблеми в даній сфері – це, зокрема, недостатньо висока конкурентоспроможність українських виробників сухого молока. Для її покращення потрібно відкривати нові ринки збуту. В контексті цього потрібно відмітити, що легкість транспортування сухого молока є фактором, який спрощує логістичну задачу, котра стоїть перед експортерами, а отже відкриває нові ринки для виробників сухого молока.

Збільшення ринку збуту сухого молока однозначно приведе до потреби в розширенні виробництва, підвищенні продуктивності обладнання при забезпеченні високої якості продукції. При цьому, для ефективного функціонування на ринку виробники повинні володіти достовірною

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Маркетингове обґрунтування проекту	221867.KP.14.007.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/2	

інформацією про стан та динаміку попиту і пропозиції на кожному з них.

Що стосується виробників сушарок, то багато вітчизняних та світових виробників даного обладнання представлено в країнах Європи та Північної Америки. Багато обладнання для розпилювального сушіння виробляється такими компаніями як European SprayDry Technologies (Великобританія), Buchi Labortechnik AG (Швейцарія), GEA Group (Німеччина), SPX Flow (США), ATZ (Китай). Щоб залишатися конкурентоспроможними на ринку обладнання для перероблення молока ці компанії застосовували різні стратегії розвитку, такі як випуск інноваційної продукції, розширення виробництва, злиття виробництв.

Обсяг світового ринку обладнання для розпилювального сушіння станом на 2020 рік оцінюється в 4,5 млрд. доларів США. За прогнозами аналітиків він досягне 6,0 млрд. доларів США до 2025 року. Ринок даного обладнання має високий потенціал зростання через декілька факторів, включаючи зростання споживання сухих продуктів та інновації в галузі обладнання для розпилювального сушіння.

Отже, на основі результатів проведеного маркетингового дослідження можна стверджувати про перспективність використання розробленої в даній кваліфікаційній роботі вдосконаленої розпилювальної сушарки A1-OP2Ч для отримання сухого молока.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему «Дослідження системи розподілу повітря в розпилювальній сушильній установці А1-ОР2Ч з метою її удосконалення» вирішено одне з актуальних питань – покращення процесу сушіння продуктів, зокрема, молока.

На основі проведеного аналітичного огляду встановлено, що однією з причин недостатньої ефективності процесу сушіння в сушильній установці А1-ОР2Ч є недолік в конструкції флюїдного дна. Він полягає в неможливості забезпечення однорідної швидкості сушильного агенту над розподільчою решіткою, що підтверджено власними науковими дослідженнями із застосуванням CFD технологій.

Для усунення даного недоліку запропоновано під решітку флюїдного дна інтегрувати три конічні розподільчі вставки. Це приводить до покращення аеродинаміки сушильного агенту під і над розподільчою решіткою – швидкість повітря є більш однорідною, що однозначно приводить до покращення процесу сушіння за рахунок рівномірного сушіння частинок продукту, які опускаються на решітку.

На основі CFD моделювання встановлено раціональні розміри конічних розподільчих вставок: більша вставка $D^{\delta_o} = 0,65D_k$, $D^{\delta_v} = 0,75D_n$; середня вставка $D^c_o = 0,4D_k$, $D^c_v = 0,5D_n$; менша вставка $D^m_o = 0,15D_k$, $D^m_v = 0,25D_n$. Позначення: D^{δ_o} , D^c_o , D^m_o – діаметр вставки, відповідно, більшої, середньої та меншої при основі; D^{δ_v} , D^c_v , D^m_v – діаметр вставки, відповідно, більшої, середньої та меншої при вершині; D_k – внутрішній діаметр корпусу флюїдного дна (1280 мм); D_n – внутрішній діаметр патрубку підведення повітря (400 мм).

Відповідальна організація	Технічне узгодження Лемента С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Висновки	221867.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні рекомендації до виконання випускової кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «Магістр» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» освітньо-професійної програми «Інжиніринг харчових виробництв» денної та заочної форм навчання / В. Г. Мирончук та ін. Київ : Національний університет харчових технологій, 2022. 51 с.

2. Процеси і апарати харчових виробництв. Теплообмінні процеси : підручник / В. С. Бойко та ін. Мелітополь : Лух, 2021. 329 с.

3. Бойко В. С., Самойчук К. О., Тарасенко В. Г. Процеси і апарати харчових виробництв. Гідромеханічні процеси : підручник. Мелітополь : Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. 280 с.

4. Основи розрахунку та конструювання обладнання переробних і харчових виробництв : підручник / К. О. Самойчук та ін. Київ : Проф. книга, 2020. 428 с.

5. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник / А. М. Поперечний та ін. Київ : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.

6. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості / В. Г. Мирончук та ін. Вінниця : Нова книга, 2004. 288 с.

7. Долинский А. А., Малецкая К. Д. Распылительная сушка : в 2-х томах. Т. 1 Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. Киев : Академперіодика, 2011. 376 с.

8. Белінська К. О., Шутюк В. В., Фалендиш Н.О. Сучасний стан наукових досліджень в сушінні молока розпилом та використання нетрадиційної сировини. *Наукові праці НУХТ*. 2014. Т. 20, № 5. С. 161-169.

9. Сидоров Ю. І. Розпилювальні сушарки в біотехнології. *Біотехнологія*. 2012. Т.5 (4). С. 46–54.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Лементар С.Ю.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Бодровський Д.Ю.	Назва, додаткова назва Список використаних джерел	221867.KP.14.000.ПЗ				
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/3	

10. Кожухар В. Я., Брем В. В., Макаров О. В. Автоматизовані системи керування хіміко-технологічними процесами : навчальний посібник. Одеса : Одеська політехніка, 2021. 223 с.

11. Автоматизація виробничих процесів. Дифузійні процеси (обладнання для сушіння). Навчально-методичний посібник до практичних робіт для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» галузей знань 15 «Автоматизація та приладобудування» та 18 «Виробництво та технології» усіх форм навчання / В. В. Тичков та ін. Черкаський державний технологічний університет. Черкаси, 2018. 179 с.

12. Євтушенко О. В., Сірик А. О. Основи охорони праці : підручник. Київ : Національний університет харчових технологій, 2020. 378 с.

13. Приемов С. И. Методы расчета и повышения эффективности очистки циклонных пылеуловителей : монография. Киев : Кафедра, 2014. 132 с.

14. Загальні технології харчових виробництв : підручник / В. А. Домарецький та ін. Київ : Університет «Україна», Національний університет харчових технологій, 2010. 814 с.

15. Сушильна установка А1-ОР2Ч, © ПрАТ «Калинівський машинобудівний завод» [Електронний ресурс]
<https://kmbp.com.ua/produksiya/rishennia-dlia-molochnoi-promyslovosti/sushilni-ustanovki/sushylna-ustanovka-a1-or2ch>.

16. ДСТУ EN 1672–2–2001. Обладнання для харчової промисловості. Вимоги щодо безпеки і гігієни. Частина 2. Вимоги щодо гігієни. Київ. 2002. 32 с.

17. Langrish T. New engineered particles from spray dryers: research needs in spray drying. *Drying Technol.* 2007. 25 (6). P. 971–983.

18. Langrish T. Multi-scale mathematical modelling of spray dryers. *J. Food Eng.* 2009. 93 (2). P. 218–228.

19. Guo B., Langrish T., Fletcher D. Simulation of gas flow instability in a spray dryer. *Chem. Eng. Res. Des.* 2003. 81 (6). P. 631–638.

20. Huang L., Kumar K., Mujumdar A. A comparative study of a spray dryer with rotary disc atomizer and pressure nozzle using computational fluid dynamic simulations. *Chem. Eng. Process.* 2006. 45 (6). P. 461–470.

21. Spray drying equipment market [Electronical resource]
<https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/spray-drying-equipment-market-229851536.html>.