

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім.акад.І.С.Гулого

Кафедра технологічного обладнання  
та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Блаженко С.І.  
(підпис)(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Мирончук В.Г.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_р

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**Кваліфікаційна робота**  
на здобуття освітнього ступеня магістра

зі спеціальності **133 «Галузеве машинобудування»**  
освітньо-професійної програми  
**Інжиніринг харчових виробництв**

на тему:

**Інтенсифікація процесу випаровування в прямотечійно-плівковому  
випарному апараті ТВП шляхом удосконалення його конструкції**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗОХ-2-2М

**Заварський Володимир Васильович**  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: **Бабко Євген Миколайович**  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній  
роботі немає запозичень із  
працьінших авторів без відповідних  
посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

# 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»  
(шифр і назва)  
Освітня програма «Інжиніринг харчових виробництв»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТОКТП  
проф. Мирончук В.Г.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

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

Заварський Володимир Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Інтенсифікація процесу випаровування в прямооточійно-плівковому випарному апараті ТВП шляхом удосконалення його конструкції

керівник проекту (роботи) Бабко Євген Миколайович, доц., канд. тех. наук  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 05» 11 2020 р. № 935-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2021р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Анотація; Зміст; Вступ; Аналітичний огляд стану питання; Методика проведення досліджень; Дослідна частина та узагальнення результатів; Обґрунтування модернізації; Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування; Розрахункова частина; Підбір конструкційних матеріалів; Технологія машинобудування; Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання; Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування; Заходи з охорони праці; Охорона довкілля; Маркетингове обґрунтування проекту; Висновки; Список використаних джерел; Додатки

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

Загальний вигляд обладнання – 1 аркуш; Деталі та вузли обладнання – 1 аркуш; Схема автоматизації – 1 аркуш; Технологічна карта збирання вузла – 1 аркуш, Наукова частина – 6 аркушів.

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 14.09.2020 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	30.09.2020	
2	<i>Аналітичний огляд стану питання</i>	09.10.2020	
3	<i>Методика проведення досліджень</i>	16.10.2020	
4	<i>Дослідна частина та узагальнення результатів</i>	23.10.2020	
5	<i>Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування</i>	30.10.2020	
6	<i>Розрахункова частина</i>	13.11.2020	
7	<i>Підбір конструкційних матеріалів</i>	13.11.2020	
8	<i>Технологія машинобудування</i>	20.11.2020	
9	<i>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</i>	30.11.2020	
10	<i>Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування</i>	11.12.2020	
11	<i>Заходи по охороні праці</i>	18.12.2020	
12	<i>Охорона довкілля</i>	18.12.2020	
13	<i>Маркетингове обґрунтування проекту</i>	30.12.2020	
14	<i>Висновки</i>	15.01.2021	
	<i>Графічна частина формату А1 – 10 шт.</i>	15.01.2021	
	<i>Подача кваліфікаційної роботи на кафедру</i>	01.02.2021р.	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Заварський В.В.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

**Бабко Є.М.**

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему «Інтенсифікація процесу випаровування в прямотечійно-плівковому випарному апараті ТВП шляхом удосконалення його конструкції» складається з пояснювальної записки та графічної частини.

В результаті багатofакторного експерименту отримано регресійну залежність теплопередачі від витрат рідини.

Проектом передбачається для інтенсифікації процесу випарювання на поверхні кип'ятильних труб штучно збільшити шорсткість, шляхом втискання металу по гвинтовій траєкторії та встановлено над трубками сокорозподільчі насадки. Гвинтова накатка виконується на трубках де сік рухається низхідним потоком на довжину трубки 1,5...2 м від верхнього її кінця, що забезпечує завихрення плівки і її гвинтовий рух на внутрішній поверхні.

Пояснювальна записка містить в собі 13 розділів, а саме: аналітичний огляд стану питання, методика проведення досліджень, дослідна частина та узагальнення результатів, обґрунтування інтенсифікації, устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування, розрахункова частина, підбір конструкційних матеріалів, правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання, автоматичний контроль та управління об'єктом проектування, охорона праці, цивільний захист, охорона довкілля, економічні розрахунки.

Графічна частина магістерської роботи складається з 10 листів формату А1.

Ключові слова: випарювання, інтенсифікація, сік.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Байко Е.М.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Заварський В.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> Анотація	14-2688.ДПО4.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/2

## ANNOTATION

Master's thesis on "Intensification of the evaporation process in the direct-flow evaporator apparatus of TVP by improving its design" consists of an explanatory note and a graphic part.

As a result of a multifactor experiment, a regression dependence of heat transfer on fluid consumption was obtained.

To intensify the evaporation process, the project envisages artificially increasing the roughness on the surface of the boiling pipes by pressing the metal along the helical trajectory and installing juice distribution nozzles above the pipes. Screw knurling is performed on tubes where the juice moves downstream to the length of the tube 1.5... 2 m from its upper end, which provides vorticity of the film and its helical movement on the inner surface.

The explanatory note contains 13 sections, namely: analytical review of the state of the issue, research methods, research part and generalization of results, justification of intensification, structure and principle of operation of the modernized design object, calculation part, selection of construction materials, installation rules, operation and repair of equipment, automatic control and management of the design object, labor protection, civil protection, environmental protection, economic calculations.

The graphic part of the master's thesis consists of 10 sheets of A1 format.

Key words: evaporation, intensification, juice.

## ЗМІСТ

Вступ .....	
1. Аналітичний огляд стану питання.....	
2. Методика проведення досліджень.....	
3. Дослідна частина та узагальнення результатів.....	
4. Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування.....	
5. Розрахункова частина.....	
6. Підбір конструкційних матеріалів.....	
7. Технологія машинобудування.....	
8. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання.....	
9. Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування.....	
10. Заходи з охорони праці.....	
11. Охорона довкілля.....	
12. Маркетингове обґрунтування проекту.....	
Висновки .....	
Список використаних джерел.....	
Додатки.....	

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i>  <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <i>Зміст</i>	<b>14-2688.ДП.04.000 ПЗ</b>		
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>
					<i>Аркуш</i> 1/1

## ВСТУП

Цукрова промисловість – одна з основних галузей харчової промисловості. При цьому передбачається значно збільшити виробництво цукру з цукрового буряка, а також за рахунок нарощуваних виробничих потужностей, зменшивши термін переробки буряка до ста діб.

Вітчизняна цукрова промисловість повинна розвиватись в наступних напрямках: застосування нових більш ефективних передових технологій, які підвищують вихід цукру і покращують його якість (наприклад застосування глибокої хімічної очистки соків); інтенсифікація виробничих процесів і скорочення часу виробничого циклу; використання високоефективних машин і апаратів безперервної дії; автоматизація виробничих процесів; скорочення витрат палива.

У порівнянні з випарними апаратами типу Роберта, концентрування соків має ряд переваг в плівкових випарних апаратах. По-перше, в плівковому апараті відсутня гідростатична температурна депресія, яка швидко зростає в області вакууму. По-друге, час знаходження розчину в декілька разів менше, незважаючи на присутність рециркуляції частини соку, або сиропу. Цей фактор важливий в області підвищених температур при експлуатації випарного апарата.

Істотною перевагою плівкових випарних апаратів є те, що зі зростанням концентрації інтенсивність тепловіддачі повільно падає, а в апаратах з природною циркуляцією - стрімке погіршення інтенсивності теплообміну.

Метою даного проекту є модернізація існуючої прямотечійно-плівкового випарного апарату ТВП шляхом удосконалення конструкції.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Бабо ЄМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Заварський В.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>	14-2688.ДП.04.000 ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1	

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Одна із основних задач, які стоять перед харчовою промисловістю – використання прогресивних енергозберігаючих технологій, підвищення енерго-технологічної ефективності обладнання, що використовується. При цьому важливе значення має використання вторинних енергоресурсів. Перспективне використання безступінчатого регулювання частоти обертання приводних валів.

Особлива увага в останній час звертається на проблеми захисту довкілля. Це є питання розробки технологій і обладнання для безвідходних або маловідходних виробництв. Обладнання, яке проектується повинне відповідати нормам державних стандартів по викидах шкідливих речовин в атмосферу та скидів. Маловідходне виробництво може бути організовано за рахунок більш глибокої і досконалої переробки вихідного матеріалу. Вирішення цієї задачі можливе при комплексному використанні не тільки сировини, але й енергоресурсів, в особливості при поверненні «вторинних ресурсів», обов'язкове використання принципів рециркуляції і циклічності.

Актуальним є інтенсифікація таких енергомістких процесів, як сушіння, фільтрування, випарювання та ін., а також подальше удосконалення апаратного оформлення цих процесів. Перспективним є створення апаратів безперервної дії при активних гідродинамічних режимах продуктів в них. Своєчасним також є створення апаратів багатоцільового призначення, наприклад, сушіння проводиться сумісно з гранулюванням. Для оптимізації роботи необхідно правильно вибрати параметри ведення процесів, які обумовлюють витрати енергії.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Аналітичний огляд стану питання</b>		<b>14-2688.ДП.04.001 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/19

Перспективні напрямки інтенсифікації роботи даного виду обладнання можуть бути намічені при творчому підході та знанні того технологічного процесу, який протікає в даному обладнанні.

Теплообмінні апарати застосовуються в авіаційній і космічній техніці, енергетиці, хімічній, нафтопереробній, харчовій промисловості, в холодильній і криогенній техніці, в системах опалення та гарячого водопостачання, кондиціонування, в різноманітних теплових двигунах. Зі зростанням енергетичних потужностей і об'єму виробництва все більше збільшується маса і габарити використовуваних теплообмінних апаратів. На їх виробництво витрачається велика кількість легованих і кольорових металів.

Зменшення маси і габаритів теплообмінних апаратів є актуальною проблемою. Найбільш перспективний шлях вирішення цієї проблеми – інтенсифікація теплообміну.

Досвід створення і експлуатації різних тепломасообмінних пристроїв показав, що розроблені до цього часу методи інтенсифікації теплообміну забезпечують зменшення габаритів і металоємності (маси) цих пристроїв в 1.5 – 2 рази і більше в порівнянні з аналогічними серійно випускаємими пристроями за однакової теплової потужності і потужності на прокачування теплоносіїв.

Дослідження інтенсифікації теплообміну проводилися і можливо проводяться зараз в різних державах, причому в значно зростаючому темпі. Необхідно відмітити, що проведені в колишньому СРСР дослідження внесли значний вклад у вирішення цієї проблеми, особливо у створення практично реалізуючих методів інтенсифікації теплообміну. Достатньо згадати роботи Антуф'єва В. М. Бузніка Г. І. Вороніна Є. В. Дубровського Н. В. Зозулі Е. К. Калініна В. К. Мігая В. К. Щукіна та багато інших вчених. І тільки практичною незацікавленістю промисловості у

впровадженні високоефективних теплообмінних апаратів та в економії металу можна пояснити слабе впровадження вітчизняних розробок у народне господарство.

До цього часу запропоновані і дослідженні різноманітні методи інтенсифікації конвективного теплообміну.

Стосовно течій однофазних теплоносіїв використовуються турбулізатори потоку на поверхні, шорсткі поверхні та поверхні, утворені за рахунок оребрення, закручення потоку спіральними ребрами, шнековими пристроями, вихреутворювачами, що встановлені на вході в канал, введення в потік рідини газових бульбашок, а в потік газу – твердих частинок або крапель рідини, обертання або вібрація поверхонь теплообміну, пульсації потоку теплоносія, вплив на потік електростатичних нулів, відсмоктування потоку з граничного шару, струйні системи. Ефективність цих способів різна, в кращому випадку вдається збільшити тепловіддачу в 2 – 3 рази, але для різних способів інтенсифікації при суттєво різних витрат енергії.

Інтенсифікація теплообміну при бульбашковому і плівковому кипінні забезпечує не тільки зростання тепловіддачі, але й збільшення максимального теплового потоку при бульбашковому і мінімального при плівковому кипінні, а також збільшення відповідних критичних температурних напорів і теплових потоків. Необхідно відмітити, що можливості інтенсифікації теплообміну при кипінні значно більші, ніж в однофазних потоках. Так, коефіцієнт теплообміну при плівковому кипінні вдається збільшити в 10 разів, а критичний тепловий потік – більш ніж в 3 рази. Поряд з турбулізаторами, пристроями, що закручують потік, оребренням для інтенсифікації теплообміну при кипінні використовують нанесення на поверхню тонкого покриття з низькотеплопровідного або пористого матеріалу, встановлюють неізотермічні ребра, використовують шорсткі поверхні.

Для інтенсифікації теплообміну при конденсації пропонують турбулізатори або ребра, що руйнують плівку конденсату, незмочуванні покриття, рідкі стимулятори для створення крапельної конденсації, закручення потоку або обертання поверхні теплообміну.

Високоєфективним часто виявляється застосування комбінованих методів інтенсифікації: комбінування турбулізаторів з оребренням поверхні або з закруткою потоку, використання пристроїв, що закручують потік при протіканні суспензії, при кипінні – застосування турбулізаторів з низькотеплопровідними покриттями.

Необхідно відмітити, що при виборі на практиці того або іншого методу інтенсифікації теплообміну приходиться враховувати не тільки ефективність самої поверхні, але й її універсальність для різноманітних однофазних і двухфазних теплоносіїв, технологічність виготовлення поверхні, технологічність збирання теплообмінного апарату, вимоги міцності, забруднення поверхні, особливості експлуатації і т.д. Всі ці обставини суттєво знижують можливості вибору одного з багатьох досліджених методів інтенсифікації.

Процес теплообміну можна інтенсифікувати не тільки шляхом збільшення швидкості руху теплоносія. Існують ще й інші способи, пов'язані переважно із штучною турбулізацією потоку, якої можна досягнути закручуванням потоку, створенням у ньому вихорів, відривних зон тощо. Однак усі ці способи пов'язані із збільшенням гідравлічних втрат в каналі. Тому важливо мати критерії, що оцінюють доцільність методів інтенсифікації тепловіддачі. Зручно порівнювати канали, що мають пристрої для штучної турбулізації потоку, з такими самими гладкими каналами без цих пристроїв.

Інтенсифікація всередині труби найефективніша, якщо вона супроводжується такою самою або більшою інтенсифікацією тепловіддачі

у міжтрубному просторі або коли коефіцієнт тепловіддачі у міжтрубному просторі значно вищий, ніж у трубному.

Штучна турбулізація має підвищувати інтенсивність тепловіддачі лише у вузькому шарі біля стінки. Це пояснюється тим, що температурний напір втрачається переважно у тонкому пристінному шарі, а в ядрі потоку втрачається 20...30 % у газі і не більше ніж 5 % у рідинах з  $Pr > 1$ . Тому інтенсифікації теплообміну можна досягнути, створюючи невеликі відривні зони (вихори) біля стінки на певних відстанях одна від одної по довжині каналу.

Теплообмін можна також інтенсифікувати, використовуючи нестабілізовану пульсуючу течію і пульсаційний ефект, який при цьому виникає. Останній проявляється у тому, що внаслідок затухання пульсаційного напору виникає рушійний напір, який знижує загальний перепад тисків в трубах і зменшує витрату енергії на прокачування рідини. Сумарна витрата енергії насосом і пульсатором при цьому дуже близька до витрат енергії на прокачування рідини без пульсацій за умови, що витрати енергії і гідравлічна система в обох випадках однакові. За допомогою пульсацій можна досягти інтенсифікації теплообміну в 2.5...5 разів.

Одним із ефективних методів інтенсифікації теплообміну є вдування газу в потік рідини. Залежно від умов виробництва таким газом може бути повітря, вуглекислий або сірчистий газ. Наявність дрібних бульбашок і меж поділу фаз в ядрі потоку створює умови для випадання в осад шламу і знижує накипоутворення на стінках труб. Останнє значно інтенсифікує теплообмін. Дуже ефективно вдування вуглекислого газу, при якому різко зменшується кількість накипу не тільки внаслідок фізичного впливу, а й завдяки хімічній дії цього газу.

Компактність апаратів визначається діаметром труб, які застосовуються і допустимими кроками їх розміщення в трубній решітці, яка в свою чергу лімітується рівнем технології, що досягається у

відповідних галузях промисловості, з точки зору ергономіки та ремонту, очищення та експлуатації. Всі ці обставини разом сформулювали рівень компактності теплообмінних апаратів, що застосовуються в різних напрямках техніки.

Широке застосування трубчастих теплообмінників пояснюється їх значною меншою вартістю і легкістю виробництва в порівнянні з пластинчастими апаратами, а також можливістю роботи при більш високій температурі і тиску. Але трубчасті апарати програють у компактності, а також в ряді випадків через труднощі очищення міжтрубного простору. Тому в останні роки помітна тенденція заміни трубчастих теплообмінників на пластинчні. Це добре видно на прикладі широко використовуваних в нашій країні теплообмінних апаратів систем опалення і гарячого водопостачання. Розроблені фірмою Альфа Лаваль пластинчасті розбірні апарати приблизно в 3 рази менш габаритніші в порівнянні з відповідними виробленими в наш час трубчастими апаратами при тій же продуктивності. І хоча при цьому пластинчасті апарати коштують приблизно втричі дорожче, вони безперечно витісняють з практики трубчасті апарати.

Моделювання розглянутих теплообмінників проводиться, як вже відмічалось, з метою зниження їх металоємності та габаритів, підвищення надійності, покращення умов експлуатації і т.п. Одне з основних питань, які вирішуються засобами моделювання, є інтенсифікація теплообміну. На даний час накопичено великий експериментальний і теоретичний матеріал по даній проблемі.

Інтенсифікація теплообміну у випарних апаратах має велике народногосподарське значення. В результаті інтенсифікації процесу теплообміну можна досягнути суттєвого зменшення маси і габаритів апаратів, а також забезпечити заданий температурний рівень елементів цього обладнання і підвищити надійність їх роботи.

## Класифікація випарних апаратів

Випарні апарати класифікують за наступними технологічними та конструктивними ознаками:

1. За принципом дії: апарати періодичної і безперервної дії.
2. За видом використовуваного теплоносія: апарати з паровим, газовим, рідинним або електричним обігріванням.
3. За способом організації руху і режиму циркуляції розчину, що випаровується, розрізняють:
  - апарати з неорганізованою природною циркуляцією;
  - апарати з організованою природною циркуляцією;
  - апарати із примусовою (вимушеною) циркуляцією;
  - апарати без циркуляції розчину та плівкового типу.
4. За кратністю циркуляції:
  - з однократною і багаторазовою циркуляцією розчину.
5. За конструктивною схемою з'єднання сепаратора і гріючої камери:
  - апарати зі співвісним (блоковим) розміщенням;
  - апарати із винесеною гріючою камерою;
  - апарати із винесеною циркуляційною трубою.
6. За орієнтацією поверхні нагрівання: на апарати з вертикальним, горизонтальним і похилим розташуванням гріючої камери.

За способом підведення тепла до розчину розрізняють апарати поверхневого типу (з фіксованою поверхнею теплопередачі) і апарати контактного типу, у яких тепло до розчину підводиться у результаті контакту гарячого теплоносія (газу) з розчином.

В цукровій промисловості очищений сік II сатурації повинен згущуватись до концентрації густого сиропу. При цьому вміст сухих речовин в ньому збільшується з 14...16 до 65...70 %. Процес згущування соку здійснюється у випарних установках, що складаються з окремих корпусів (випарних апаратів). Такі установки дозволяють витратити на згущування соку 40...50 % пара до маси буряка за рахунок багатократного використання тепла (якщо б випаровування проводилось в одному апараті, то на випаровування 1 кг води довелося б затрачувати біля 1 кг гріючої пари, тобто витратити на згущування соку 90...100 % пара до маси буряка).

Випарні установки, що застосовуються на цукрових заводах, можна класифікувати по наступних ознаках.

1. За станом вторинної пари в останньому корпусі:  
а) випарні установки, що працюють при тиску пари вище атмосферного;  
б) випарні установки, що працюють при тиску пари нижче атмосферного (залишковий тиск 0,0242...0,0174 і 0,0775...0,0705 МПа).

2. По числу корпусів:  
а) трьохкорпусні установки з концентратором;  
б) чотирьохкорпусні установки з концентратором;  
в) чотирьохкорпусні установки з 0 корпусом;  
г) п'ятикорпусні установки.

До випарних установок пред'являються наступні вимоги:

а) проводити випаровування при максимальній кількості передаваного тепла через поверхню нагріву окремих апаратів випарної установки, а для цього необхідно вести випаровування при допустимих значеннях корисної різниці температур, ваговій нарузі поверхні нагріву і термічному опорі;

б) згущувати розчин в установках до встановлених концентрацій;

в) розчин в перший корпус випарної установки повинен поступати з температурою кипіння;

г) забезпечення надійного видалення з окремих корпусів випарної установки аміачних газів і конденсату пари;

д) відбір екстрапари з окремих корпусів повинен забезпечити підігрів проміжних продуктів цукрового виробництва до необхідних температур.

До випарних апаратів незалежно від їх конструкції пред'являються наступні вимоги: максимальна інтенсивність теплообміну; мінімальні температурні втрати; мінімальна питома витрата металу на одиницю поверхні нагріву; простота конструкції, зручність експлуатації і ремонту; можливість розміщення в одному апараті великої поверхні нагріву; хороший розподіл грючої пари в міжтрубному просторі парової камери; безперервне і надійне видалення утворюється в паровій камері конденсату; надійне уловлювання крапель продукту, що відносяться вторинною паром; повне видалення аміачних газів, що знижують коефіцієнт теплопередачі з боку пари, що конденсується; можливість у разі потреби забезпечити чищення поверхні нагріву, не припиняючи роботи випарної установки.

Одержаний після згущування соку сироп поступає на уварювання, тобто на додаткове випаровування води. При цьому виходить так званий утфель. Процес ведеться у вакуум-апаратах періодичної і безперервної дії. Оптимальна конструкція

вакуум-апарата ще не визначена, і цим пояснюється різноманіття конструктивних форм вакуум-апаратів.

Випарні апарати з винесеною гріючою камерою і співвісно розташованою циркуляційною трубою (див. рис. 1.1) забезпечують високі експлуатаційні показники, крім того, гріючі камери тут більш доступні для чищення і ремонту. Тангенціальне введення парорідинної суміші в сепаратор полегшує відділення сокової пари від крапель розчину. Поверхня теплообміну гріючої камери у таких випарних апаратах становить 25...800 м<sup>2</sup>.

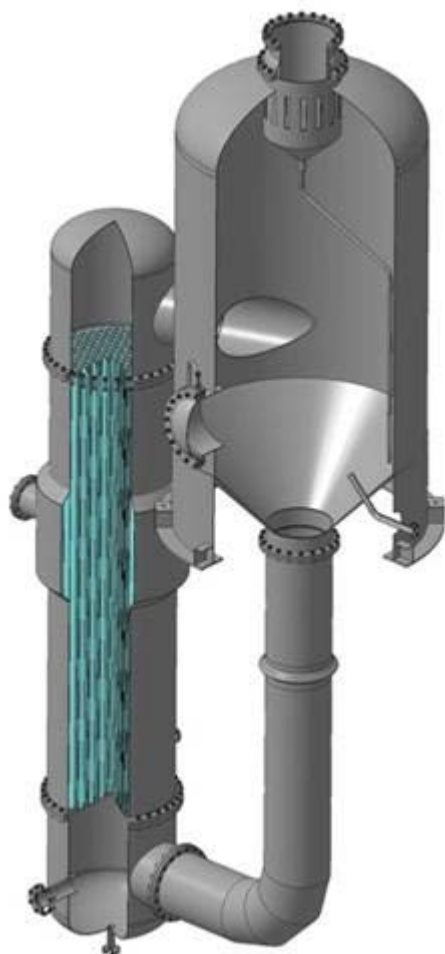


Рис. 1.1. Випарний апарат з винесеною гріючою камерою та природною циркуляцією

Перспективними є випарні апарати із примусовою циркуляцією розчину. В основному такі апарати використовують при випарюванні в'язких розчинів та розчинів, що кристалізуються. Розчин, що випарюється, рухається в трубах гріючої камери з високою швидкістю (2-3 м/с), що забезпечує високі коефіцієнти тепловіддачі між

стілкою і розчином (на рівні 2500...5000 Вт/(м<sup>2</sup>·К)), практично виключає інкрустацію і солевідкладення на внутрішній поверхні труб, дозволяє вести процес випарювання при меншій різниці температур між паром, що конденсується, і розчином (в інтервалі 5...7 С).

Для організації примусової циркуляції розчину використовують убудовані в апараті мішалки або винесені за межі апарата циркуляційні осьові насоси великої продуктивності (в інтервалі 600-9000 м<sup>3</sup>/г) з малим напором (3,5-6 м вод. ст.).

В апаратах із примусовою циркуляцією розчину кратність циркуляції становить 150...250, внаслідок цього розчин у кип'ятильних трубках перегрівается всього на 3...5°C, закипання розчину в трубках не відбувається, тож у результаті паровміст розчину невеликий. Кипіння розчину відбувається у винесеній зоні, утвореній за рахунок установки труби закипання над гріючою камерою. Об'ємна напруга парового простору сепараційної камери в апаратах, що працюють при тиску 0,02...0,12 МПа, звичайно становить 3000...4000 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г), а при випарюванні концентрованих розчинів її зменшують до 1600 м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup>·г).

Основними недоліками таких випарних апаратів є додаткова витрата енергії на роботу циркуляційного насоса, а також додаткові витрати праці на обслуговування ущільнювальних сальників насосів, що працюють у тяжких умовах.

Випарний апарат із співвісно підвішеною гріючою камерою, винесеною трубою закипання та соковідділенням (рис. 1.2 а) використовують для випарювання розчинів, що можуть кристалізуватися, та він дозволяє частково просвітлити циркулюючу суспензію, відокремлюючи у конічній частині солевідділювача частину кристалів, що утворюються та циркулюють. Зменшення масової частки циркулюючих у розчині кристалів дозволяє знизити солевідкладення в нагрівальних трубках і збільшити міжпромивний пробіг апарата до 30 діб.

В апаратах із співвісною гріючою камерою і винесеною зоною кипіння (рис.1.2, а, б) встановлюють гріючі камери з поверхнею теплообміну 25-1250 м<sup>2</sup> і 25-3150 м<sup>2</sup> (для апаратів типу рис. 1.2, б) при довжині кип'ятильних труб в інтервалі 4-9 м.

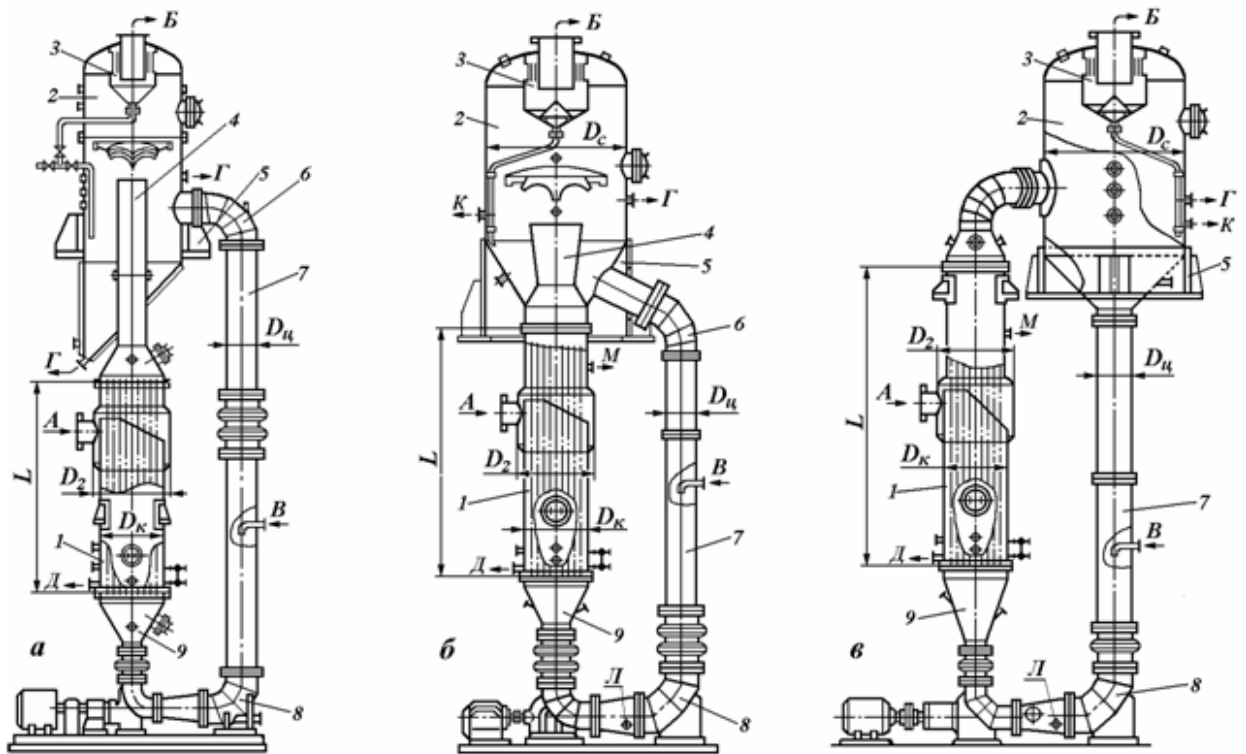


Рис. 1.2. Сучасні конструкції випарних апаратів із примусовою циркуляцією розчину:

**а** - тип III, виконання 1 - із співвісною грійною камерою і соковідділенням; **б** - тип III, виконання 2 - із співвісною грійною камерою і винесеною зоною кипіння; **в** - тип IV - із винесеною грійною камерою і винесеною зоною кипіння. Потoki: **A** - подача грійної пари; **B** - вихід вторинної пари; **B** - подача розчину; **G** - відведення розчину; **D** - вихід конденсату; **K** - відбирання проб; **L** - зливання розчину при спорожненні апарата; **M** - здування газів, що не конденсуються; 1 - грійна камера; 2 - сепараційна камера; 3 - бризкоуловлювач; 4 - труба закипання; 5 - опора; 6 - коліно; 7 - труба циркуляційна; 8 - насос циркуляційний; 9 - камера нижня

Випарні апарати з винесеною грійною камерою і винесеною зоною кипіння (див. рис. 1.2 в) зручні в експлуатації внаслідок більшої доступності грійної камери для ремонту і очищення трубок. Крім того, при тангенціальному введенні розчину в сепараційну камеру відбуваються більш повне відділення сокової пари і зменшення бризковинесення в паровий простір. У таких апаратах застосовують грійні камери з довжиною труб 4...7м і загальною поверхнею теплопередачі від 25 до 1250 м<sup>2</sup>.

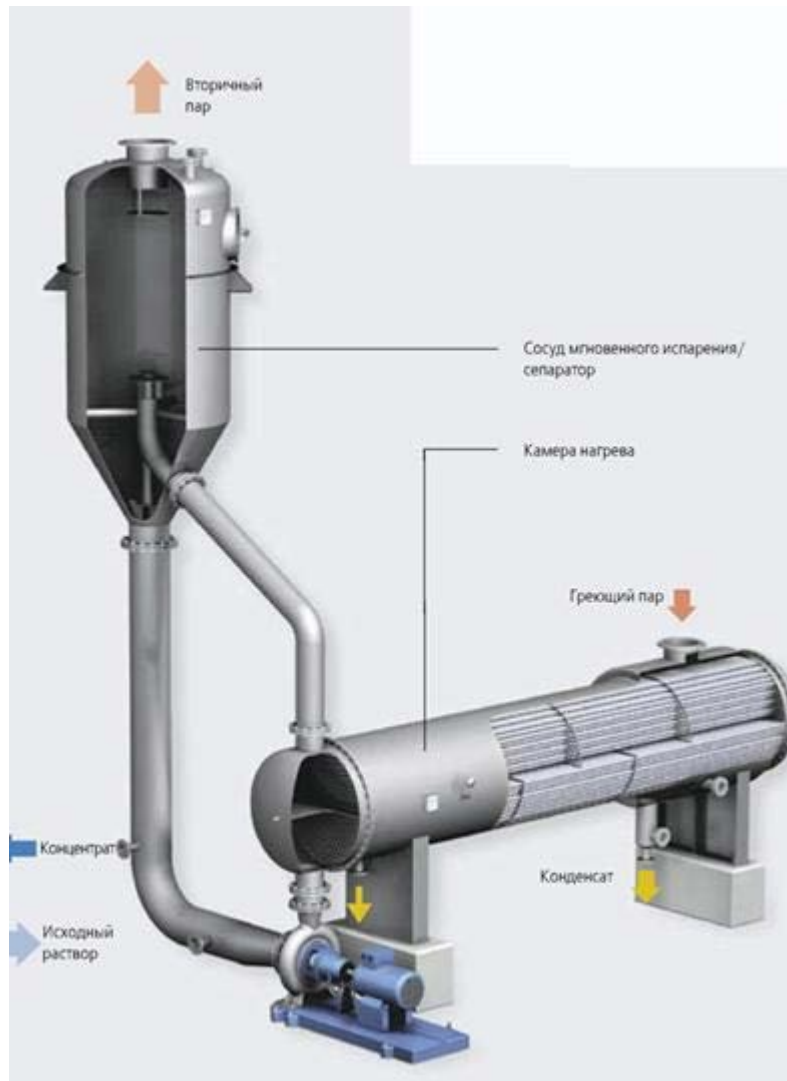


Рис. 1.3. Випарний апарат з винесеною гріючою камерою та примусовою циркуляцією

Об'ємна напруга парового простору сепараційної камери в апаратах, що працюють при тиску 0,02...0,12 МПа, звичайно становить 3000 - 4000 мЗ/(мЗ·г), а при випарюванні концентрованих розчинів її зменшують до 1600 мЗ/(мЗ·г). Основними недоліками таких випарних апаратів є додаткова витрата енергії на роботу циркуляційного насоса, а також додаткові витрати праці на обслуговування ущільнювальних сальників насосів, що працюють у тяжких умовах.

### **Плівкові прямоточні апарати**

Інтенсифікація процесів випаровування пов'язана із скороченням часу теплової обробки випаровуваного розчину при певних температурних режимах і збереженням

його якості. Найбільш перспективні в цьому відношенні тонкоплівкові випарні апарати, що дозволяють значно скоротити тривалість випаровування.

Плівковий прямоточний апарат системи МТІІІПа представлений на (рис. 1.4). Апарат складається з сокової, гріючої і сиропної камер. Гріюча камера є циліндровим корпусом 77, в трубні грати 14 і 21 якого увальцовані кип'ятільні трубки 4 завдовжки 7000 мм і діаметром 30/33 мм.

Пара в гріючу камеру підводиться через штуцера 5, розташовані по висоті камери на певній відстані. Конденсат відводиться за допомогою труб 3. Гази, що не конденсуються, віддаляються з верхньої частини парової камери.

Сокова камера призначена для прийому соку, розподіли його по кип'ятільних трубках і видалення з апарату вторинної пари.

Сік в камеру поступає по штуцеру 7, вторинна пара віддаляється через штуцер 13, а для розподілу соку по кип'ятільних трубках застосовується насадка 5. Насадка встановлюється у верхній частині кожної трубки. Під дією гідростатичного тиску стовпа рідини, що знаходиться в приймачі соку сокової камери, рідина поступає по спіральних канавках 23 кільцеві розподільники всередину кип'ятільних трубок. Спіральні канавки розподіляють сік по всьому периметру трубки у вигляді стійкої плівки, яка під дією сили тяжкості стікає вниз.

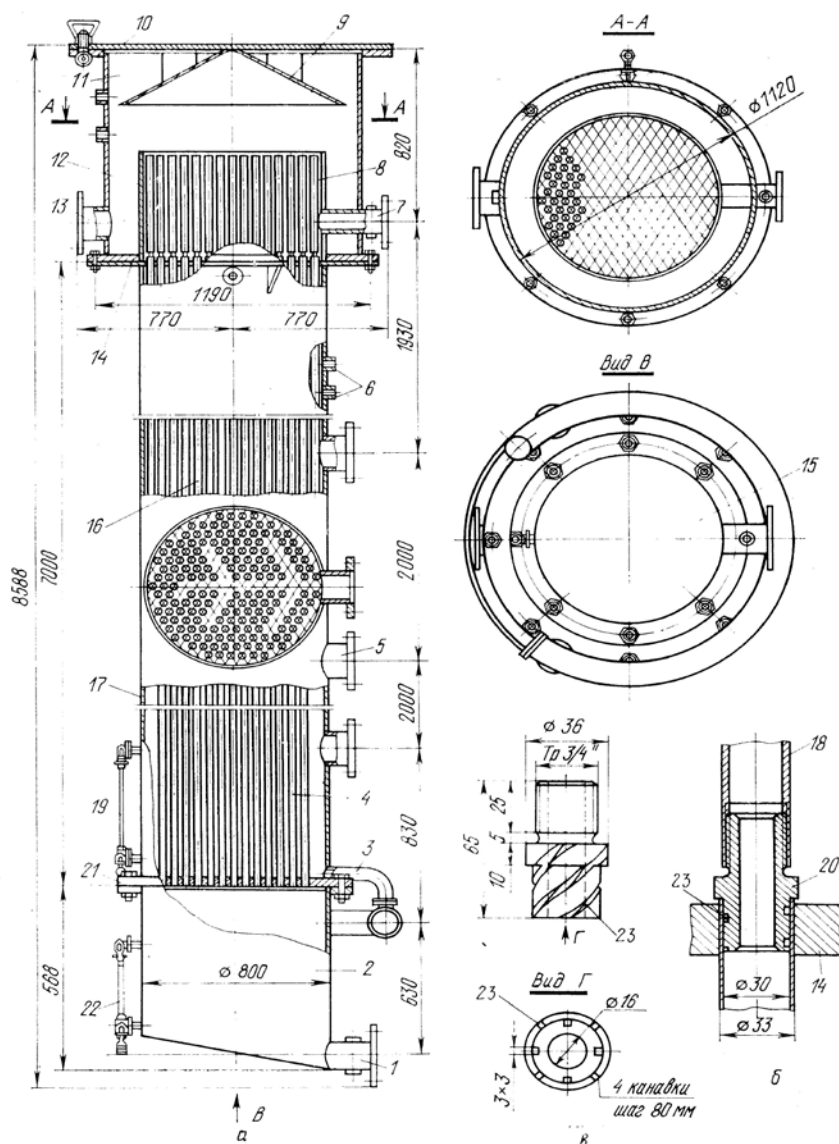


Рис. 1.4. Плівковий прямоточний апарат системи М Т І П а.

**а** - загальний вид апарату; **б** - установка насадки; **в** - насадка; 1 - штуцер для відведення сиропу; 2 - камера сиропна; 3 - труба для відведення конденсату; 4 - трубки кип'ятильні; 5 - штуцера для підведення пари; 6 - штуцера для приладів; 7 - штуцер для підведення соку; 8 - насадка; 9 - відбійна парасолька; 10 - кришка; 11 - камера для соку; 12 - приймач соку; 13 - штуцер для відведення вторинної пари; 14, 21 - грати трубні; 15 - днище; 16 - камера грюоча; 17 - корпус; 18 - труба; 19, 22 - стекла вказівні; 20 - розподільник кільцевий; 23 - канавки.

Інтенсивність зрошування внутрішньої поверхні кип'ятильних трубок залежить від висоти шару рідини в приймачі соку сокової камери, кількості і розмірів канавок в кільцевому розподільнику і фізичних властивостей рідини. Таким чином, інтенсивність зрошування піддається регулюванню в широких межах, що дозволяє управляти процесом випаровування.

Процес випаровування відбувається в тонкій плівці завтовшки 2...3 мм. Пар, що утворюється в товщі плівки, прориває її і потрапляє в паровий потік кип'ятильної трубки. Пара з кип'ятильних трубок через трубки насадок поступає у верхню частину сокової камери, де зустрічається з відбійним щитком, міняє напрям і відводиться через штуцер 13 з апарату. Оскільки сокова пара проходить по центральній частині кип'ятильних трубок, де немає емульсії соку, то він не захоплює крапель соку, такі апарати не потребують великого надсокового простору. Проте відведення вторинної пари з верхньої частини паровідводних труб недоцільне, оскільки стікаюча по внутрішній поверхні плівка продукту випробовує опір вторинної пари. Коли підпір його стає рівним натиску, створюваному соком в камері, трубки зрощуються нерівномірно і спостерігається значне віднесення соку. Вказані явища виникають навіть при перепадах корисної різниці температур 2...3 °С.

На рис.1.5, а представлена схема плівкового прямооточного випарного апарату ВАПП, розробленого НВО «Цукор».

Принцип дії апарату полягає в наступному. Сік, підігрітий до температури кипіння, поступає в приймальну камеру 7, потім в трубки 6, де закипає, і разом з парою, що утворилася, рухається вгору. Проїшовши сепаруючий пристрій, де від соку відділяється пара, сік далі через розподільний пристрій 13 поступає в трубки 5 плівкової частини апарату і у вигляді тонкої плівки стікає по їх внутрішній поверхні.

Пара разом із згущеним соком, що утворилася, поступає в нижнього сепаратора 9. Вторинна пара але системі труб 12 з обох сепараторів відводиться в наступний корпус.

Випробування апарату даної конструкції показало, що апарат відповідає технологічним і теплотехнічним вимогам, що пред'являються до випарних апаратів, і має кращі показники, ніж що досягаються в типових апаратах з природною циркуляцією. Час перебування соку в тонкоплівковому апараті значно менше ніж в типових. Апарат може ефективно працювати при малій корисній різниці температур. Відсутні втрати корисної різниці температур від гідростатичного тиску унаслідок вільного стікання плівки випаровуваного розчину. Малий об'єм соку, що знаходиться в апараті, набагато спрощує автоматизацію.

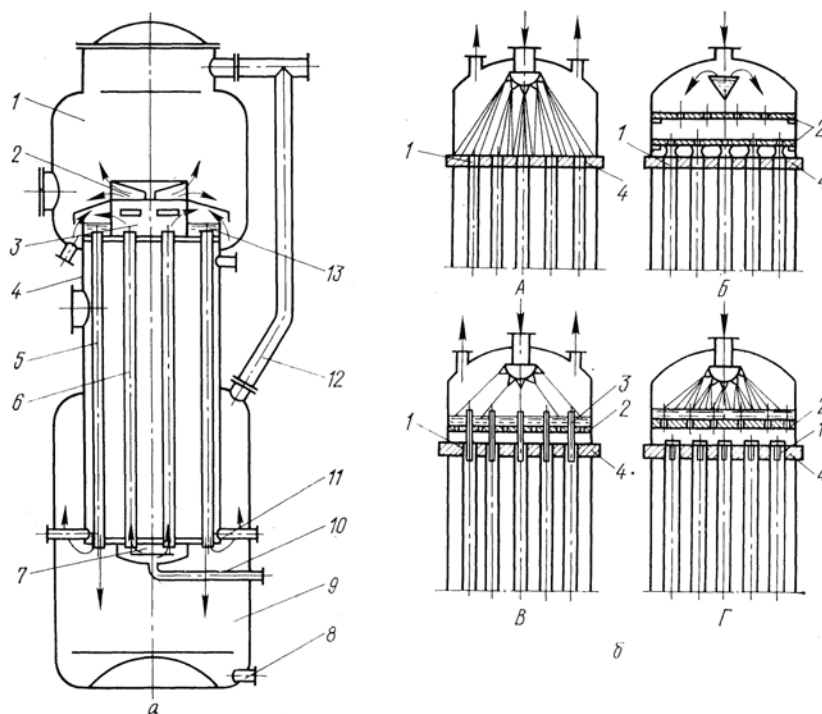


Рис. 1.5. Плівковий прямоточний випарний апарат В А П П:

*a* - схема апарату (1, 9 - верхній і нижній сепаратори вторинної пари; 2 - сепаруючий пристрій; 3 - надставка; 4 - гріюча камера; 5 - кип'ятильні трубки опускної плівкової частини; 6 - кип'ятильні трубки; 7 - приймальна камера; 8 - штуцер відведення згущуючого соку; 10 - труба підведення соку; 11 - труба відведення конденсату; 12 - система труб для видалення вторинної пари; 13 - розподільний пристрій; *б* - схеми зрошувальних пристроїв випарних апаратів; *A* - зрошування за принципом кільцевого водозливу; *B* - кільцевий водозлив з розподільними дисками; *B* - кільцевий водозлив з розподільними дисками і циліндровими вставками; *Г* - зрошування за наявності стовпа рідини на розподільному диску і трубних ґратах (1- кільцевий водозлив; 2 - розподільні диски; 3 - циліндрові вставки; 4 - трубні ґрати).

Експлуатація плівкових випарних апаратів в харчовій промисловості показала, що їх стійка робота залежить від рівномірності зрошування теплообмінної поверхні кип'ятильних трубок. На (рис. 1.5, б) представлені схеми зрошувальних пристроїв з кільцевим водозливом різної конфігурації.

Аналіз роботи зрошувальних пристроїв *A* і *B*, які застосовуються в апаратах закордонних конструкцій, показав, що ці пристрої не забезпечують рівномірного зрошування теплообмінної поверхні апаратів. В окремих випадках нерівномірність зрошування досягає 20...40 %.

## Сепаруючі пристрої випарних апаратів

Для відділення крапель продукту від вторинної пари, що йде з випарного апарату, застосовуються сепаратори різних конструкцій. Різноманіття конструкцій пояснюється прагненням до досягнення можливо повної сепарації пари при мінімальних розмірах сепаратора і найпростішої конструкції його.

Сепаруючі пристрої встановлюються в паровому просторі випарних апаратів. Розміри надсокового простору апарату повинні забезпечувати достатньо повне відділення вторинної пари від крапельок упарюваного розчину, щоб уникнути втрат розчину, з одного боку, і забруднення конденсату подальшого корпусу - з іншого.

Основними чинниками зволоження вторинної пари є властивості випаровуваних розчинів (зокрема, їх поверхневе натягнення), висота надсокового простору, величина дзеркала випаровування і робочий тиск, оскільки від них залежить швидкість вторинної пари.

Досліди показують, що при постійній висоті надсокового простору різке зволоження вторинної пари настає у момент досягнення деякої граничної паропродуктивності, віднесеної до одиниці об'єму надсокового простору і званої напругою надсокового простору.

Ті, що відірвалися від поверхні рідини краплі летять з різною початковою швидкістю. Великі краплі, що володіють великою масою, можуть за рахунок початкової кінетичної енергії піднятися відносно високо навіть в нерухомій парі, а дуже дрібні краплі втрачають свою енергію на вельми невеликому шляху. Рух крапель рідини за рахунок їх початкової кінетичної енергії є причиною віднесення при дуже малій нарузі надсокового простору, коли підйомною швидкістю пари можна нехтувати.

З підвищенням паропродуктивності апарату збільшуються підйомна швидкість пари і віднесення крапель рідини. Чим менше діаметр крапель і чим більша підйомна швидкість і щільність пари, тим більша висота підйому краплі за рахунок взаємодії парового потоку. Якщо швидкість пари на вході в сепаратора значно перевищує середню підйомну швидкість пари в надсоковому просторі апарату, то віднесення крапель вторинною парою зростає.

До всіх сепараторів, встановлених в надсоковому просторі апаратів, а також і за ним, пред'являються наступні вимоги:

1. Хороше видалення крапель продукту;
2. Малий гідравлічний опір, а отже, невеликі температурні втрати;

3. Хороше відведення відокремленої рідини;
4. Малі габарити, невелика витрата матеріалу і дешевизна конструкції.

Всіх існуючих сепараторів за принципом дії можна розділити на три основні типи: інерційні, поверхневі і відцентрові. Часто ці способи дії на парорідинну емульсію використовуються спільно при найрізноманітнішому поєднанні.

На рис.1.6 представлена модель сепаратора поверхневого типу. Пристрій сепаратора видно на малюнку. У просторі між перфорованими циліндрами 5 і 6 знаходяться кільця Рашіга - насадка.

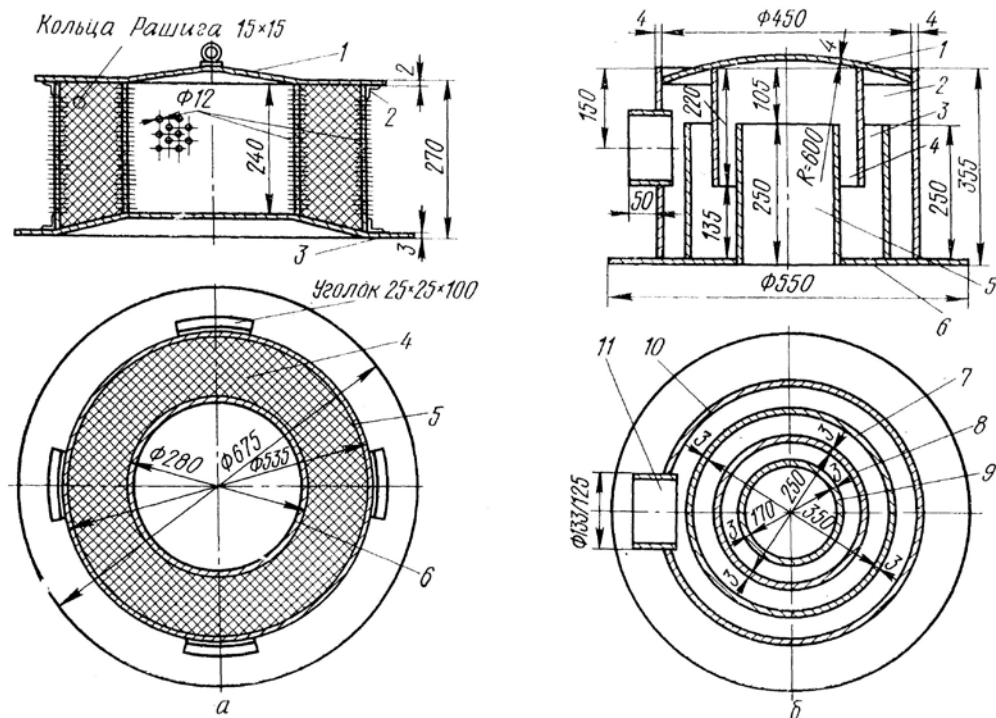


Рис. 1.6. Сепаруючі пристрої випарних апаратів.

**а** - модель сепаратора поверхневого типу (1 - кришка; 2 – кутник 3- диск; 4 - кільця Рашіга; 5, 6 - перфоровані циліндри); **б** - модель сепаратора інерційного типу (1 - кришка; 2, 3, 4 - кільцеві проходи; 5 - внутрішня порожнина; 6 - днище; 7, 8, 9 - обичайки; 10 - конус; 11- патрубок

Принцип дії сепаратора полягає в наступному. Вторинна пара над сокового простору апарату поступає в центральний простір сепаратора із швидкістю 1...2,5 м/с і потім через насадку іде з апарату. Під час проходження через насадку краплі прилипають до поверхні насадки і стікають з неї.

Розмір поверхні, на якій відбувається виділення рідини, повинен бути достатній для її прилипання. Величина поверхні залежить від вмісту крапель рідини в

парі, від в'язкості рідини і її поверхневого натягнення. Площу поверхні насадки необхідно брати з розрахунку  $0,8 \dots 1,25 \text{ м}^2$  на  $1000 \text{ м}^3$  проходячої пари в годину.

На рис. 1.5, б зображена модель сепаратора інерційного типу. В сепараторах цього типу напрям руху і швидкість вторинної пари раптово міняються. При вході пари в таких сепараторів швидкість його не повинна перевищувати середньої швидкості пари в надсоковому просторі апарату більш ніж в  $10 \dots 12$  разів. При виході з апарату швидкість пари повинна знаходитися в межах  $8 \dots 15 \text{ м/с}$ .

Існують і інші конструкції сепараторів, наприклад комбіновані, в яких поєднується принцип роботи поверхневих і інерційних сепараторів.

Незалежно від конструкції сепаратори окрім забезпечення хорошого очищення пари повинні мати невеликий опір проходженню пари. Проте при виборі типу сепаратора це положення не завжди береться до уваги. Про роботу сепаратора судять в першу чергу по ефективності очищення вторинної пари від крапель випаровуваного розчину і не завжди беруть до уваги ту обставину, що підвищений опір сепаратора значно знижує корисну різницю температур на випарній станції. Сепаратори відцентрового типу застосовуються дуже рідко, оскільки мають за одних і тих же умов великий гідравлічний опір.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

З метою інтенсифікації теплообміну були розроблені труби з штучною шорсткістю і профільні труби (рис. 2.1), [17]. Найбільший практичний інтерес представляють труби з кільцевими виступами (1), профільні труби і канали типу конфузور-дифузор (2), труби з спіральними вставками (3), спіральньо-профільні труби (4), труби з хвилеподібною віссю (5), з мікроструменевими елементами (6). Дослідні дані по теплообміну і гідравлічному опору для вказаних каналів приймалися з [22].

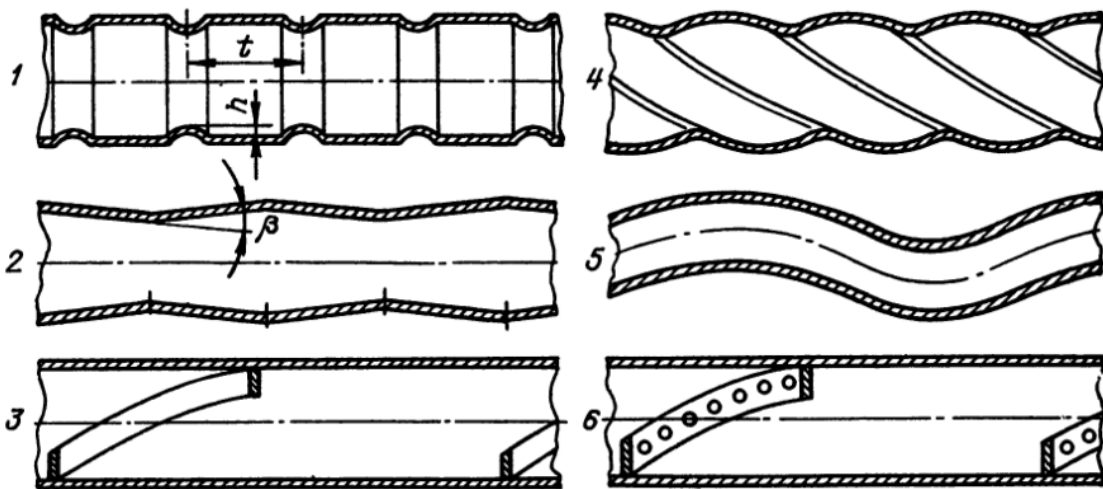


Рис. 2.1. Інтенсифіковані поверхні теплообміну: 1 – труби з кільцевими виступами; 2 – труби типу конфузор-дифузор; 3 – труби з спіральними вставками (оребрені труби); 4 – спіральньо-профільні труби; 5 – труби з хвилеподібною віссю; 6 – труби з перфорованими вставками.

Порівняльна ефективність різних методів показана на рис. 2.2.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський В.В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Аналітичний огляд стану питання</b>	<b>14-2688.ДПО4.002 ПЗ</b>		
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>

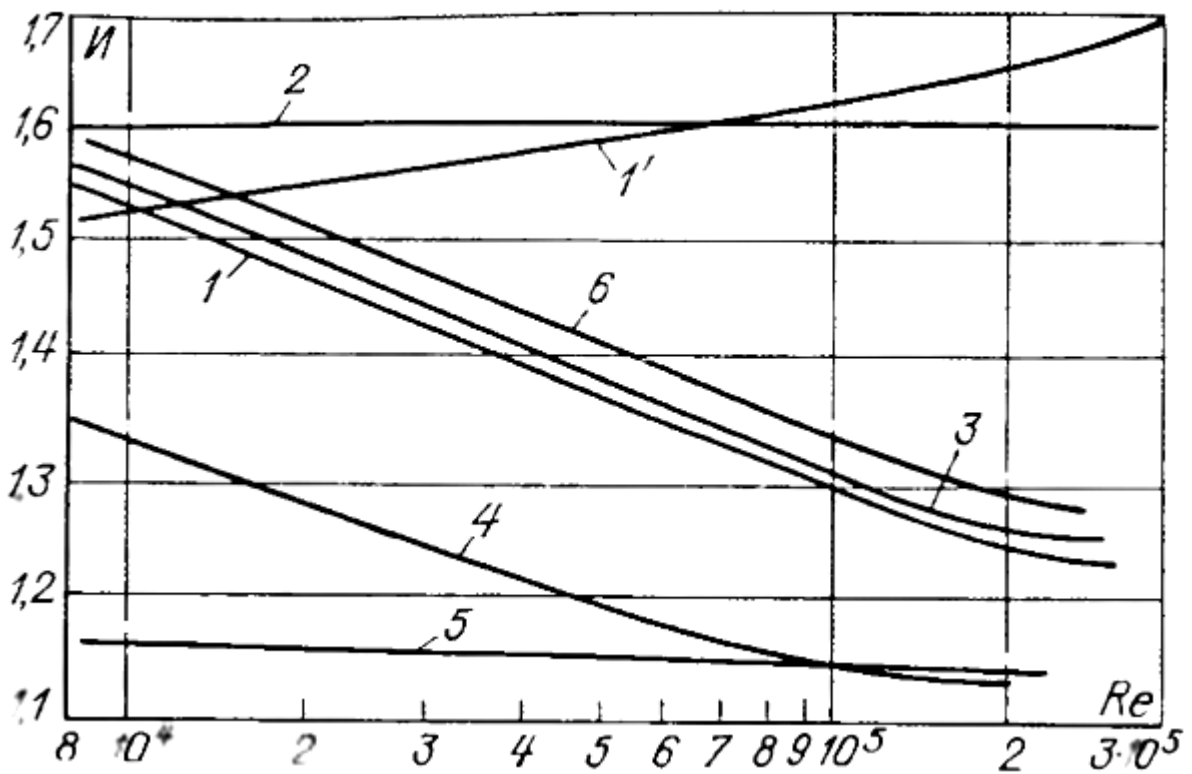


Рис. 2.2. Порівняльна ефективність різних методів інтенсифікації теплообміну. Номери кривих відповідають інтенсифікованим поверхням теплообміну на рис. 2.1; 1' – труби з обтікаючими виступами.

На графіку показана залежність критерія ефективності поверхні

$$I = \frac{Nu / Nu_0}{(\xi / \xi_0)^{0.267}}$$

теплообміну

від числа  $Re$ . При невеликих числах  $Re$

( $Re = 10^4$ ) найкращими показниками характеризуються труби з кільцевими виступами (дані Э.К. Калинина та ін.),  $I = 1.52$ ; труби і канали типу конфузور-дифузор (дані автора і П.Г. Быстрова, А.А. Гухмана і Кирпишова),  $I = 1.6$ , труби з мікструменевими елементами і труби з спіральними вставками (досліди В.К. Мигая і П.Г. Быстрова),  $I = 1.52 \dots 1.58$ . Труби з мікструменевими елементами представляють собою труби з спіральними вставками з отворами, що при оптіканні формують мікструмені, взаємодія яких з поверхнею труби повинне сприяти підвищенню теплообміну. Під цифрою 1 приведені дані автора по трубам з накатаними виступами поганообтікаємої форми. Порівняння цих даних і

даних Э.К. Калинина і ін., отриманих в дослідях з обтікаємими виступами (1'), показує, що при малих числах  $Re$  вплив профілю виступа (при фіксованій висоті) несуттєво. Спірально-профільні труби (дані Воскресенського) характеризуються значенням параметру  $I = 1.34$ , що помітно нище, ніж кращі варіанти. Найбільш низька ефективність труб з хвилеподібною віссю ( $I = 1.15$ ), застосування таких труб не може бути рекомендовано. При великих числах  $Re$  ( $Re = 10^5$ ) перспективні труби з кільцевою накаткою (профільні виступи,  $I = 1.7$ ) і труби та канали типу конфузур-дифузур ( $I = 1.6$ ), що при довжинах конфузур і дифузур ( $l/h = 2 \dots 3$ ) еквівалентні трубам з кільцевою накаткою.

Відмітимо, що труби з кільцевою накаткою при непрофільних виступах різко знижують свою ефективність при великих числах  $Re$  (при  $Re = 10^5$  за даними ЦКТИ в цьому випадку  $I = 1.25$ ). Практично вибір того або іншого методу інтенсифікації буде визначатися технологією виготовлення, умовами експлуатації, обслуговування і режимною областю чисел  $Re$ . В слабозабруднюючих газових і водяних потоках перевагу мають труби з кільцевою накаткою (пристінні турбулізатори). Відомо, що такі труби в умовах конденсатора (водяний потік) забруднюються менше, ніж гладкі, за рахунок інтенсивного обміну в пристінному шарі.

В забруднених газових потоках (наприклад, в трубах котельних повітряпідігрівників) поверхня покривається щільним шаром відкладень товщиною до 1 мм, пристінні турбулізатори “тонуть” в них і така поверхня стає практично гладкою. В цих умовах турбулізатори є неефективними. Труби з кільцевою накаткою, окрім того, як показано вище, дуже “чуттеві” при великих числах  $Re$  до форми виступа. Цим, частково, пояснюється і розкид даних різних авторів. Для масового виробництва цей фактор має ветеке значення, так як самі труби виготовляються з великими допусками (на діаметр — до 0.2–0.3 мм) і витримка жорстких допусків для

профільного виступу висотою 0.5...0.8 мм, враховуючи накатку в холодних умовах, критично важко.

Розрахунки, які провів автор [22], показали, що зі збільшенням числа  $Pr$  ефект інтенсифікації теплообміну збільшується. Для газів термічний опір сконцентрований у в'язкому підшарку (35 %), буферній області (50 %) і турбулентному ядрі (15 %). Для масел ( $Pr = 20$ ) основний термічний опір сконцентрований у в'язкому підшарку (99 %). Границі вказаних областей залежать від числа  $Re$ , і з врахуванням цих закономірностей повинна вибиратися оптимальна висота шорсткості. При цьому необхідно враховувати, що турбулізація граничного шару за рахунок генерації турбулентності відривними областями визначається не тільки висотою виступа, але й дифузиею вихрової пристіночної пелени в ядрі потоку. Пристінне збурення внаслідок дифузії і турбулентного тертя в довгих трубах поширюється впритул до привісьової області. Про це свідчать поля швидкостей і турбулентності при  $l/d > 50$ . В ряді робіт окремо розглядається обтікання одинарних виступів і робиться оцінка оптимальної висоти їх для довгих труб. Рекомензовані оптимальні висоти шорсткості внаслідок складності обтікання повинні визначатися на основі експериментальних даних. Теоретично на даний час можуть бути зроблені тільки наближені оцінки. Експериментально встановлено, що для газів  $d/D = 0.90...0.95$ , а для крапельних рідин  $d/D = 0.94...0.98$ .

Слід відмітити, що ряд фірм за кордоном (в Англії та Японії) серійно випускають труби з накаткою для конденсаторів. В забруднених газових потоках, а також в товстостінних трубах, як показав досвід, досить ефективні спіральні пристінні пластинчасті вихреутворювачі, які розроблені в ЦКТІ [22], що мають висоту  $h = 0.2d$  і не “тонуть” у відкладеннях. Виробництво їх механізоване; вони можуть бути виготовлені за допомогою приставки на будь-якому токарному станку, і

такі інтенсифікатори є найдешевими і простими інтенсифікаторами теплообміну.

Слід відмітити, що в багатьох дослідженнях по інтенсифікації теплообміну або взагалі не звертають увагу на ефективність теплообміну або застосовують не придатні для практики методи оцінювання. Як правило, в публікаціях по інтенсифікації теплообміну почали порівнювати отримані результати у вигляді залежностей між відношеннями  $Nu/Nu_{г\text{л}}$  і  $\xi/\xi_{г\text{л}}$  (чисел Нуссельта і коефіцієнтів гідравлічного опору відповідно) або оцінювати ефективність досліджуваного методу інтенсифікації параметром  $(Nu/Nu_{г\text{л}})/(\xi/\xi_{г\text{л}})$ , звичайно, звертаючи особливу увагу на ті результати, коли цей параметр більше одиниці.

Хотілося б звернути увагу на те, що можливість отримання випереджаючого зростання тепловіддачі відносно підвищення гідравлічного опору в порівнянні з аналогічним гладким каналом представляє великий науковий інтерес, але не завжди приводить до найбільш ефективної інтенсифікації теплообміну. Відомо [1], що найбільш простіше оцінити ефективність застосування інтенсифікації теплообміну, порівнюючи об'єми або поверхні теплообміну двох теплообмінних апаратів, що виготовлені з поверхні з інтенсифікацією теплообміну і без неї, при однакових теплових потужностей і потужностей, які затрачаються на прокачку теплоносія (при однакових витратах теплоносія це означає, що порівнювані апарати будуть мати однакові втрати тиску). Якщо канали, що порівнюються мають однакові діаметри, якщо при визначенні поверхні теплообміну і швидкості потоку в каналі з турбулізаторами не враховувати наявність турбулізаторів і якщо каналі, який розглядається, коефіцієнт теплообміну набагато менший, ніж на іншій стороні теплообмінника, то відношення об'ємів апаратів, що порівнюються, при турбулентній течії теплоносія:

$$\frac{V}{V_{2l}} = \frac{(\xi / \xi_{2l})_{\text{Re}}^{0.4}}{(Nu / Nu_{2l})_{\text{Re}}^{1.4}}, \quad (2.1)$$

де відношення  $(\xi / \xi_{2l})_{\text{Re}}$  і  $(Nu / Nu_{\text{гл}})_{\text{Re}}$  приймаються при однакових числах Рейнольдса, в даному випадку для теплообмінника з інтенсифікацією теплообміну. Як видно з (2.1), інтенсифікація ефективна, якщо  $(\xi / \xi_{\text{гл}}) < (Nu / Nu_{\text{гл}})^{3.5}$ . Оптимум об'єму теплообміну апарата  $V / V_{\text{гл}}$  не відповідає оптимуму величин  $(Nu / Nu_{\text{гл}}) / (\xi / \xi_{\text{гл}})$ . З врахуванням (2.1) і будемо розглядати різноманітні методи інтенсифікації теплообміну.

Як показують багаточислові дані, з всіх відомих методів інтенсифікації теплообміну в трубах найбільшу увагу, як ефективним і технологічно реалізуючи, приділяється штучній турбулізації потоку штучною шорсткістю у вигляді накатки.

Дослідна установка призначена для дослідження теплообміну і втрат тиску при випаровуванні з поверхні плівок і кипінні плівок розчину цукру, що стікають в довгих трубах при супутньому потоці вторинної пари.

Дослідна установка схематично показана на рис. 2.3. Принципово – це однотрубний випарний апарат з паровою гріючою камерою, з системами забезпечення технологічного процесу, з засобами управління, контролю і фіксації робочих параметрів.

Дослідна труба 1 внутрішнім діаметром 32 мм включає шість дослідних ділянок довжиною по 600 мм і обігривається сухою насиченою парою. Кожна ділянка обладнана чашечками 5 для збору конденсату, імпульсними трубками п'єзометрів 6 і мідь-константовими термопарами. Мірники конденсату зібрані всі в одній адіабатній посудині 21, підключеній до корпусу 2 по парі і по конденсату, а окремою трубою 22 – до барометричного бака. Для розширення області досліджень

передбачена лінія подачі пари в дослідну трубу з приладами контролю та регулювання її витрат 15 і 38.

При роботі дослідної установки в баку живлення 31 готується сік потрібної якості і через ротаметр 36 направляється в розподільчу камеру 12, в яку діафрагмою 38 дозується суха насичена пара. Сік піднімається по патрубку 13 і переливається в дослідну трубу 1. В розподільчій камері 12, на вході в трубу 1 і на ділянці гідродинамічної стабілізації встановлюється теплова рівновага і гідродинамічна взаємодія пари з соком.

Гріюча пара конденсується на зовнішній поверхні труби 1. Конденсат по лініях 28 відводиться в мірники. Після визначення його кількості конденсат з мірників зливається в адіабатну посудину 21, яка постійно дронується в барометричний бак. З гріючої камери по патрубку 9 в посудину 21 поступає конденсат, що утворюється на внутрішній поверхні корпусу 2 за рахунок теплових втрат в навколишнє середовище і пара з газами, що не конденсуються. Дренаж і продувка посудини 21 безперервно здійснюються в барометричний бак і в конденсатор.

В трубі 1 сік тече в плівці по її внутрішній поверхні, сприймає від неї тепло і випаровується чи кипить. Сокова пара і згущений сік поступають з труби 1 в сепаратор попередньої сепарації 16 і по патрубках 18 і 19 окремо відводяться в сепаратор останньої ступені промислової випарної установки.

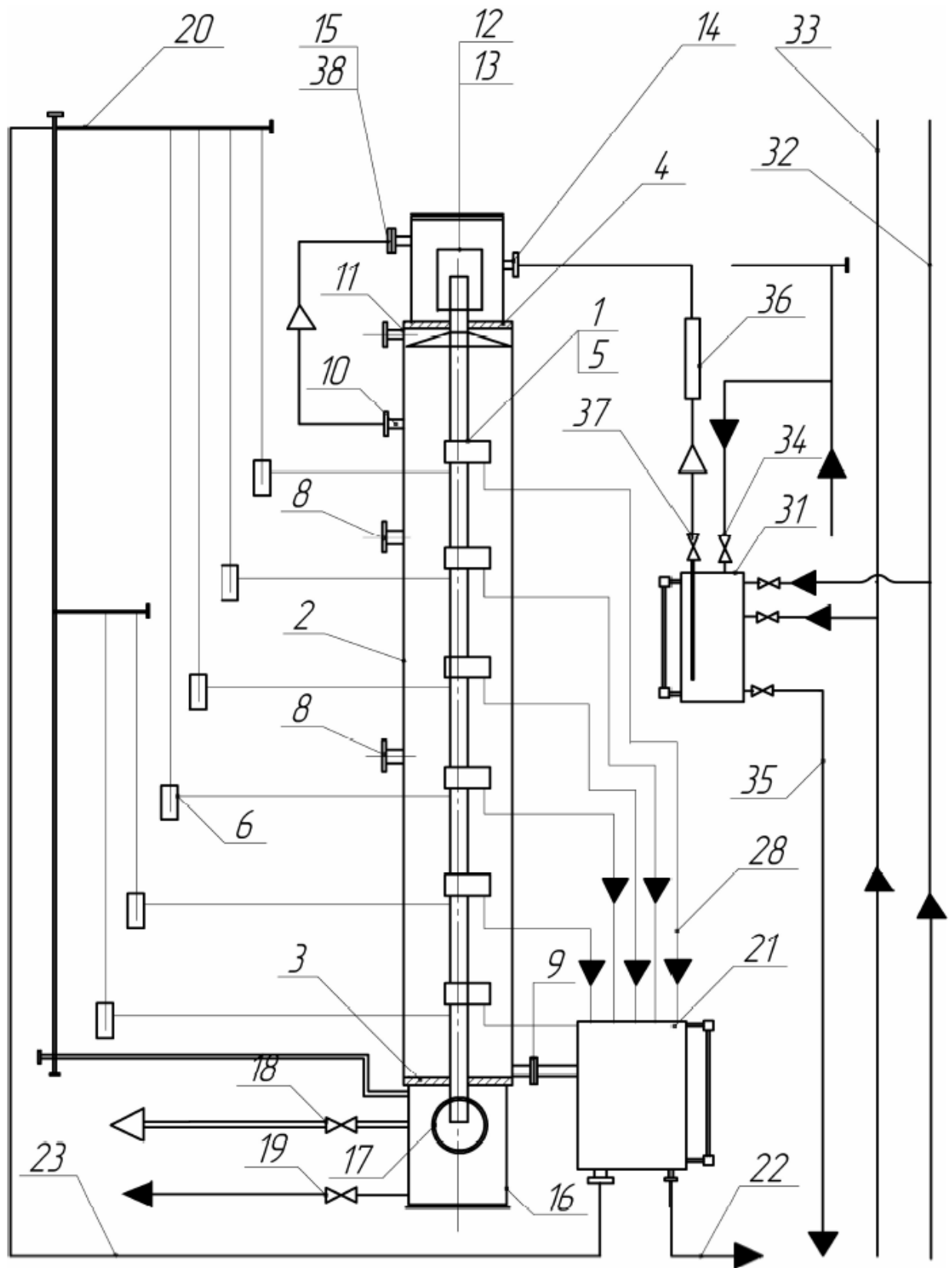


Рис. 2.3. Схема дослідної установки

Інтенсивність тепловіддачі до гравітаційно-стікаючих цукрових розчинів, концентрацією до 72% для довільного випарного апарата

розраховується за рівнянням по тепловіддачі до плівок, що випаровуються:

$$Nu = 1,1 Re^{\frac{1}{3}} \frac{0,85 + 0,01 Pe^{0,2} + 4,5 \cdot 10^{-4} Pe^{0,86} Pr^{-0,2}}{\exp(-1,2 \cdot 10^{-5} Re_n)} K_t \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0,1} \quad (2.2)$$

де  $Nu = \frac{\alpha}{\lambda} \left(\frac{v^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}}$ ;  $Pe = \frac{4\Gamma_v}{a}$ ;  $Pr = \frac{v}{\alpha}$ ;  $Re = \frac{4\Gamma_v}{v}$ ;  $Re_n = \frac{u d \rho_n}{\mu_n}$  – числа

Нуссельта, Прандтля, Пекле, Рейнольдса рідини та пари, відповідно;  $\lambda, a, v$  – теплопровідність, температуропровідність та кінематична в'язкість рідини, відповідно;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\mu_n$  – в'язкість пари;  $u$  – швидкість пари;  $\Gamma_v$  – об'ємна щільність зрошення, м<sup>2</sup>/с;  $L$  – довжини труби;  $L_0=1,5$  м.

Перехід до поверхневого кипіння здійснюється у випадку перевищення температурного напору між температурою стінки труби і парового ядра більше за  $\Delta t_{min}$ , а ефект інтенсифікації теплообміну в діапазоні  $\Delta t \geq \Delta t_{min}$ , внаслідок виникнення поверхневого кипіння, враховується множником:

$$K_t = 1 + 0,4 \left(\frac{\Delta t - \Delta t_{min}}{\Delta t_{min}}\right)^{1,2} \quad (2.3)$$

Якщо температурний напір не перевищує граничного значення –  $\Delta t \leq \Delta t_{min}$ , величина  $K_t = 1$ .

Параметром, що вказує на початок утворення парових бульбашок, прийнято критичне перегрівання стінки відносно температури насичення  $\Delta t_{min}$  для поверхні теплообміну, стан якої характеризується розміром шорсткості  $R_c$

$$\Delta t_{min} = \frac{2\sigma T_n}{r \rho_n R_c} + \Delta \Phi_x \quad (2.4)$$

Де  $\sigma, r$  – поверхневий натяг та теплота фазового перетворення, відповідно;  $T_n$  – температура насичення;  $\Delta \Phi_x$  – фізико-хімічна температурна депресія.

Аналіз даних початку кипіння води та цукрових розчинів в плівці показує, що відповідність досягається при використанні розмірів мікротріщин  $R_c = 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}$  – шорсткості нових теплообмінних труб.

За коефіцієнт тепловіддачі прийнято відношення теплового потоку до різниці температур між стінкою та середньомасовою температурою плівки.

В процесі аналізу дослідних даних з теплообміну при концентруванні сиропів в плівках виявилось, що зі зростанням швидкості парового потоку мало місце падіння середньої температури плівки нижче температури фізико-хімічної депресії, незважаючи на те, що з поверхні плівки відбувалося випаровування води.

Оскільки співвідношення (1) отримано з використанням, як визначальної, середньомасової температури плівки, температурний напір слід розраховувати як:

$$\Delta t = t_{ст} - t_{вт} - \Delta\Phi_x + F_t \quad (2.5)$$

де  $F_t$  – функція корекції температурного напору;  $t_{вт}$  – температура парового ядра потоку;  $t_{ст}$  – температура стінки з боку киплячого розчину.

Співвідношення  $F$  для має вигляд:

$$F_t = \Delta\Phi_x \left[ 1 - \exp \left( -0,014 \frac{\sqrt{\frac{u^2 \Gamma_U}{g^2}}}{\sqrt{\frac{\sigma}{g \cdot \rho}}} \right) \right] \quad (2.6)$$

Залежність для розрахунку фізико-хімічної депресії цукрових розчинів відома і має вигляд:

$$\Delta\Phi_x = 0,0162 \frac{T^2}{r} \Delta_\alpha \quad (2.7)$$

$$\text{де } \Delta_\alpha = \frac{CP}{109,7 - 1,9CP} \text{ при } CP < 37\%$$

$$\Delta_\alpha = \frac{CP}{62,655 - 0,695CP} \text{ при } 37 < CP < 77\%$$

Тепловий потік за співвідношенням (2.2) при відомій наявній різниці температур між нагрівною та вторинною парою визначається наступним чином:

- задаються тепловим потоком і визначають температуру стінки з боку плівки

$$t_{ст} = t_{гр} - \frac{q}{\alpha_{конд}} - q \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} \quad (2.8)$$

де  $\alpha_{конд}$  – коефіцієнт тепловіддачі від нагрівної пари при конденсації на зовнішній поверхні труби;  $\delta_{ст}, \lambda_{ст}$  – товщина стінки труби та її теплопровідність, відповідно;  $t_{гр}$  – температура нагрівної пари;

- при відомій щільності зрошення на вході в трубу  $\Gamma_{v.вх}$  визначають середню швидкість пари в трубі –  $u = \frac{2qL}{d\rho_2 r}$  та середню щільність зрошення

$$\Gamma_{u.ср} = \Gamma_{v.вх} - \frac{qL}{2gr}.$$

- за співвідношенням (2.2) розраховують коефіцієнт тепловіддачі від стінки до плівки розчину  $\alpha_2$ ;

- за співвідношенням ( 2.4, 2.5, 2.6 ) розраховують температурний напір для плівки;

- розраховують тепловий потік як  $q = \alpha_2 \Delta t$  і порівнюють з заданим.

Ітерація продовжується до рівності теплових потоків із заданою точністю.

### *Методика дослідження процесу випарювання за допомогою програмного пакету Flow Vision*

Основною метою дослідження є аналіз розподілення теплоносія та інтенсивність нагрівального агента під камерою та однаковий тиск над решіткою, так як цей фактор є одним із визначальним при отриманні якісних показників випарювання. При випарюванні необхідно створити оптимальні умови для процесу: швидкість теплоносія 1...2 м/с, живий

перетин решітки, через який проходить теплоносій 0,01...0,05 %, опір решітки при проходженні пари через отвори 0,75...0,9. Висока швидкість сприяє різкому підвищенню енергозатрат.

З метою дослідження руху потоків під нагрівальною решіткою, була створена модель камери. Задавши швидкістю і кількістю агента, що входить у процесі випарювання до камери, ми аналізували зміну швидкості та тиску.

Процес розрахунку течії речовини містить у собі наступні кроки:

1. Створення області розрахунку («геометрії») у САПР й імпорт її в FlowVision.
2. Завдання математичної моделі.
3. Завдання граничних умов.
4. Завдання фізичних параметрів.
5. Завдання початкової розрахункової сітки.
6. Завдання критеріїв адаптації розрахункової сітки.
7. Вибір кроку часу обчислювального алгоритму.
8. Запуск варіанта на проведення розрахунку.
9. Перегляд результату розрахунку і використання можливостей постпроцесора.

Визначивши геометричні розміри труби, створюємо 3D-модель за допомогою програми для 3D проектування: Autodesk Inventor (рис.2.4, рис.2.5). Після цього завантажуюмо програмний комплекс Flow Vision.

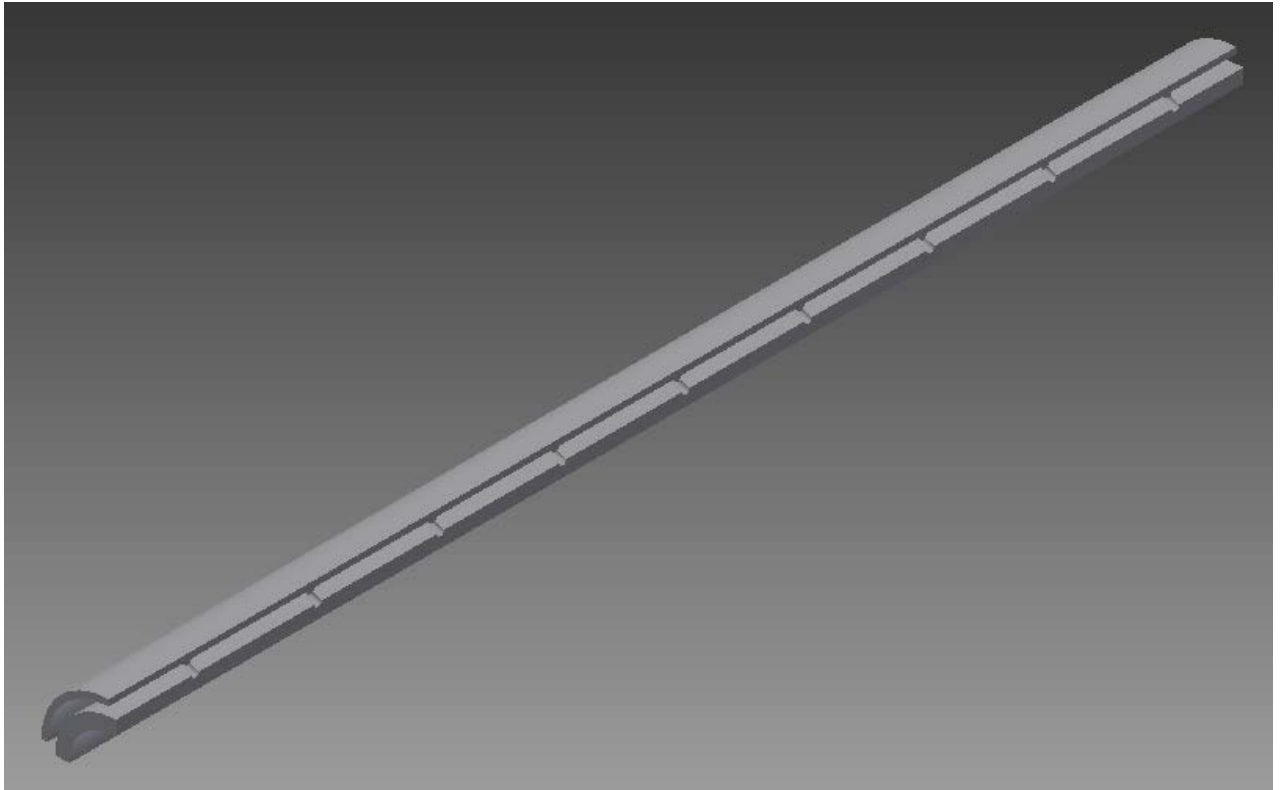
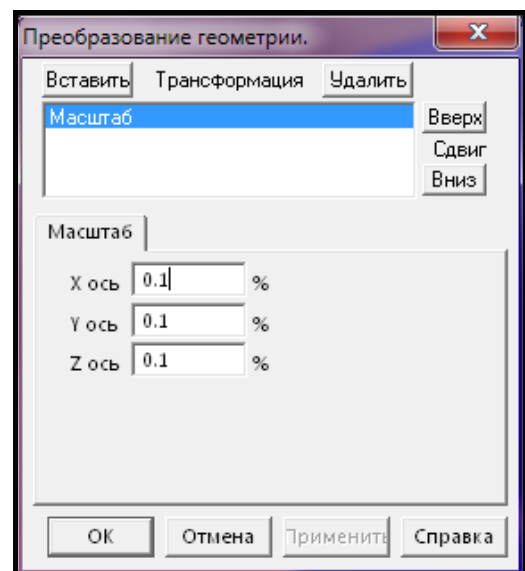
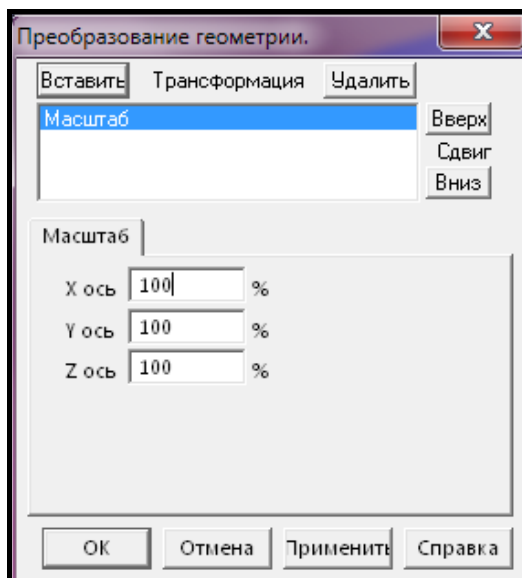


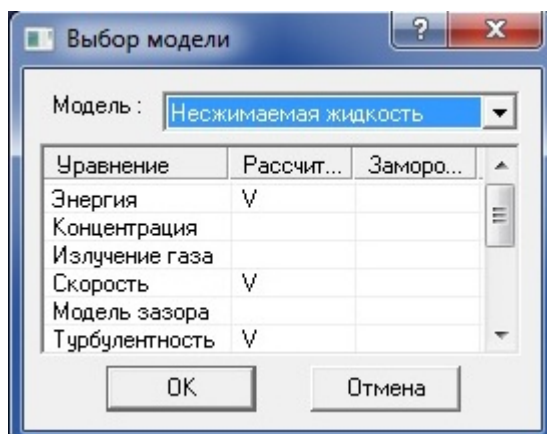
Рис. 2.4 Ескіз труби

1) Так як програма Autodesk Inventor Professional 2013 працює з одиницями виміру мм, а Flow Vision з м, то необхідно присвоїти масштаб, щоб розрахунки були вірними.



2) Вибираємо модель для розрахунку з можливих у програмному комплексі Flow Vision і параметр, який буде розраховуватись. В нашому

випадку моделлю для розрахунку буде «*Несжимаемая жидкость*», тому що закономірності і закони даної моделі повністю відповідають до поставленої задачі.



3) Починаємо задавати граничні умови для нашої моделі. У нашому випадку граничних умов повинно бути три: граничні умови виходу рідини, гранична умова стінки труби і гранична умова входу рідини.

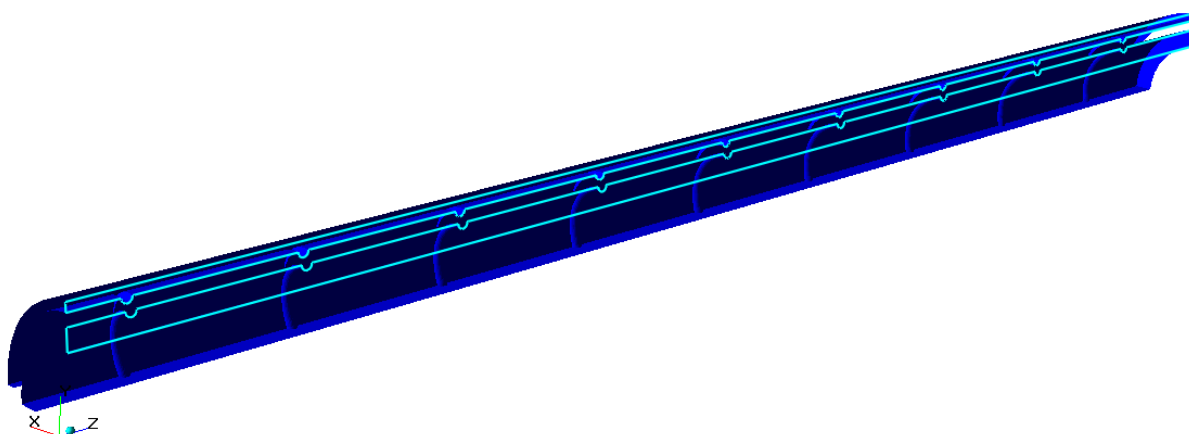
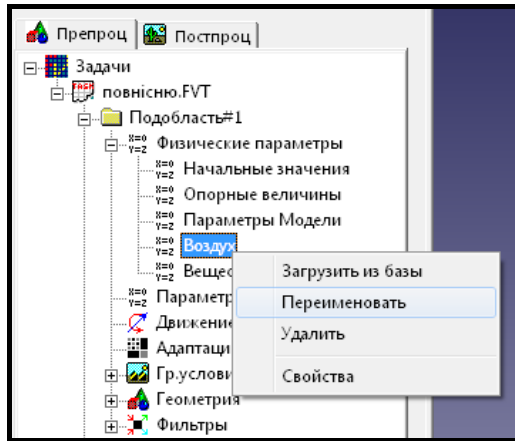


Рис.2.5 Гранична умова стінки.

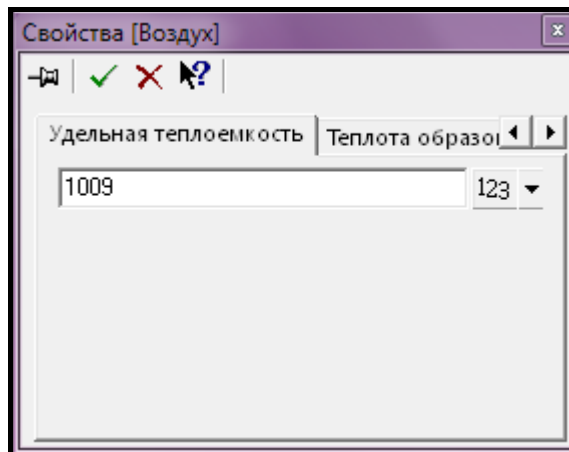
Аналогічно робимо для всіх граничних умов сушильної камери.

4) Після цього задаємо фізичні властивості

Для того, щоб викликати вікно редагування фізичних параметрів, необхідно в дереві варіанта вибрати «*Физические параметры*», розкрити дерево, на потрібному розділі фізичних параметрів правою клавішею миші викликати меню, у якому вибрати «*Загрузить из базы*».



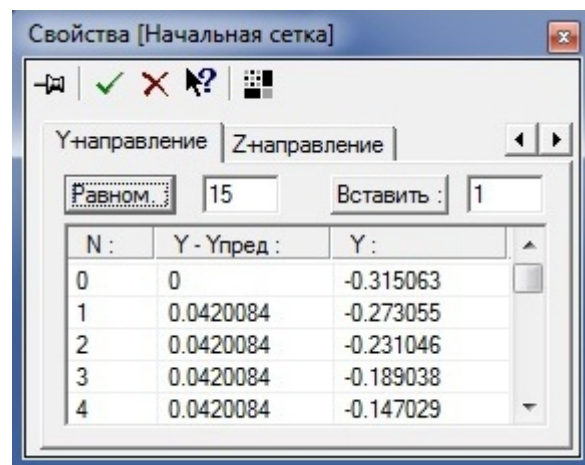
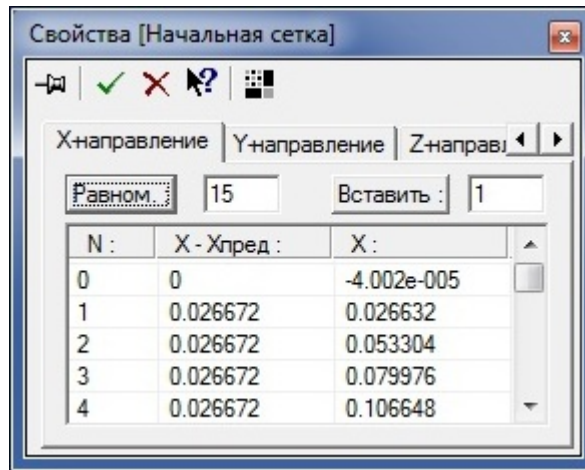
Властивості рідини:



5) Після цього необхідно розбити кількість розрахункових комірок вздовж кожної з осі системи координат. Для цього використовуємо функцію «Начальная сетка».

Flow Vision використовує локально-адаптивну розрахункову сітку. Це значить, що за різними критеріями окремі області можуть автоматично подрібнюватися на один і більше порядків. Спочатку необхідно описати початкову сітку. Для цього вибрати в дереві «Начальная сетка», правою клавішею миші викликати меню й вибрати «Свойства». У вікні редактора початкової розрахункової сітки є три закладки – «X-направление», «Y-направление» й «Z-направление».

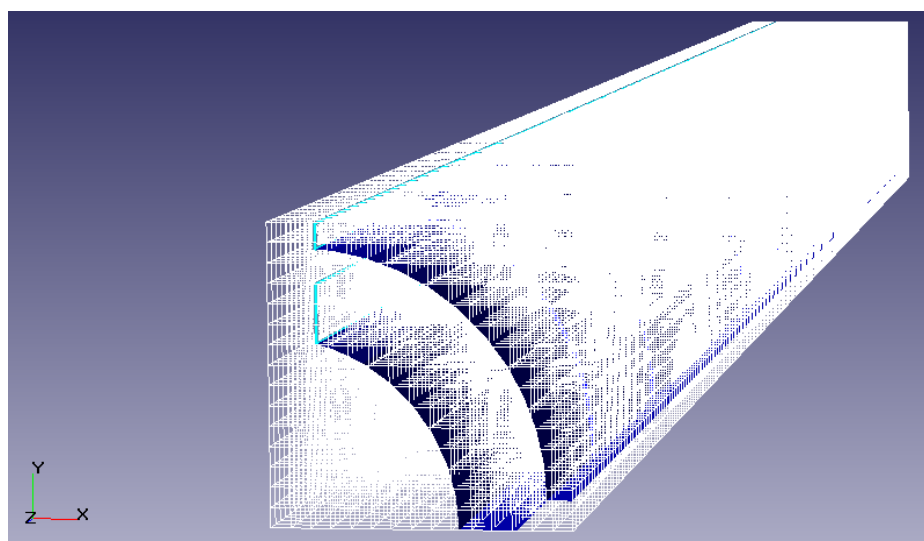
Потрібно рівномірно розтавити необхідну кількість площин. Рекомендується зробити 15 площин уздовж осі X і 15 площин уздовж осі Y.



Для того, щоб візуалізувати сітку, необхідно натиснути на піктограму з зображенням сітки (сама права піктограма в ряду).

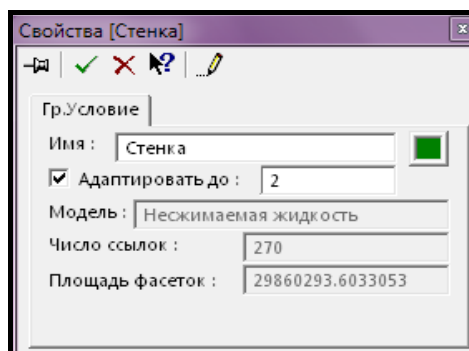
Після розбиття розрахункових комірок по осям, розрахункова сітка має

такий вигляд:



Адаптація – підвищення точності розрахунків в окремих ділянках розрахункової сітки. У даній роботі передбачається зробити два критерії автоматичної адаптації розрахункової сітки. Для цього треба вибрати в дереві варіанта «Гр. условия», потім вибрати граничну умову «Стенка» – і правою клавішею миші вибрати «Свойства».

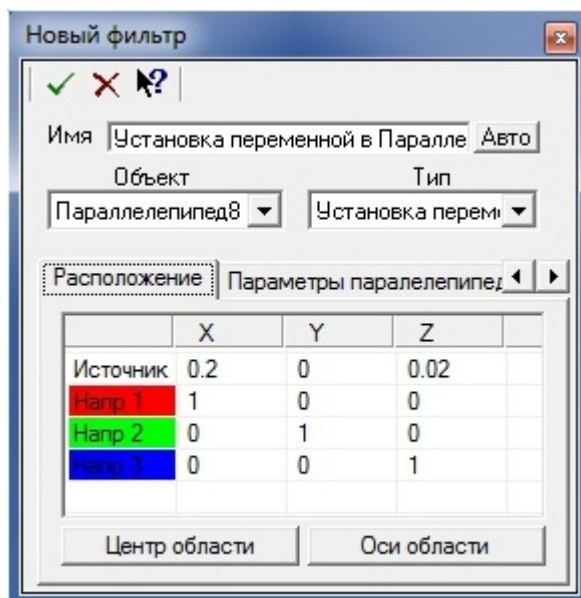
У вікні, що відкрилося, поставити галочку перед рядком «Адаптировать до:», і в полі правіше напису ввести число 2.



Натиснути зелену галочку й закрити вікно.

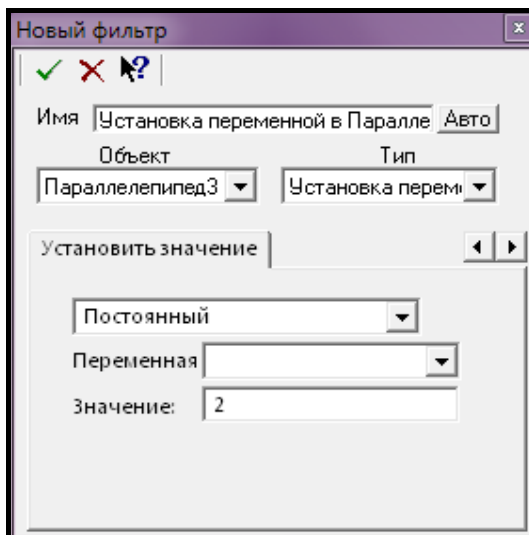
Критерій адаптації по граничній умові робиться так.

Вибрати в дереві варіанта «Фильтры», правою клавішею миші викликати меню й вибрати «Создать». У вікні, що відкрилося, у поле «Объект» вибрати «Параллелепипед», а в поле «Тип» вибрати «Установка переменной».



Тепер потрібно вказати розташування й розмір області фільтра. На закладці «*Расположение*» у рядку «*Источник*» ввести три числа – координати центра паралелепіпеда. Напрямки його ребер («*Напр.1*», «*Напр.2*», «*Напр.3*») варто залишати уздовж осей (поставити одиниці).

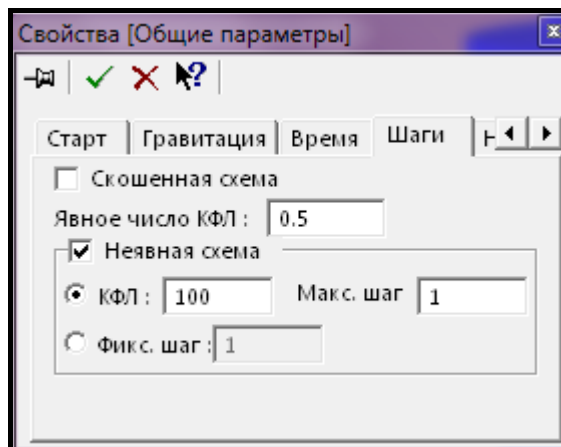
Тепер потрібно ввести параметри адаптації. На закладці «*Установить значение*» у верхнім полі повинен бути обратний тип адаптації – «*Постоянный*», а в полі для числа ввести ступінь адаптації – 2.



Натиснути зелену галочку й закрити вікно.

б) Вибір кроку за часом обчислюваного алгоритму

Вибрати в дереві «*Общие параметры*», правою клавiшею миші викликати контекстне меню, у якому вибрати «*Свойства*». У вікні, що з'явилося, вибрати закладку – «*Шаги*» і привести її до виду. Зазначеному нижче (для цього треба змінити число *КФЛ (CFL)* – на 100).



Нажати на зелену галочку й закрити вікно. Крок за часом заданий.

### 7) Запуск варіанта на проведення розрахунку

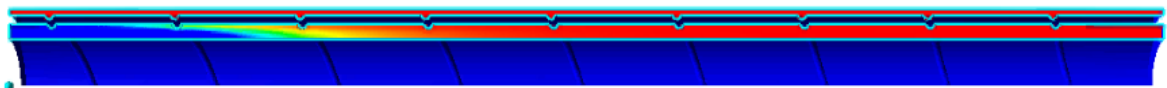
Для запуску розрахунку та для керування процесом обчислення використовуються три кнопки на панелі інструментів Flow Vision:



Після початку розрахунку внизу вікна Flow Vision з'явиться вікно стану розрахунку, у якому показуються поточні параметри процесу.

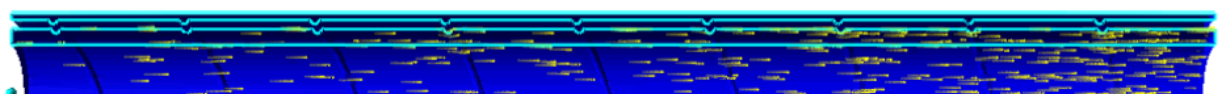
8) Після цього кроку модель вже готова до розрахунку. Але спочатку необхідно перерізати її в тому напрямку в якому будемо спостерігати за розподіленням швидкості повітря, розподілу тиску та температурою.

В результаті розрахунків отримано температурне поле в модернізованій нагрівальній трубці.

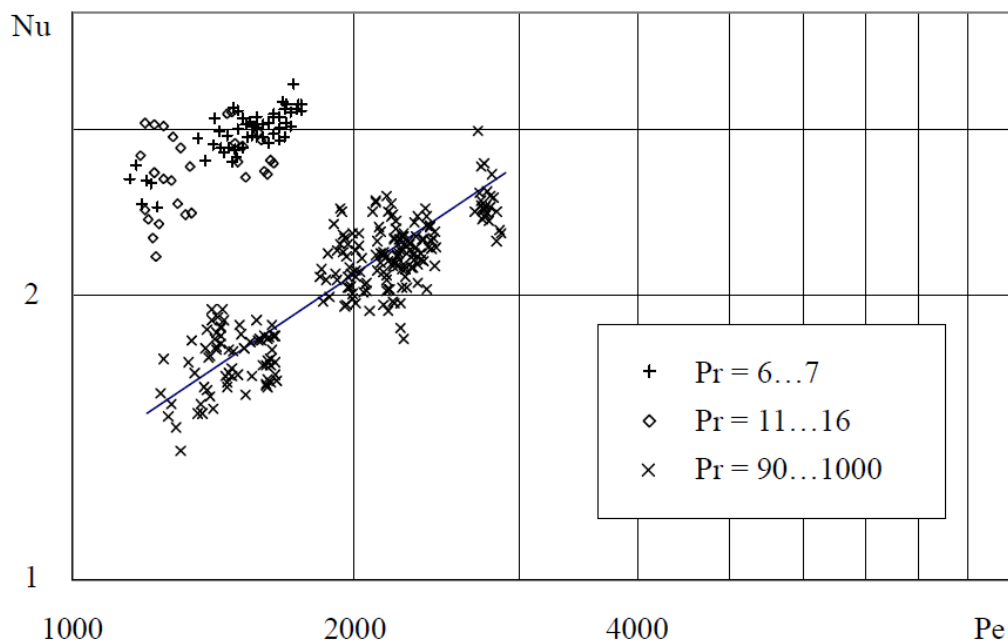


Цвет	Значение
Red	130
Orange	129.05
Yellow	128
Light Yellow	127
Light Green	126.05
Green	125.05
Cyan	124
Light Blue	123
Blue	122.05
Dark Blue	121
Very Dark Blue	120

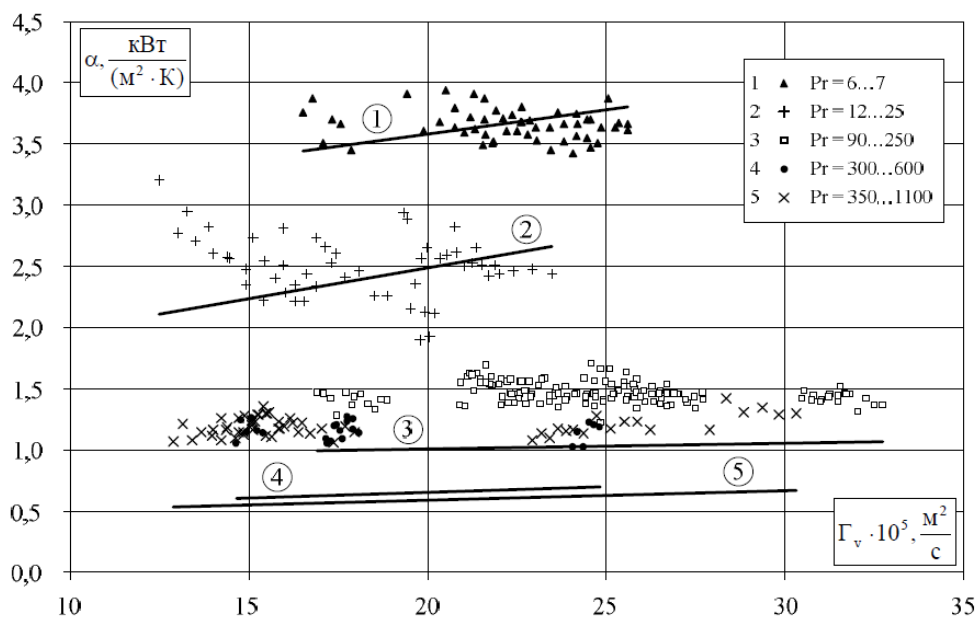
А також зображено процес обтікання потоком рідини гвинтової накатки на внутрішній поверхні труби.



Далі можна спостерігати залежність Нуссельта-Пекле тепловіддачі в зоні випаровування. Тобто при збільшенні швидкості потоку рідини, збільшується температура.



Залежність теплопередачі від коефіцієнта зрошення:



#### 4. ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ. УСТРІЙ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

Плівкові випарні апарати в порівнянні з іншими відрізняються високою інтенсивністю тепловіддачі, меншою питомою теплоємністю, для їхньої установки потрібно значно менше виробничої площі. Вони мають відносно невеликий гідравлічний опір, розчини в них перебувають у контакті з поверхнею нагрівання більш короткий час, що значно зменшує термічне розкладання продукту і дозволяє упарювати їх до високої концентрації. Крім того, у таких апаратах не спостерігається піноутворення, а малі об'єми розчинів, що знаходяться в них дозволяють швидко змінювати продукти, які випарюються. Апарати прості в обслуговуванні.

Плівкові апарати застосовують для теплової обробки в'язких і термічно нестійких розчинів, випарювання продуктів, що сильно піняться, і розчинів, які кристалізуються, а також швидкого видалення низькокиплячих компонентів із сумішей, що розділяються. Найбільш широко застосовують апарати із трубчастими нагрівальними камерами, їх випускають із вимушеною, природною циркуляцією і заглибленою поверхнею нагрівання, а також природною циркуляцією і винесеною нагрівальною камерою.

Але плівкові випарні апарати мають і свої недоліки: недостатня рівномірність зрошування внутрішньої поверхні трубок, конструкція апарату ускладнюється у зв'язку із застосуванням насадок для розподілення соку по трубках, канавки цих розподілювачів при наявності в соку домішок можуть забиватися, коли випарювання повинно йти ритмічно.

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження <i>Забарський ВВ</i>	Вид документа <i>Пояснювальна записка</i>		Статус документа			
Власник документа  <i>НУХТ</i>	Розробник документа <i>Бабко Є.М.</i>	Назва, додаткова назва <i>Обґрунтування модернізації</i>		14-2688.ДПО4.004 ПЗ			
	Документ затверджено <i>Миронюк ВГ.</i>						

Суть модернізації полягає в наступному: для інтенсифікації процесу випарювання на поверхні кип'ятильних труб штучно збільшена шорсткість, шляхом втискання металу по гвинтовій траєкторії для збільшення турбулентності потоку та його утримання на внутрішній поверхні труби.

Гвинтова накатка представлена на рис. 4.1 і виконується на трубках де сік рухається низхідним потоком на довжину трубки 1,5...2 м від верхнього її кінця, що забезпечує завихрення плівки і її гвинтовий рух на внутрішній поверхні.

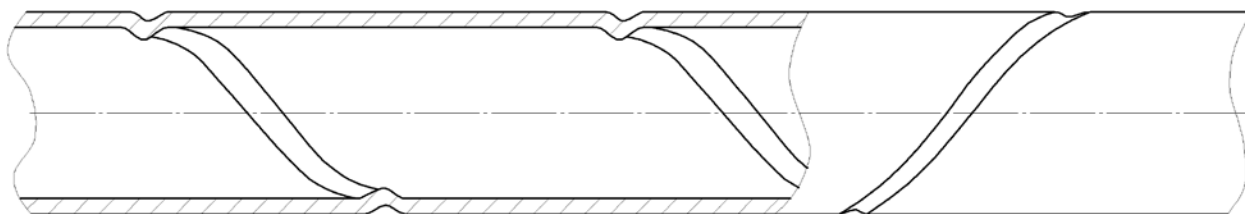


Рис. 4.1 Гвинтова накатка на трубках

Також дана модернізація передбачає що конденсат, який буде утворюватися на зовнішній поверхні трубок, потраплятиме у канавку рухатиметься донизу по ній і не буде заважати теплопередачі між теплоносієм та стінкою трубки.

Штучна шорсткість у вигляді гвинтової накатки повинна мати параметри такі параметри: висота виступів спів розмірна з товщиною плівки, яка стікає, щоб забезпечити завихрення потоку рідини, а її крок бути співрозмірний із діаметром самої трубки.

Апарат представляє собою вертикальну сталеву циліндричну ємність зварної конструкції, яка складається із трьох основних частин – гріючої камери 1, сокової камери 2 і розподільчого пристрою 3.

До складу гріючої камери 1 входять обичайка, верхня і нижня трубні решітки із за вальцьованими в них гріючими трубками. Пар через два патрубки 1.1 підводиться в парову рубашку 1.2, а потім через щілинні отвори – безпосередньо в парову камеру. Для запобігання вібрації гріючих

трубок, всередині гріючої камери, приварені проміжні трубні напіврешітки 1.3. В нижній частині гріючої камери над нижньою трубною решіткою розміщені два патрубк для відводу конденсату 1.6.

Безпосередньо під гріючою камерою розміщена сокова камера 2. В склад якої входить опорна частина 2.1 з конічним днищем 2.2, в центрі якого розміщений патрубок для 2.3 для відводу сиропу в наступний апарат випарної станції. На опорній частині встановленні циліндричні 2.4 і 2.5, та конічна 2.6 обичайки, утворюючі сокову сепараційну камеру. В нижній частині камери розміщені два патрубки: 2.7 – для підводу сиропу із попереднього корпусу і 2.8 – для відводу сиропу на рециркуляцію у верхню частину апарату. В конічній обичайці 2.6 є два патрубки 2.9 для відводу вторинного пару із апарату. Для сепарації пара із паросокової суміші всередині сокової камери приварений направляючий конус 2.11, який запобігає можливості прямого проходу соку із вхідного патрубка 2.7 у вихідний 2.8. На соковій камері розміщений оглядовий люк 2.12.

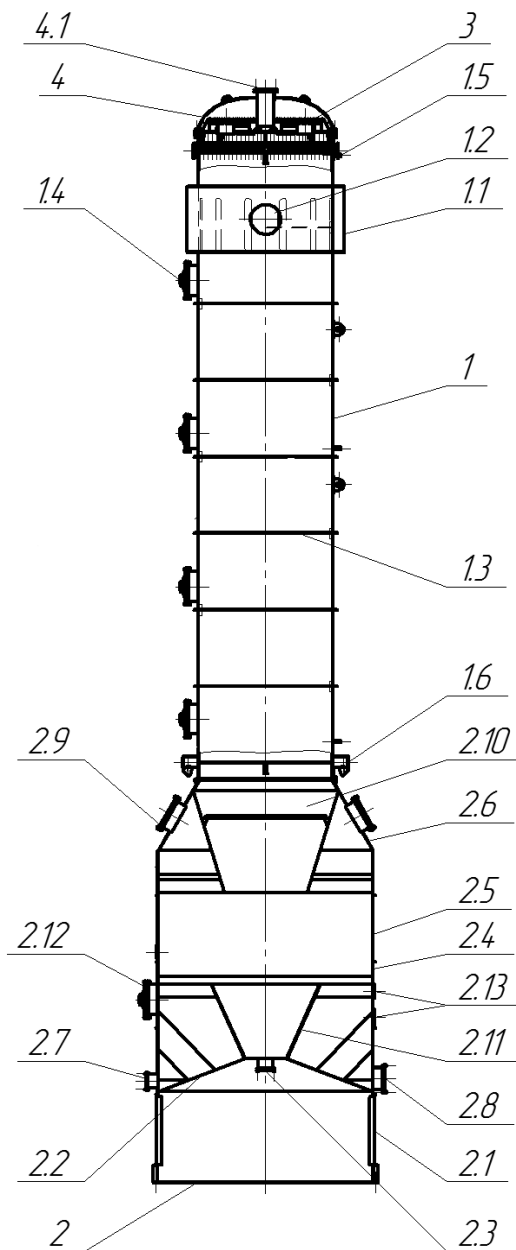


Рис. 4.2. Прямотечійно-плівковий випарний апарат ТВП

1 – гріюча камера; 1.1 – патрубки підводу пари; 1.2 – парова рубашка; 1.3 - проміжні трубні напіврешітки; 1.4 – оглядові люки; 1.5 – аміачні відтяжки; 1.6 – патрубки для відводу конденсату; 2 – сокова камера; 2.1 – опорна частина; 2.2 – конічне днище; 2.3 – патрубок для відведення сиропу; 2.4, 2.5 – циліндричні, 2.6 – конічна обичайки; 2.7 – патрубок для підведення сиропу із попереднього корпусу; 2.8 – патрубок для відведення сиропу на рециркуляцію у верхню частину апарата; 2.9 – патрубки для відведення вторинного пара; 2.10 – направляючий конус;

2.11 – конус, який запобігає змішуванню; 2.12 – оглядовий люк; 3 – розподільчий пристрій; 4 – еліптична кришка; 4.1 – штуцер для підводу циркуляційного соку

Над верхньою трубною решіткою розміщений розподільчий пристрій 3, який встановлюється на фланці гріючої камери. На фланець також встановлюється еліптична кришка 4. В центрі кришки розміщений штуцер 4.1 для підводу циркуляційного соку в розподільчий пристрій.

Таблиця 4.1

Технічна характеристика апаратів (ТВП)

Типорозмір	Діаметр гріючої камери, мм	Висота гріючої камери, мм	Площа поверхні нагрівання, м <sup>2</sup>	Діаметр труб, мм	Маса, кг
ТВП 5-265	1204	5000	265	38x1,2	7700
ТВП 5-375	1420	5000	375	38x1,2	9680
ТВП 9-675	1400	9000	675	35x1,5	17450
ТВП 9-1185	1804	9000	1185	38x1,2	22000
ТВП 9-2265	2600	9000	2265	33x1,5	57010
ТВП 9-2430	2600	9000	2430	35x1,5	60430
ТВП 9-3430	3200	9000	3430	33x1,5	70750
ТВП 9-3650	3200	9000	3650	35x1,5	75000
ТВП 10-1940	2204	10000	1942	38x1,2	37500
ТВП 12-1580	1804	12000	1580	38x1,2	26650
ТВП 12-3025	2600	12000	3025	38x1,2	65775
ТВП 12-3250	2600	12000	3250	33x1,5	69720
ТВП 12-4580	3200	12000	4580	35x1,5	82300
ТВП 12-4870	3200	12000	4870	35x1,5	86530
ТВП 14-1880	1800	14000	1880	38x1,2	32200
ТВП 16-6500	3200	16000	6490	35x1,5	114000

### 3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Завдання: скласти математично-статистичну модель процесу випарювання та визначити час перебування соку у випарному апараті.

Вибираємо вхідні параметри – фактори:

1. Концентрація соку на вході у випарний апарат ( $C_{P_{вх}}$  %).

Межі варіювання даного показника:

- Верхній рівень (+) – 14,9%;
- Нижній рівень (-) – 14,4%;
- 0-рівень ( $X_{0i}$ ) – 14,65%;
- Крок варіювання ( $\Delta x$ ) – 0,25%.

2. Площа поверхні теплообміну ( $F, m^2$ ).

Межі варіювання даного показника:

- Верхній рівень (+) – 2430 $m^2$ ;
- Нижній рівень (-) – 2285 $m^2$ ;
- 0-рівень ( $X_{0i}$ ) – 2357,5 $m^2$ ;
- Крок варіювання ( $\Delta x$ ) – 72,5 $m^2$ .

3. Температура гріючої пари ( $t_p, ^\circ C$ ).

Межі варіювання даного показника:

- Верхній рівень (+) – 132 $^\circ C$ ;
- Нижній рівень (-) – 109 $^\circ C$ ;
- 0-рівень ( $X_{0i}$ ) – 120,5 $^\circ C$ ;
- Крок варіювання ( $\Delta x$ ) – 11,5 $^\circ C$ .

За наведеними вище даними складаємо таблицю 3.1.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Забарський ВВ	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бабко Є.М.	Назва, додаткова назва Аналітичний огляд стану питання	14-2688.ДПО4.003 ПЗ			
	Документ затверджено Миронюк В.Г.		Інд.	Дата видання	Модел UA	Аркуш 1/13

Присвоюємо:

$$\tau \equiv Y;$$

$$F \equiv x_2;$$

$$Cp_{\text{вх}} \equiv x_1;$$

$$t_{\text{п}} \equiv x_3.$$

Таблиця 3.1

Рівні варіювання факторів	$x_1$ ( $Cp_{\text{вх}}$ %)	$x_2$ ( $F, \text{м}^2$ )	$x_3$ ( $t_{\text{п}} \text{ } ^\circ\text{C}$ )
Верхній рівень (+)	14,9	2430	132
0-рівень ( $x_{0i}$ )	14,65	2357,5	120,5
Нижній рівень (-)	14,4	2285	109
Крок варіювання ( $\Delta x$ )	0,25	72,5	11,5

Очікувана математично-статистична модель у формі поліноми 1-го степеня має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_1 \cdot x_2 + \beta_5 \cdot x_1 \cdot x_3 + \beta_6 \cdot x_2 \cdot x_3 + \beta_7 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$$

Де:  $\beta_{ij}$  – коефіцієнт поодиноких і парних ефектів (взаємодії).

Нормуємо вихідне очікуване рівняння за залежністю:

$$z_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x};$$

Рівняння після заміни  $x$  на  $z$  буде мати вигляд (рівняння регресії):

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 \cdot z_1 + b_2 \cdot z_2 + b_3 \cdot z_3 + b_4 \cdot z_1 \cdot z_2 + b_5 \cdot z_1 \cdot z_3 + b_6 \cdot z_2 \cdot z_3 + b_7 \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3$$

$b_i$  – оцінки статистичних коефіцієнтів;

#### Складання матриці та плану експерименту

Для повного  $N$  - факторного експерименту потрібно  $N = 2^n = 2^3 = 8$  експериментів. Де  $n$  – кількість факторів.

Плануємо 3 серії дослідів.

Маємо таку індексацію:

- $i=1, 2, 3 \rightarrow n=3 \rightarrow$  кількість факторів;
- $j=1, 2 \dots 8 \rightarrow N=8 \rightarrow$  кількість експериментів;
- $l=1, 2, 3 \rightarrow m=3 \rightarrow$  кількість серій дослідів.

$N_0^*$  - порядковий номер рандомізації.

№ досліду	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_1Z_2$	$Z_1Z_3$	$Z_2Z_3$	$Z_1Z_2Z_3$	$N_0^*$
1	+	-	-	-	+	+	+	-	5
2	+	-	+	+	-	-	+	-	3
3	+	-	-	+	+	-	-	+	8
4	+	-	+	-	-	+	-	+	6
5	+	+	-	-	-	-	+	+	1
6	+	+	+	+	+	+	+	+	7
7	+	+	-	+	-	+	-	-	2
8	+	+	+	-	+	-	-	-	4

Таблиця 3.2

Матриця та план 3-х факторного експерименту

-	-	-
-	+	+
-	-	+
-	+	-
+	-	-
+	+	+
+	-	+
+	+	-

- матриця жорстка конструкція з певними властивостями.

Властивості матриці:

1) Симетричність  $\rightarrow \sum z_{ij} = 0;$

2) Нормованість  $\rightarrow \sum z_{ij}^2 = 0;$

3) Ортогональність  $\rightarrow \sum(z_{ij} \cdot z_{kj}) = 0$ .

Експеримент виконуємо на реальній моделі, яка оснащена засобами контролю, управління та реєстрації.

Результати вимірів  $Y$ , отриманих при експерименті, заносимо у таблицю 3.3.

Таблиця 3.3

Результати вихідного параметру 3-х дублів 3-х факторного експерименту

Z <sub>0</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> Z <sub>2</sub> Z <sub>3</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	$\bar{Y}$
+	-	-	-	+	+	+	-	9,1694	9,6279	8,9860	9,2611
+	-	+	+	-	-	+	-	2,3879	2,4595	2,3664	2,4046
+	-	-	+	+	-	-	+	3,8206	3,9810	3,7251	3,8422
+	-	+	-	-	+	-	+	5,7309	6,0231	5,4443	5,7328
+	+	-	-	-	-	+	+	8,4053	8,5398	8,1363	8,3605
+	+	+	+	+	+	+	+	2,1889	2,2502	2,1363	2,1918
+	+	-	+	-	+	-	-	3,5022	3,6143	3,4427	3,5197
+	+	+	-	+	-	-	-	5,2533	5,3163	5,1325	5,2340

*Статистичний та регресійний аналіз отриманих дослідних даних*

*Перевірка гіпотези 0 на однорідність дисперсії та відтворюваність дослідних даних*

Перевіряємо однорідність дисперсії середніх значень по серіях та по дослідах.

А за цим перевіряємо відтворюваність.

А) По стовпцях:

$$S_j^2 = S_{IjA}^2 = (m - 1)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^N (y_{ij} - \bar{y}_j)^2;$$

$$S_{1jA}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(9,1694 - 9,2611)^2 + (2,3879 - 2,4046)^2 + (3,8206 - 3,8422)^2 + (5,7309 - 5,7328)^2 + (8,4053 - 8,3605)^2 + (2,1889 - 2,1918)^2 + (3,5022 - 3,5197)^2 + (5,2533 - 5,2340)^2] = 0,0474;$$

$$S_{2jA}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(9,6279 - 9,2611)^2 + (2,4595 - 2,4046)^2 + (3,9810 - 3,8422)^2 + (6,0231 - 5,7328)^2 + (8,5398 - 8,3605)^2 + (2,2502 - 2,1918)^2 + (3,6143 - 3,5197)^2 + (5,3163 - 5,2340)^2] = 1,1695;$$

$$S_{3jA}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(8,9860 - 9,2611)^2 + (2,3664 - 2,4046)^2 + (3,7251 - 3,8422)^2 + (5,4443 - 5,7328)^2 + (8,1363 - 8,3605)^2 + (2,1363 - 2,1918)^2 + (3,4427 - 3,5197)^2 + (5,1325 - 5,2340)^2] = 0,9746;$$

$$S_{ljA\text{MAX}}^2 = 1,1695;$$

$$\sum S_{ljA}^2 = 2,1916.$$

Б) По рядках:

$$S_{1iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(9,1694 - 9,2611)^2 + (9,6279 - 9,2611)^2 + (8,9860 - 9,2611)^2] = 0,8745;$$

$$S_{2iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(2,3879 - 2,4046)^2 + (2,4595 - 2,4046)^2 + (2,3664 - 2,4046)^2] = 0,0190;$$

$$S_{3iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(3,8206 - 3,8422)^2 + (3,9810 - 3,8422)^2 + (3,7251 - 3,8422)^2] = 0,1338;$$

$$S_{4iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(5,7309 - 5,7328)^2 + (6,0231 - 5,7328)^2 + (5,4443 - 5,7328)^2] = 0,6700;$$

$$S_{5iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(8,4053 - 8,3605)^2 + (8,5398 - 8,3605)^2 + (8,1363 - 8,3605)^2] = 0,3377;$$

$$S_{6iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(2,1889 - 2,1918)^2 + (2,2502 - 2,1918)^2 + (2,1363 - 2,1918)^2] = 0,0260;$$

$$S_{7iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(3,5022 - 3,5197)^2 + (3,6143 - 3,5197)^2 + (3,4427 - 3,5197)^2] = 0,0607;$$

$$S_{8iB}^2 = (3 - 1)^{-1} \cdot [(5,2533 - 5,2340)^2 + (5,3163 - 5,2340)^2 + (5,1325 - 5,2340)^2] = 0,0698;$$

$$S_{lijB\text{MAX}}^2 = 0,8745;$$

$$\sum S_{lijB}^2 = 2,1916.$$

*Визначення критерія Кохрена:*

$$Gr_A = \frac{S_{ijA}^2}{\sum S_{ijA}^2} = \frac{1,1695}{2,1916} = 0,5336;$$

$$Gr_B = \frac{S_{ijB}^2}{\sum S_{ijB}^2} = \frac{0,8745}{2,1916} = 0,3990;$$

Визначаємо критичне значення критерія Кохрена:

$$G_{kr} = F(f_1, f_2, \alpha)$$

Де  $f_1$  і  $f_2$  – ступені свободи;

$$f_1 = (m - 1) = (3 - 1) = 2$$

Де  $m$  - кількість дублів;

$$f_2 = N = 8$$

Де  $N$  - кількість дослідів;

$\alpha$  – інтервал довіри (0,05).

Критичне значення критерія Кохрена становить – 0,8159 [1, ст. 102]

Гіпотеза підтверджується, коли  $Gr < G_{kr}$

А:  $0,5336 < 0,8159$  – гіпотеза підтверджується;

Б:  $0,3990 < 0,8159$  – гіпотеза підтверджується.

Визначаємо загальну дисперсію (похибку всього експерименту)

$$A, B: S_0 = \frac{\sum S_{ijA}^2}{N} = \frac{2,1916}{8} = 0,2739$$

Визначення та перевірка значимості коефіцієнтів рівняння регресії

$$b_i = \frac{\sum_1^N (z_i \cdot \bar{y}_j)}{N}$$

$$b_0 = \frac{1}{8} \cdot (9,2611 + 2,4046 + 3,8422 + 5,7328 + 8,3605 + 2,1918 + 3,5197 + \\ + 5,2340) = 5,0683;$$

$$B_1 = \frac{1}{8} \cdot (-9,2611 - 2,4046 - 3,8422 - 5,7328 + 8,3605 + 2,1918 + 3,5197 + 5,2340) = -0,2418$$

$$B_2 = \frac{1}{8} \cdot (-9,2611 + 2,4046 - 3,8422 + 5,7328 - 8,3605 + 2,1918 - 3,5197 + 5,2340) = -1,1775$$

$$B_3 = \frac{1}{8} \cdot (-9,2611 + 2,4046 + 3,8422 - 5,7328 - 8,3605 + 2,1918 + 3,5197 - 5,2340) = -2,0788$$

$$B_4 = \frac{1}{8} \cdot (9,2611 - 2,4046 + 3,8422 - 5,7328 - 8,3605 + 2,1918 - 3,5197 + 5,2340) = 0,0639$$

$$B_5 = \frac{1}{8} \cdot (9,2611 - 2,4046 - 3,8422 + 5,7328 - 8,3605 + 2,1918 + 3,5197 - 5,2340) = 0,1080$$

$$B_6 = \frac{1}{8} \cdot (9,2611 + 2,4046 - 3,8422 - 5,7328 + 8,3605 + 2,1918 - 3,5197 - 5,2340) = 0,4862$$

$$B_7 = \frac{1}{8} \cdot (-9,2611 - 2,4046 + 3,8422 + 5,7328 + 8,3605 + 2,1918 - 3,5197 - 5,2340) = 0,0365$$

*Перевірка гіпотези на значимість впливу отриманих коефіцієнтів на функцію за розподілом Стьюдента:*

Визначаємо  $t_r$ , для всіх  $b_i$  :

$$t_{r,b_i} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}; \rightarrow S_{b_i} = \sqrt{S_{b_i}^2}; \rightarrow S_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{N};$$

$$S_{bi}^2 = \frac{S_0^2}{N} = \frac{0,2739}{8} = 0,0342;$$

$$S_{bi} = \sqrt{S_{bi}^2} = \sqrt{0,0342} = 0,1849;$$

$$t_{r,b0} = \frac{|b0|}{S_{bi}} = \frac{5,0683}{0,1849} = 27,3892;$$

$$t_{r,b1} = \frac{|b1|}{S_{bi}} = \frac{0,2418}{0,1849} = 1,3069;$$

$$t_{r,b2} = \frac{|b2|}{S_{bi}} = \frac{1,1775}{0,1849} = 6,3634;$$

$$t_{r,b3} = \frac{|b3|}{S_{bi}} = \frac{2,0788}{0,1849} = 11,2336;$$

$$t_{r,b4} = \frac{|b4|}{S_{bi}} = \frac{0,0639}{0,1849} = 0,3455;$$

$$t_{r,b5} = \frac{|b5|}{S_{bi}} = \frac{0,1080}{0,1849} = 0,5837;$$

$$t_{r,b6} = \frac{|b6|}{S_{bi}} = \frac{0,4862}{0,1849} = 2,6272;$$

$$t_{r,b7} = \frac{|b7|}{S_{bi}} = \frac{0,0365}{0,1849} = 0,1973;$$

Визначаємо критичне значення розподілу Стьюдента:

Визначимо число ступенів вільності –  
 $f_t = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$

Де  $m$  - кількість дублів;

$N$  - кількість дослідів;

$\alpha$  – інтервал довіри (0,05).

Критичне значення розподілу Стьюдента становить – 2,12 [1, ст. 103]

Коефіцієнт не є значимим коли -  $t_r < t_{kr}$ , тобто ми його видаляємо з рівняння регресії

З рівняння регресії видаляємо  $b_1, b_4, b_5, b_7$  тому, що

$$t_{r,b1}(1,3069), \quad t_{r,b4}(0,3455), \quad t_{r,b5}(0,5837), \\ t_{r,b7}(0,1973) < t_{kr}(2.12).$$

Після видалення не значимих коефіцієнтів рівняння регресії буде мати вигляд:

$$\hat{y} = b_0 + b_2 \cdot z_2 + b_3 \cdot z_3 + b_6 \cdot z_2 \cdot z_3;$$

$$1). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot (-1) + (-2,0788) \cdot (-1) + 0,4862 \cdot (-1) \cdot (-1) = 8,8108;$$

$$2). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot 1 + (-2,0788) \cdot 1 + 0,4862 \cdot 1 \cdot 1 = 2,2982;$$

$$3). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot (-1) + (-2,0788) \cdot 1 + 0,4862 \cdot (-1) \cdot 1 = 3,6810;$$

$$4). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot 1 + (-2,0788) \cdot (-1) + 0,4862 \cdot 1 \cdot (-1) = 5,4834;$$

$$5). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot (-1) + (-2,0788) \cdot (-1) + 0,4862 \cdot (-1) \cdot (-1) = 8,8108;$$

$$6). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot 1 + (-2,0788) \cdot 1 + 0,4862 \cdot 1 \cdot 1 = 2,2982;$$

$$7). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot (-1) + (-2,0788) \cdot 1 + 0,4862 \cdot (-1) \cdot 1 = 3,6810;$$

$$8). \hat{y} = 5,0683 + (-1,1775) \cdot 1 + (-2,0788) \cdot (-1) + 0,4862 \cdot 1 \cdot (-1) = 5,4834;$$

*Перевірка рівняння на адекватність за критерієм Фішера*

$$Fr = \frac{Sad^2}{S_0^2}; \rightarrow Sad^2 = \frac{\sum_i^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - d};$$

Де:

$S_0^2$  – загальна дисперсія;

$d$  – кількість значимих коефіцієнтів, що залишилися в рівнянні регресії, після видалення не значимих коефіцієнтів (без парних значень факторів).

$$Sad^2 = \frac{\sum_i^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - d}$$

$\bar{y}$	$\hat{y}$	$\bar{y} - \hat{y}$	$(\bar{y} - \hat{y})^2$
9,2611	8,8108	0,4503	0,2028
2,4046	2,2982	0,1064	0,0113
3,8422	3,6810	0,1613	0,0260
5,7328	5,4834	0,2494	0,0622
8,3605	8,8108	-0,4503	0,2028
2,1918	2,2982	-0,1064	0,0113
3,5197	3,6810	-0,1613	0,0260
5,2340	5,4834	-0,2494	0,0622
		Сума:	0,6046

$$Sad^2 = \frac{\sum_i^N (\bar{y} - \hat{y})^2}{N - d} = \frac{0,6046}{8 - 2} = 0,1008;$$

$$Fr = \frac{Sad^2}{S_0^2} = \frac{0,1008}{0,2739} = 0,3680;$$

Визначаємо критичне значення критерія Фішера:

$$F_{kr} = F(k_1, k_2, \alpha)$$

Де  $k_1$  і  $k_2$  – число ступенів вільності більшої та меншої дисперсій;

$$k_1 = (N - d) = (8 - 2) = 6$$

$$f_2 = N \cdot (m - 1) = 8 \cdot (3 - 1) = 16$$

Де  $N$  - кількість дослідів;

$m$  - кількість дублів;

$d$  – кількість значимих коефіцієнтів, що залишилися в рівнянні регресії, після видалення не значимих коефіцієнтів (без парних значень факторів);

$\alpha$  – інтервал довіри (0,05).

Критичне значення критерія Фішера становить – 2,74 [1, ст. 104]

У нашому випадку  $F_r < F_{kr} (0,3680 < 2,74)$  – гіпотеза підтверджується.

5. Заміна кодованих величин на натуральні

$$z_i = \frac{x_i - x_{i(0)}}{\Delta x_{(0)}};$$

Де:

$x_i$  – фактор;

$x_{i(0)}$  – о-ль рівень і-того фактора;

$\Delta x_{(0)}$  – крок варіювання.

Рівняння  $\hat{y} = B_0 + B_2 \cdot z_2 + B_3 \cdot z_3 + B_6 \cdot z_2 \cdot z_3$ ; після заміни буде мати вигляд:

$$y = 5,0683 + (-1,1775) \cdot \frac{x_2 - 3,25}{0,75} + (-2,0788) \cdot \frac{x_3 - 8,25}{3,75} + 0,4862 \times \frac{x_2 - 3,25}{0,75} \cdot \frac{x_3 - 8,25}{3,75};$$

Спростимо дане рівняння:

$$y = 5,0683 - \left( \frac{1,1775x_2 - 3,8269}{0,75} \right) - \left( \frac{2,0788x_3 - 17,1501}{3,75} \right) + \left( \frac{0,4862 \cdot x_2 \cdot x_3 - 4,0112 \cdot x_2 - 1,5685 \cdot x_3 + 12,9401}{2,8125} \right);$$

$$y = 5,0683 - 1,57 \cdot x_2 + 5,1025 - 0,5543 \cdot x_3 + 4,5734 + 0,1729 \cdot x_2 \cdot x_3 - 1,4262 \cdot x_2 - 0,5577 \cdot x_3 + 4,6009;$$

В кінцевому варіанті рівняння буде мати вигляд:

$$y = -2,9962 \cdot x_2 - 1,112 \cdot x_3 + 0,1729 \cdot x_2 \cdot x_3 + 19,3451;$$

$$\tau = -2,9962 \cdot F - 1,112 \cdot t_n + 0,1729 \cdot F \cdot t_n + 19,3451;$$

6. Визначення відносної похибки моделювання

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100;$$

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot x_2 - 1,112 \cdot x_3 + 0,1729 \cdot x_2 \cdot x_3 + 19,3451;$$

1).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 2,5 - 1,112 \cdot 5 + 0,1729 \cdot 2,5 \cdot 5 + 19,3451 = 8,4559;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|9,2611 - 8,4559|}{9,2611} \cdot 100 = 8,69\%;$$

2).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 4 - 1,112 \cdot 12 + 0,1729 \cdot 4 \cdot 12 + 19,3451 = 2,3155;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|2,4046 - 2,3155|}{2,4046} \cdot 100 = 3,71\%;$$

3).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 2,5 - 1,112 \cdot 12 + 0,1729 \cdot 2,5 \cdot 12 + 19,3451 = 3,6976;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|3,8422 - 3,6976|}{3,8422} \cdot 100 = 3,76\%;$$

4).  $\bar{Y} = -2,9962 \cdot 4 - 1,112 \cdot 5 + 0,1729 \cdot 4 \cdot 5 + 19,3451 = 5,2583;$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|5,7328 - 5,2583|}{5,7328} \cdot 100 = 8,28\%;$$

5).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 2,5 - 1,112 \cdot 5 + 0,1729 \cdot 2,5 \cdot 5 + 19,3451 = 8,4559;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|8,3605 - 8,4559|}{8,3605} \cdot 100 = 1,14\%;$$

6).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 4 - 1,112 \cdot 12 + 0,1729 \cdot 4 \cdot 12 + 19,3451 = 2,3155;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|2,1918 - 2,3155|}{2,1918} \cdot 100 = 5,64\%;$$

7).

$$\bar{Y} = -2,9962 \cdot 2,5 - 1,112 \cdot 12 + 0,1729 \cdot 2,5 \cdot 12 + 19,3451 = 3,6976;$$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|3,5197 - 3,6976|}{3,5197} \cdot 100 = 5,05\%;$$

8).  $\bar{Y} = -2,9962 \cdot 4 - 1,112 \cdot 5 + 0,1729 \cdot 4 \cdot 5 + 19,3451 = 5,2583;$

$$\varepsilon = \frac{|\bar{Y} - Y_r|}{\bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|5,2340 - 5,2583|}{5,2340} \cdot 100 = 0,46\%;$$

$$\varepsilon = \frac{|\sum \bar{Y} - \sum Y_r|}{\sum \bar{Y}} \cdot 100 = \frac{|40,5467 - 39,4545|}{40,5467} \cdot 100 = 2,69\%;$$

#### *Висновки*

В результаті виконання даної роботи було розроблено математично-статистична модель залежності часу перебування соку у випарному апараті від площі поверхні теплообміну та температури гріючої пари.

Дана математично-статистична модель була перевірена на відтворюваність (критерій Кохрена) та адекватність (критерій Фішера).

Відносна похибка моделювання відповідає нашому очікуванню і знаходиться в межах 3%.

## 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Метою розрахунку є визначення, виходячи з умов роботи (табл. 5.1), кількості труб поверхні теплообміну, кількості продукту, пари, конденсату, розмірів основних технологічних арматур та конструктивних елементів апарату.

*Таблиця 5.1.*

### Вихідні дані розрахунку

№	Параметр	Значення	Розмірність
1	Площа поверхні нагрівання	3250	м <sup>2</sup>
2	Повна довжина трубок теплообміну	12000	мм
3	Труби поверхні нагрівання	Ø35x1,2	мм
4	Робочий тиск у паровій камері	≤0,3	МПа
5	Робочий тиск в соковому просторі	≤0,2	МПа
6	Внутрішній діаметр корпусу апарату	4200	мм
7	Повна висота апарату	21445	мм
8	Матеріал трубок теплообміну	08x18н10	-
9	Матеріал корпусу апарату	Ст3кп	-
10	Температура кипіння соку	≤126	°С

Виходячи з відомої площі теплообміну, кількість труб в апараті визначається за формулою:

$$n = \frac{F}{\pi \cdot d_{cp} \cdot L} \quad (5.1)$$

де  $F = 3250 \text{ м}^2$  - площа поверхні нагрівання;

$\pi = 3,14$  - число Пі;

$d_{cp} = 0,0338 \text{ м}$  - середній діаметр труб теплообміну;

$L = 12 \text{ м}$  - довжина труб теплообміну.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко ЄМ	<i>Назва, додаткова назва</i> Розрахункова частина	14-2688.ДП.04.005 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк ВГ		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/7

$$n = \frac{3250}{3,14 \cdot 0,0338 \cdot 12} = 2550,56 \text{шт.}$$

Приймаємо  $n = 2562 \text{шт.}$

Товщина трубної решітки визначається за формулою:

$$S_T = \frac{d_3}{1,5 \dots 2} + 5 \quad (5.2)$$

де  $d_3 = 35 \text{мм}$  - зовнішній діаметр трубки.

$$S_T = \frac{35}{2} + 5 = 28,33 \text{мм}$$

Приймаємо  $S_T = 30 \text{мм}$ .

Кількість випареної води розраховується по формулі:

$$W^e = U \cdot F \quad (5.3)$$

де  $U = 30 \text{кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  - максимальне масове напруження поверхні теплообміну.

$$W^e = 30 \cdot 3250 = 37500 \text{кг} / \text{год}$$

Об'єм вторинної пари при температурі кипіння  $126^\circ\text{C}$  визначаємо за формулою:

$$V_{\text{вт.п.}} = W^e \cdot V'' \quad (5.4)$$

де  $V'' = 0,7482 \text{м}^3/\text{кг}$  - питомий об'єм пари при температурі  $126^\circ\text{C}$ .

$$V_{\text{вт.п.}} = 37500 \cdot 0,7482 = 28057,5 \text{м}^3/\text{год}$$

Кількість грійочої пари приймаємо рівною масі вторинної пари:

$$W^{\text{гр.п.}} = W^e \quad (5.5)$$

При робочому тиску  $0,3 \text{МПа}$  питомий об'єм перегрітої пари буде дорівнювати:  $V'' = 0,6146 \text{м}^3/\text{кг}$ , тоді:

$$V_{\text{гр.п.}} = V_{\text{вт.п.}} = 37500 \cdot 0,6146 = 23047,5 \text{м}^3/\text{год}$$

Кількість соку яка поступає в апарат розраховується по формулі:

$$S = \frac{W^e}{1 - \frac{CP_n}{CP_k}} \quad (5.6)$$

де  $CP_n = 11\%$  - початкова концентрація сухих речовин;

$CP_k = 25\%$  - кінцева концентрація сухих речовин на виході з апарата.

$$S = \frac{37500}{1 - \frac{11}{25}} = 66964,29 \text{ кг/год}$$

Об'єм соку, який поступає в апарат, дорівнює:

$$V^c = \frac{S}{\rho'} \quad (5.7)$$

де  $\rho' = 1060 \text{ кг/м}^3$  - густина соку.

$$V^c = \frac{66964,29}{1060} = 63,17 \text{ м}^3/\text{год}$$

Кількість соку, що виходить з апарату, визначаємо з умови матеріального балансу:

$$W^{e.c.} = S - W^e \quad (5.8)$$

$$W^{e.c.} = 66964,29 - 37500 = 29464,29 \text{ кг/год}$$

Визначаємо об'єм соку, що виходить з апарату, при його густині  $\rho = 1200 \text{ кг/м}^3$ :

$$V = \frac{W^{e.c.}}{\rho} \quad (5.9)$$

$$V = \frac{29464,29}{1200} = 24,55 \text{ м}^3/\text{год}$$

Об'єм конденсату визначаємо з умови рівності маси гріючої пари масі вторинної пари:

$$V^k = S'_p \cdot W^e \quad (5.10)$$

де  $S'_p = 0,00107 \text{ м}^3/\text{кг}$  - питомий об'єм конденсату.

$$V^k = 0,00107 \cdot 37500 = 40,125 \text{ м}^3/\text{год}$$

Таблиця 5.2.

Дані теплового розрахунку

№	Показник	Значення	Розмірність
1	Кількість випареної води	37500	кг/год
2	Кількість вторинної пари	28057,5	м <sup>3</sup> /год
3	Кількість гріючої пари	23047,5	м <sup>3</sup> /год
4	Кількість конденсату	40,125	м <sup>3</sup> /год
5	Кількість соку, що надходить	63,17	м <sup>3</sup> /год
6	Кількість вихідного соку	24,55	м <sup>3</sup> /год

Визначаємо діаметр патрубку для гріючої пари:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot \omega}} \quad (5.11)$$

де  $V = 23047,5 \text{ м}^3/\text{год}$  - витрата гріючої пари;

$\omega_{гр.п.} = 25 \text{ м/с}$  - швидкість руху пари.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 23047,5}{3600 \cdot 3,14 \cdot 25}} = 0,571 \text{ м}$$

Приймаємо  $d = 0,6 \text{ м}$ .

Діаметр патрубку для вторинної пари буде дорівнювати, при

$\omega_{вт.п.} = 35 \text{ м/с}$ :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 28057,5}{3600 \cdot 3,14 \cdot 35}} = 0,532 \text{ м}$$

Приймаємо  $d = 0,55 \text{ м}$ .

Визначаємо діаметр патрубку для відводу конденсату, прийнявши

що  $\omega_{к.} = 0,7 \text{ м/с}$ :

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 40,125}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7}} = 0,142 \text{ м}$$

Приймаємо  $d = 0,15 \text{ м}$ .

Діаметр патрубку для підводу соку, якщо  $\omega_{с.} = 1 \text{ м/с}$ , дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 63,17}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 0,15 \text{ м}$$

Визначаємо діаметр патрубку для відводу соку, прийнявши  $\omega_{в.с.} = 0,7 м/с$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 24,55}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7}} = 0,11 м$$

Приймаємо  $d = 0,15 м$ .

Визначаємо приведену швидкість пари на виході із труб поверхні теплообміну за формулою:

$$\omega_{\kappa} = \frac{W^e}{3600 \cdot f_{\kappa} \cdot \rho''} \quad (5.12)$$

де  $f_{\kappa}$  - сумарна площа перерізу труб поверхні теплообміну, яка розраховується за формулою:

$$f_{\kappa} = \frac{\pi \cdot d_{вн.}^2}{4} \cdot n \quad (5.13)$$

де  $d_{вн.} = 0,03 м$  - внутрішній діаметр трубки теплообміну;

$n = 2562$  - кількість труб теплообміну.

$$f_{\kappa} = \frac{3,14 \cdot 0,03}{4} \cdot 2562 = 42,53 м^2$$

$\rho'' = 1,316 кг/м^3$  - питома густина пари, при температурі кипіння.

$$\omega_{\kappa} = \frac{37500}{3600 \cdot 42,53 \cdot 1,316} = 0,186 м/с.$$

Необхідну кількість пакетів сепараційного пристрою можна визначити за формулою:

$$z = \frac{W^e}{3600 \cdot \rho'' \cdot S_{пак.} \cdot \omega_p} \quad (5.14)$$

де  $S_{пак.} = 0,1 м^2$  - площа вільного проходу уніфікованого жалюзійного пакету;

$\omega_{\kappa}$  - розрахункова швидкість пари на вході в жалюзійну насадку.

У зв'язку із складністю розрахунку швидкості пари на вході до сепаратора, можна використати емпіричну формулу:

$$z = 0,0131 \cdot F \quad (5.15)$$

де  $F = 3250\text{ м}^2$  - площа поверхні теплообміну.

$$z = 0,0131 \cdot 3250 = 16,37$$

Приймаємо  $z = 18\text{ м}$ .

Розмір надсокової камери випарного апарату значно впливає на величину винесення розчину із вторинною парою. Наявність винесення призводить до суттєвих втрат цукру при випарюванні та виключає можливість використання цієї пари для живлення парових котлів, що тягне за собою підвищену витрату палива та реагентів на підготовку живильної води.

Існує багато методик розрахунку надсокової камери. В їх основу покладено раніше встановлені відомості про механізм винесення, припускаючи наявність у вторинній парі краплин розчину, різних за розмірами та природі утворення.

Згідно з проведеними дослідженнями, виділення із потоку вторинної пари краплин великих розмірів відбувається практично до висоти порядку 1,5 м від рівня киплячого розчину, вище в потоці пари знаходяться тільки краплини такого розміру, що їх швидкість витання співрозмірна із швидкістю потоку. Ці краплини транспортуються на будь-яку висоту і величина виносу в цьому випадку визначається тільки приведеною швидкістю пари в надсоковому просторі.

Отже установка сепараційних пристроїв, для зниження винесення, з урахуванням можливості кипіння надтрубного шару розчину, можлива на висоті не менше 2...2,5 м від верхньої трубної решітки.

Товщину стінки корпусу випарного апарату визначаємо за формулою:

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P} \quad (5.16)$$

де  $P = 0,3\text{ МПа}$  - надлишковий тиск в апараті;

$D = 4200\text{ мм}$  - внутрішній діаметр корпусу апарата;

$[\sigma] = 126\text{ МПа}$  - допустиме напруження матеріалу оболонки при роботі апарату під тиском;

$\varphi_p = 0,9$  - коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва.

$$S_p = \frac{0,3 \cdot 10^6 \cdot 4,2}{2 \cdot 126 \cdot 10^6 \cdot 0,9 - 0,3 \cdot 10^6} = 0,00369 \text{ м}$$

Виконавча товщина стінки корпусу розраховується по формулі:

$$S = S_p + C \quad (5.17)$$

де  $C$  - прибавка до розрахункової товщини:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad (5.18)$$

де  $C_1 = 1,0 \text{ мм}$  - прибавка для компенсації корозії та ерозії;

$C_2 = 0,8 \text{ мм}$  - прибавка для компенсації від'ємного допуску;

$C_3 = 0 \text{ мм}$  - технологічна прибавка.

$$C = 1 + 0,8 + 0 = 1,8 \text{ мм}$$

$$S = 3,69 + 1,8 = 5,49 \text{ мм}$$

Приймаємо виконавчу товщину стінки  $S = 10 \text{ мм}$ .

## 7. ПРАВИЛА МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНАННЯ

Випарна установка розміщується в центральній частині заводу, оскільки споживачі вторинної пари знаходяться в різних точках заводу.

Апарати повинні розміщуватися з достатньо широкими проходами між ними - не менше 1 м. Відстань між стінкою апарату і стіною корпусу заводу повинна складати близько 1,5 м. Парові і сокові комунікації випарних апаратів, а також самі випарні апарати повинні бути ретельно ізольовані з метою запобігання великих втрат тепла в оточуючу середовище. Товщина шару ізоляційного матеріалу повинна бути такою, щоб температура зовнішньої поверхні шаруючої ізоляції трохи перевищувала температуру навколишнього повітря.

### *Вимоги до монтажу*

1. Установка та експлуатація випарного апарата повинні проводитися згідно до технічної документації, яка відправляється разом з ним та технологічному регламенту, що затверджується в установленому порядку підприємством, цукровим заводом.

2. Перед встановленням апарата необхідно:

- а) перевірити комплектність поставки;
- б) ознайомитися з технологічною документацією;
- в) перевірити цілісність деталей та складальних одиниць;
- г) перевірити відповідність розмірів фундаменту під лінію із заданим на кресленнях;
- д) перевірити працездатність вантажопідйомних механізмів та пристроїв.

Монтажні роботи щодо встановлення технологічного устаткування

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Правила МОНТАЖУ</b>		14-2688.ДПО4.007 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/4

та ремонтні роботи повинні відповідати вимогам СНіП 3.05.05-84 «Технологічне устаткування і технологічні трубопроводи», ДБН А.3.2-2-2009 «Техніка безпеки в будівництві», стандартам і технічним умовам.

Компоновочні рішення розміщення та опорні елементи металоконструкцій нових встановлених апаратів повинні бути узгоджені між цукровим заводом і організацією, яка має дозвіл на проведення монтажних робіт.

Проходи і проїзди в зоні виробництва монтажних і ремонтних робіт повинні бути закриті.

При підготовці корпусів випарної станції до монтажу потрібно:

- провентилувати апарат та приміщення;
- ознайомити осіб, що беруть участь у роботі, з порядком проведення робіт;
- перевірити освітленість місця де будуть монтуватись апарати, дотримання протипожежних заходів, наявність інструкції з охорони праці та знання їх працюючих;
- ділянку монтажних робіт потрібно відділити від решти частини приміщення тимчасовим огороженням висотою не менше 1 м. У зоні проведення монтажних робіт потрібно виключати прохід сторонніх осіб.

У місці проведення монтажу (для запобігання доступу сторонніх осіб) межа небезпечної зони повинна бути чітко позначена запобіжними знаками.

#### *Експлуатація апарата*

Експлуатація випарного апарата повинна проводитись відповідно “Інструкції по веденню технологічного процесу цукробурякового виробництва”. Щорічно після очистки поверхні нагріву проводиться внутрішній огляд апарата заводською комісією під керівництвом головного інженера заводу з участю головного механіка та начальника

цеха. При огляді перевіряють внутрішні поверхні з метою виявлення дефектів, особливо в зонах підводу пари та соку.

Один раз за 8 років проводять внутрішній огляд випарного апарата та гідровипробування пробним тиском в присутності інспектора Держтехнагляду.

При проведенні процесу уварювання соку, потрібно слідкувати за установленим рівнем соку. Управління процесом випарювання та підтримання заданого рівня соку в випарному апараті можна вести як в ручному, так і в автоматичному режимі.

### *Ремонт випарного апарата*

Ремонт випарного апарату потрібно проводити відповідно до вимог "Положение о системе планового технического обслуживания и ремонта оборудования предприятий сахарной отрасли".

Робітники ремонтних бригад повинні бути забезпечені справними. До роботи в середині апарату відповідності до переліку газонебезпечних робіт, допускають осіб чоловічої статі, яким виповнилось 18 років і котрі пройшли медичне обстеження, спеціальне навчання, повторну пристроями і інструментом у необхідній кількості.

Випарний апарат перед внутрішнім оглядом, очищенням, ремонтом потрібно охолодити, звільнити від продукту, промити, а при необхідності пропарити гострою парою, продута інертним газом і повітрям, відключений за допомогою заглушок від діючої апаратури та системи трубопроводів.

Заглушки з хвостовиками повинні бути установлені на всіх, без винятку, комунікаціях, підведених до ремонтної ємності.

Апарат, нагрітий у процесі експлуатації, перед проведенням газонебезпечних робіт повинна бути охолоджена до температури, що не перевищує 30°C.

Роботи по огляду, ремонту та очищенню випарного апарата потрібно проводити бригадою у складі не менше 2 осіб (працюючий і спостерігач), не рахуючи відповідального за проведення газонебезпечних робіт.

У ємності дозволяється працювати одній особі. При необхідності роботи у ємності двох або більше осіб повинні бути прийняті додаткові заходи безпеки, які визначаються на місці проведення робіт і записуються в наряд-допуск.

Робітник, що знаходиться в середині апарата, повинен бути забезпечений спецодягом та спецвзуттям, рятівним поясом з прикріпленою до нього мотузкою. Мотузка повинна мати вузли через кожні 0,5 м і надійно (другим кінцем) прив'язана до трубопроводу, перил або інших закріплених предметів.

Доступ робітників в середину апарата потрібно здійснювати через верхній люк по переносній драбині, яка має зверху гаки для зачеплення за люк.

У аварійних випадках, при роботі в апараті з недостатнім обміном повітря, а також при наявності в апараті задушливого або отруйного газу, робітник повинен мати справний шланговий протигаз з гофрованим шлангом, що виходить із апарата не менше ніж на 2 м.

Робітник, який спостерігає, повинен також мати при собі протигаз. Час перебування робітника у протигазі без перерви не повинен перевищувати 15 хв. Потім робітник повинен відпочити на чистому повітрі не менше 15 хв.

## 8. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС СКЛАДАННЯ ВУЗЛА

8.1. Розроблення технологічного процесу виготовлення верхнього розподільника

Для розроблення схеми та маршруту виготовлення було вибрано верхній розподільник, який зображений на рисунку 8.1.1.

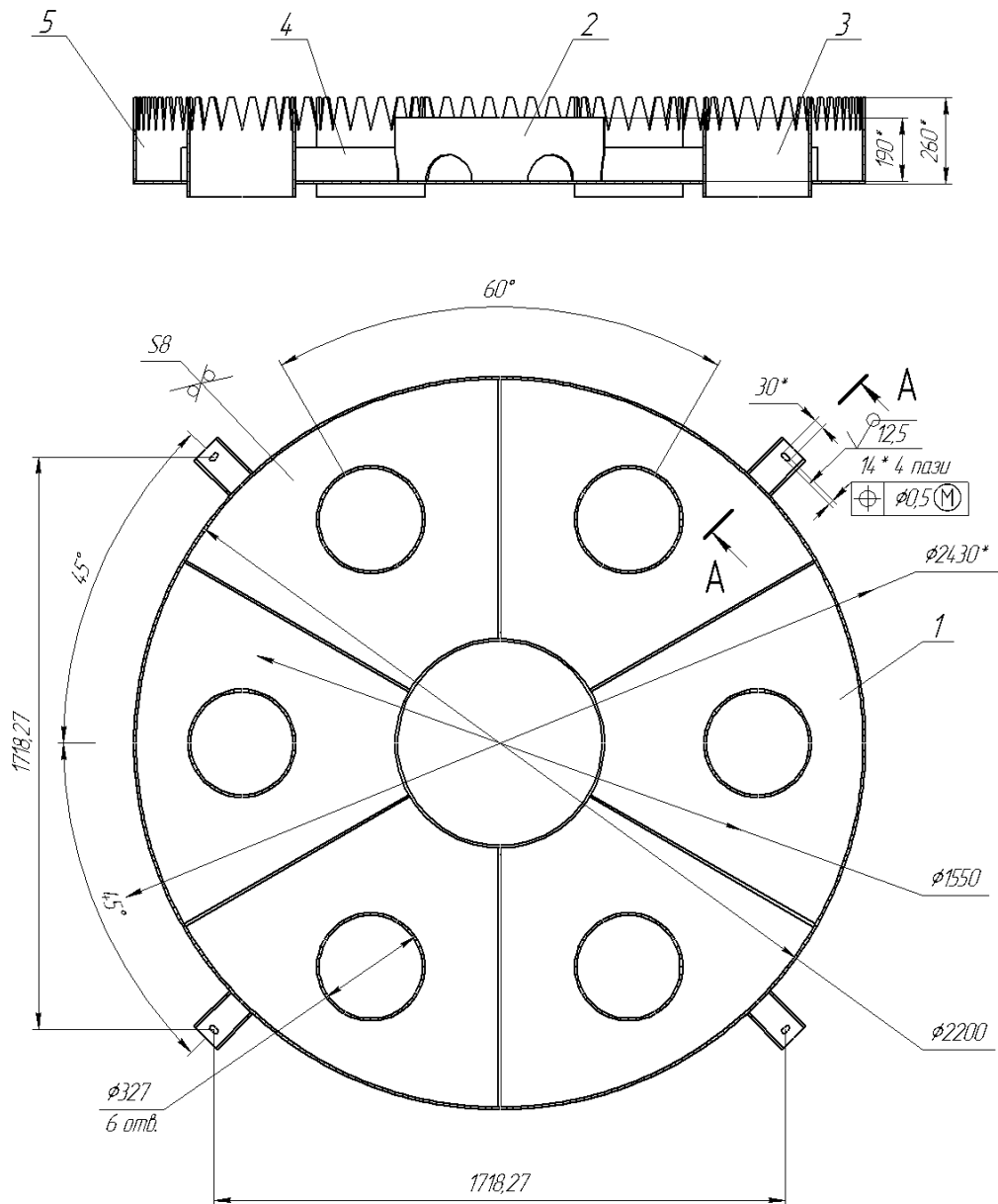


Рис. 8.1.1. Верхній розподільник

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Забарський В.В.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Бабко Є.М.	Назва додаткова назва <b>Технологія машинобудування</b>	14-2688.ДП.04.008 ПЗ			
	Документ затверджено Миронюк В.Г.		Інд.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/7

Верхній розподільник, який встановлюється на фланці гріючої камери призначений для рівномірного розподілення соку по нижньому розподільнику. Це забезпечується завдяки фігурним вирізам на верхніх кромках переливу та обичайки. Коли сік підіймається до рівня вирізу він стікає під дією гравітації по зовнішній (внутрішній) поверхні деталі.

Комплектація у вигляді подетального складу верхнього розподільника подана у таблиці 8.1.1.

*Табл. 8.1.1*

#### Подетальний склад верхнього розподільника

З аналізу конструкції опори (рис.8.1.2) необхідно виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме: Ск.1 – обечайка, Ск.2 – корона, Ск.3 – корпус, Ск.4 – опори. А також при необхідності подальшого кріплення 4 стандартні болти М14, які закріплюють опори з фланцем гріючої камери.

Схема складання верхнього розподільника представлена на рисунку 8.1.2.

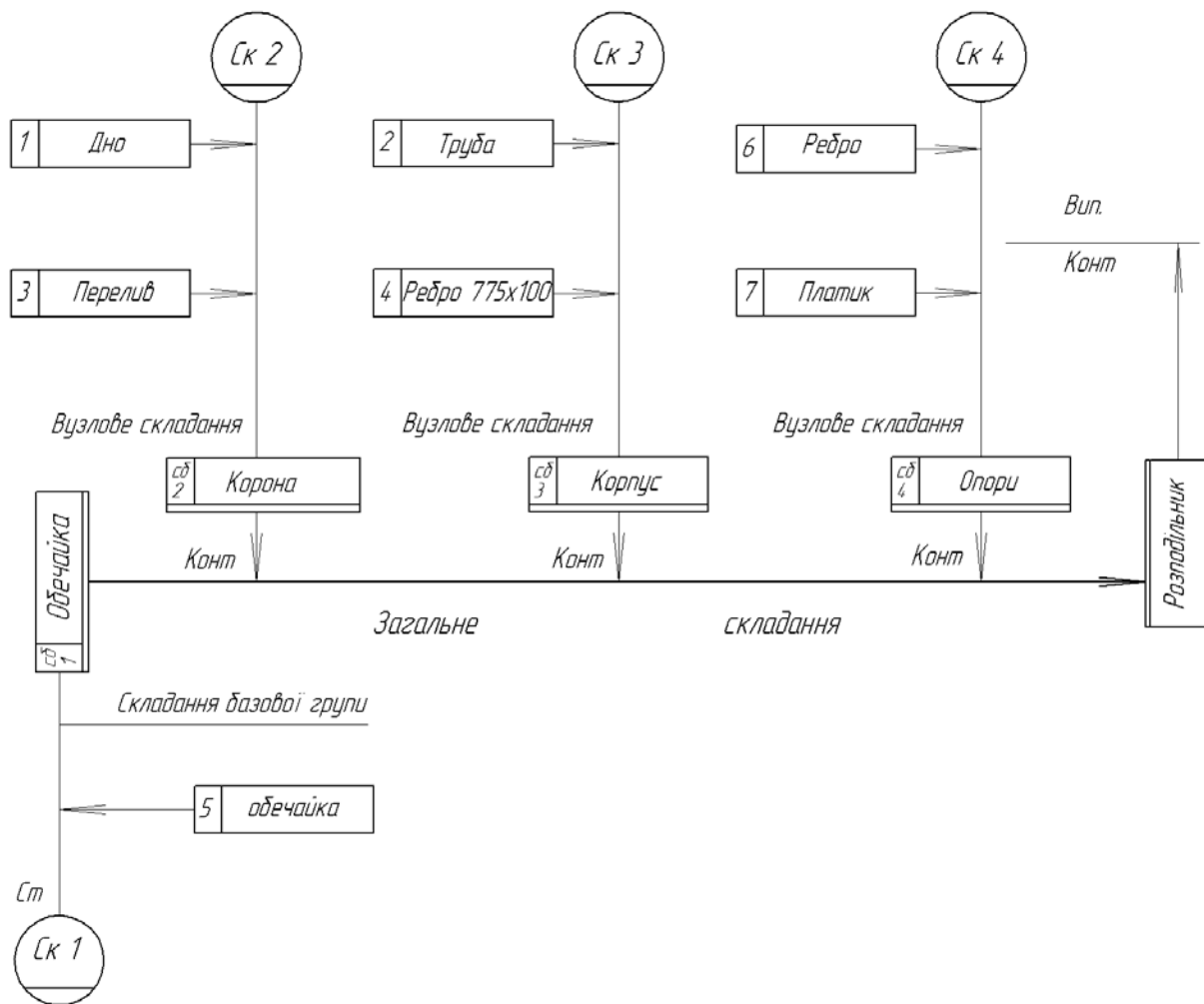


Рис. 8.1.2. Технологічна схема складання верхнього розподільника

Вертикальні лінії зі стрілками показують послідовність складання окремих складальних одиниць, а горизонтальні лінії в центрі схеми – послідовність з'єднання складальних одиниць 1 – го порядку за допомогою стандартних виробів. У прямокутниках розміщені найменування деталей і номери їхніх позицій на кресленні, а в прямокутниках з двома потовщенми лініями подано найменування складальної одиниці 1 – го порядку. Застосовані також такі умовні позначення, що містять технологічні вказівки: Ст – складання на стенді; Конт. – контроль.

Технологічний маршрут складання верхнього розподільника полягає у описанні короткого змісту операцій з переходами (табл. 8.1.2).

Технологічний маршрут складання верхнього розподільника

## 8.2. Розрахунок розмірного ланцюга при складанні верхнього розподільника

При складанні окремих вузлів машин, як правило, має місце похибка розміру замикаючої ланки відповідної складальної одиниці. Це обумовлено похибками у розмірах складових деталей та їх розташуванням у складальній одиниці. Дійсні значення складових ланок розмірних ланцюгів утворюються тільки в процесі складання машини. Вони виявляються в момент здійснення контакту деталей, що з'єднуються. При великій кількості ланок розмірного ланцюга і малого допуску замикаючої ланки (зазору або натягу), що необхідна для повної взаємозамінності, точність виготовлення деталей може в значній мірі ускладнити виробництво й перевищити економічно доцільну точність. У таких випадках доводиться або відмовитися від повної взаємозамінності, допускаючи підгонку деталей по місцю, або вводити в конструкцію складальної одиниці компенсатори, які дозволяють регулювати допуск замикаючої ланки.

Компенсатор - це набір регульовальних шайб (прокладок) заданої товщини. За допомогою компенсаторів витримуються встановлені межі точності в розмірному ланцюзі. Встановлення того чи іншого компенсатора залежить від комплектації вузла деталями з їх дійсними розмірами.

Для забезпечення нормальної роботи вузла та уникнення переміщення зазор між прокладкою та корпусом повинен бути мінімальним, тому приймаємо його в межах  $\Delta = 0.1 \dots 0.3$  мм.

Для розрахунку приймаємо приймаємо його  $\delta_{\Delta} = 0.2$  мм.

З урахуванням допусків на розміри деталей, що входять в розмірний ланцюг:

$$\delta_{l_1} = +0.22; \delta_{l_2} = +0.54; \delta_{l_3} = -0.19; \delta_{l_{зам}} = +0.54,$$

визначимо тепер розміри всіх деталей:

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

Розмір компенсатора необхідно скорегувати на величину значення компенсації, яке визначається за формулою:

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

де  $\delta_i$  – величина допуску  $i$  – ої складової ланки;  $m$  – кількість ланок розмірного ланцюга, враховуючи замикаючий ланцюг ( зазор );  $\delta_{\Delta}$  – розмір замикаючої ланки.

Тоді максимальна величина значення компенсації визначається:

$$\delta_k = (\delta_{l1} + \delta_{l2} + \delta_{l3} + \delta_{l33a}) - \delta_{\Delta} = (0.22 + 0.54 - 0.19 + 0.54) - 0.2 = 1.11 \text{ мм}$$

У межах визначеної величини  $\delta_k = 1.11$  мм знаходимо кількість та розміри комплекту компенсаторів, що необхідні для забезпечення нормальної експлуатації вузла.

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

### 8.3. Розрахунок надійності деталі при експлуатації

З довідника знаходимо для сталі 08X18H10 знаходимо:

$$\sigma_e = 1000 \text{ МПа}; \quad \sigma_T = 800 \text{ МПа}; \quad \tau_T = 480 \text{ МПа}; \quad \sigma_{-1} = 450 \text{ МПа}; \quad \tau_{-1} = 480 \text{ МПа};$$

$$\psi_{\sigma} = 0.15; \psi_{\tau} = 0.1.$$

Приймаємо, що згинаючий та крутний момент в перерізі А-А буде:

$$M_{зг} = 140 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$T_{кр} = 250 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Спочатку, перевіряємо запас міцності в перерізі А-А.

Визначаємо запас міцності для нормальних напружень:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma} \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_m} = \frac{450}{3.4 \cdot 15.7} = 8.4$$

де амплітуда номінальних напружень згину

$$\sigma_a = \sigma = \frac{M_{зг}}{W_0} = \frac{140 \cdot 10^3}{0.1 \cdot d_1^3} = 15.7 \text{ МПа}$$

Знаходимо запас міцності для дотичних напружень.

$$\tau = \frac{T}{W_p} = \frac{250 \cdot 10^3}{0.2 \cdot d_1^3} = 10 \text{ МПа}$$

амплітуда та середнє значення номінальних напружень кручення

$$\tau_a = \tau_m = \frac{\tau}{2} = \frac{10}{2} = 5 \text{ МПа}$$

Запас міцності для дотичних напружень

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{TD} \tau_a + \psi_\tau \tau_m} = \frac{250}{2.6 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5} = 12.7$$

Визначаємо запас міцності в перерізі А-А.

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{8.4 \cdot 12.7}{\sqrt{8.4^2 + 12.7^2}} = 3.8 > [n] = 1.8$$

Визначаємо середнє квадратичне відхилення амплітуди напружень:

$$S_a = \frac{A \cdot \sigma_{3z}}{3} = \frac{1.78 \cdot 15.7}{3} = 9.3 \text{ МПа}$$

де  $A = \frac{M_{кр}}{M_{3z}} = \frac{250}{140} = 1.78$

Коефіцієнт варіації амплітуди:

$$\nu_a = \frac{S_a}{\sigma_{3z}} = \frac{9.3}{15.7} = 0.59$$

Враховуючи співвідношення між ймовірностями безвідмовної роботи і відмов, ймовірність безвідмовної роботи становить:

$$P(t) = 1 - F(t) = 100 - 0.04 = 99.96$$

## 9. АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ

Випарні апарати повинні працювати в оптимальному тепловому режимі, який відповідає технологічному режиму теплової обробки продукту.

Управління основним технологічним обладнанням здійснюється в двох режимах: дистанційне (з щита управління) і місцеве. Управління допоміжним обладнанням — місцеве. На місцях місцевого управління передбачені вимикачі, які не допускають можливість дистанційного пуску.

У випадку відсутності автоматичного регулювання його виконують на місці або зміною подачі гріючого теплоносія або зміною кількості продукту (в потокових лініях останнє небажано).

Для контролю температури і тиску рідини на вході і виході її встановлюють термометри і манометри.

Пости місцевого управління і кнопки управління встановлюються поблизу обслуговуючого обладнання в місцях зручних для обслуговування.

Корпуса щитів, пультів, місцевих приладів, що використовують електроенергію, заземлюють відповідно ГП.1-7ПУЄ. Їх експлуатують з дотриманням правил по техніці безпеки для електропристроїв. Джерелом енергозабезпечення відділення, в якому працює обладнання для прокачування продукту, є трансформаторна підстанція цеху потужністю 620 кВт. Напряга розподільчої мережі 380/220 В з глухо заземленою нейтраллю, напряга ламп робочого освітлення 220 В, ремонтного і аварійного — 12 В.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Автоматичний контроль</b>	14-2688.ДП.04.009 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/6

Управління подачею продукту і гріючого теплоносія та подальшого нагріву здійснюється з щита чергового оператора. Візуальний контроль за роботою обладнання, яке розміщене за межами відділення, здійснюється за допомогою

телевізійної установки. Щити і пульт управління розміщені в ізольованому приміщенні на відмітці 8.400. Ланцюги управління виконуються за допомогою контрольних кабелів марки АКВВГ.

Всі системи автоматизації живляться від силових розподільчих шкафів типу СПА77, які встановлені в приміщенні електрощитової на відмітці 5.400. Захист від струмів короткого замикання забезпечується автоматичними вимикачами, що встановлені в силових розподільчих щитах.

В якості апаратів управління і захисту для електродвигунів насосів застосовуються пости місцевого управління і магнітні пускачі ПМЛ. Магнітні пускачі встановлені в приміщенні електрощитової. На місцях встановлюються прилади дистанційного управління, а до деяких двигунів встановлюються кнопки управління поблизу обладнання. Магнітні пускачі забезпечують захист від перевантажень і мінімальної напруги.

Дистанційне керування дозволяє здійснювати контроль та регулювання роботи з ділянок, досить віддалених від небезпечної зони. Завдяки цьому забезпечується безпека праці. Дотримання ергономічних вимог сприяє зручній експлуатації, зниженню втомлюваності та травматизму. Основними ергономічними вимогами до виробничого обладнання є врахування фізичних можливостей людини та її антропометричних характеристик, забезпечення максимальної зручності при роботі з органами керування. Вимоги безпеки містяться в технічній документації з монтажу, експлуатації, ремонту, транспортування та зберігання виробничого обладнання.

Органи аварійного вимикання (кнопки, важелі та ін.) повинні бути червоного кольору, мати покажчики, що полегшують їх пошук, написи про призначення і бути легкодоступними для обслуговуючого персоналу.

Керування однорідним обладнанням має бути уніфікованим, а напрямок обертання маховиків, штурвалів, переміщення важелів, педалей та інших деталей — відповідати встановленим правилам.

Органи керування обладнанням повинні відповідати таким основним вимогам:

- мати форму, розміри і поверхню, безпечні і зручні для роботи;
- бути розташованими в робочій зоні;
- розміщуватися з урахуванням необхідних для їхнього переміщення зусиль, що не перевищують встановлених стандартами, а також відповідати послідовності та частоті використання;
- виключати можливість мимовільного і самовільного вмикання і вимикання обладнання.

На пульт управління винесено управління електроприводами обладнання, що використовується в технологічній схемі відділення, в якому встановлено підігрівачі дифузійного соку.

Основними задачами автоматизації є інтенсифікація виробництва на базі застосування нових досягнень науки і техніки, скорочення числа технологічних переходів; залучення безперервних схем виробництва; кількісне і якісне зростання одиночних потужностей обладнання, подальше підвищення рівня механізації і автоматизації. Масштабність задач, що вирішуються харчовою промисловістю потребує створення заводів, виробничих цехів з високим ступенем механізації і автоматизації виробництва, механізації вантажно–розвантажувальних робіт, удосконалення форм планування і управління якістю продукції, технологічними процесами і виробництвом на базі використання ЕОМ; створення приладів і систем автоматизації на базі традиційних

технологічних засобів, а також мікропроцесорної техніки; розробки і застосування промислових роботів і маніпуляторів. В умовах великих об'ємів переробляємої сировини, отримання продукції високої якості можуть бути забезпечені лише при широко масштабному втіленні автоматизації харчових виробництв, при якому функції управління і контролю передаються приладами і автоматичними системами.

Метою автоматизації є підвищення ефективності праці, покращення якості продукції, створення умов для оптимального використання всіх ресурсів виробництва. В умовах науково–технічного прогресу автоматизація є одною з його рухомих сил.

Цільова функція автоматизації технологічних процесів полягає в отриманні максимальної величини технологічної складової прибутку за рахунок досягнення основних техніко-економічних показників виробництва на рівні або вище їх нормованих значень. Реалізація в повному обсязі потенційних можливостей, закладених в автоматизації, досяжна при забезпеченні ряду важливих умов. Ця задача багатогранна і для її успішного вирішення необхідно враховувати всі фактори, що забезпечують функціонування технічних засобів автоматизації і систем управління вцілому.

Основними умовами надійного функціонування і ефективного використання засобів автоматизації є наступні:

- психологічний настрій обслуговуючого персоналу;
- чітка організація метрологічної роботи служби;
- правильний вибір технічних засобів і регулюючих органів;
- якість монтажу засобів автоматизації;
- контроль характеристик середовища, що вимірюється, регулюється і яке оточує;
- вдосконалення та оновлення засобів автоматизації.

Подолання психологічної недовіри обслуговуючого персоналу до введених засобів автоматизації задача важка, але дуже важлива, так як при цьому руйнуються установлені робочі навички і традиції. НЕ випадково, що на заводах, які тільки будують, введення автоматизації відбувається значно легше, ніж на діючих. Тому одночасно з введенням автоматизації передбачається підготовка персоналу технічних ділянок шляхом безпосереднього використання систем управління при нормальній та аварійній ситуаціях на об'єкті.

Будь-яка система управління технологічним процесом представляє собою органічну єдність об'єкта управління, технічних засобів автоматизації, оператора і каналів зв'язку між ними. В умовах вдосконалення технологічного процесу, ускладнення задач управління, розширення зон обслуговування одним оператором ефективність функціонування системи управління визначається не тільки якістю підготовки об'єкта до автоматизації, виконання необхідних умов надійного функціонування технічних засобів автоматизації і каналів їх зв'язку з об'єктом, але й в значній мірі організацією взаємодії типу людина — апарат. Тому інформація про перебіг процесів повинна бути представлена оператору в найбільш компактному вигляді і в той же час в повному обсязі так, щоб він міг активно і своєчасно приймати участь в управлінні процесу. З цією метою широко використовуються інформаційні та оперативно-інформаційні мнемосхеми. Застосування мікроелектроніки відкриває можливість представлення на мнемосхемах попередньо обробленої інтегрованої інформації про стан цілих технологічних ділянок.

Важливе значення для роботи оператора має вигляд операторського пункту, умови в ньому. Тут повинні бути забезпечені найбільш комфортні умови: температура, вологість, освітлення, колір стін і стелі, звукопоглинання. Системи управління створюються для людини — оператора. Раціональна просторова композиція приладів разом з

художньою формою та функціональним кольором не тільки полегшують роботу оператора, але й підвищують її надійність завдяки мінімізації можливих помилок, підвищенню швидкості реакції, вибору оптимальних реакцій на зовнішні сигнали.

Широке впровадження автоматизації харчових виробництв сприяє підвищенню контролю за проходженням технологічних процесів.

## 10. ОХОРОНА ПРАЦІ

### Вступ

Охорона праці – це система правил і заходів, які забезпечують безпечну роботу на даному виробництві. При роботі з обладнанням необхідно передбачити ряд вимог, які б дозволили працюючому виконувати поставлене перед ним завдання в умовах, які передбаченні конструкторськими документами.

Закон України “Про охорону праці”, а також “Кодекс законів про працю України” є основною законодавчою базою охорони праці. Їх доповнюють державні міжгалузеві та галузеві нормативні акти про охорону праці - це стандарти, правила, норми, положення, статuti, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов’язкових для виконання усіма установами і працівниками України.

### Інструктажі

Навчання безпеки на підприємствах починається з вступного інструктажу, який проводить інженер з охорони праці та техніки безпеки у відведеному для цього кабінеті.

Первинний інструктаж проводить майстер на робочому місці.

Повторний (періодичний) інструктаж проводить майстер на робочому місці з встановленою для даного виробництва і виду робіт періодичністю. Ця періодичність не повинна перевищувати шести місяців на звичайних робочих місцях і трьох місяців на роботах з підвищеною небезпекою. Повторний інструктаж реєструється в особистій картці інструктажу.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Е.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Охорона праці</b>		14-2688.ДП.04.010 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/12

Позаплановий інструктаж проводиться майстром індивідуально або з групою робітників однієї професії. Він проводиться при зміні правил охорони праці, технологічного процесу, порушення робітниками правил техніки безпеки.

Цільовий інструктаж проводиться з робітниками перед проведенням робіт, на які оформляється наряд-допуск. В наряді-допуску фіксується проведення інструктажу.

#### Аналіз виробничого травматизму

Для характеристики рівня виробничого травматизму на цукровому заводі і в галузі використовують кількісні і якісні відносні показники, які застосовані на вивченні первинних документів про травматизм. Метою аналізу виробничого травматизму є розроблення заходів до запобігання нещасних випадків на підприємстві. Для цього необхідно систематично аналізувати і узагальнювати їх причини. В період з 2009 по 2014 рр. випадків виробничого травматизму не зафіксовано.

#### Організація служби охорони праці на підприємстві

Організацію і керівництво роботою по охороні праці на цукровому заводі здійснює керівник та інженерно-технічний персонал. Оперативне керівництво роботою по охороні праці на заводі покладається на відділ по охороні праці.

#### Шкідливі та небезпечні виробничі фактори

Шкідливі речовини можуть проникати в організм людини через дихальні шляхи і шкіру. Найбільш поширений і небезпечний шлях проникнення – через легені. Шкідливі і отруйні речовини у вигляді парів, газів, пилу аерозолів, проникаючи в організм в невеликих кількостях, викликають порушення його фізіологічних функцій, які при певних умовах можуть перейти в отруєння. Класифікація шкідливих речовин і загальні вимоги безпеки введені у ДСнПін 2.1.007-99.

Основними заходами локалізації виділення пари і газу в джерелі їх утворення є ущільнення і герметизація обладнання і трубопроводів. Герметизація нероз'ємних з'єднань здійснюється зварюванням або склеюванням, розвальцьовуванням, застосуванням спеціальних ущільнюючих матеріалів на каучуковій основі. Однак ці заходи не завжди сприяють очищенню повітряного середовища, тому проводять заходи для встановлення примусової вентиляції.

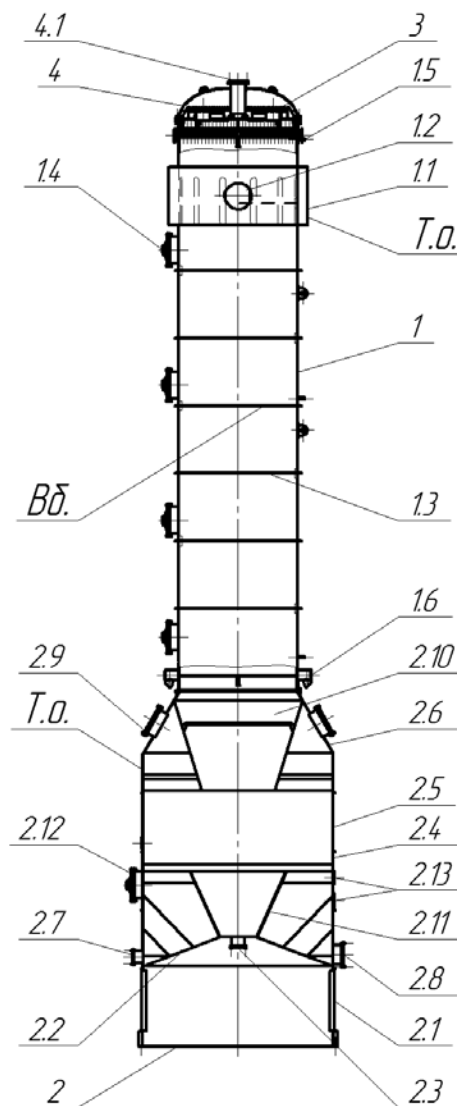


Рис. 10.1. Прямотечійно-плівковий випарний апарат ТВП

1 – гріюча камера; 1.1 – патрубки підводу пари; 1.2 – парова рубашка; 1.3 - проміжні трубні напіврешітки; 1.4 – оглядові люки; 1.5 – аміачні відтяжки; 1.6 – патрубки для відводу конденсату; 2 – сокова камера; 2.1 – опорна частина; 2.2 – конічне днище; 2.3 – патрубков для відведення

сиропу; 2.4, 2.5 – циліндричні, 2.6 – конічна обичайки; 2.7 – патрубок для підведення сиропу із попереднього корпусу; 2.8 – патрубок для відведення сиропу на рециркуляцію у верхню частину апарата; 2.9 – патрубки для відведення вторинного пара; 2.10 – направляючий конус; 2.11 – конус, який запобігає змішуванню; 2.12 – оглядовий люк; 3 – розподільчий пристрій; 4 – еліптична кришка; 4.1 – штуцер для підводу циркуляційного соку; Т.о. – термічні опіки; Вб. – вібрації

В даному виді обладнання можливі термічні опіки в зоні підведення до нього гріючої пари температурою 132°C, а також в нижній частині апарату, де відбувається відведення вторинної пари температурою 114°C. Також можливі вібрації 2562-ох гріючих трубок через проходження повз них гріючого агенту зі швидкістю від 15 до 30 м/с.

Так, як ці гази і пари, і не дуже загрожують життю працюючих, то можна обмежитись лише індивідуальними засобами захисту (респіраторами).

Контроль запиленості та загазованості проводиться один раз у два місяці.

Показники забруднення, які цікавлять службу охорони праці, у продуктовому відділенні такі (табл. 10.1):

Таблиця 10.1

Найменування забруднювача	Концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Фактичне значення	ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки
NH <sub>3</sub>	0...3,6	18,3	20,0	IV
SO <sub>2</sub>	–	5,4	10,0	II
Цукровий пил	11,2...14.6	4,1	6,0	IV

## Повітря робочої зони

### Мікроклімат

Мікроклімат, або метрологічні умови виробничих приміщень, визначаються такими параметрами: температурою повітря в приміщенні, відносною вологістю і рухливістю повітря тощо. Згідно нормування параметрів мікроклімату встановлених в документі ДСН 3.3.6.042-99 вони подані у таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

### Норми мікрокліматичних параметрів в повітрі робочої зони

Найменування професій	Категорія робіт	Холодний період року						Теплий період року					
		Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		Температура, °C		Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с	
		Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима	Фактична	Допустима
Апаратник випарювання соків	II-а	18	23	53	75	0,2	0,3	21	27	63	75	0,3	0,4

### Загазованість

Підвищений рівень загазованості в продуктовому відділенні може виникнути внаслідок поганої роботи вакуум-конденсаційної установки – можливі викиди аміаку з аміачних конденсатів через нещільності трубопроводів.

Основними заходами локалізації виділення газу в джерелі їх утворення є ущільнення та герметизація обладнання, і трубопроводів.

### Запиленість

Для продуктового відділення цукрового заводу запиленість не нормується, оскільки немає обладнання, яке б виділяло пил.

## Вентиляція

Нормативним документом з вентиляції є ДСН 3.3.6.042-99.

Випарний апарат розміщений на ділянці продуктового відділення. Отже, основними шкідливими чинниками є паро-, волого- і тепловиділення від технологічного обладнання, газоутворення і газовиділення.

У відділенні передбачена примусова і природна припливно-втяжна вентиляція, причому в системі механічної втяжки приплив зовнішнього повітря в холодну пору року підігрівається за допомогою системи, в яку входять відцентровий вентилятор і два калорифера.

Виведення надлишку нагрітого повітря із приміщень проводиться через шахти і верхні фрамуги або дахові вентилятори, а подача зовнішнього повітря для асиміляції надмірного тепла здійснюється в теплий період – у робочій зоні, в холодний період року – не нижче 4 м від підлоги.

Температура повітря, яке надходить з повітропроводів, повинна бути від 5 до 45°C.

## Шум

На даний час діють «Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99». В продуктовому відділенні на постійних робочих місцях допустимий рівень шуму 80 дБ.

Боротьба з виробничим шумом здійснюється методами, позначеними групами:

- знешкодження причин шуму в джерелі його утворення;
- звукоізоляція, звукопоглинання;
- застосування організаційно-технічних заходів.

У продуктовому відділенні цукрового заводу виробничий шум буде незначний і не перевищуватиме допустимих меж. Однак, з метою контролю рівнів звукового тиску на робочих місцях встановлюється періодичність перевірки не рідше одного разу на рік.

Наведемо значення допустимих рівнів звукового тиску для робочих зон виробничих приміщень у таблиці 10.3.

Таблиця 10.3

Середньгеометричні частоти октавної лінії, Гц								Зональний рівень звукового тиску, дБА 80
63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Рівні звукового тиску, дБ								
94	87	81	78	75	73	71	69	

### Вібрація

«Державні санітарні норми виробничої вібрації. ДСН 3.3.6.039-99». Робота корпусів випарної станції не створює значної вібрації, тож санітарні вимоги до рівня вібрації виконуються. Однак, періодично необхідно вимірювати рівень вібрації за допомогою вібровимірювальних приладів різних моделей.

### Освітлення: природне та штучне

Для забезпечення нормального освітлення передбачається природне і штучне освітлення. Освітлення на площадках випарних апаратів повинне відповідати вимогам ДБН В.2.5–28–2006 (табл. 10.4).

Таблиця 10.4

Розряд і підрозряд роботи	Найменша освітленість, лк			
	При лампах розжарювання		При люмінесцентних лампах	
	Комбіноване освітлення	Загальне освітлення	Комбіноване освітлення	Загальне освітлення
IVв	400	150	400	100

Робочі місця, які в денний час не мають можливості освітлюватися природнім світлом, повинні освітлюватися штучним. Штучне освітлення розподіляється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне.

Для забезпечення освітлення в темну частину доби використовуються ліхтарі з люмінесцентними лампами або лампами розжарювання. Перші використовуються для загального освітлення, а другі – для місцевого і аварійного. Ліхтарі з лампами розжарювання встановлюються для освітлення місць, де встановлені вимірювальні прилади, щити та пульти управління.

Ремонтне освітлення використовують під час проведення ремонтних робіт. Споживачі ремонтного освітлення працюють від напруги 36 В. Живлення відбувається від накопичувальних трансформаторів.

Можемо розрахувати необхідну кількість ламп для цеху за формулою:

$$n = \frac{E \times S \times K_3 \times z}{F \times \eta} \quad (10.1)$$

де  $E$  – мінімальне нормоване освітлення в нашому випадку,  $E = 300$  лк;  $S$  – площа цеху,  $S = 15 \cdot 10 = 150$  м<sup>2</sup>;  $K_3$  – коефіцієнт запасу, який враховує старіння і забруднення ламп,  $K_3 = 1,5$ ;  $Z$  – коефіцієнт нерівномірності світлового потоку,  $Z = 1,1$ ;  $F$  – світловий потік однієї лампи, для

люмінісцентних ламп  $F = 4800\text{лм}$ ;  $\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку.

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$  необхідно знайти індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \times B}{H_c \times (A + B)} \quad (10.2)$$

де  $A, B$  – розміри приміщення,  $\text{м}^2$ ;  $H_c$  – висота підвішування світильників над робочою поверхнею,  $\text{м}$ .

$$i = 15 \cdot 10 / (5,0 \cdot (15 + 10)) = 1,2$$

Коефіцієнти відбиття:

$$\rho_{\text{стелі}} = 30\%; \rho_{\text{стінки}} = 15\%.$$

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку (0,65 %).

Знаходимо загальну кількість ламп:

$$n = 300 \cdot 150 \cdot 1,5 \cdot 1,1 / (4800 \cdot 0,65) = 8 \text{ шт.}$$

Для виробничого цеху необхідна кількість світильників, якщо в одному світильнику по дві лампи – 4 шт.

Теплові випромінювання

Тривала дія несприятливих метеорологічних умов на організм людини порушує терморегуляцію, різко погіршує самопочуття, знижує продуктивність праці, призводить до захворювань. У виробничих приміщеннях передача теплоти здійснюється конвекцією та випромінюваннями.

Основні заходи захисту:

- 1) теплоізоляція;
- 2) застосування ізоляції;
- 3) засоби індивідуального захисту;
- 4) екранування (від випромінювання).

Джерелом теплових випромінювань в продуктовому відділенні є: випарні апарати, кип'ятильники, колектори пари, конденсатори.

## Електробезпека

Щодо класифікації будівель у відношенні ураження електричним струмом, то продуктове відділення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою, згідно «Правил устроювання електроустановок (ПУЕ)», при стані повітряного середовища в приміщенні: I поверх – сухе; II поверх – вологе.

Електробезпека при роботі випарного апарату забезпечується:

- надійним заземленням основних частин установки електричних машин, транспортних агрегатів, щитів та шаф управління в місцях їх встановлення;
- конструктивним вибором і розміщенням електроапаратури;
- звуковою сигналізацією, яка оповіщає про пуск апарату;
- перевіркою електричної міцності ізоляції проводів випробувальною напругою 2000 В протягом однієї хвилини;

Вимоги безпеки до посудин, що працюють під тиском

У продуктовому відділенні широко використовуються посудини та апарати, що працюють під тиском. Вони належать до обладнання з підвищеною небезпекою, тому при їх конструюванні, виготовленні та експлуатації важливо знати та виконувати правила безпеки.

Для своєчасного виявлення можливих дефектів обладнання, що працює під тиском, воно підлягає технічному опосвідченню перед запуском, періодично в процесі експлуатації і в необхідних випадках - позачергово.

## Пожежна безпека

Відповідно до встановлених норм «НАПБ Б.03.002-2007 Норми визначення категорій приміщень і зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» приміщення в якому

проводиться процес уварювання відноситься до категорії пожежонебезпеки « Д ».

Основні засоби пожежної безпеки такі:

- дотримання режимів змащування, відповідність мастил стандартам;
- теплоізоляція нагрітих поверхонь обладнання і комунікацій, що забезпечує температуру нагрітих поверхонь 45...50°C;

У відділенні також є первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники, бочки з водою, лопати, сухий пісок.

Якщо все ж таки раптово виникла пожежа то для її тушіння в початковій стадії застосовують вогнегасники - головним чином вуглекислотні вогнегасники, перевагами яких є висока ефективність тушіння пожежі, збереження електрообладнання, діелектричні властивості вуглекислого газу.

Для тушіння пожежі в цеху передбачені протипожежні крани з рукавами, пінні вогнегасники ВВ – 6, ВП – 5, пісок, щити з пожежним інвентарем. Навколо виробничого корпусу встановлено пожежний водопровід. Кількість вогнегасників приймається з розрахунку 1 вогнегасник на 100 м<sup>2</sup> площі та встановлюється на стінах на зручній висоті.

Для швидкої евакуації людей у випадку пожежі передбачені запасні двері та виходи.

Пропозиції щодо покращення умов праці

Для покращення умов праці на підприємстві в продуктовому відділенні потрібно:

– встановити проміжні трубні напіврешітки, на відстані 1500 мм одна від одної, для запобігання вібрації гріючих трубок, під дією великої швидкості гріючої пари, що проходить повз них;

– надійно теплоізолювати трубопроводи та сам випарний апарат, щоб температура на їх поверхні була не більше 40°C.

Основною задачею охорони праці є збереження людського життя і недопущення виробничих травм, тому треба приділити цьому питанню максимум уваги.

## 11. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

Повністю уникнути екологічних витрат при виробництві цукру неможливо, однак досить реально і навіть необхідно визначити соціальне прийнятний рівень і шляхи зниження цих витрат на всіх стадіях бурякоцукрового виробництва.

Але існують альтернативні шляхи зниження екологічних витрат. По-перше, використання нових технологій, більш екологічно та економічно вигідніших. По-друге раціональне використання відходів бурякоцукрового виробництва.

Цукрові заводи є одними з найбільших забрудників атмосфери. До атмосфери внаслідок технологічних процесів надходять :

- 1) сірчистий газ після сульфітації соків, сиропів і живильної води;
- 2) CO<sub>2</sub> і NH<sub>3</sub> при проведенні сатурації соку, їх випарюванні та кристалізації;
- 3) вапняковий пил від випалювальних печей;
- 4) жомовий пил від жомосушок;
- 5) цукровий пил від сушіння, трамбування упаковки цукру;
- 6) викиди енергетичних установок (котелень): оксиди сірки, азоту, вуглецю, пилу при спалюванні рідких видів палива.

На цукрових заводах також збирається велика кількість фільтраційного осаду. Фільтраційний осад утворюється при взаємодії нецукрів дифузійного соку з вапном та вуглекислим газом. Вологість осаду безпосередньо після вакуум-фільтрів складає до 50% по відношенню до загальної маси. Він представляє собою густу, липку масу, яку важко транспортувати та перевантажувати.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Охорона довкілля</b>		14-2688.ДП.04.011 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/3

Кількість осаду, який утворюється, складає 8...12% до маси перероблюваного буряка і залежить від сумарної кількості вапна, яке використовується для очистки.

Кожного року на цукрових заводах утворюється 7...8 млн. т фільтраційного осаду. По хімічному складу фільтраційний осад можна розцінювати як комплексне органо-мінеральне добриво, яке є придатним для зниження кислотності ґрунтів та збагачення їх елементами живлення рослин. Завдяки високому вмісту кальцію осад застосовується, головним чином, як вапнякове добриво.

Багаточисленні дослідження по вивченню порівняльної дії фільтраційного осаду і стандартних вапнякових добрив на зниження кислотності ґрунтів показали, що при внесенні в еквівалентних по діючій речовині ( $\text{CaCO}_3$ ) кількостях осад не поступається промисловим вапняковим добривам, а в деяких випадках краще них. Позитивна дія на врожай фільтраційного осаду, як правило, вище, ніж стандартних вапнякових добрив, що пов'язано з наявністю в осаді інших корисних для рослин речовин. При цьому фільтраційний осад найдешевший серед меліоратів і його економічно вигідно транспортувати в радіусі до 50 км.

Разом з тим при використанні осаду в сільському господарстві виникає цілий ряд проблем, пов'язаних з технологічними особливостями цього відходу. Із-за великого вмісту вологи транспортування отриманого осаду на великі відстані є недоцільним, а рівномірне розподілення його по полю при внесенні за допомогою серійних машин та механізмів неможливе. Саме тому, для видалення надлишкової вологи використовують природне сушіння осаду в відстійниках або на полях фільтрації.

Фільтраційний осад може бути використаний для отримання кормових добавок. В даному випадку найбільш перспективний осад, який відділяється до основної дефекації, який збагачений органо-мінеральними речовинами і містить відносно невелику кількість карбонату кальцію.

Запропоновані також способи використання осаду ля отримання коагулянтів, гумотехнічних виробів, при виготовленні силікатної цегли.

Таким чином, з метою комплексного використання відходів бурякоцукрового виробництва необхідне проведення науково-дослідницьких робіт з подальшим впровадженням їх на виробництві.

## 12. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Для інтенсифікації випарювання запропоновано використовувати трубки з штучною шорсткістю у вигляді виступів на внутрішній поверхні виконаних по гвинтового каналу на зовнішній поверхні, які виконують роль турбулізаторів потоку. Практично підтверджено, що інтенсивність теплообміну при цьому зростає до 40%.

Загалом відомий метод створення вихрових зон шляхом виконання виступів і канавок, але такий метод інтенсифікації теплообміну у плівкових випарних апаратах не використовувався.

Економічна ефективність від запропонованої конструкції з використанням таких трубок полягає у збільшенні теплової потужності такого теплообмінного апарату. При цьому зовнішній діаметр трубок не збільшується, що дозволяє використовувати трубки такої конструкції в тісних пучках і не змінювати існуючу технологію збирання і монтажу випарних апаратів.

### *Розрахунок обсягу капітальних витрат*

Капітальні витрати (поточні інвестиції) на впровадження проекту визначаємо на основі кошторисно-фінансових розрахунків.

Таблиця 12.1

### Кошторисно-фінансовий розрахунок на придбання необхідних матеріалів для модернізації

Обладнання	Кількість погонних метрів	Вартість одного погонного метра, грн.	Повна вартість з урахуванням транспортних 5%, складських 1%, монтажних 9% витрат, грн.
Труби	2562	46,50	73100,33

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський ВВ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко ЄМ	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Маркетингове обґрунтування</b>		14-2688.ДП.04.012 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк ВГ			<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/7

Вартість модернізації розраховуємо укрупненим методом, враховуючи вартість матеріалів, витрат на зарплату, ремонт та інше:

$$C_{\Pi} = V_M + V_I, \quad (12.1)$$

де  $V_M$  – витрати на основні матеріали, куповані вироби ( $V_M = 73100,33$  грн.);  $V_I$  – витрати по заробітній платі, устаткуванню обладнання, виробничі витрати (80% від  $V_M$ ).

$$V_I = 0,8 \times 2994 = 58480,26 \text{ грн.}$$

Тоді

$$C_{\Pi} = 73100,33 + 58480,26 = 131580,59 \text{ грн.}$$

На основі кошторисно-фінансових розрахунків визначаємо додаткові капітальні витрати (поточні інвестиції):

$$K_{\text{Дод}}(\Pi) = K + D - L + K_{\text{ІН}} + H_{\text{об}}, \quad (12.2)$$

де  $K = 131580,59$  грн. – повна початкова вартість;  $D$  – витрати на демонтаж ( $D = 0$  грн.);  $H_{\text{об}}$  – одночасне зростання або зниження суми оборотних фондів, пов'язаних з реконструкцією ( $H_{\text{об}} = 0$ );  $L$  – ліквідаційна вартість ( $L = 0$ );  $K_{\text{ІН}}$  – інші капітальні витрати, грн.

$$K_{\text{ІН}} = 131580,59 \times 0,04 = 5263,22 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{Дод}}(\Pi) = 131580,59 + 0 - 0 + 5263,22 + 0 = 136843,81 \text{ грн.}$$

#### *Розрахунок обсягу виробництва і реалізації продукції*

Обсяг виробництва у базовому варіанті і за проектом розраховується за формулою:

$$A = N_T \times F_{\text{max}} \times K_{\text{вик}}, \quad (12.3)$$

де  $N_T = 1215,9$  т /добу. – норма технічної продуктивності за готовою продукцією, базовий рік;  $N_T = 1230,7$  т/год. – норма технічної продуктивності, за проектом;  $F_{\text{max}} = 101$  днів – максимальний фонд робочого часу підприємства;  $K_{\text{вик}} = 0,8$  - коефіцієнт використання потужності обладнання;

$$A_{\text{баз}} = 1215,9 \times 101 \times 0,8 = 98244,72 \text{ т/рік;}$$

$$A_{\text{пр}} = 1230,7 \times 101 \times 0,8 = 99440,56 \text{ т/рік.}$$

У вартісному вигляді:

$$A_{\text{баз}} = 98244,72 \times 8000 = 785957,8 \text{ тис. грн.}$$

$$A_{\text{пр}} = 99440,56 \times 8000 = 795524,5 \text{ тис. грн.}$$

*Розрахунок чисельності працюючих і фонду заробітної плати,  
розрахунок витрат на заробітну плату виробничого персоналу*

Заробітна плата обслуговуючого персоналу:

$$ЗП = K_{\text{л}} \times T_{\text{зм}} \times K_{\text{зм}} \times K_{\text{д}} \times \Gamma_{\text{тс}} \times P_{\text{р}} \times D_{\text{з}}, \quad (12.4)$$

де  $K_{\text{л}}$  – кількість людей;  $T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни;  $K_{\text{зм}}$  – кількість змін на добу;  $K_{\text{д}}$  – кількість робочих діб у році;  $\Gamma_{\text{тс}}$  – годинна тарифна ставка;  $P_{\text{р}}$  – премія ( $P_{\text{р}} = 1,4$ );  $D_{\text{з}}$  – додаткова заробітна плата ( $D_{\text{з}} = 1,1$ ).

Базовий рік:

$$ЗП_{\text{баз}} = 1 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 101 \cdot 8,5 \cdot 1,4 \cdot 1,1 = 31730,16 \text{ грн.}$$

За проектом:

$$ЗП_{\text{пр}} = 1 \cdot 12 \cdot 2 \cdot 121 \cdot 8,5 \cdot 1,4 \cdot 1,1 = 31730,16 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні витрати  $C_{\text{в}} = 37,18 \%$ .

Базовий рік:

$$V_{\text{ф1}} = ЗП_{\text{баз}} \times C_{\text{в}} = 31730,16 \times 37,18/100 = 11797,27 \text{ грн.}$$

За проектом:

$$V_{\text{ф2}} = ЗП_{\text{пр}} \times C_{\text{в}} = 31730,16 \times 37,18/100 = 11797,27 \text{ грн.}$$

Відрахування на охорону праці (8%).

Базовий рік:

$$V_{\text{оп1}} = ЗП_{\text{баз}} \times 0,08 = 31730,16 \times 0,08 = 2538,41 \text{ грн.}$$

За проектом:

$$V_{\text{оп2}} = ЗП_{\text{пр}} \times 0,08 = 31730,16 \times 0,08 = 2538,41 \text{ грн.}$$

*Розрахунок витрат на електроенергію на технологічні цілі*

$$V_{\text{ел}} = (N_{\text{вст}} \times K_{\text{вик}} \times K_{\text{втр}} \times K_{\text{т}} \times T \times C_e) / K_{\text{кд}}, \quad (12.5)$$

де  $N_{BCT}$  – сумарна встановлена потужність на прокачку продукту, кВт;  $K_{ВИК}$  – коефіцієнт використання потужності електродвигуна (0,7 - 0,9);  $K_{ВТР}$  – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в електромережі заводу (1,06);  $K_T$  – коефіцієнт завантаження електродвигуна в часі;  $T$  – річний фонд роботи обладнання, год.;  $C_E$  – вартість 1 кВт-год електроенергії, грн.;  $K_{ВД}$  – коефіцієнт корисної дії електродвигуна (0,9).

Витрати електроенергії за рік.

Базовий рік:

$$V_{ел} = (26 \times 0,8 \times 1,06 \times 0,7 \times 2424 \times 0,75) / 0,9 = 31175,87 \text{ грн.}$$

За проектом:

$$V_{ел} = (26 \times 0,8 \times 1,06 \times 0,7 \times 2424 \times 0,75) / 0,9 = 31175,87 \text{ грн.}$$

Збільшення витрат на амортизацію (21.925 %) складе:

$$V_a = V_0 \times 0,21925; \quad (12.6)$$

Базовий рік:

$$V_{a1} = 0 \times 0,21925 = 0.$$

За проектом:

$$V_{a2} = 131580,59 \times 0,21925 = 28849,04 \text{ грн.}$$

Збільшення витрат на ремонт обладнання (8%).

Базовий рік:

$$V_{р1} = 0 \times 0,08 = 0.$$

За проектом:

$$V_{р2} = 131580,59 \times 0,08 = 10526,4 \text{ грн.}$$

Відрахування у фонд страхування майна (0,17%).

Базовий рік:

$$V_{Фстр1} = 0 \times 0,0017 = 0.$$

За проектом:

$$V_{Фстр2} = 131580,59 \times 0,0017 = 223,69 \text{ грн.}$$

Статті витрат собівартості продукції, що змінюються

$$\Delta C_{\text{од}} = 39599,13/99440,56 = 0,4 \text{ грн};$$

Собівартість проекту:

$$C_2 = C_1 + \Delta C_{\text{од}} = 7620 + 0,4 = 7620,4 \text{ грн.} \quad (12.7)$$

Підвищення собівартості продукції:

$$\%C = \Delta C / C_1 = 0,4 \times 100 / 7620 = 0,005 \% \quad (12.8)$$

*Розрахунок основних показників економічної ефективності проекту*

Додатковий прибуток:

$$\Delta \text{Пр} = (Ц_2 - C_2)A_2 - (Ц_1 - C_1)A_1 \quad (12.9)$$

$$\Delta \text{Пр} = (8000 - 7620,4) \times 99440,56 - (8000 - 7620) \times 98244,72 = 414,6$$

тис.грн.

Податок на прибуток додатковий – 19 %:

$$\text{Ппд} = \Delta \text{Пр} \cdot 19/100 = 414,6 \cdot 19/100 = 78,8 \text{ тис.грн.} \quad (12.10)$$

Прибуток додатковий чистий:

$$\text{Пдч} = \Delta \text{Пр} - \text{Ппд} = 414,6 - 78,8 = 335,8 \text{ тис.грн.} \quad (12.11)$$

Термін окупності капітальних вкладень визначимо за формулою:

$$T = \Delta K(\text{П}) / \text{Пдч} = 136,8 / 335,8 = 0,4 \text{ року.} \quad (12.12)$$

Розрахунок доцільності витрат капітальних вкладень з урахуванням дисконтування проекту протягом повного терміну його служби.

Термін служби визначається виходячи з норм амортизації на обладнання:

$$T_{\text{сл}} = 100 / A_{\text{м}} = 100 / 21,925 = 4,56 \approx 5 \text{ років.} \quad (12.13)$$

Знаходимо чистий грошовий прибуток:

$$\text{ЧГП} = \Delta \text{Пр} \times (1 - \text{Ппд}) + A_{\text{м}} \times (K_{\text{дод}}) \times \text{ПДВ} = \quad (12.14)$$

$$= 414,6 \times (1 - 0,19) + 0,021925 \times 136,8 \times 0,8 = 338,2 \text{ тис.грн.}$$

Теперішня вартість проекту за роки його життєвого циклу:

$$\text{ЧТВ} = \Sigma \text{ТВ} - \text{П}, \quad (12.15)$$

$$TB = \sum_{t=0}^7 \frac{ЧГП(\epsilon)}{(1+p)^t}, \quad (12.16)$$

де  $t$  – рік експлуатації;  $p$  – ставка дисконту на рівні ставки фінансування Національного банку України.

$$TB_1 = \frac{338,2}{(1+0,29)^1} = 262,2 \text{ тис.грн.};$$

$$TB_2 = \frac{338,2}{(1+0,29)^2} = 203,2 \text{ тис.грн.};$$

$$TB_3 = \frac{338,2}{(1+0,29)^3} = 157,5 \text{ тис.грн.};$$

$$TB_4 = \frac{338,2}{(1+0,29)^4} = 122,1 \text{ тис.грн.};$$

$$TB_5 = \frac{338,2}{(1+0,29)^5} = 94,7 \text{ тис.грн.};$$

$\Sigma TB = 839,7$  тис.грн.

Чиста теперішня вартість обладнання:

$$ЧТВ = \Sigma TB - ПІ; \quad (12.17)$$

$ЧТВ = 839,7 - 136,8 = 702,9$  грн.;

$$ЧТВ_{сер} = \frac{702,9}{5} = 140,6 \text{ тис.грн.}$$

Індекс дохідності:

$$ІД = \frac{ЧТВ_{сер}}{ПІ} = \frac{140,6}{136,8} = 1,03 \quad (12.18)$$

$1,03 > 0$  – індекс дохідності більше 0, а отже даний показник вказує на те, що проект має економічну ефективність і його слід впроваджувати.

Теперішня вартість проекту:

$$ТВ_{сп} = \frac{ЧТВ + ПІ}{5} = \frac{702,9 + 136,8}{5} = 167,9 \text{ тис.грн.} \quad (12.19)$$

Гарантійний період повернення інвестицій:

$$T_{\text{gap}} = \frac{PI}{TB_{\text{cp}}} = \frac{136,8}{167,9} = 0,81 \text{ року} \quad (12.20)$$

Індекс прибутковості:

$$PII = \frac{ЧТВ + PI}{PI} = \frac{702,9 + 136,8}{136,8} = 6,1 > 1 \quad (12.21)$$

6,1 > 1 – індекс прибутковості більше 1, а отже даний показник вказує на те, що проект слід впроваджувати.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розглянуто дослідження інтенсифікації процесів теплопередачі від стінки труби до рідини.

Проведено моделювання руху соку в трубці плівкового випарного апарата в середовищі FlowVision. Визначено вектори швидкості руху рідини та температурного режиму.

Запропонована модернізована конструкція плівкового випарного апарату шляхом удосконалення конструкції кип'ятильних трубок та встановлення над ними сокорозподільчих насадок дозволяє інтенсифікувати процес видалення вологи та забезпечити належний температурний режим по всій довжині кип'ятильної трубки.

Взявши до уваги результати науково – дослідної частини було запропоновано на поверхні кип'ятильних труб штучно збільшити шорсткість, шляхом втискання металу по гвинтовій траєкторії, що забезпечує збільшення теплопередачі і в свою чергу процесу випарювання.

Гвинтова накатка виконується на трубках, де сік рухається низхідним потоком на довжину трубки 1,5...2 м від верхнього її кінця, із висотою виступів не більше 2мм, що забезпечує завихрення плівки рідини і її гвинтовий рух на внутрішній поверхні.

Дана модернізація є простою з конструкційної точки зору, але дає збільшення продуктивності за рахунок зменшення часу перебування соку в апараті та забезпечує належний температурний режим по всій довжині кип'ятильної трубки.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Бабо ЄМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Заварський В.В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>	14-2688.ДПО4.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Азрилевич М. Я. Технологическое оборудование сахарных заводов. Пищевая промышленность, 1972. 312 с.;
2. Булкин В.А., Николаев Н.А. Закономерности движения газа и жидкости в условиях нисходящего прямотока. Изв. Вузов. Сер. Химия и химическая технология. 1969, т.19, №10, с. 1437-1440.
3. Воронцов Е.Г., Гапанайко Ю.М. Теплообмен в жидкостных пленках. К.: Техніка, 1972. 196 с.
4. Выпарные аппараты большой производительности для сахарной промышленности. / Н.Ю. Тобилевич, М.А. Масликов, Н.А. Прядко и др.– Пищевая промышленность, 1980, №3, С. 25-27.
5. Кутепов А.М., Стерман Л.С., Стюшин Н.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Высш. шк., 1986, 448 с.
6. Справочник по теплообменникам: В 2 т. Т.1 / Пер. с англ. под ред. К.С. Петухова, В.К. Шикова. М.: Энергоатомиздат, 1987. с. 175-198.
7. Форсюк А.В. Теплообмін при випаровуванні з поверхні стікаючих плівок яблучних соків: дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук : спец. 05.14.04 «Промислова теплоенергетика» К., 1996. 165с.
8. Лозовецкий В.В. Исследование спутного нисходящего течения газа и жидкости в вертикальном канале. Инженерно-физический журнал.1978, т.35, №2, с. 313-318.
9. Готовский М.А. Расчет сопротивления дисперсно-кольцевого потока. / М.А. Готовский, П.Л.Магидей, Н.Д. Агафонова, Б.М. Леках. – Изв. Вузов. Сер. Энергетика, 1981, №5, с. 52-56.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Забарський В.В.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Бабко Є.М.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Література</b>	14-2688.ДП.04.000 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк В.Г.		<i>Інд.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/3

10. Китанин Э.Л., Пашенко Н.Н. Исследование гидродинамики и теплообмена однокомпонентного дисперсно-кольцевого опускного пароводяного потока при малых удельных расходах. – Изв. Вузов. Сер. Энергетика, 1989, №12, с. 72-76.

11. Кулінченко В.Р., Мирончук В.Г. Випарювання і випарні апарати у розрахунках і конструюванні: Навч. посіб. К.: Кондор, 2006. 392 с.;

12. Кутателадзе С.С. Гидравлика жидких систем. М.: Энергия, 1976, 296 с.

13. Коваленко Л.М., Глушков А.Ф. "Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи". М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.;

14. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. Под редакцией В.Н. Стабникова. К.: Вища школа, 1982. 199 с.;

15. Тобилевич Н.Ю. Исследования режимов парообразований в стекающей пленке жидкости методом акустической диагностики. - Известия вузов. Сер. Энергетика, 1984, №12, с. 63-67.

16. Толубинский В.И. Теплообмен при кипении. / В.И. Толубинский. – Киев, «Наукова думка», 1980, 348 с.

17. Правила охорони праці в цукровому виробництві. Державний нормативний акт про охорону праці. – К.: Основа, 1997. – 303 с.;

18. Андриевский А.А. Волновое течение тонких слоев вязкой жидкости. / А.А. Андриевский – В сб. Температурный режим и гидравлика парогенераторов. Л.: Наука, 1978, с. 181-230.

19. Глоба О.В. Теплопередача в процессах концентрування низхідних плівок яблучного соку. / [О.В. Глоба, М.О. Прядко, В.З. Глоба, А.В. Форсюк] – Наукові праці НУХТ, №16. 2005. с. 131-137.

20. Глоба О.В. Теплоперенесення в плівках яблучного соку.] Харчова промисловість, №4, 2005. с. 102-105.

21. Гальперин Д.М., Миловидов Г.П. "Технология монтажа, наладки и ремонта оборудования пищевых производств". – М.: Агропромиздат, 1990. – 399 с.;

22. Марценюк О.С. Вплив коливально-хвильових явищ на інтенсивність масовіддачі в плівці рідини. / О.С. Марценюк. – Наукові праці НУХТ - №15, 2004. с. 85-88.

23. Глоба, О. В. Теплогідродинамічні процеси у плівкових випарних апаратах для яблучного соку: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.14.06 / НУХТ. К., 2011.- 20 с.

24. Кулінченко В.Р. Виникнення парової фази на тепловіддавальній поверхні. / В.Р. Кулінченко, В.Л. Зав'ялов. Наукові праці НУХТ. 2004, №15. с. 93-95.

25. Василенко С.М. Гідродинаміка парорідинної течії у плівкових випарних апаратах. / С.М. Василенко, В.І. Бондар, А.В. Форсюк. – Харчова промисловість №2, 2003. с. 107-110.