

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 отримання сирного зерна шляхом модернізації  
сировиготовлювача серії «CVH»**

---

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

Покотило Володимир Васильович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: Миколів Іван Михайлович

(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)

Київ – 2021 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування  
Освітній ступінь магістр  
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»  
(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

Покотило Володимир Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Інтенсифікація уварювання і кристалізації сахарози у вакуум-апараті гідродинамічним способом

керівник проекту (роботи) Миколів Іван Михайлович, 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 )

Покотило В.В.  
(прізвище та ініціали)

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_ ( підпис )

Миколів І.М.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота на тему "Інтенсифікація уварювання і кристалізації сахарози у вакуум-апараті гідродинамічним способом" складається з пояснювальної записки та графічної частини.

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.

Пояснювальна записка також містить в собі 6 структурних елементів : анотація , зміст, вступ, висновки, список використаних джерел, додатки.

Графічна частина магістерської роботи складається з 10 листів формату А1.

Ключові слова: вакуум-апарат, інтенсифікація, уварювання.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	14-2692.ДП.08.000 ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміст	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1	

## ANNOTATION

Master's thesis on "Intensification of boiling and crystallization of sucrose in a vacuum apparatus by hydrodynamic method" consists of an explanatory note and a graphic part.

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 explanatory note also contains 6 structural elements: abstract, table of contents, introduction, conclusions, list of sources used, appendices.

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

Key words: vacuum apparatus, intensification, boiling.

# 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> Покотило ВВ.	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Миколай ІМ.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	<b>14-2692.ДП.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

## ВСТУП

Цукрова промисловість є однією з найбільш енерго- та матеріалоемною, багатотонажною галуззю харчової промисловості. Вихід, якість, зменшення втрат у виробництві цукру в значній мірі залежить від технологічних процесів його виробництва. Кристалізація цукру є завершальним етапом в технологічному процесі бурякоцукрового виробництва і вирішує завдання не тільки отримання високоякісного цукру, але й більш повного виснаження міжкристалевого розчину, що дає можливість знизити втрати цукру в мелясі. Відомо, що кристалізація – це універсальний та найбільш ефективний метод отримання чистих речовин. Якщо максимальний ефект очищення на дефекосатурації знаходиться в межах 40 %, то решта нецукрів практично вилучається при кристалізації.

Одним з основних напрямів удосконалення технології кристалізації є максимальне вилучення цукрози з буряку з найменшими енергетичними витратами і, як наслідок, палива, тому що вакуум-апарати є основними споживачами пари на цукровому заводі.

Наукові дослідження в області масової кристалізації цукрози є традиційними для Українського державного університету харчових виробництв, де виконані фундаментальні дослідження з тепло- та масообміну при уварюванні цукрових утфелів, кінетики кристалізації цукру, гідродинаміки, фізичних властивостей утфелю та автоматизації робочих процесів масової кристалізації.

Значний вклад в теорію кристалізації цукру внесли праці І.С. Гулого, І.Г. Бажала, О.О. Герасименка, Г.М. Знаменського, П.В. Головіна, М.Н. Кірова, О.О. Кічигіна, М.О. Кондака, О.Д. Куриленка, І.О. Кухаренка, В.Д. Попова, В.Р. Кулінченка, В.О. Штангеева, В.Г. Мирончука та інших.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Лекатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Вступ</b>		<b>14-2692.ДП.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В.Г.			<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

Г.М. Знаменський заклав фундамент комплексного підходу до вивчення робочих процесів кристалізації. В теперішній час багато вітчизняних та зарубіжних вчених багатосторонньо вивчають процес кристалізації цукрози, його апаратурне оформлення, тепло- та масообмін, гідродинаміку, фізичні властивості утфелю, кінетику, динаміку та інші питання.

У галузі кристалізації цукрози існуючі способи промислової кристалізації цукристих речовин мають невикористані резерви для підвищення якості продукції, збільшення її виходу та зменшення питомих енерговитрат на виробництво. Традиційні методи вирішення цих питань практично вичерпали свої можливості. Потрібні нові підходи на основі сучасних теоретичних уявлень про процеси та явища, що відбуваються в процесі кристалізації речовин з розчинів.

Використання принципів теорій рециркуляції, рекристалізації, розкриття впливу окремих факторів на тепло- та масообмінні процеси кристалізації дозволяють не тільки вдосконалювати, а й розробляти нові способи та апаратуру для промислової кристалізації цукрози.

Завданням нашої роботи є експериментальне вивчення процесу рециркуляції при отриманні цукрових утфелів, розробка на цій основі нового кристалізаційного обладнання та визначення нових шляхів інтенсифікації процесу масової кристалізації цукрози, дослідження впливу технологічних, фізико-хімічних, теплотехнічних та конструктивних факторів на процес рециркуляції.

## 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1. Аналітичний огляд методик досліджень вакуум-апаратів

Теоретичні уявлення про закономірності масової кристалізації речовин із розчинів

Кристалізація – це масообмінний процес виділення твердої (кристалічної) фази з розчинів і розплавів, при якому здійснюється перенос речовини через поверхню розділу спряжених фаз.

У харчовій промисловості в більшості випадків кристалізація речовин здійснюється з пересичених розчинів. За допомогою кристалізації одержують цукор, глюкозу, лактозу, фруктозу, лимонну кислоту, соду та інше.

В промисловості використовують такі основні способи кристалізації із розчинів :

- ізогідричний – коли вміст розчинника залишається сталим, наприклад, кристалізація шляхом охолодження;
- ізотермічний – коли кристалізація здійснюється шляхом випарювання розчинника, а температура кипіння розчину (суспензії) в певному інтервалі концентрації залишається сталою;
- виморожування, тобто охолодження розчину до температури нижчої за точку замерзання, коли частина розчинника кристалізується і вилучається;
- висолювання – коли кристалізація відбувається завдяки створенню пересичення шляхом введення в розчин речовин, які знижують розчинність речовин, що кристалізуються;
- хімічний – коли речовина кристалізується внаслідок хімічної реакції;
- комбінований – спосіб, коли кристалізація відбувається завдяки спільній дії декількох факторів

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Методика проведення досліджень</b>	<b>14-2692.ДП.08.002 ПЗ</b>				
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1	

Як будь-який фізико-хімічний процес, кристалізація характеризується статикою, кінетикою та динамікою.

Статика кристалізації визначає умови рівноваги між кристалами та міжкристальним розчином, а також зв'язок між початковими та кінцевими параметрами процесу.

Кінетика кристалізації визначає швидкість переходу речовини з рідкої фази в тверду за заданих умов.

Динаміка кристалізації визначає характер зміни параметрів системи протягом певного часу при зміні умов процесу (температури, концентрації, в'язкості, тощо).

Кристалізація відбувається внаслідок обмеженої розчинності речовини в розчиннику. Рушійною силою кристалізації є різниця концентрацій розчиненої речовини в пересиченому розчині та на межі розділу фаз.

Насичені і ненасичені розчини за сталих характеристик системи перебувають в урівноваженому стані. Пересичені розчини, навпаки, нестійкі і легко переходять у стан насичення, за якого спостерігається динамічна рівновага між твердою фазою і розчином внаслідок виділення частинок з твердої фази.

Процес кристалізації складається із двох стадій: зародження (генерація) частинок твердої фази (центрів кристалізації) та подальше їх зростання. Кожна із цих стадій певною мірою визначає кінетику процесу в цілому.

Для процесу кристалізації основними являються періоди утворення зародків кристалів та їх подальшого росту, тому кінетику кристалізації в достатній мірі характеризують двома величинами: швидкістю кристалоутворення і швидкістю росту кристалів.

Природа та механізм утворення центрів кристалізації залишаються остаточно не вирішеними. Водночас, відомо, що процес може відбуватися

двома шляхами: гомогенним (спонтанним) та гетерогенним. Обидва ці механізми мають місце при фазових переходах. В реальних (промислових) пересичених цукрових розчинах механізм кристалоутворення є гетерогенним.

Після утворення стійкого зародка відбувається нарощування цього кристала-зародка шляхом відкладання на його поверхні надлишку пересиченої кристалізуючої речовини із розчину. Тобто відбувається ріст кристалів.

Процес росту кристалів здійснюється в кілька основних послідовних стадій : дифузія кристалізуючої речовини із об'єму пересиченого розчину до поверхні кристалу, адсорбція молекул цієї речовини на поверхні кристала, міграція найпростіших частинок по поверхні кристала та, останнє, вбудова їх в кристалічну решітку . Кожна із цих стадій процесу характеризується своєю енергією активації, величина якої залежить від умов кристалізації. В залежності від того, яка із цих стадій визначає швидкість росту кристалів, говорять про різні області перебігу процесу: дифузійну, дифузійно-кінетичну та кінетичну.

Теоретичні уявлення про ріст кристалів розробив П. Кюрі. В їх основу покладені уявлення про зв'язок між формою кристалів та поверхневою енергією його граней. Цих же уявлень дотримувався Дж. Гіббс [8]. Вони отримали подальший розвиток в працях Ю.В. Вульфа та інших вчених [9]. Відповідно до принципу Гіббса-Кюрі-Вульфа швидкість росту граней кристалу пропорційна їх поверхневим енергіям. Кристал, що знаходиться в рівновазі з власним розчином, повинен мати форму, яка відповідає мінімуму його сумарної поверхневої енергії за умов постійного об'єму.

В основі дифузійної теорії росту кристалів лежить поняття про ламінарну пограничну плівку, крізь яку відбувається дифузія молекул до зростаючого кристалу.

Вперше закономірності дифузії під час кристалізації вивчив

І.І. Андреев. Це знайшло розвиток в подальших роботах . Де вважається процес дифузії лімітуючим швидкість росту і розчинення кристалів. При цьому різну швидкість росту граней кристалу Андреев пояснював швидкістю їх розчинення. Внаслідок цього ріст кожної грані визначався своїм перенасиченням, а ріст кристала в цілому – сумарним ефектом росту всіх граней. Процес росту кристалів, за цією теорією, розділяється на дві стадії: дифузію речовини крізь ламінарний шар до поверхні кристалу та відкладання цієї речовини на поверхні кристалів (фазовий перехід).

Дифузійна теорія не пояснює таких явищ, як, наприклад, закони огранки кристалів, наявність дефектів в будові кристалів, наявність кристалохімічної реакції при фазовому переході, пошаровий ріст кристалів.

Термодинамічна теорія росту кристалів базується на уявленнях про пошаровий, переривчатий ріст кристалів. Передумовою для розвитку цієї теорії була адсорбційна теорія росту кристалів, що розроблена М. Вольмером. Відповідно до цієї теорії частинки речовини, що складають адсорбційний шар, зберігають деяку свободу руху і, стискаючись між собою, утворюють двомірні зародки, які і утворюють новий кристалічний шар. При цьому час утворення шару із зародка значно менший за час виникнення нового двомірного зародка. В зв'язку з цим, ріст кристалу лімітується процесом утворення двомірних зародків.

Поряд зі згаданими теоріями отримала розвиток молекулярно-кінетична теорія росту кристалів, яка розроблена В. Касселем, І.Н. Странським та Р. Каішевим. В основу її покладені уявлення про переривчатий ріст кристалів, але розглядаються вони виходячи із молекулярно-кінетичних уявлень про процес.

За В. Касселем, спочатку утворюються ланцюжки з іонів, які потім з'єднуються в площини, накладаючись одна на другу, і утворюють кристал. На цій основі стає можливим підрахувати значення енергії, що виділяється при відкладанні іона (частинки) в різних місцях зростаючого кристалу.

І.Н. Странський стверджує, що визначальною величиною при рості кристалів є енергія відриву частинок, яка дорівнює роботі вилучення частинок з поверхні кристалу в нескінченність. Величина цієї роботи визначається місцезнаходженням частинки на поверхні кристалу.

І.Н. Странський та Р. Каїшев дійшли висновку, що стійкими є тільки грані куба кристалів. При цьому утворення двомірних зародків відбувається легше в кутах граней, потім біля ребер і, нарешті, в центрі граней. Ця теорія, поряд із іншими справедлива для малих пересичень.

За умов дуже малих пересичень механізм росту кристалів пов'язаний з дефектами в структурі кристалів; до них, власне, відносяться дислокації.

Дислокаційна теорія росту кристалів витікає з наявності адсорбційного шару на поверхні кристалів. При наявності дислокацій на поверхні кристалів утворюються сходинки. Особливу увагу приділяють спіральним та гвинтовим дислокаціям.

Існує думка, що ріст кристалів відбувається за рахунок осідання на поверхні зростаючого кристалу субмікроскопічних зародків. І.Г. Бажал та О.Д. Куриленко показали, що ріст крупних кристалів здійснюється шляхом вбудови в їх кристалічну решітку дозародкових згустків молекул кристалізуючої речовини, які утворюються в місцях різного пересичення розчину.

Ріст кристалів в умовах масової кристалізації хоча за своєю суттю не відрізняється від росту поодиноких кристалів, але має свої особливості, які обумовлені наявністю широкого діапазону пересичень, полідисперсності кристалів, наявністю домішок в розчині, взаємодією кристалів між собою, утворенням агрегатів кристалів, наявністю полів температури, гідродинамічних особливостей, особливостей конструкцій реакторів і тому подібне.

Існує думка, що процес масової кристалізації речовин із розчинів складається з двох етапів: викристалізування всієї розчиненої речовини із

розчину, що підкачується, у вигляді найдрібніших частинок граничної колоїдної дисперсності та рекристалізація цих частинок. Інтенсивність першої стадії визначається інтенсивністю теплообміну, а інтенсивність росту кристалів визначається інтенсивністю рекристалізації. Рекристалізація має велике практичне значення, тому що призводить до отримання більш крупних та рівномірних кристалів за рахунок розчинення дрібних частинок дисперсної системи.

Процес росту кристалів, як масообмінний процес, в цілому може бути описаний загальними кінетичними рівняннями масопередачі:

$$\frac{dG}{F \cdot d\tau} = k \cdot \Delta C, \quad (1.1)$$

де  $\frac{dG}{F \cdot d\tau} = M$  – масова швидкість росту кристалів, кг/(м<sup>2</sup> с);

$k$  – середній для всіх граней кристалів коефіцієнт масопередачі від розчину до кристалу, м/с;

$\Delta C = C - C_0 = \Pi$  – загальна рушійна сила процесу – різниця концентрацій речовини, що кристалізується, відповідає станам пересичення і насичення, кг/м<sup>3</sup>.

Для дифузійної області процесу кількість речовини, що переміщується з вільного об'єму розчину в приграничний шар кристалу:

$$M_1 = k_1 \cdot (C_1 - C_0) = k_1 \cdot \Delta C, \quad (1.2)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт масовіддачі в дифузійному процесі від розчину до поверхні розділу фаз, м/с.

У зрівноваженому процесі кількість речовини, що пройшла крізь дифузійний шар, повинна на поверхні кристалу перейти із розчиненого стану в кристалічний. З врахуванням робіт А. Марка, швидкість кристалізації на

поверхні кристалу пропорційна квадрату різниці концентрацій. Тоді кількість речовини, що перейде в кристалічний стан буде:

$$M_2 = k_2 \cdot \Delta C_2^2 = k_2 \cdot (C_1 - C_0)^2, \quad (1.3)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт кристалохімічної реакції або коефіцієнт швидкості міжфазового переходу з розчину в тверду фазу,  $\text{м}^4 / (\text{кг} \cdot \text{с})$ .

За умов рівноважного процесу, коли швидкість відкладання речовини на поверхні кристалу дорівнює швидкості дифузії і загальній швидкості росту кристалів, справедливо записати:

$$M = M_1 = M_2 = k \cdot \Delta C = k_1 \cdot \Delta C_1 = k_2 \cdot \Delta C_2^2. \quad (1.4)$$

При кристалізації речовин із розчинів швидкість перенесення розчиненої речовини в поверхневий шар кристалів може бути значно меншою за швидкість кристалохімічної реакції (фазового переходу), що обумовлено, перш за все, наявністю дифузійного шару розчину товщиною  $\delta$ . В такому випадку маємо справу з дифузійною моделлю кристалізації і, в умовах лінійної зміни концентрації в дифузійному шарі, процес кристалізації описується рівнянням:

$$M = M_1 = \frac{D \cdot (C_1 - C_0)}{\delta}, \quad (1.5)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії речовини в розчині,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\delta$  – товщина дифузійного шару, м.

Тобто в цьому випадку справедливо записати що:

$$M = \frac{D \cdot (C_1 - C_0)}{\delta} = k_1 \cdot (C_1 - C_0). \quad (1.6)$$

Сумісне розв'язування рівнянь 1.3 та 1.6 дає рівняння загальної швидкості кристалізації, яке відповідно до П.М. Сіліна має вигляд:

$$M = \frac{D}{\delta} \left[ \Delta C + \frac{D}{2 \cdot k_2 \cdot \delta} - \sqrt{\frac{D}{k_2} \left( \Delta C + \frac{D}{4 \cdot k_2 \cdot \delta} \right)} \right], \quad (1.7)$$

де  $\Delta C = C - C_0 = (C - C_1) + (C_1 - C_0)$ .

Для дифузійної стадії процесу швидкість росту кристалів визначається за рівнянням 1.6, тобто коли  $\Delta C \approx \Delta C_1$ , а  $k \approx k_1$ .

Для кінетичної стадії процесу, коли лімітуючим стає кристалохімічна реакція на межі розділу фаз, швидкість росту кристалів визначається за рівнянням 1.7, вважаючи що  $\Delta C \approx \Delta C_2$ , а  $k \approx k_2$ .

Для пояснення процесу кристалізації цукрози притримуються думки, що ріст кристалів може проходити в різних областях – дифузійній, кінетичній та дифузійно-кінетичній і визначається найбільш повільною стадією процесу. Він в умовах масової кристалізації, по суті, не відрізняється від росту поодиноких складових кристалів. Разом з тим, колективний ріст кристалів, на відміну від росту монокристалів, має свої особливості.

Утворені кристали, знаходячись в контактi з розчином, можуть зазнавати подальшої зміни пов'язаної з явищем рекристалізації. Розрізняють кілька механізмів рекристалізації – Освальдів, структурної перебудови, коливний механізм та інші .

Згідно з Освальдом, частинки полідисперсної системи повинні укрупнюватися внаслідок розчинення дрібних частинок і росту більш крупних частинок. Він пояснював це тим, що концентрація розчину, що знаходиться в контактi з частинкою малого розміру, повинна бути вищою, ніж концентрація розчину, врівноважена з частинкою більшого розміру або з

безкінечною у просторі фазою.

І.Г. Бажал виявив коливальний механізм рекристалізації в дисперсних системах, який обумовлений асиметричним впливом розміру частинок дисперсної фази на їх лінійну швидкість росту і розчинення в умовах періодичного коливання температури і концентрації дисперсного середовища. Умовами протікання цього процесу є полідисперсність частинок дисперсної фази, їх обмежена розчинність та періодичність коливання температури і концентрації дисперсного середовища .

Сучасний розвиток термодинаміки дисперсних систем дозволяє стверджувати, що процес можливий, якщо він приводить до зменшення відповідної характеристичної функції, а рівновага всієї системи настає за умов досягнення функцією мінімально можливого за даних умов значення. Тобто процес рекристалізації йде за природним напрямком зменшення вільної енергії системи і зводиться до збільшення розміру кристалів і зменшення їх сумарної поверхні. Таким чином, рушійною силою процесу рекристалізації є зменшення сумарної вільної поверхневої енергії на межі розділу фаз дисперсної системи. Причиною рекристалізації цукрози в вакуум-апаратах є наявність в утфелі парової фази , температура якої відрізняється від температури цукрового розчину. Внаслідок цього між сусідніми комірками утфелю виникає градієнт концентрації, що і обумовлює рекристалізацію за асиметричним механізмом .

Рекристалізація за асиметричним механізмом відіграє важливу роль в процесі отримання цукрових утфелів. У промислових кристалізаторах цукру спостерігається значна нерівномірність температури утфельної маси, що викликає відповідну зміну пересичення міжкристального розчину. Внаслідок рециркуляції та перемішування встановлюється певна закономірність коливання температури та пересичення міжкристального розчину, що й обумовлює інтенсивність рекристалізації .

Отже, масова кристалізація цукрози здійснюється в широкому

інтервалі температур і пересичень, у складних гідродинамічних умовах, характеризується не тільки ростом існуючих кристалів, але і їхнім розчиненням, вторинним кристалоутворенням, наявністю рекристалізації.

## 2.2. Аналітичний огляд методики промислових досліджень

### 2.2.1. Передумови визначення методик промислових досліджень

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень показав, що масова кристалізація цукру в умовах кипіння тісно взаємопов'язана з технологічними, тепломасообмінними, гідродинамічними, та

конструктивними характеристиками апаратів. Одним з основних факторів інтенсивності тепло-масообміну який обумовлює частоту обміну цукрового утфелю біля теплообмінної поверхні нагрівної камери є швидкість

циркуляції речовини в вакуум-апараті.

Необхідність підвищення швидкості циркуляції утфелю витікає з незадовільних гідродинамічних умов, особливо, на заключній стадії періодичного уварювання. Це пояснюється тим, що в'язкість утфелю значно збільшується в зв'язку з ростом вмісту кристалів й підвищенням в'язкості міжкристалевого розчину, що викликане накопиченням значної кількості нецукрів в ньому . Інтенсивна циркуляція утфелю при кристалізації в вакуум-апараті є необхідним фактором для створення однакових фізико-хімічних умов в усьому об'ємі утфелю, що уварюється, високій швидкості кристалізації цукрози і покращання якості продукту .

Розгляд процесу масової кристалізації речовин із розчинів з точки зору дифузійно-кінетичної моделі кристалізації, механізму рекристалізації та закономірностей тепломасообміну в дисперсних системах показує, що ріст кристалів може відбуватися на різних стадіях процесу: дифузійної, кінетичної та дифузійно-кінетичної і визначається найбільш повільною стадією процесу .

Для дифузійної стадії процесу кількість цукрози, що переміщується із вільного об'єму пересиченого розчину в пограничний шар визначається за загальними кінетичними рівняннями масопередачі (1.1)

В кінетичній області процес лімітується фазовим перетворенням і швидкість кристалізації можна визначити з рівняння (1.3)

В тих випадках, коли процес кристалізації проходить за кінетичною стадією, його швидкість визначається швидкістю фазового переходу речовини із розчину в тверду фазу. В цьому випадку процес кристалізації відбувається значно інтенсивніше, ніж за умов дифузії. Це можна пояснити тим, що в кінетичній стадії масова швидкість кристалізації знаходиться в квадратичній залежності від різниці концентрацій, а в дифузійній – в лінійній. Отже, для інтенсифікації процесу кристалізації, доцільно переводити процес з дифузійної стадії в кінетичну.

Такий метод інтенсифікації можна здійснювати шляхом інтенсивного перемішування системи, що кристалізується. Це забезпечить менший час вирівнювання концентрації міжкристалевого розчину в усьому об'ємі, ніж час зміни ізоконцентратності розчину біля поверхні кристалу за рахунок його росту чи розчинення. В цьому випадку відбувається руйнування комірок за рахунок турбулізації і процес переходить в кінетичну стадію. Ефективність такого методу в значній мірі залежить від структурно-реологічних характеристик утфелю.

Отже, переведення процесу кристалізації з дифузійної стадії в кінетичну, де спостерігаємо максимальну швидкість кристалізації, сприяє його інтенсифікації. Досягнути кінетичної стадії процесу можливо за рахунок збільшення інтенсивності потоку розчиненого цукру та вирівнювання концентрації речовини у всьому об'ємі. Відомо, що одним із методів інтенсифікації процесу масової кристалізації цукру із цукрових розчинів в вакуум-апараті є введення ззовні в киплячий утфель водяної пари. Слід зазначити, що введена ззовні пара інтенсифікує процес уварювання утфелю

або випарювання розчинника з цукрового розчину, викликає при цьому перерозподіл розчиненої речовини між елементарними комірками утфелю, а також покращує гідродинамічні характеристики цукрових розчинів та утфелів внаслідок їх перемішування .

Зменшення швидкості циркуляції утфелю супроводжується зниженням інтенсивності теплообміну, збільшенням його температури біля поверхні теплообміну, а також збільшенням величини питомого теплового потоку, що в свою чергу, призводить до зменшення рушійної сили природної циркуляції .

На заключних стадіях уварювання можливі такі режими роботи апарата, коли кипіння утфелю в трубчатих теплообмінних поверхнях не відбувається. Утфель в них лише нагрівається, а кипіння відбувається в позатрубному просторі, і в цьому випадку швидкість циркуляції є невисокою .

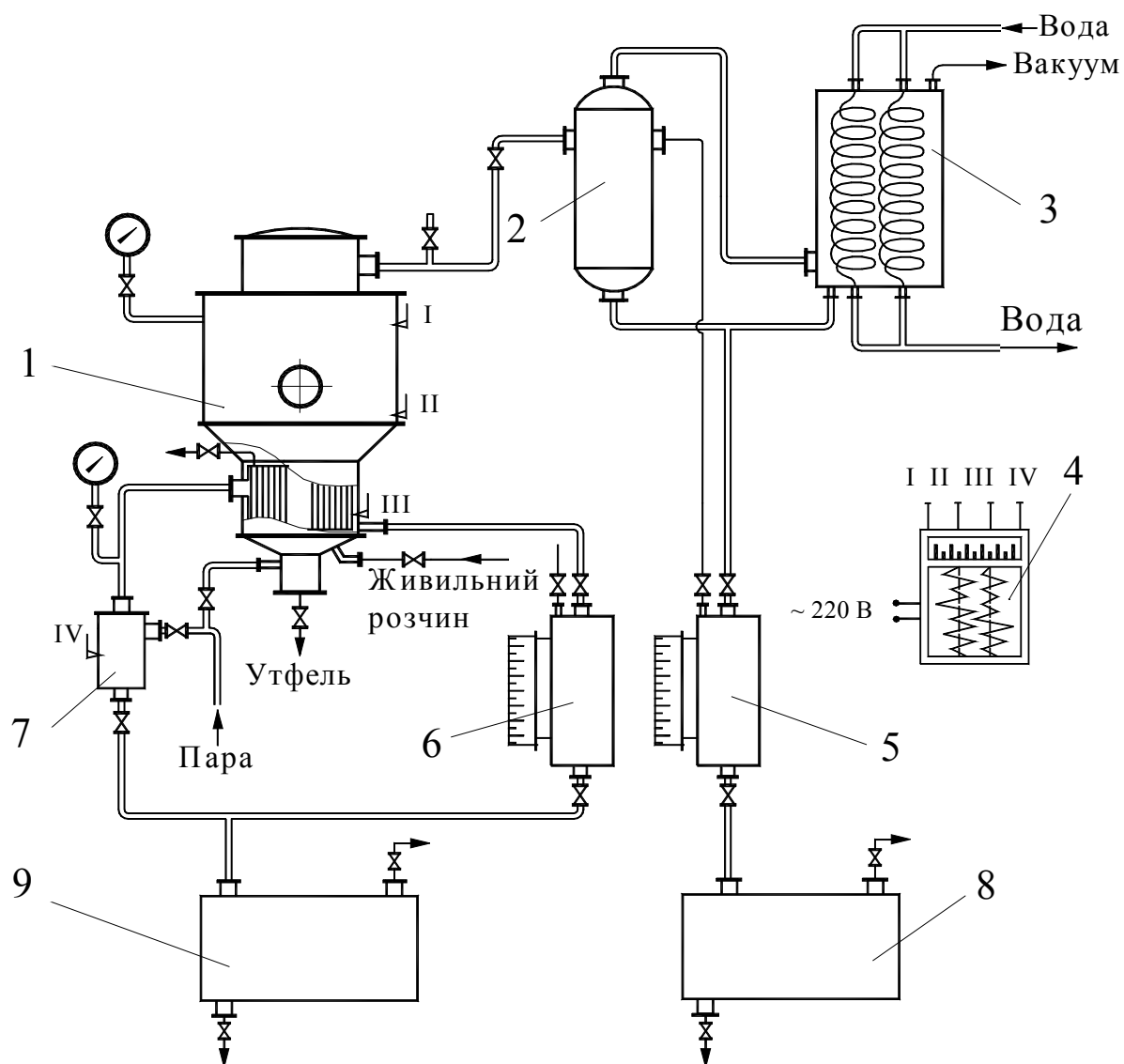
Для підвищення природної циркуляції було запропоновано декілька методів , в тому числі і вдування пари під нижню трубну решітку вакуум-апарата. При цьому підвищується рушійний тиск як на ділянці кип'ятильних труб, так і в шарі набухання.

Підвищення швидкості циркуляції утфелю при вдуванні пари відбувається за рахунок збільшення середнього вмісту пари в кип'ятильних трубках. Збільшення швидкості циркуляції із збільшенням кількості введеної ззовні пари відбуватиметься до того моменту, поки збільшення рушійного тиску випереджатиме ріст гідравлічних опорів.

#### 2.2.2. Розробка напівпромислової дослідної установки

В процесі створення напівпромислової дослідної установки була врахована геометрична подібність вакуум-апарата, процесів гідродинаміки, теплообміну, кінетична і масова подібність процесу кристалізації вцілому. Установка була змонтована на Кирнасівському цукровому заводі і підключалась до існуючих на заводі систем. Тобто, дослідження проводились

в умовах реального виробництва (додаток Б.1).Схему напівпромислової дослідної установки показано на рис. 1



**Рис 2.1** Схема напівпромислової дослідної установки: 1 – вакуум-апарат; 2 – уловлювач; 3 – конденсатор; 4 – потенціометр КСМ-2; 5 – мірник конденсату вторинної пари; 6 – мірник конденсату гріючої пари; 7 – сухопарник; 8 – збірник вторинної пари конденсату; 9 – збірник нагрівної пари конденсату; I, II, III, IV – термометри опору.

Вона складається з робочої моделі вакуум-апарата, вакуумної системи, системи автоматичного контролю і реєстрації параметрів досліду. В конструктивному відношенні витримана ідентичність форм моделі вакуум-апарата і реального апарата. Подібність процесів гідродинаміки заключається у відповідності процесів рециркуляційного обміну біля поверхні нагріву вакуум-апарата, використанні рушійної сили процесу різниці густини утфеля і пароутфельної суміші в опускних та підйомних каналах.

Гріюча пара через сухопарник 7 надходить у міжтрубний простір теплообмінної камери і конденсується на поверхні трубок, віддаючи приховану теплоту пари суспензії, що кристалізується. Подача гріючої пари регулюється вентилем, тиск вимірюється манометром.

Конденсат гріючої пари стікає на нижню трубну решітку і по трубі відводиться у мірник конденсату гріючої пари 6.

Вторинна пара, яка утворюється під час уварювання, підіймається в надтрубний простір вакуум-апарата, проходить сепаруючий пристрій і відводиться через уловлювач 2 в конденсатор 3. Тут ця пара конденсується за допомогою проточної холодної води, кількість якої регулюється вентилем. Неконденсовані гази, що потрапляють в конденсатор 3 видаляються з нього за допомогою барометричного конденсатора. Конденсат вторинної пари із конденсатора 3 і уловлювача 2 відводиться у мірник конденсату 5.

Мірники конденсату 5, 6 – це циліндричні посудини, що знаходяться в паровому просторі для запобігання теплообміну з навколишнім середовищем, завдяки чому температури пари всередині мірників та зовні однакові і пара у вимірниках не конденсується. Несконденсовані гази вільно відводяться у верхню частину уловлювача 2. Із мірників 5, 6 конденсат періодично зливається через крани в збірники конденсату гріючої і вторинної пари 8, 9.

Вакуум в вакуум-апараті створюється шляхом підведення його через конденсатор 3 та уловлювач 2 і регулюється клапаном. Вакуум вимірюється за допомогою вакуумметра.

Температура в апараті контролюється термометрами опору типу ТСМ в трьох точках (рис. 1): I – у паровому просторі; II – у надтрубному просторі; III – у нижній трубній решітці. За допомогою потенціометра 4 типу КСМ-2-029-01УХЛ 4.2 реєструється температура в цих точках. Також вимірюється температура гріючої пари IV.

Цукровий розчин заданої температури подається у вакуум-апарат із збірника сиропу. Кількість сиропу, що подається в вакуум-апарат регулюється краном. Для візуального контролю за веденням процесу вакуум-апарат обладнано підсвітлювачем, який дає змогу спостерігати за процесом крізь оглядові вікна та краном для відбору проб.

Для зменшення втрат теплоти корпус вакуум-апарата і трубопроводів ізолювані азбестовим шнуром.

Для збільшення швидкості циркуляції утфелю та частоти його рециркуляції передбачено пристрій для введення в утфель пари, що встановлено під нижньою трубною решіткою гріючої камери вакуум-апарата.

Методика досліджень побудована так, що результати дослідів дають можливість кількісно оцінити вплив рециркуляції на якісні характеристики готового продукту, на питомі витрати гріючої пари та на інтенсивність рекристалізації.

### **2.2.3. Розробка методики промислових досліджень**

Дослідження впливу рециркуляції на процес масової кристалізації цукрози проводили в стандартному (типовому) режимі і з введенням ззовні через барботер, що розташований під нижньою трубною решіткою, в киплячий цукровий утфель водяної пари.

Промислові дослідження, проведені на вакуум-апараті періодичної дії, включають дослідження впливу введеної ззовні водяної пари в утфель, що кристалізується. Для цього уварювання утфелю проводили за двома режимами: з введенням ззовні водяної пари, без введення водяної пари.

При проведенні дослідів визначаємо наступні показники:

1. Якість цукрового розчину, що підкачується і цукрового розчину початкового набору.
2. Якість утфелю, починаючи з моменту заведення кристалів і до кінця уварювання.
3. Гранулометричний склад цукру, починаючи з моменту заведення до кінця варіння.
4. Кількість цукрового розчину підкачок і початкового набору.
5. Температурний режим уварювання: температури гріючої пари, підкачок, вторинної пари, утфелю під гріючою камерою, утфелю над гріючою камерою і в надутфельному просторі.
6. Кількість випареної води (за кількістю конденсату).
7. Абсолютний тиск в вакуум-апараті.
8. Відсотковий вміст кристалів цукру в утфелі на протязі всього варіння.
9. Показники часу: початку набору апарата цукровим розчином, введення пари в гріючу камеру, заведення кристалів, початку і кінця кожної підкачки, початку і кінця вдування пари, кінця уварювання утфелю в вакуум-апараті.

Технологічні характеристики утфелю визначали внаслідок аналізу його проб, використовуючи методи хіміко-технологічного контролю бурякоцукрового виробництва. В лабораторії заводу визначали вміст сухих речовин та цукрози в утфелі та міжкристальному розчині. Інші

характеристики отримували внаслідок розрахунку по наведеним нижче залежностям .

Чистота, %:

$$Ч = \frac{Ц}{СР} \cdot 100, \quad (2.2)$$

де Ц, СР - відповідно вміст цукру та сухих речовин, %.

Вміст кристалів цукру визначається за формулою 2.1.

Коефіцієнт пересичення:

$$П = \frac{H}{H_0^II} \%, \quad (2.3)$$

де: H – розчинність цукру в нечистому пересиченому цукровому розчині, що визначається по результатах лабораторного аналізу

міжкристалевого розчину:  $H = \frac{Ц_m}{100 - СР_m}$ .

$H_0^II$  – розчинність цукру в насиченому цукровому розчині (визначається за таблицями).

Для визначення середнього розміру кристалів в практиці застосовуються різні методи: ситовий аналіз , поляриметричним методом а також метод фотографування . Нами гранулометричний склад цукру визначали з залученням спеціальної лабораторної центрифуги типу Janetzki TZ 2 (Німеччина) з числом обертів 2800 об/хв, отриманий цукор з якої підлягав ситовому аналізу (як методу найбільш адаптованого до виробництва і достатньої точності).

Центрифугування здійснювали в наступній послідовності: Завантажували ротор центрифуги пробкою утфелю і закривали кришкою. Запускали центрифугу та центрифугували утфель протягом 3-х хвилин. Після відокремлення I відтоку, безпосередньо в центрифuzі цукор пробілювали етиловим 96 % насиченим цукрозою спиртом до досягнення стандартної

якості. Після закінчення процесу пробілювання і остаточного відокремлення відтоку центрифугу зупиняли, барабан опорожнювали від цукру, висушували. Після реєстрації результатів ситового аналізу, кристали упаковували в поліетиленові пакети, на яких позначали час, дату та маркування проведеного досліджу.

Розсів виконували на машині з набором стандартних сит для проведення фракційного розсіву протягом 15 хвилин. Сита мали наступні розміри: 2,50; 1,60; 1,10; 0,63; 0,40; 0,315; 0,20; 0,16; 0,1; 0,063; 0,05 мм.

Вихідна проба для розсіву – 150...200 г. Визначення маси проб кожної фракції після сита даного розміру проводили на аналітичних вагах типу Scout 2020 (США). Маса кожної фракції розраховували у відсотках до маси проби цукру, що підлягала розсіюванню. Для досягнення більш високої точності розсіювання проб однакового фракційного складу здійснювали тричі а результати усереднювали.

### **2.3. Розроблення методики лабораторних досліджень**

#### **2.3.1. Вибір об'єктів і розробка методики лабораторних досліджень**

#### **2.3.2. Розробка лабораторних установок**

В процесі створення дослідної лабораторної установки для вивчення впливу введеної ззовні водяної пари на якісні характеристики цукрового розчину і штучного цукрового утфелю було враховано геометричну, фізичну та кінетичну подібність. Геометрична подібність установки забезпечувалась сталими відношеннями між лінійними розмірами промислових апаратів та змодельованої лабораторної дослідної установки.

Фізична подібність забезпечувалась сталими початковими фізичними властивостями цукрового розчину.

Кінетична подібність забезпечувалась тим, що швидкість елементарних актів взаємодії парової бульбашки з середовищем не залежить

від масштабу апарата і, при постійності технологічних та фізичних параметрів, однакова в будь-якому елементарному об'ємі апарата.

Проведені експериментальні дослідження по визначенню впливу введеної зовні водяної пари на інтенсивність випаровування цукрового розчину в умовах кипіння та без нього; при атмосферному тиску та при наявності вакууму в системі. Лабораторна експериментальна установка складається з генератора водяної пари, реактора з барботером для введення водяної пари, вакуумної системи, системи автоматичного контролю та реєстрації параметрів дослідів.

Водяна пара в генераторі та цукровий розчин в реакторі нагріваються двома лабораторними нагрівачами типу ЛП-300. Вакуумна система складається з вакуумного насоса, що з'єднаний з паровим простором реактора через конденсатор, мірника загального конденсату водяної пари, системи підведення та відведення охолоджуючої води.

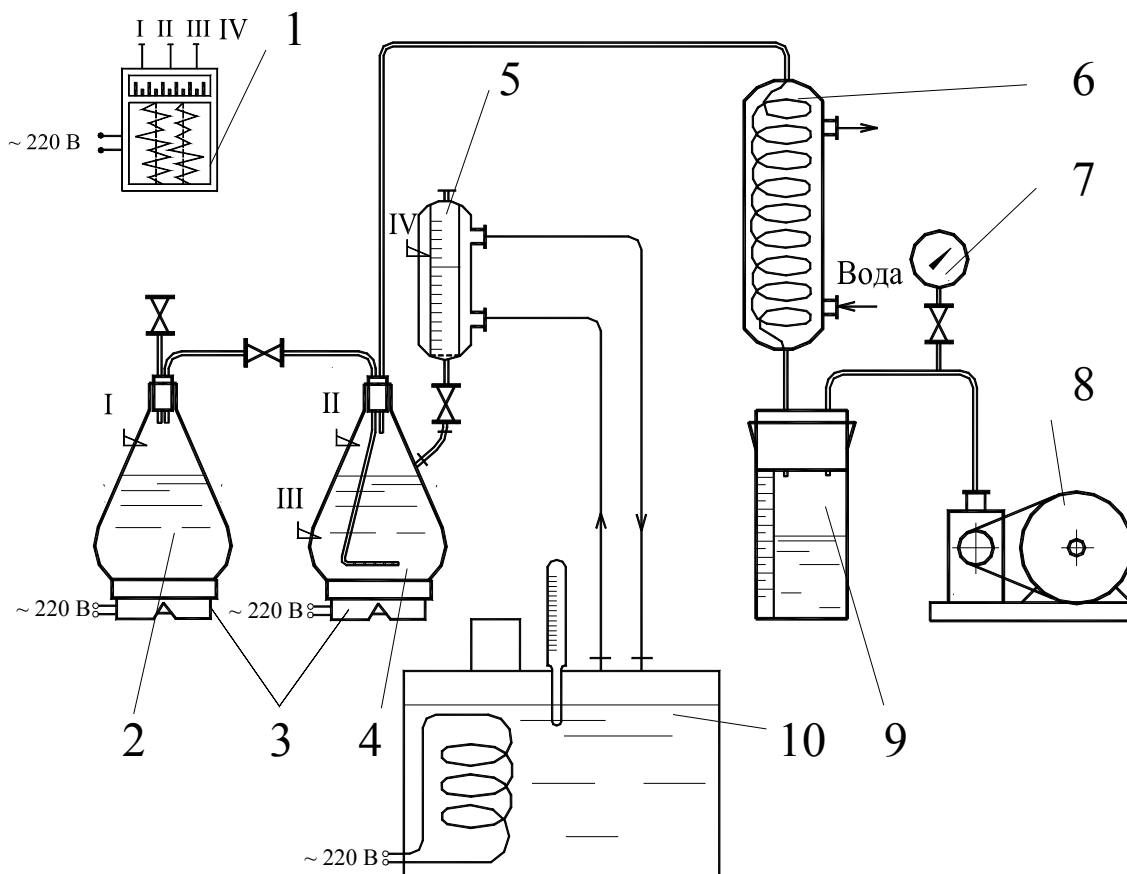
Контроль температури в установці здійснюється трьома термометрами опору і реєструється потенціометром типу КСМ-2-029-01 УХЛ 4.2. Термометри опору типу ТСМ розташовані таким чином, що дозволяють вимірювати та реєструвати температуру вторинної пари в реакторі, температуру пари в парогенераторі та температуру кипіння цукрового розчину. Живлення приладу та нагрівників здійснюється від електричної мережі змінного струму напругою 220 В.

Для визначення особливостей впливу введеної ззовні водяної пари на процес варіння цукрових утфелів був розроблений варіант лабораторної установки, представлений на рис. 2.1. Відмінною рисою цієї установки є те, що додержуються ізогідричні умови протікання процесу. Це забезпечується добавленням в середовище, що досліджується, із мірного циліндра цукрового сиропу із заданим вмістом сухих речовин і чистоти в кількості випареної

води. Мірний циліндр має нагрівну сорочку для підтримки необхідної температури підкачки.

Проведені експериментальні дослідження на дослідній установці по вивченню впливу введеної ззовні водяної пари на інтенсивність процесу кристалізації цукрового утфелю в умовах кипіння при зменшеному тиску в системі. Установа складається з генератора водяної пари 2, реактора з барботером для введення ззовні водяної пари 4, вакуумної системи, системи автоматичного контролю та реєстрації параметрів дослідів.

Температури в установці вимірюються за допомогою чотирьох термометрів опору і реєструються потенціометром 1 типу КСМ-2-029-01 УХЛ 4.2. Термометри опору розташовані таким чином, що дозволяють вимірювати та реєструвати температуру вторинної пари в реакторі, температуру пари в парогенераторі, температуру кипіння цукрового утфелю та температуру розчину підкачки.



**Рис. 2. Схема лабораторної дослідної установки:** 1 – потенціометр КСМ - 2; 2 – парогенератор; 3 – гріючі елементи ЛТН 2000; 4 – реактор з барботером; 5 – теплообмінник; 6 – конденсатор; 7 – вакуумметр; 8 – вакуум-насос; 9 – мірник конденсату; 10 – термостат U 10

Цукровий утфель в реактор 4 та вода в парогенератор 2 подаються на початку досліду через верхні отвори цих посудин. Розчин підкачки подається в реактор із мірного циліндра 5, в якому температура підкачки підтримується за допомогою термостата 10 марки U 10. Живлення потенціометра, нагрівників та термостата здійснюється від електричної мережі змінного струму напругою 220 В.

Водяна пара із парогенератора в реактор надходить через паропровід, що з'єднує їх і барботер, що занурений в цукровий утфель реактора. Конденсат збирається в збірнику конденсату.

В лабораторних умовах дослідження доцільно проводити на реальних продуктах. При роботі з цукровими утфелями це пов'язано з великими труднощами. В реальному утфелі протягом досліду практично неможливо зберегти незмінними початкові характеристики. Тому дослідники часто працюють з модельними або штучними утфелями. Для лабораторних досліджень нами готувались і використовувались штучні утфелі.

#### 2.3.4. Приготування насиченого розчину

Насичений розчин цукрози готували для кожного досліду індивідуально. По таблиці розчинності цукрози визначали відсотковий вміст цукру і води в насиченому розчині при температурі насичення, що відповідає температурі розчину під час досліду в лабораторній установці.

Для розчинення цукрози необхідну кількість води вимірювали мірним циліндром. Необхідну кількість цукрози зважували на лабораторних електронних вагах типу Scout 2020 (США) з точністю 0,01 г. Воду з цукрозою ставили в термостат і витримували при температурі дещо більшій температурі насичення, що забезпечувало повне розчинення кристалів цукру в воді. Після цього в термостатуючій посудині встановлювалася необхідна температура, при якій розчин ставав насиченим. При цьому, для контролю, за допомогою аналізу визначали концентрацію розчину. За необхідністю, по відомій концентрації, яку визначали рефрактометром УРЛ-1, рахували кількість води або цукрози, які додавали до розчину з метою доведення його концентрації до стану насичення.

Початковий склад кристалів цукру готували на всю серію дослідів. Необхідну кількість цукру заданого фракційного складу готували на машині для розсіювання.

### 2.3.5 Моделювання цукрового утфелю

Цукровий утфель – суспензія, яка отримується внаслідок уварювання цукрових розчинів. Він, як відомо, є дисперсною системою, що складається із полідисперсних кристалів цукру та диспергуючого середовища – в'язкого цукрового розчину. При кипінні в вакуум-апараті це – потрійна система кристали-розчин-пара.

Суть моделювання полягає в отриманні штучного утфелю подібного природному. Розрізняють моделювання математичне та фізичне. В даній роботі ми застосували принцип фізичного моделювання. При цьому зберігається фізична природа речовини що досліджується – цукрового утфелю. При цьому, завдяки трьом теоремам подібності, спостерігаються: 1. Геометрична подібність; 2. Часова подібність; 3. Подібність фізичних параметрів; 4. Подібність початкових умов; 5. Подібність граничних умов.

Геометрична подібність штучного утфелю полягає в тому, що геометрична форма і розміри кристалів штучного утфелю відповідають геометричній формі і розмірам кристалів природного утфелю в початковий період кристалізації. Суть часової подібності криється в тому, що подібність фізичних величин у штучному і природному утфелі настає в подібні моменти часу від початку процесу. Подібність фізичних величин штучного і природного утфелів співпадали повністю. При цьому, штучний утфель мав такі ж самі властивості що і природний.

Початкові умови полягають в тому, що в усіх випадках ми мали однакові початкові умови процесу кристалізації (температура, тиск в реакторі, ізогідричне протікання процесу і т. ін.).

В процесі кристалізації штучний утфель мав такі ж граничні умови що і природний.

Виходячи із фізико-хімічних властивостей цукрових утфелів, режимів процесу варіння і кристалізації, а також принципів моделювання застосували

розмір кристалів  $0,18 \pm 0,02$  мм, відсотковий вміст яких в утфелі складав 30 %. Вибір 30 % вмісту кристалів обумовлений структурно-реологічними властивостями цукрових утфелів .

Для отримання нечистого штучного цукрового утфелю на відміну від чистого скористалися відомою методикою Сіліна . Змішували пересичений розчин меляси, отриманий згущенням або розчиненням цукру при нагріванні з цукровим піском у визначеній кількості і визначених розмірів кристалів. Витримуючи штучний утфель у термостаті в обертовій герметично закритій посудині і аналізуючи міжкристалевий відтік, можна було по зменшенню чистоти і цукрози визначити кількість цукру, який викристалізувався, %:

$$Kp = \frac{(C_y - C_m) \cdot 100}{100 - C_m}, \quad (2.1)$$

$C_y$  – цукор утфелю;

$C_m$  – цукор міжкристалевого відтоку.

#### Висновки

Отже в ході лабораторних досліджень визначено, що одним із найважливіших чинників, що суттєво впливає на режим роботи вакуум-апарата, є швидкість циркуляції утфеля. Оскільки гідродинамічна ситуація в періодично діючих вакуум-апаратах безперервно змінюється на протязі циклу уварювання, то швидкість циркуляції також помітно коливається і поступово зменшується в кінці уварювання утфелю до мінімуму. Інтенсифікувати цей процес можна методом вдування пари в кип'ятільні труби. Таким чином підвищиться паровміст, практично зникне економайзерна ділянка, а кипіння утфелю почнеться відразу ж на вході у кип'ятільні труби. Підвищення швидкості циркуляції утфеля при вдуванні пари відбувається внаслідок збільшення середнього газовмісту в кип'ятільних трубах. При цьому зростає також і гідравлічний опір. Таким

чином, збільшення швидкості циркуляції зі зростанням кількості пари, що вдувається, буде тривати доти, доки збільшення рушійного тиску буде випереджати зростання гідравлічного опору. Кількість пари, що вдувається, не повинна перевищувати значень, при яких на верхніх ділянках кип'ятільних труб замість плівки утфеля буде рухатись плівка пари. Крім того, вдувати великі кількості пари є економічно недоцільно. Лабораторні дослідження, проведені для висококонцентрованих цукрових розчинів на однотрубному випарнику з вдуванням повітря всередину кип'ятільної труби підтвердили можливість інтенсифікації тепло масообміну на 15-20 % при вдуванні пари в кількості 2,28 % до витрати грійної пари. При збільшені кількості пари, що вдувається, більше 2,28 % інтенсивність тепло масообміну не збільшувалась, а зменшувалась.

Запропонований спосіб інтенсифікації уварювання утфеля шляхом вдування пари в апарат, полягає в наступному :

- Вдування пари здійснюється струминами з такою швидкістю, яка дозволяє диспергувати пар, змішуючи їх з утфелем.

- Витрата пари, що вдувається, підтримується в оптимальних значеннях для кожної стадії уварення.

- В розподільчій камері підтримується значно більший тиск пари, що вдувається, ніж у вакуум-апараті, щоб коливання тиску в кип'ятільних трубах суттєво не впливали на рівномірність розподілу пари, що вдувається.

- Розподільчий пристрій виконується таким чином, щоб не створювати додаткового гідравлічного опору циркулюючому утфелю і застійних зон.

- Напрямок руху струмини пари, що вдувається, створюється таким, щоб їхня інжекційна дія створювала якомога більший додатковий рушійний напір.

### 3. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Моделювання потоків утфеля у вакуум-апараті за допомогою програмного комплексу FlowVision.

**Цей комплекс призначений для моделювання тривимірних потоків рідини і газу в технічних і природних об'єктах , а також візуалізації цих потоків методом комп'ютерної графіки.**

**Мета роботи:** Змоделювати рух утфеля у вакуум-апараті при додатковому вдуванні пари і без.

**Завдання на виконання роботи:** побудувати модель досліджуваного об'єкта ( для дослідження вибираємо одну трубку із грючої камери вакуум-апарата, з метою отримання точніших результатів ), отримати експериментальні дані та проаналізувати отримані результати.

#### 3.1 Варіант без додаткового вдування пари.

##### Хід роботи:

Процес розрахунку течії утфеля містить у собі наступні кроки:

1. Створення області розрахунку 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.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Локатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> Дослідна частина та узагальнення результатів	14-2692.ДП.08.003 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В.Г.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

### **3.1.1. Створення області розрахунку.**

Для створення області розрахунку використовуємо програму КОМПАС.

Спочатку необхідно створити ескіз деталі - перетин майбутньої області площиною, перпендикулярною осі циліндра. Потім - видавити ескіз, що вийшов, уздовж осі циліндра, одержавши тривимірний об'єкт.

У КОМПАС створюємо циліндр висотою 1200 мм діаметром 10 мм.

Деталь готова, тепер потрібно зберегти її у форматі, який підтримує FlowVision. Пропонується вибрати STL-формат, тому що при його створенні можна вибрати достатню точність округлення.

Для цього треба вибрати в меню «Файл» - «Сохранить как...», вибрати тип файлу «STL files (\*.stl)».

Область створена. Тепер її можна імпортувати в FlowVision.

Відкрити FlowVision, вибрати в меню «File» - «New», та вказати ім'я збереженого STL-файлу.

Область імпортована. Тепер можна зберегти варіант, і отриманий FVT-файл буде містити всю геометрію.

Тривимірні моделі в пакеті КОМПАС по замовченню створюються в розмірності “міліметри”. При переносі їх в FlowVision, останній сприймає числа – як метри. Тому потрібно узгодити розміри з реальністю.

Для цього потрібно виконати таку послідовність дій: “Инструменты > Изменить геометрию > Вставить > Масштаб». В останньому вікні по кожній осі потрібно поставити коефіцієнт 0,1.

### **3.1.2. Задання математичної моделі.**

Тепер можна приступити до завдання математичної моделі.

У дереві варіанта потрібно вибрати “**Подобласть #1**” і правою клавішею миші викликати контекстне меню. У ньому треба вибрати «Изменить модель...».

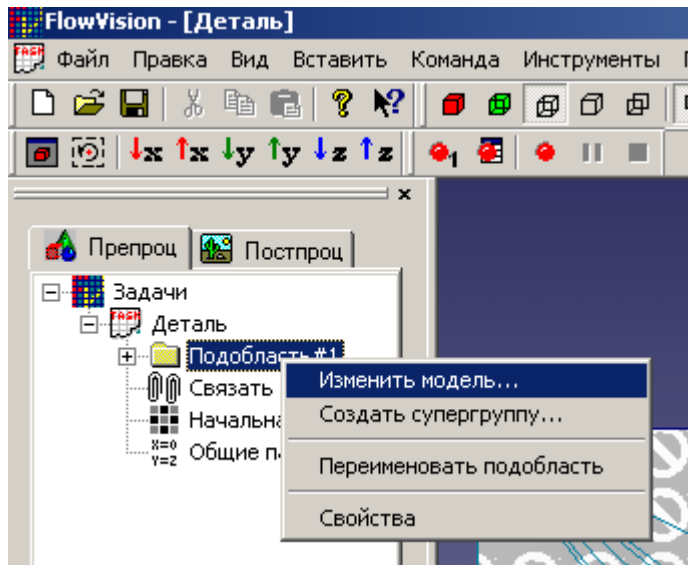


Рис. 3.1 Задання математичної моделі

У вікні, що з'явилося, у полі «Модель» вибрати «Несжимаемая жидкость», і потім поставити галочки в колонку «Рассчитывать» напроти визначень «Скорость», «Турбуленция» і «Энергия».

А для під області зовнішньої стінки вибираємо модель «Твердое тело» і в списку поставлених задач відмічаєм «Энергия».

Натиснути на «ОК», зміни тепер будуть зафіксовані, й модель обчислень буде задана.

### 3.1.3. Задання граничних умов

Для розрахунку необхідно задати граничні умови. У нашому випадку їх повинно бути 5: гранична умова вільного виходу рідини, гранична умова стінки циліндра, гранична умова симетрії й гранична умова входу рідини. В FlowVision необхідно спершу створити опис граничних умов, а потім присвоїти відповідні грані потрібним граничним умовам.

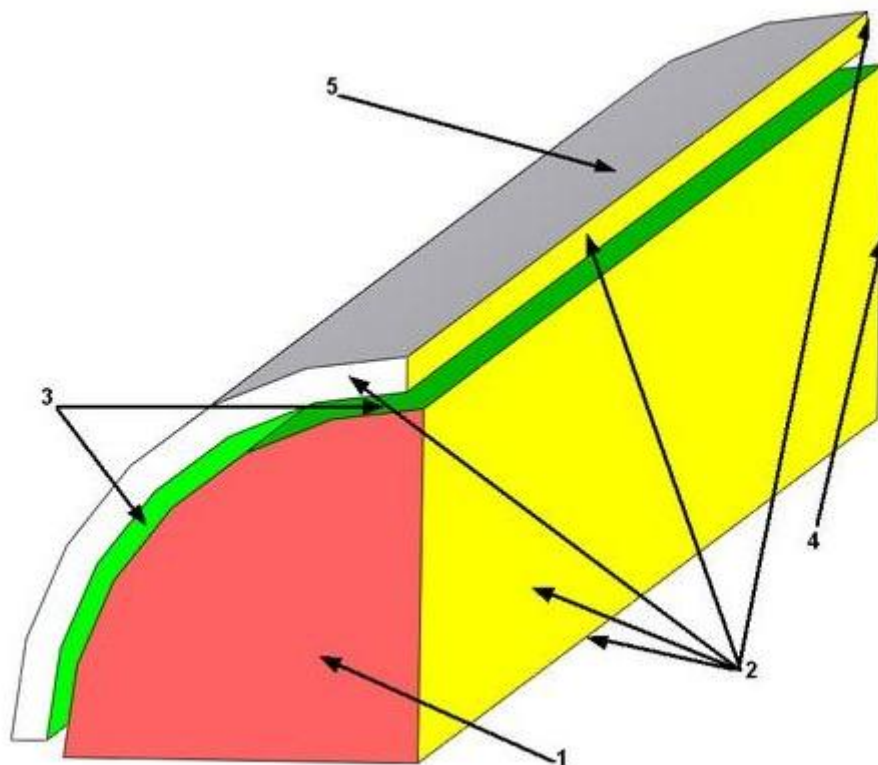


Рис. 3.2 Задання граничних умов

1) На границі 1 - гранична умова входу з нормальною температурою  $45^{\circ}\text{C}$

(Вхід / Вихід → Нормальний вхід / вихід → значення турбулізації дорівнює 1% з розмірами вихорів  $1/10$  діаметратруби (пульсації = 0.01, масштаб турбулізації = 0.1).

2) На границі 2 - гранична умова симетрії (Симетрія → Стінка з прослизанням).

3) На границі 3 - гранична умова з логарифмічним законом для швидкості (Зв'язане → Швидкість → Стінка, логарифмічний закон).

4) на границі 4 - гранична умова вільного виходу з тиском  $p = 0.093$  (Вільний вихід → Нульове тиск / вихід).

5) На границі 5 - гранична умова стінки з температурою  $100\text{ C}$  (Стінка → Значення на стінці, значення температури дорівнює 100).

Для створення граничної умови в дереві варіанта вибрати «Гр. условия», правою кнопкою миші викликати меню й вибрати в ньому «Создать».

У вікні, що з'явиться, ввести ім'я майбутньої граничної умови, наприклад “Выход”. Потім необхідно викликати редактор граничної умови. Він виглядає як зображення олівця.

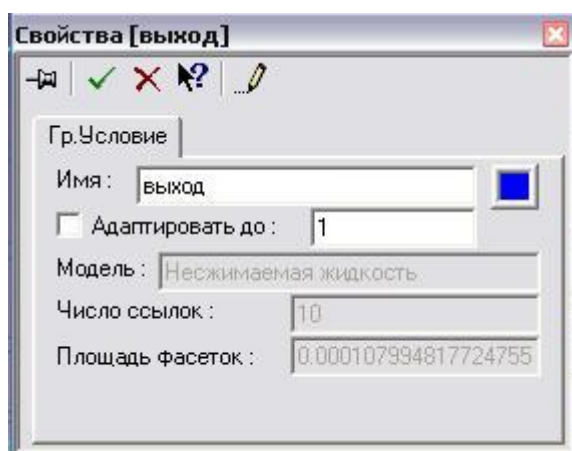


Рис.3.3 Створення граничної умови

У редакторі граничної умови в полі “Тип границы” треба вибрати тип граничної умови.

Для вільного виходу це повинен бути «Свободный выход».

Далі необхідно вибрати додаткові властивості граничної умови. У нашому випадку для цього потрібно в закладках «Скорость», «Турбэннергия» і «Турбдиссипация» вибрати відповідно «Нулевое давление/выход», «Нулевой поток» та «Нулевой поток».

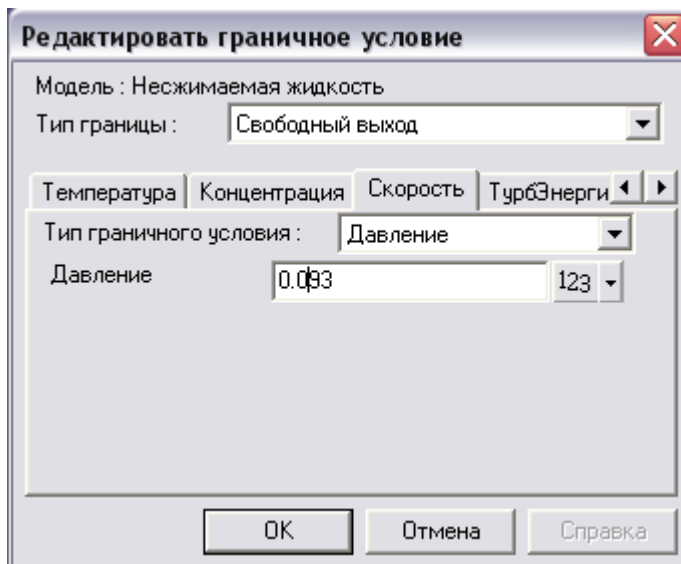


Рис.3.4 редагування граничної умови

Для завершення роботи редактору натиснути «ОК», і для затвердження зроблених змін натиснути зелену галочку. Гранична умова створена, можна закрити вікно властивостей.

При бажанні для зручності можна задати кольори граничних умов. Для цього треба натиснути на кнопку вибору кольору у вікні властивостей граничної умови й вибрати кольори в стандартному конструкторі.

Після всіх зроблених змін необхідно натискати зелену галочку.

Граничні умови створені. Тепер можна приступити до присвоєння границям розрахункової області зроблених граничних умов. В ході цього необхідно буде повертати розрахункову область і вибирати групи граней на ній. Для цього на панелі інструментів FlowVision є дві кнопки: «Трекбол» - обертання і «Выбрать группу» - виділення потрібної групи.

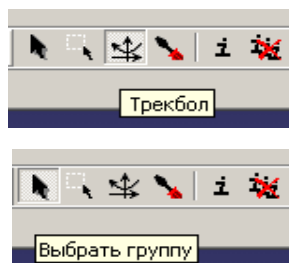


Рис.3.5 Кнопки на панелі управління для виділення потрібної групи

Якщо натиснуто кнопку «Выбрать группу», то клацання лівою клавішею миші по групі граней приведе до виділення цієї групи, а правою - до виклику контекстного меню. В останньому при виборі режиму «Свойства», викликається вікно властивостей групи.

У вікні властивостей групи необхідно вибрати зі списку граничну умову, що відповідає цій групі.

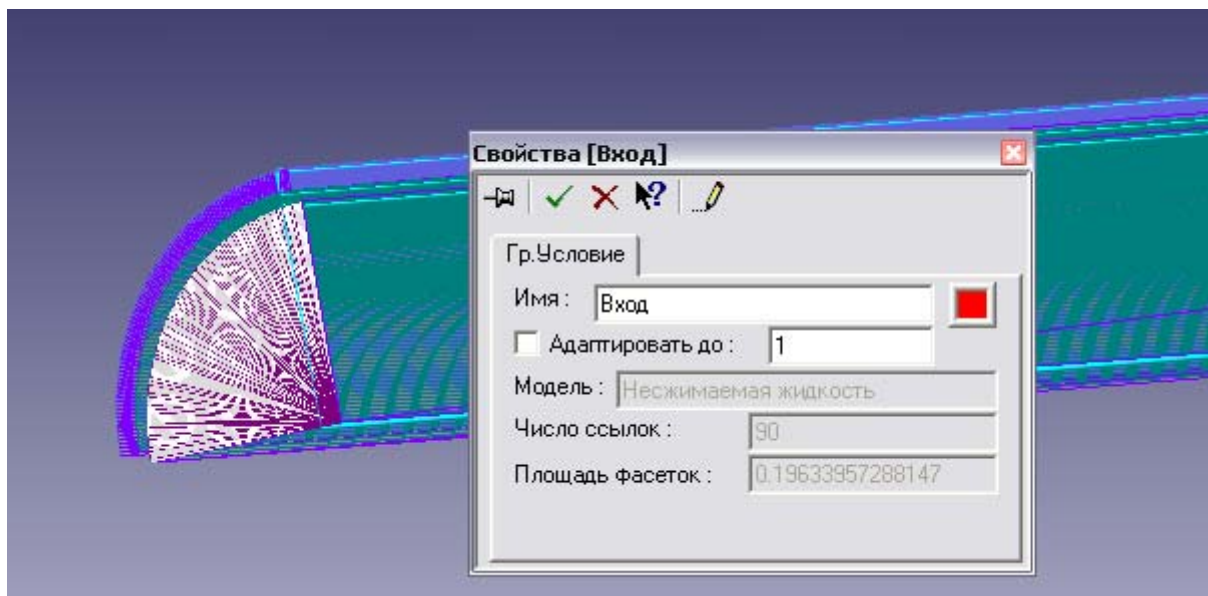


Рис 3.6 Присвоєння граничних умов

Потім треба натиснути на зелену галочку й закрити вікно.

Розвертаючи графічну область в різні боки, та викликаючи меню властивостей, необхідно приписати до граничних умов всі сім груп розрахункової області. Після проведення зазначених дій граничні умови вважаються заданими.

#### ***3.1.4.Задання фізичних параметрів***

**Фізичні параметри** - параметри рідини, які будуть використані для розрахунку.

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 вибирати «Свойства».

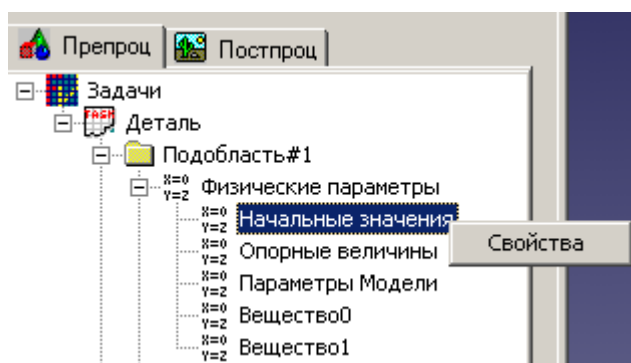


Рис.3.7 Задання фізичних параметрів

У вікні «Вещество 0» на закладці «Плотность» проставити значення густни  $\rho = 990 \dots 1296$  (кг/м<sup>3</sup>).

У вікні «Вещество 0» на закладці «Молекулярная вязкость» заповнити поле необхідним значенням в'язкості  $\mu = 0,0096$  (кг/(м\*с)). Необхідне значення вибирається на основі бажаного числа Рейнольдса. З урахуванням інших параметрів число Рейнольдса буде просто величиною, зворотною в'язкості, тому в нашій задачі, де передбачається розглянути  $Re = 1e8$ , у це поле треба ввести  $1e-8$ . На закладці «Теплопроводность» ставимо  $\lambda = 414$  Вт/(м\*К), а на закладці «Теплоемность»  $C_p = 3400$  (Дж/(кг\*К)).

«Вещество1»: властивості, встановлені за замовчуванням: густина  $\rho = 7000$  (кг/м<sup>3</sup>), теплопровідність  $\lambda = 45$  Вт/(м\*К), теплоємність  $C_p = 450$  (Дж/(кг\*К)).

Інші параметри змінювати не потрібно.

Після добутку описаних вище дій завдання параметрів можна вважати закінченим.

### 3.1.5. Завдання початкової розрахункової сітки

FlowVision 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 розрахункову сітку. Треба викликати редактор розрахункової сітки. Для цього вибрати в дереві варіанта «Начальная сетка», правою клавiшею миші викликати меню й вибрати «Свойства».

Початкова сітка прямокутна. У вікні редактора початкової розрахункової сітки є три закладки - «X-направление», «Y-направление» й «Z-направление».

«X-направление» - це X-координати площин, перпендикулярні осі X. Аналогічний зміст, для всіх осей, мають інші дві закладки.

Спочатку задамо рівномірну розрахункову сітку 50x14x14. Отримаємо наступну сітку, що складається з 9029 розрахункових осередків.

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

Тепер розрахункова сітка повинна виглядати так:

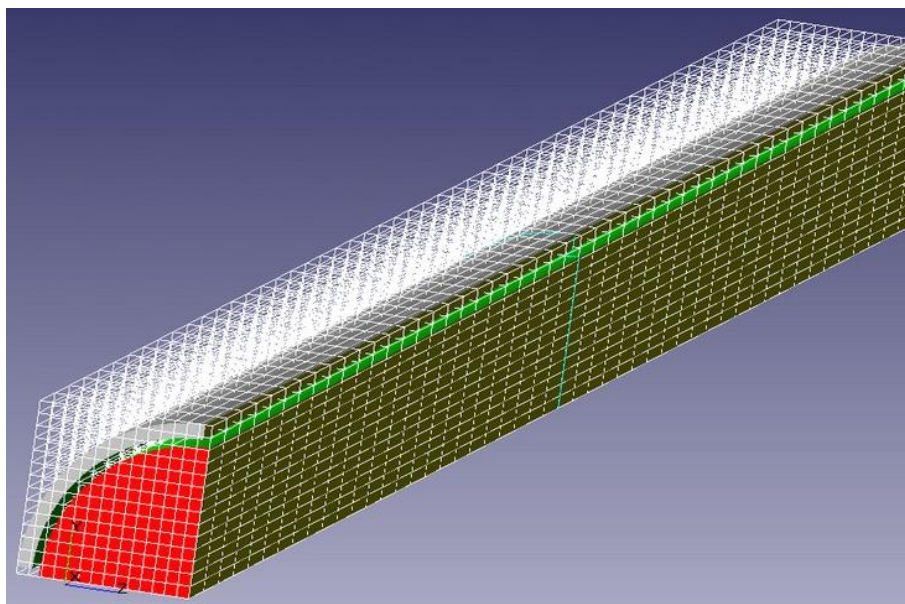


Рис. 3.8 розрахункова сітка

### ***3.1.6. Завдання критеріїв адаптації розрахункової сітки***

Адаптація – підвищення точності розрахунків в окремих ділянках розрахункової області.

В даній задачі бажано подрібнити сітку на слизькій поверхні в підобласті внутрішнього простору труби (гранична умова 3), для цього найкраще підходить адаптація по граничній умові. Адаптація по граничній умові задається наступним чином:

З папки Гр.условия вибрати граничну умова, за яким буде проводитися адаптація. Увійти в вікно Властивості. Поставить галку в вікні Адаптувати до. Навпаки цієї галки вказати рівень, до якого буде проводитися адаптація (в даній задачі рекомендується задати рівень 1).

Також потрібно подрібнення сітки в підобласті зовнішніх металевих стінок, для цього найкраще підходить адаптація за допомогою критерію адаптації.

Щоб задати критерії адаптації:

·Виберіть елемент Адаптація в дереві варіанту, натисніть праву кнопку миші і виберіть пункт Створити з контекстного меню.

З'явиться діалогове вікно Новий критерій адаптації, в якому пропонується вибрати об'єкт для проведення адаптації. Область, в якій буде проведена адаптація, задається за допомогою наступних об'єктів: Площина, Все простір, Паралелепіпед, Конус.

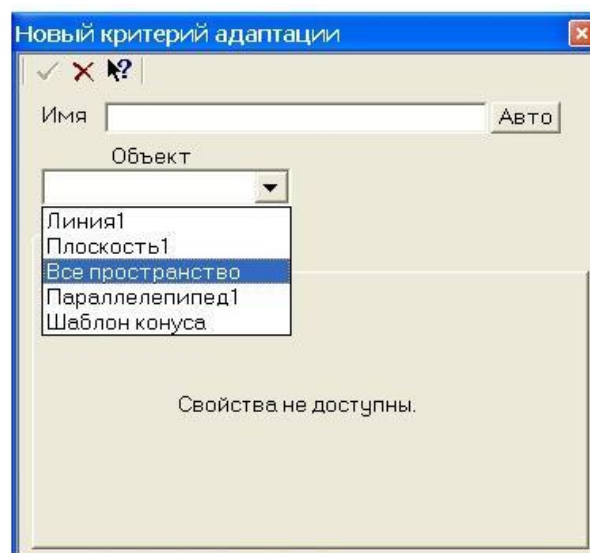


Рис.3.9 задання критерія адаптації

Т.к. потрібно проадаптувати сітку у всій області, то в якості об'єкта адаптації виберемо Весь простір. Після вибору об'єкта адаптації будуть доступні тільки дві сторінки властивостей критерію адаптації: Переменная і Параметри. На сторінці властивостей Переменная можна вибрати змінну, по якій буде проводиться адаптація. У даній задачі її вибирати не потрібно.

На сторінці властивостей Параметри задаються обмеження на адаптацію. Якщо змінна, по якій буде проводиться адаптація, не вказана, то адаптація буде проведена до заданого рівня, а всі інші обмеження діяти не будуть.

В даній задачі потрібно вказати тільки максимальний рівень адаптації МаксУровень, рівний 1. Після установки всіх необхідних параметрів натисніть кнопку для підтвердження змін чи для їх скасування. В подальшому цей критерій можна редагувати, вибираючи його в дереві варіанту, за допомогою правої кнопки миші (пункт Властивості з контекстного меню). Вікно Властивості можна приколоти за допомогою кнопки, якщо збираєтеся редагувати властивості іншого елемента.

### *3.1.7. Вибір кроку за часом обчислювального алгоритму*

Вибрати в дереві варіанта «Общие параметры», правою клавішею миші викликати контекстне меню, у якому вибрати «Свойства».

У вікні, що відкрилося, вибрати закладку - «Шаги» і привести її до виду, зазначеному нижче (для цього, швидше за все треба тільки змінити число КФЛ (CFL) - на 100).

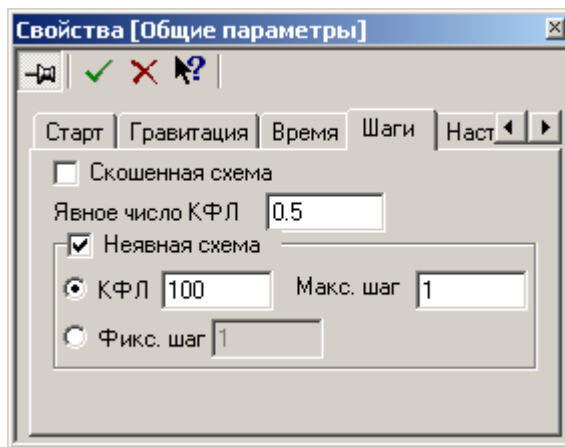


Рис.3.10. Задання кроку розрахунку

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

### 3.1.8.Задання методу розрахунку

Рішення задач сполученого теплообміну, в яких одночасно вирішується протягом рідини чи газу і теплопровідність в твердому тілі, нашоухується на певні труднощі характерні часи процесів у газі/рідини істотно менше характерних часів у твердому тілі.

Це призводить до того, що подібні завдання доводиться вирішувати з мінімальним кроком інтегрування за часом, що в свою чергу визначає дуже великі часи рахунку.

Вирішуємо цю проблему наступним чином : в підобласті, де використовується модель твердого тіла (зовнішні металеві стінки), в папці Параметри методу на закладці Ентальпія зазначається використовувати власний крок за часом і вказується значення цього кроку.

Величина власного кроку інтегрування за часом може бути оцінена виходячи зоцінки часу прогріву нерівномірно прогрітого тіла:

$$\tau \approx \frac{l^2}{\chi}$$

где  $l$  – характерный размер тела в направлении теплового потока,  $\chi = \lambda/(\rho C_p)$  – коэффициент температуропроводности.

$$\tau \approx \frac{l^2 \cdot \rho \cdot C_p}{\lambda} = \frac{0.1^2 \cdot 7000 \cdot 450}{45} = 700 \text{ с}$$

В данной задаче эта величина дорівнює :

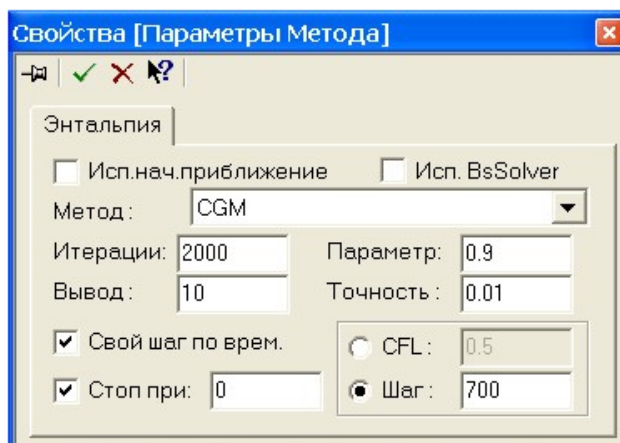


Рис3.11 Параметры метода обчисления

### 3.1.9. Запуск варианта на проведения расчета

Перед тем как запускать вариант желательно сохранить вариант (меню «Файл > Сохранить»).

Для запуска расчета та для управления процессом обчисления используются три кнопки на панели инструментов FlowVision. Коротко про назначения этих кнопок:



«Построить расчетную сетку и начать процесс расчета». Эта кнопка отвечает за проведение процесса расчета, причём принципиально не важно, начинается расчёт с начала или уже с какой-либо сделанной итерации.



«Остановить вычисление после текущей итерации» - припинення обчислення вручну. Після такого припинення завжди можна запустити варіант на продовження розрахунку кнопкою «Построить расчетную сетку и начать процесс расчета».



«Аварийное завершение расчета»: швидко зупиняє процес обчислення, але обчислені дані можуть бути зіпсовані й викорисовувати їх надалі не рекомендується. Призначена для зупинки невірною розрахунку (наприклад, якщо уведено занадто дрібну сітку, й не вистачає оперативної пам'яті комп'ютера).

Після початку розрахунку внизу вікна FlowVision з'явиться вікно стану розрахунку, у якому показуються поточні параметри процесу. Якщо вікно не з'явилося, викликати його можна з головного меню за схемою: «Вид > Ошибки».

В FlowVision можна міняти більшість параметрів, не перериваючи процесу обчислення. Також бувають ситуації, у яких продовжувати розрахунок далі розрахунок безглуздо, і потрібно починати його заново.

У цій ситуації потрібно вибрати в дереві варіанта «Общие параметры», правою клавішею миші викликати меню, у якому вибрати «Свойства». На закладці «Старт» прибрати галочку біля фрази «Продолжать вычисление».

### 3.1.10. Перегляд результату розрахунку й використання постпроцесора

Для візуального аналізу складних плинів рідини й обчислення величин, що характеризують потік, служить постпроцесор FlowVision.

Перейдіть в дерево постпроцесора, вибравши відповідну закладку у вікні вибору.

Постпроцесор оперує об'єктами - шарами візуалізації. В основі шару візуалізації лежить геометричний об'єкт, наприклад, лінія, площина або паралелепіпед.

У шарі візуалізації можна вибрати із широкого набору метод відображення. Наприклад, тиск на площині можна візуалізувати ізолініями, а можна зробити заливку цієї площини різними кольорами залежно від тиску.

Вибрати в дереві постпроцесора в папці «Объекты» об'єкт «Плоскость». Це – шаблон для створення нових об'єктів-площин, але його можна використати і як готову площину.

Правою клавішею миші викликати меню й вибрати в ньому «Свойства».

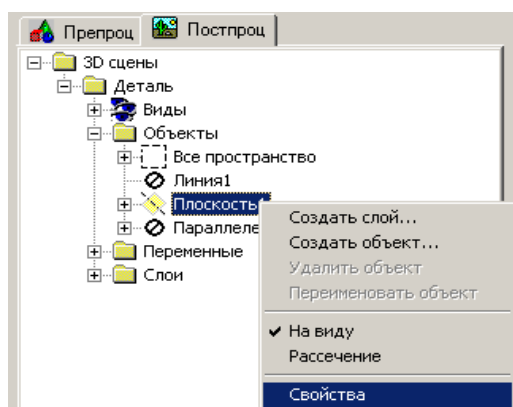


Рис.3.12 Властивості площини

### 3.1.11 Отримання результатів та їх узагальнення.

Тепер створимо шар візуалізації швидкості потоку, методом векторів

Вибравши в дереві постпроцесора шаблон «Плоскость», правою клавішею миші викликати меню, у якому вибрати «Создать слой».

У вікні, що відкрилося, в полі «Объект» вибрати шаблон «Плоскость», у поле «Имя» ввести «Швидкість», у полі «Переменная» вибрати «Скорость», а в полі «Метод» вибрати «Вектора». Потім затвердити зміни.

Для збільшення точності відображення векторів у вікні властивостей створеного шару на закладці «Начальные точки» зняти галочку в полі «Авто», ввести в поля «Частота узлов по 1 орту» і «Частота узлов по 2 орту» числа - 400.

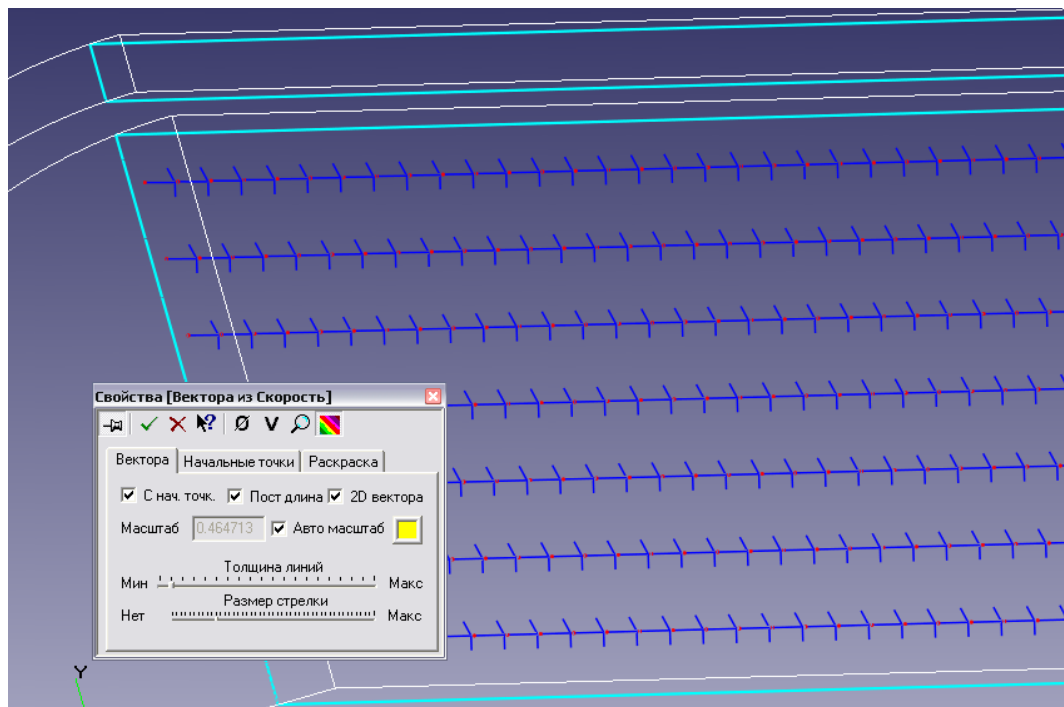


Рис.3.14. Вектора швидкості

Тепер створимо шар зображень температури в обчислюваній області.

Вибравши в дереві постпроцесора шаблон «Плоскость», правою клавiшею миші викликати меню, у якому вибрати «Создать слой».

У вікні, що відкрилося, в полі «Объект» вибрати шаблон «Плоскость», у поле «Имя» увести «температура», у полі «Переменная» вибрати «Температура», а в полі «Метод» вибрати «Заливка». Затвердити зміни.

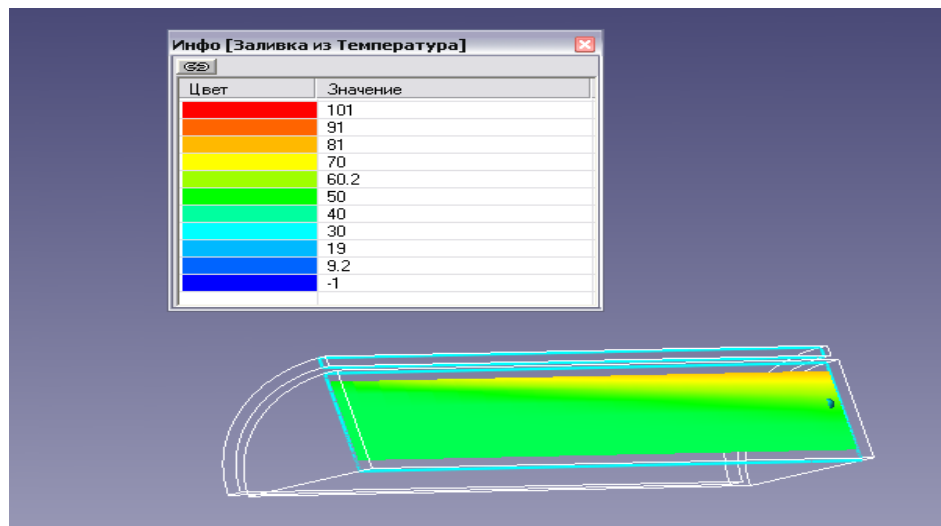


Рис.3.15. Заливка з температури

Тепер створимо графік зображення швидкості.

Вибравши в дереві постпроцесора шаблон «Плоскость», правою клавiшею миші викликати меню, у якому вибрати «Создать слой».

У вікні, що відкрилося, в полі «Объект» вибрати шаблон «Плоскость», у поле «Имя» увести «График из Скорость», у полі «Переменная» вибрати «Скорость», а в полі «Метод» вибрати «Двухмерній график». Затвердити зміни.

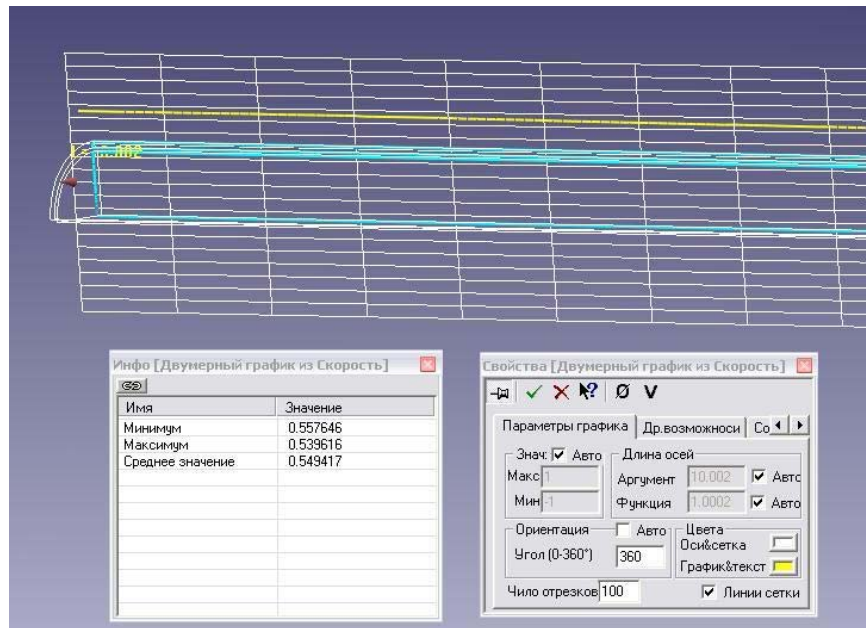


Рис.3.16. графік швидкості

### 3.2. моделювання руху утфеля при додатковому вдуванні пари.

**Хід роботи аналогічний , том запишемо лише основні відмінності.**

У нашому випадку розглядається задача моделювання турбулентного плин у двох середовищ з властивостями, які відрізняються на порядки: утфеля, який подається на основний вхід в канал, і пари, що подається з додаткового входу по в центрі трубки. В данному випадку можна вважати течію пари як течію нестисливої рідини. Щільність двох речовин відрізняється в  $10^3$  разів.

#### 3.2.1. Математична модель та фізичні параметри

В даній задачі вибираємо модель нестисливої рідини. У списку розраховуваних рівнянь відзначаємо Концентрація, Швидкість і Турбулентність. Обрана модель і розраховувані рівняння означають, що ми будемо вирішувати задачу для турбулентності течії, в якій будуть вирішуватися рівняння Нав'є-Стокса, рівняння для турбулентних функцій

перенесення і рівняння конвективно-дифузійного (або чисто конвективного) переносу. З фізичних параметрів в даній задачі необхідно задати такі:

**Початкові значення:** початкове розподіл швидкості вздовж осі X у всій розрахунковій області ( $V_x, ini = 1 \text{ м / с}$ ), початкові значення турбулізації потоку (повинні відповідати з величинам, заданим на вхідних граничних умовах) і концентрації  $C_{ini} = 0$  означає, що у всій області присутня речовина Substance0 (в даному випадку це утфель);

**Параметри моделі:** на закладці «Массоперенос» повинна бути обрана «Об'ємна концентрація».

Також бажано поставити рівень згладжування щільності, оскільки для середовищ з великою різницею густин на межі розділу густина представляється ступінчастою функцією.

$$\rho_i^{(s)} = \frac{1}{N_i} \sum_{j \in \Omega_i} \rho_j^{(s-1)} \quad s = 1, \dots, n$$

Де  $i$  – номер комірки,  $j$  – номер сусідньої комірки,  $N_i$  – кількість сусідніхосередків,  $s$  – рівень згладжування;

**Вещество0:** густина  $\rho = 990 \dots 1296 \text{ (кг/м}^3\text{)}$  і молекулярна в'язкість  $\mu = 0.0096 \text{ (кг/(м} \cdot \text{с)}$

**Вещество1:** густина  $\rho = 0.699 \text{ (кг/м}^3\text{)}$

молекулярна в'язкість  $\mu = 1.82 \cdot 10^{-5} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$

**Інші параметри змінювати не потрібно.**

### 3.2.2 Задання граничних умов

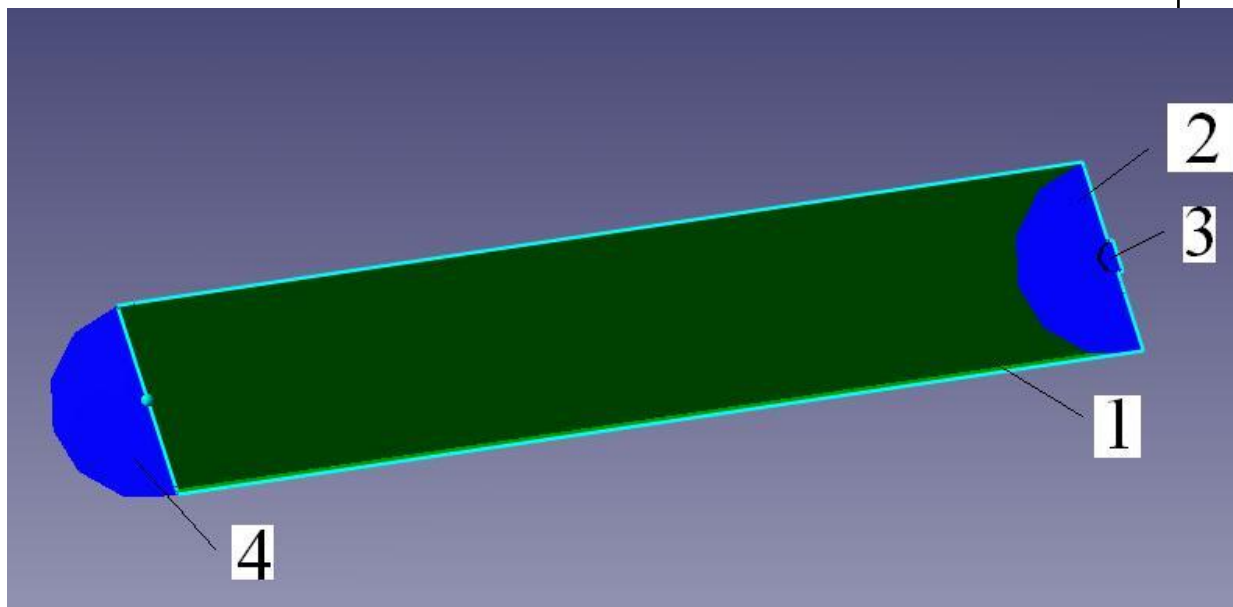


Рис.3.17 Задання граничних умов

1) На границі 1 - гранична умова стінки з логарифмічним профілем швидкості у стінки (Стінка → Стінка, логарифмічний закон).

2) На ганиці 2 - гранична умова входу з концентрацією  $C = 0$  і нормальною швидкістю  $V = 0.55$  м/с (Вхід/Вихід → Нормальний вхід/вихід → значення швидкості дорівнює 1) і турбулізації в 1% з розмірами вихорів 1/10 ширинивходу 0 (пульсації = 0.01, масштаб турбулізації = 0.1).

3) На границі 3- гранична умова входу з концентрацією  $C = 1$  і нормальною швидкістю  $V = 10$  м / с (Вхід / Вихід → Нормальний вхід /вихід → значенняшвидкості дорівнює 10) і турбулізації в 1% з розмірами вихорів 1/10 ширинивходу 1 (пульсації = 0.01, масштаб турбулізації = 0.01).

4) На границі 4 - гранична умова вільного виходу з нульовим тиском  $p = 0$  (Вільний вихід → Нульовий тиск / вихід).

### 3.2.3 Створення розрахункової сітки

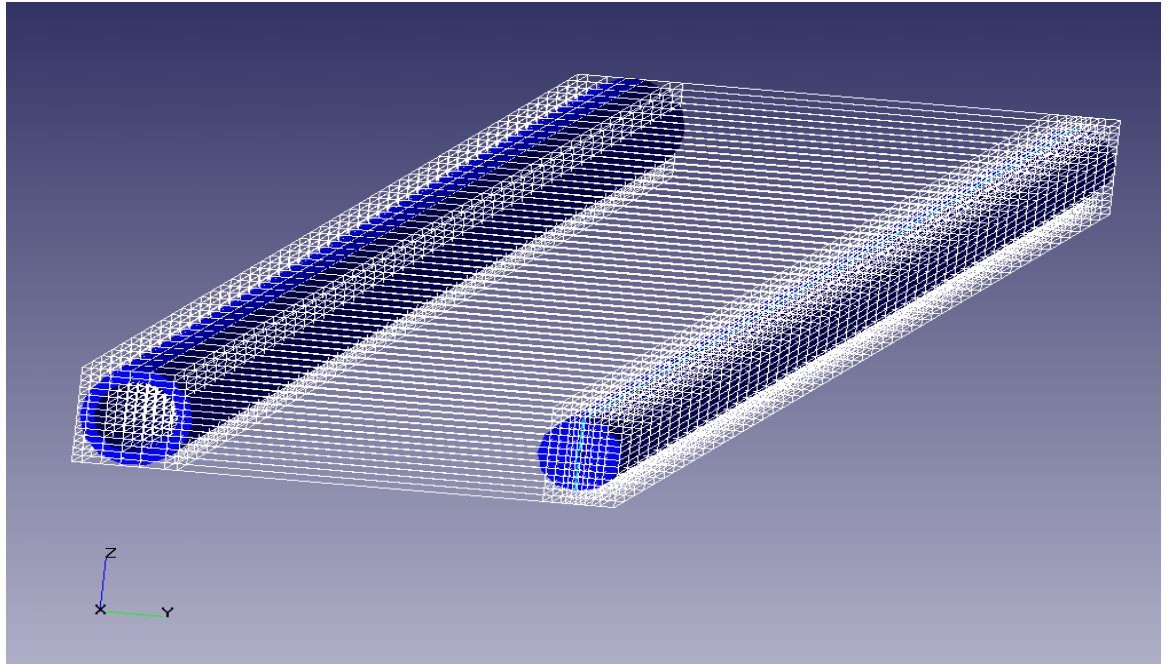


Рис.3.18.розрахункова сітка

Спочатку задамо рівномірну розрахункову сітку  $10 \times 50 \times 15$ . Потім згустив сітку до  $16 \times 56 \times 15$  за напрямками X і Y біля входу пари для підвищення точності розрахунку саме в цій області. Отримаємо сітку, що складається з 13440 розрахункових комірок:

### 3.2.4 Задання методів розрахунку

Параметри методів розрахунку задаються в папці Параметри методу. При створенні нового варіанту автоматично вводяться параметри за замовчуванням, більшість з яких вже мають оптимальні значення. У цьому варіанті для концентрації необхідно вибрати метод розрахунку Ступенева функція 0..1, тому що в даній задачі буде присутній різка межа розділу двох середовищ.

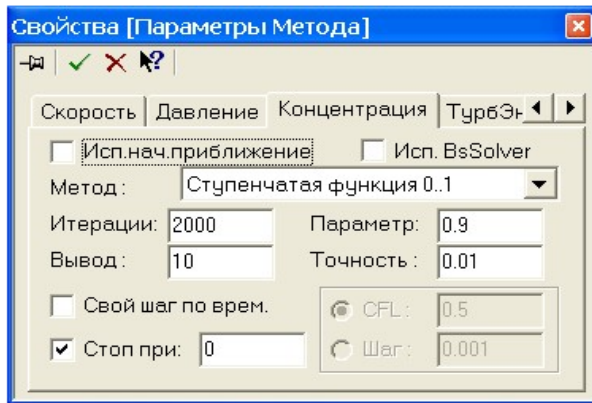


Рис3.20 .параметри метода

### 3.2.5 Задання глобальних параметрів.

Завдання глобальних параметрів здійснюється в папці Загальні параметри. Тут задаються параметри продовження розрахунку, вектор сили тяжіння, часрозрахунку і збереження варіанта, крок за часом і опції процесу розрахунку. В даній задачі потрібно завдання схеми розрахунку за часом і кроку за часом. Вибір схеми розрахунку за часом здійснюється на сторінці Налаштування:

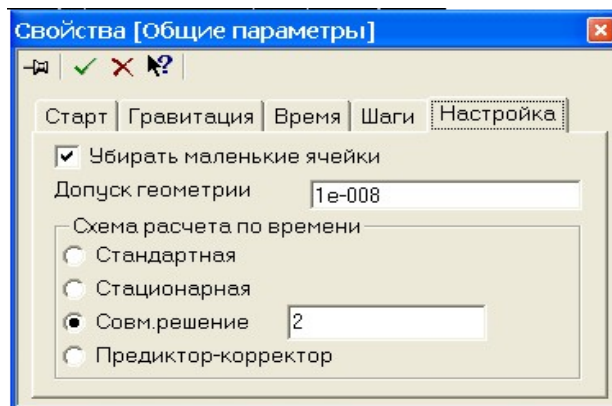


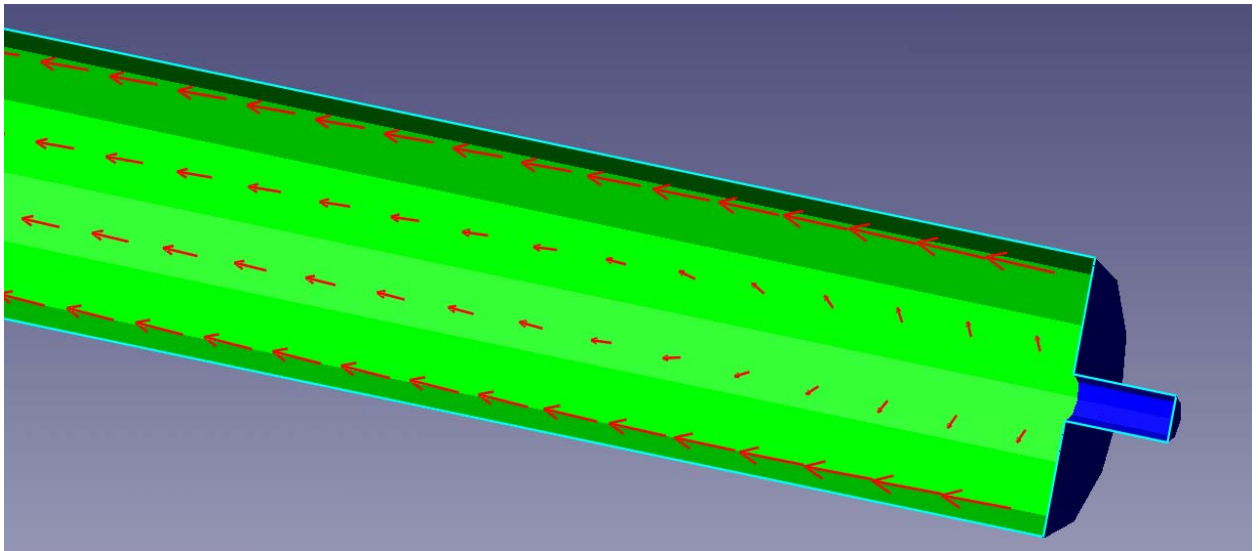
Рис.3.21 Властивості загальних параметрів

Для задач про масопереніс незмішуваних компонент необхідно використовувати схему **Совм. решение**.. Вибір кроку за часом здійснюється на сторінці **Шаги**.

В даній задачі використовується модель **Несжимаемая жидкость**, тому можна задавати фіксований крок за часом, виходячи з пролітного часу.

Мінімальний характерний розмір (розмір бічного входу) дорівнює 0.1 метрам,максимальна швидкість 25 м/с, таким чином пролітна час дорівнює 0.01секундам і крок можна покласти рівним 0.001 секундам.

### 3.2.6 Отримання результатів та їх узагальнення.



**Рис. 3.22** Скриншот векторів швидкості

За рис. 3 можна сказати , що утфельна маса разом із парою , що вдувається рухається рівномірно вздовж труби.

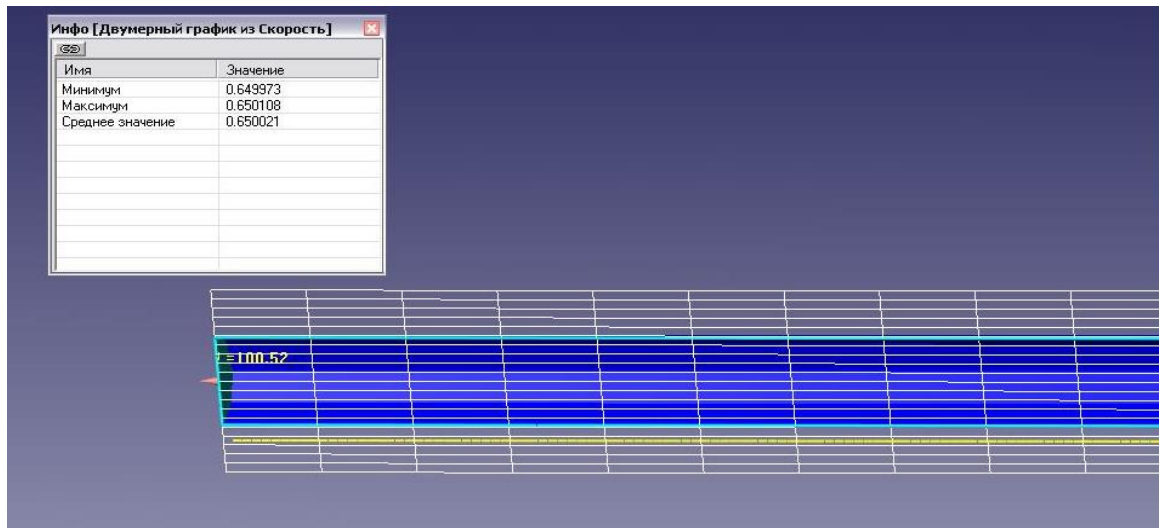


Рис. 3.24. Скриншот графіку швидкості

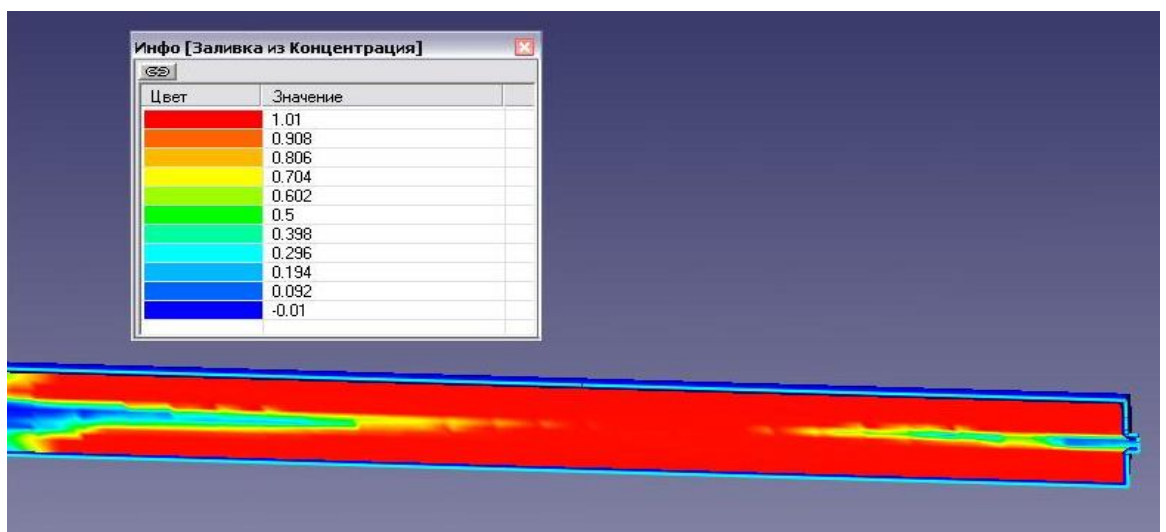


Рис.3.25 Скриншот концентрації

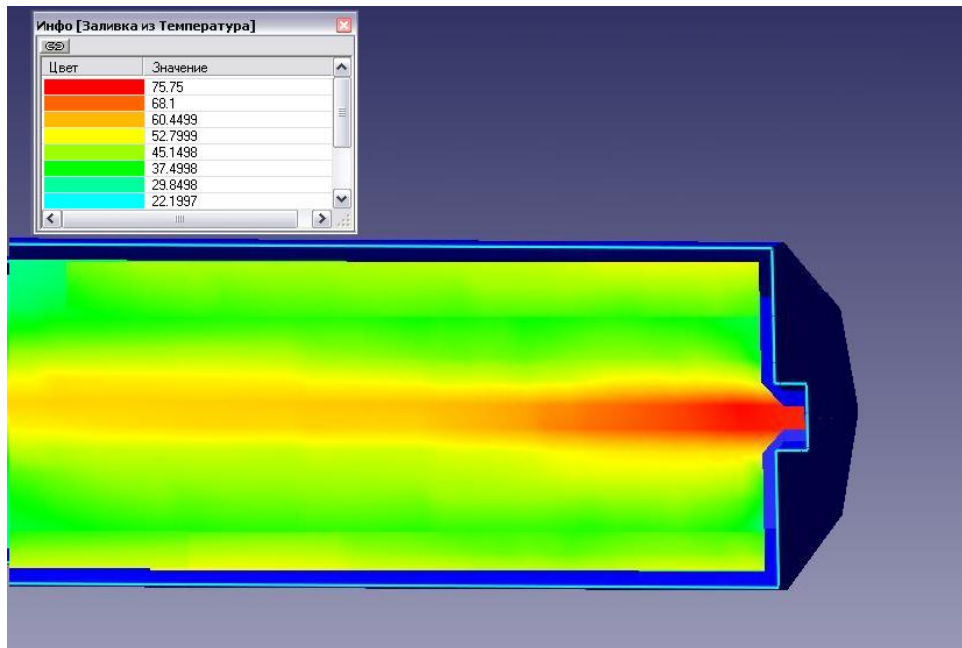


Рис. 3.26 Скриншот температуры

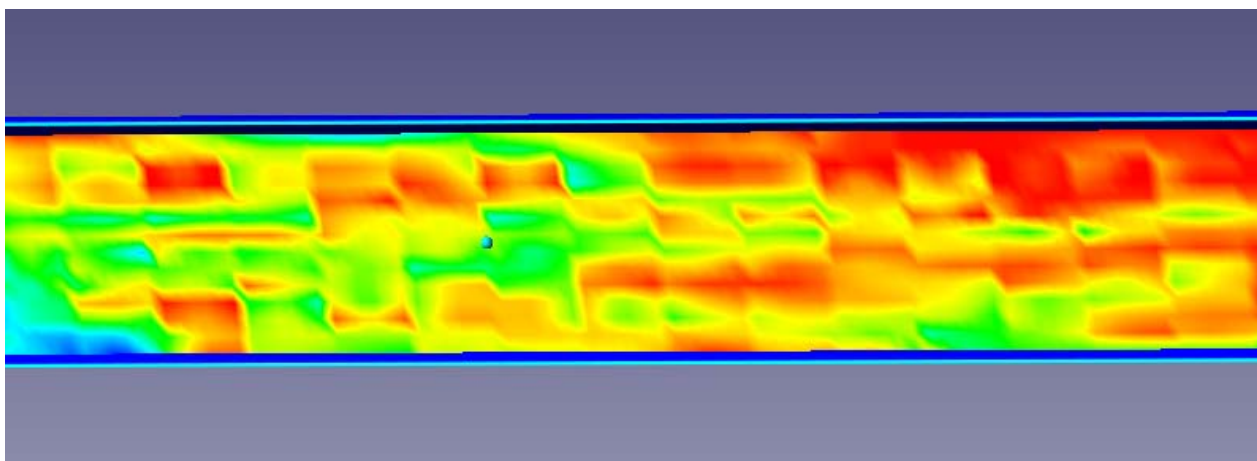


Рис 3.27 Скриншот густини

**Висновок:** виконавши моделювання руху утфеля в трубці вакуум-апарата при додатковому вдуванні пари і без були отримані експериментальні дані та проаналізовані результати. Можна зробити висновок, що при додатковому вдуванні пари швидкість руху утфеля дійсно збільшуються.

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розглянуті дослідження інтенсифікації процесів гідродинаміки з вакуум-апараті при кристалізації утфеля.

Виконавши моделювання руху утфеля в трубці вакуум-апарата при додатковому вдуванні пари і без були отримані експериментальні дані та проаналізовані результати. Можна зробити висновок, що при додатковому вдуванні пари швидкість руху утфеля дійсно збільшуються.

Запропонована модернізована конструкція вакуум-апарата періодичної дії, оснащеного пристроєм для вдування пари дозволяє інтенсифікувати процес кристалізації утфеля і таким чином покращити гранулометричний склад цукру.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Висновки</b>	<b>14-2692.ДП.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гулый И.С. Непрерывная варка и кристаллизация сахара. М.: Пищевая пром-сть, 1976. 267с.
2. Горяжа В.Т. и др. Интенсификация процесса уваривания утфелей. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1981. 152с.
3. Азрилевич. М. Я. Технологическое оборудование свеклосахарных заводов: Учеб. / 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 319 с.
4. Технологическое оборудование сахарных заводов [Текст]: учебник / С. М. Гребенюк, Ю. М. Плаксин, Н. Н. Малахов, К. И. Виноградов. М.: КолосС, 2007. 520 с.
5. Дослідження впливу введеної зовні водяної пари на інтенсивність випарювання цукрових розчинів /Погорілий Т.М., Бабко Є.М., Мирончук В.Г., Гулий І.С. – К.: Харчова пром., 2000. Вип. 45. С. 14 – 17.
6. Бабко Е.Н., Погорелый Т.М., Мирончук В.Г. Влияние ввода извне водяного пара на уваривание сахарных растворов и утфелей // М.: Сахар. 1999. №3. С. 16 – 17.
7. Стабников В.Н., Баранцев В.И. Процессы и аппараты пищевых производств.- М.:Легкая и пищевая промышленность, 1983. 328с.
8. Павелко В.І., Потапський Д.В. Інтенсифікація процесів тепло масообміну і гідродинаміки у вакуум-апаратах цукрового виробництва; Наукові праці НУХТ, 2010, № 32, с.39-43.
9. Интенсификация процесса уваривания утфелей / В. Т. Горяжа, В. Р. Кулинченко. М.: Лёгкая и пищевая пром-сть, 1981. 152с.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Список використаних джерел</b>	<b>14-2692.ДП.08.000 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук В.Г.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

10. Система моделювання руху рідини та газу FlowVision. Інструкція користувача. М.: ТЕСИС, 2006, 332 с.
11. Попов В. Д. Основи теорії тепло- та масообміну при кристалізації цукру. М.: Харківська промисловість, 1973, 320 с.
12. Основи охорони праці, безпеки життєдіяльності та цивільного захисту населення: навч. посіб. / Я. І. Бедрій, О. В. Станіславчук, Р. М. Івах, В. О. Рощин ; ред. Я. І. Бедрій. К. : Кондор, 2014. 458 с.

# 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Україна належить до традиційно цукрових держав світу, що зумовлюється досить сприятливими ґрунтово-кліматичними та економічними умовами для розвитку буряківництва й виробництва цукру. Коріння галузі сягає 20-х років ХІХ століття. Однак її матеріально-технічна база неодноразово зазнавала значного руйнування, а вирощування цукрових буряків опинялось у кризі, як це, зокрема, бачимо і в останні роки.

Існує істотний брак багатьох ресурсів, необхідних для розвитку української цукрової промисловості. Це, насамперед, капітал, енергія та добрива. За кожен КВт енергії, кожен тону добрив, витрачені на виробництво цукру в Україні, треба заплатити, до того ж їх уже не можна буде використати в інших галузях. Те саме стосується й кожної гривні інвестицій. Виграє чи програє Україна від того, що ці обмежені ресурси буде використано саме на виробництво цукру, а не на інші цілі, залежить від відносної конкурентоспроможності виробництва цукру.

Загалом цукробурякове виробництво в нашій державі перетворилося з експортно-стратегічної галузі економіки на дотаційну, що реально загрожує неповним забезпеченням навіть власних потреб цим важливим продуктом.

Отже основними причинами кризових явищ у бурякоцукровій галузі є:

- загальна економічна криза і послаблення ролі держави у розвитку бурякоцукрового виробництва;
- втрата економічної зацікавленості виробників у вирощуванні цукросировини;
- недосконалість механізмів економічного регулювання виробництва, що призвело до серйозних соціальних наслідків – втрати

Відповідальна організація <i>НУХТ</i>	Технічне узгодження Миколай ІМ	Вид документа <i>Пояснювальна записка</i>		Статус документа			
Власник документа <i>НУХТ</i>	Розробник документа Локатило В.	Назва, додаткова назва Аналітичний огляд стану питання		14-2692.ДП.08.001 ПЗ			
	Документ затверджено Мирончук ВГ.			Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

- робочих місць, зниження рівня заробітної плати, росту заборгованості, зменшення надходжень до бюджетів усіх рівнів;
- незавершеність і недосконалість приватизаційних процесів у бурякоцукровій галузі;
- порушення цінового паритету, що спричинило вимивання обігових коштів спочатку сільськогосподарських товаровиробників, а згодом і цукрової промисловості;
- втрата зовнішніх ринків збуту цукру;
- практична відсутність кредитування виробника, що вимушено призвело до переходу на давальницькі схеми переробки сировини і бартерні відносини у галузі;
- нерозвиненість ринкових відносин у сфері виробництва, переробки і реалізації цукру;
- інтервенція на український ринок цукру з тростини, цукромістких продуктів та насіння;
- майже повна відсутність інвестицій у галузь, її непривабливість для вітчизняних і зарубіжних стратегічних інвесторів;
- відсутність чіткого законодавства та правових основ організації виробництва та регулювання ринку цукру;
- різке скорочення матеріально-технічного забезпечення буряко-сіючих господарств і цукрових заводів.

#### *Пропозиції до розв'язання проблеми*

Відродження та подальший розвиток цукробурякового підкомплексу України потребує комплексної системи постійних і довгострокових заходів на рівні державної програми з відповідними законодавчими і регулюючими механізмами. Для розв'язання проблеми необхідно забезпечити структурні, функціональні, енергетичні, сировинні та інвестиційні зміни. Щодо

конкретних пропозицій до вирішення проблем я можу запропонувати наступні дії:

- Розробка програм реструктуризації та технічного переобладнання галузі.
- Формування державної політики в сфері виробництва цукрових буряків і цукру та оптової торгівлі цукром, спрямованої на захист економічних інтересів держави, прав споживачів і вітчизняних товаровиробників.
- Розробка і здійснення програм організації виробництва обладнання, приладів, машин та систем для підприємств бурякоцукрового комплексу.
- Розробка нормативно-законодавчої бази щодо формування і подальшого функціонування ринку цукру.
- Інтеграція товаровиробників і переробників цукросировини з метою збільшення обсягів виробництва цукрових буряків, здешевлення їх вартості та підвищення якості.
- Ініціювання заходів для запобігання незаконного ввезення цукру, цукромісних продуктів та насіння цукрових буряків.
- Розробка спільної програми дій на цукровому ринку країн СНД з метою визначення концепції і вироблення загальної стратегії його формування.
- Співпраця із спілками цукровиробників та трейдерами ринку цукру країн СНД та країн далекого зарубіжжя.
- Співробітництво з країнами, які не мають власного цукрового виробництва (наприклад країни Закавказзя). Тут співробітництво має будуватись на умовах міждержавної виробничої кооперації, використовуючи можливості українських цукрових заводів по переробці цукру-сирцю тростинного.

- Вивчення і розповсюдження передового світового досвіду в галузі буряківництва та цукроваріння.
- Організація міжнародного навчання спеціалістів, проведення міжнародних виставок, ярмарок аукціонів, відряджень українських фахівців за кордон та прийому іноземних партнерів.
- Створення єдиної електронної інформаційної мережі підприємств і організацій бурякоцукрового комплексу.
- Створення інформаційно-технічної бази даних, що стосується виробництва та оптової торгівлі цукром.
- Розробка класифікаторів, стандартів на насіння і фабричні цукрові буряки, товарів експлуатаційної надійності, безпеки та ін.
- Створення вітчизняних і спільних високопродуктивних гібридів з високою якістю насіння та технологічними якостями сировини.
- Збільшення питомої ваги високопродуктивних гібридів з переходом на них протягом 2-3 років на всій площі.
- Забезпечення внутрішньої сертифікації насіння еліти і фабричної генерації з видачею сертифіката встановленої форми.
- Вирішення питання щодо реального надання пільгових кредитів, як це передбачено Законом України “Про державне регулювання виробництва і реалізації цукру”.
- Здійснення оснащення машинно-технологічних станцій при цукрових заводах та забезпечення необхідною кількістю засобів захисту рослин за рахунок виділення коштів по лізингу.
- Передбачити державну підтримку в забезпеченні цукрових заводів, паливно-мастильними матеріалами.
- Визначення на конкурсних засадах базових підприємств, які будуть працювати для забезпечення цукром внутрішнього ринку України.

- Переорієнтація цукрових заводів на виробництво цукровмісних продуктів (меляса, сиропи та інш.) для випуску паливного етанолу, використовуючи наявну нормативно-правову базу та напрацьований досвід.

### *Обґрунтування пропозицій і вибір альтернатив*

Подолання кризової ситуації й відродження конкурентоспроможності українського цукру на світовому ринку стало національною проблемою, розв'язання якої водночас на макро- і мікрорівнях має не тільки важливе економічне, а й політичне значення.

Звичайно, самого лише сприятливого інвестиційного клімату недостатньо, щоб залучити інвестиції в українську цукрову промисловість. Приватні інвестори лише тоді надаватимуть капітал, коли будуть впевнені у конкурентній рентабельності своїх інвестицій. А це, в свою чергу, залежить від конкурентоспроможності виробництва цукру в Україні

### *Необхідні ресурси і умови*

Сьогодні для розвитку цукробурякового комплексу України – крім необхідності впровадження сучасних технологій вирощування цукрових буряків, достатнього забезпечення бурякосіючих господарств високоякісним насінням, мінеральними добривами і засобами хімічного захисту рослин, підвищення якості машинного парку – дедалі актуальнішого значення набуває якнайшвидша реконструкція та модернізація цукрових заводів, розширення їхніх виробничих потужностей до економічно оптимальних меж.

Частка сучасного устаткування становить там не більше 30%, решта – застаріле. Відтак виробництво цукру в Україні значною мірою не відповідає європейським стандартам. Йдеться, зокрема, про невисокий вихід цукру,

втрати при споживанні теплової й електричної енергії, води та ін., що негативно позначається на загальній економічній ефективності виробництва.

Очевидно, що реконструкцію та модернізацію слід здійснити насамперед на тих ділянках технологічного процесу переробки цукрових буряків і наступних супутніх продуктів (сік, сироп, рафінад), де можна чекати принципово позитивного впливу на споживання теплової й електричної енергії. Одночасно досягається істотне підвищення якості як проміжних продуктів, так і кінцевого, а також підвищення економічних параметрів їх виробництва.

Можна зробити висновок що, одним з невідкладних питань, що стоять перед вітчизняними спеціалістами цукрової промисловості, є зниження питомих витрат сировини, палива та інших матеріалів, збільшення виходу продукції та поліпшення її якості за рахунок впровадження інтенсивних технологій, створення та забезпечення галузі високопродуктивним обладнанням, що забезпечить збільшення ефективності виробництва в цілому. Тому розробка та подальше вдосконалення способів кристалізації цукру та його апаратурного оформлення залишається в центрі уваги вітчизняних та зарубіжних науковців як одне з найважливіших завдань.

Магістерська робота присвячена вирішенню цих питань з метою подальшого розвитку теорії та практики тепло-масообмінних процесів при кристалізації цукру, зменшення матеріальних витрат та енергетичних ресурсів, втрат цукру при його виробництві та покращання якості готової продукції.

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

Забезпечення конкурентоспроможності виробленого в Україні цукру на внутрішньому та зовнішньому ринках є актуальним завданням сьогодення. Одним з невідкладних питань, що стоять перед вітчизняними спеціалістами цукрової промисловості, є зниження питомих витрат сировини, палива та інших матеріалів, збільшення виходу продукції та поліпшення її якості за рахунок впровадження інтенсивних технологій, створення та забезпечення галузі високопродуктивним обладнанням, що забезпечить збільшення ефективності виробництва в цілому. Тому розробка та подальше вдосконалення способів кристалізації цукру та його апаратурного оформлення залишається в центрі уваги вітчизняних та зарубіжних науковців як одне з найважливіших завдань.

Магістерська робота присвячена вирішенню питання інтенсифікації гідродинамічних процесів у вакуум-апаратах з метою покращення якості цукру, зменшення матеріальних витрат, енергетичних ресурсів та втрат цукру при його виробництві.

##### *Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування*

На рис.4.1 наведено вакуум-апарат з пристроями для додаткового вдування пари.

Вакуум-апарат має зварний корпус 1, всередині якого підвішені гриюча камера 2 і ловушка-сепаратор 3. Гриюча камера складається трубної решітки 4, в середині якої знаходиться циркуляційна труба 5. Пара в гриючу камеру потрапляє через пристрій 6. Парова камера в апараті підвіщується за допомогою

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва додаткова назва</i> Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи	14-2692.ДП.08.004 ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк ВГ.		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1	

кронштейнів. Між корпусом гріючої камери і корпусом апарату є кільцевий простір для циркуляції утфелю. Для відокремлення крапель продукту, що уносяться вторинною парою, у верхній частині апарату встановлена ловушка-сепаратор 3, днище якої виконує роль відбійного щитка. Пристрої для додаткового вдування пари 7 розміщують під гріючою камерою. В нижній частині апарату для спуску утфелю встановлений спускний клапан 8.

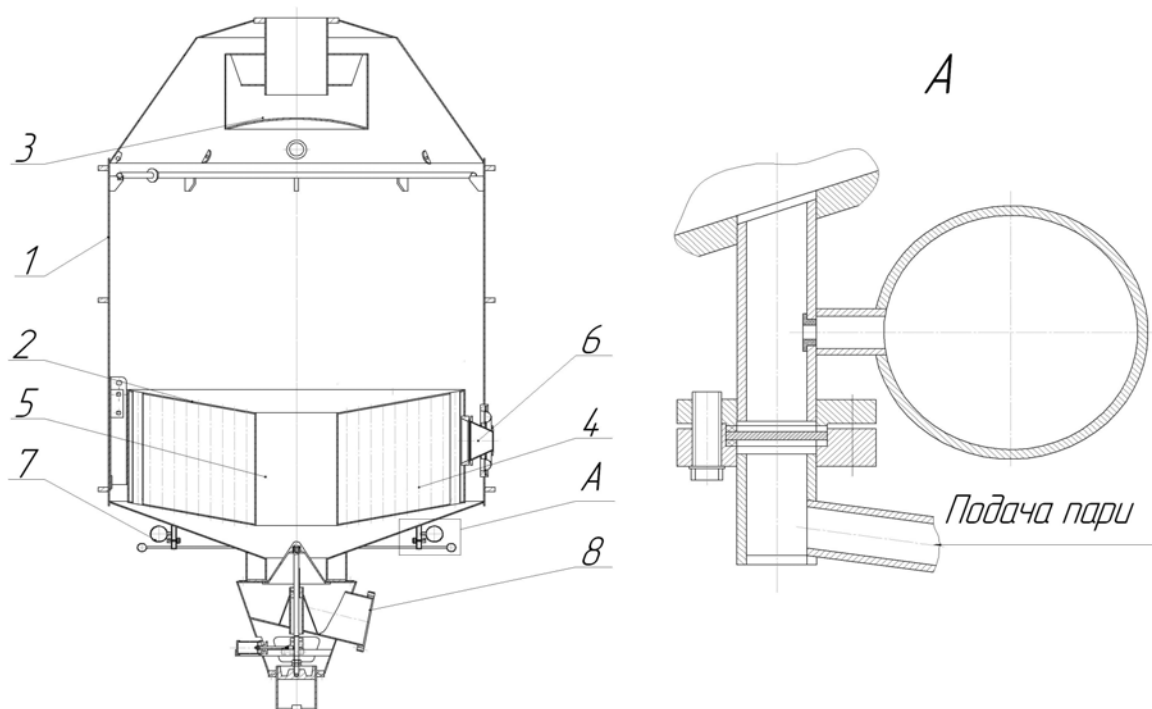


Рис 4.1 вакуум-апарат з пристроями для додаткового вдування пари

Вакуум-апарат працює таким чином. Перед початком уварювання апарат підключають до лінії розрідження і створюють в ньому вакуум. Потім наповнюють апарат цукровим сиропом до тих пір, поки гріюча камера 2 повністю не заповниться. Ловушка-сепаратор 3 вловлює краплі вторинного пару. Під час уварювання продукт циркулює через трубну решітку 4 і циркуляційну трубу 5. Для підігріву продукту через пристрій 6 та додаткові пристрої 7 подається пара в гріючу камеру 2. Після уварювання туфель відводиться з апарату через спускний клапан 8.

## 5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 5.1. Розрахунок камери.

#### 5.1.1 Розрахунок маси грюючої камери.

Маса камери складається з суми мас окремих її частин: трубних решіток, трубок, центральної циркуляційної труби. Всі розрахунки ведуться за формулою об'єму для циліндричного тіла:

$$V = \pi \times h \times (r^2 - r_1^2); \quad (5.1)$$

де,  $h$ - висота тіла, (м)

$r$ - зовнішній діаметр циліндра (м),

$r_1$ - внутрішній діаметр циліндра, (м).

Об'єм однієї трубки:

$$V_1 = \pi \times h \times (r^2 - r_1^2) = 3,14 \times 1,2 \times (0,051^2 - 0,0475^2) = 0,00129 \text{ м}^3,$$

де  $h=1,2$  м -висота трубки в граючій камері.

Так як в камері розташовано 507 трубок, то загальний їх об'єм буде:

$$V_{\text{заг}} = V_1 \times n = 0,00129 \times 507 = 0,658 \text{ м}^3.$$

Об'єм циркуляційної труби:

$$V_{\text{ц}} = 3,14 \times 1,2 \times (0,81^2 - 0,8^2) = 0,061 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм металу в розподільчій камері буде:

$$V_{\text{пов}} = V_{\text{заг}} + V_{\text{ц}} = 0,658 + 0,061 = 0,719 \text{ м}^3.$$

Так як майже всі деталі камери виготовлені зі сталі марки Ст 5, приймаємо густину металу  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>. Тоді маса камери буде:

$$M = V_{\text{пов}} \times \rho; \quad (5.2)$$

$$M = V_{\text{пов}} \times \rho = 0,719 \times 7800 = 5608,2 \text{ (кг)}$$

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Миколай ІМ	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Локатило В.	Назва, додаткова назва <b>Розрахункова частина</b>	14-2692.ДП.08.005 ПЗ			
	Документ затверджено Мирончук В.Г.		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

Приймаючи до уваги те, що під час зборки маса конструкції збільшиться за рахунок зварних швів, пристрою для відведення конденсату, повну масу камери приймаємо 5615 кг, і подальші розрахунки ведемо саме за цим значенням.

### 5.1.2. Розрахунок болтів для закріплення розподільчої камери

За умови рівномірного розподілу маси камери між чотирма точками закріплення, діаметр одного болта буде:

$$d_{\delta} = ((P/n \times 4) / (\pi \times [\tau]))^{1/2} \quad (5.3)$$

де P- вага камери (Н),

$[\tau] = 1500 \text{ Н/см}^2$  - допустиме напруження зрізу, для Ст3.

До установки приймаємо болти М24.

$$d_{\delta} = ((P/n \times 4) / (\pi \times [\tau]))^{1/2} = ((55027/12 \times 4) / (3,14 \times 1500))^{1/2} = 1,94 \text{ см.}$$

### 5.1.3 Розрахунок корпусу камери

Корпус камери працює під внутрішнім надлишковим тиском, тому необхідно розраховувати обечайку камери:

$$\delta = P \times D / (2 \times [\sigma] \times \varphi) + C, \quad (5.4)$$

де P=0,395 МПа- внутрішній тиск гріючої пари,

D=3,350 м - внутрішній діаметр корпусу камери,

$[\sigma] = 131 \text{ Н/м}^2$  - допустиме напруження на розрив матеріалу(Ст3),

$\varphi = 0,8$  - коефіцієнт міцності зварного шва,

C=0,001 м - прибавка на корозію.

Тоді:

$$\delta = 0,395 \times 3,350 / (2 \times 131 \times 0,8) = 7,3 \text{ мм}$$

Конструктивно приймаємо  $\delta = 12 \text{ мм}$ .

### 5.1.4. Розрахунок товщини трубної решітки.

Товщина трубної решітки розраховується за такою формулою:

$$\delta_1 = ((S_{\Pi} / ([\sigma] \times y_1) + (9P_0 \beta_2^2 \times (D_{\max} - D_{cp}) / ([\sigma] \times D_{\max} \times y_2)))^{1/2} \quad (5.5)$$

де  $S_{\Pi} = S_K + S_T = 3$

$H$  – повне осьове зусилля, Н.

$$S_K = S_1 \times F_k \times E_k / (E_T \times F_T \times E_k \times F_k) \quad (5.6)$$

$$S_K = S_1 \times F_k \times E_k / (E_T \times F_T \times E_k \times F_k) = 3 \times 0,14 \times 78 \times 10^5 / (0,54 \times 78 \times 10^5 + 0,14 \times 78 \times 10^5) = 0,62(H)$$

- зусилля, що сприймається корпусом.)

$$S_T = S_1 \times F_T \times E_T / (E_T \times F_T + E_K \times F_k) \quad (5.7)$$

$$S_T = S_1 \times F_T \times E_T / (E_T \times F_T + E_K \times F_k) = 3 \times 0,54 \times 78 \times 10^5 / (0,54 \times 78 \times 10^5 + 0,14 \times 78 \times 10^5) = 2,38 (H)$$

- зусилля, що сприймається трубками.

$$S_1 = 0,785 \times (D_B^2 - d_H^2) \times P_K + 0,785 \times n \times d_B^2 \times P_T \quad (5.8)$$

$$S_1 = 0,785 \times (D_B^2 - d_H^2) \times P_K + 0,785 \times n \times d_B^2 \times P_T = 0,785 \times (3,716^2 - 507 \times 0,102^2) \times 0,395 + 0,785 \times 507 \times 0,095^2 \times 0,1 = 3 (H)$$

- осьове зусилля,

де  $D_B = 3,716$ ,  $D_H = 3,740$  - внутрішній і зовнішній діаметри корпусу вакуум- апарату, м;

$d_B = 0,102$ ,  $d_H = 0,095$  - внутрішній і зовнішній діаметри трубок, м;  
 $P_K = 0,395$ ,  $P_T = 0,1$  - тиск середовища в камері і в трубках, МПа;  $n = 507$  - кількість трубок в камері, шт.;

$$F_k = 0,785 \times (D_3^2 - D_B^2) \quad (5.9)$$

$F_k = 0,785 \times (D_3^2 - D_B^2) = 0,785 \times (3,74^2 - 3,716^2) = 0,14 \text{ м}^2$  - площа перерізу корпусу

$F_k = 0,785 \times n \times (D_3^2 - D_B^2) = 0,785 \times 507 \times (3,74^2 - 3,716^2) = 0,54 \text{ м}^2$  - площа перерізу трубок.

$E_K = E_T = 78 \times 10^5 \text{ Н/м}^2$  - модуль пружності матеріалу трубок і корпусу.

$$y_1 = \pi \times (1 + 2 \times \beta_1^2) \quad (5.10)$$

$$U_1 = \pi \times (1 + 2 \times \beta_1^2) = 3,14 \times (1 + 2 \times 1,05) = 10$$

$\beta_1$ -відношення діаметра середнього кола корпуса до діаметра кола крайнього ряду трубок.

$$U_2 = \pi \times (1 + 2 \times \beta_2^2) = 3,14 \times (1 + 2 \times 1,17) = 11,7$$

$\beta_2$ -відношення максимального діаметра трубної решітки до середнього.

$D_{\text{макс}} = 3,532$  м - максимальний діаметр камери для її кріплення.

$$D_{\text{ср}} = D_{\text{макс}} - 0,5 = 3,532 - 0,5 = 3 \text{ м}$$

$\delta_1 = (3 / (150 \times 10) + 9 \times 15000 \times 1,17^2 \times 0,532 / (150 \times 3,532 \times 11,7))^{1/2} = 4,3$  мм.

Для надійної розвальцьовки трубок приймаємо  $\delta_1 = 12$  мм.

## 5.2. Розрахунок поверхні теплообміну.

Вихідні дані та умови для розрахунку:

1. Труби поверхні теплообміну  $\varnothing 102 \times 3,5$  мм ДСТУ 8734-75;
2. Кількість труб 507 шт.
3. Матеріал труб: сталь 12Х18Н10Т – ДСТУ 2651:2005;
4. Тиск :  
в надсоковій камері – до 0,093 МПа;  
в паровій камері – до 0,2 МПа;
5. Температура кипіння соку – до 74<sup>0</sup>С;
6. Внутрішній діаметр корпуса апарата – 3740 мм;
7. Матеріал корпуса апарата Ст3 ГОСТ 380-71.

Фактична площа поверхні теплообміну; м<sup>2</sup>:

$$F = \pi \cdot d_{\text{ср}} \cdot L_{\text{ак}} \cdot n = 3,14 \cdot 0,102 \cdot 507 \cdot 1 = 170 \text{ м}^2$$

## 5.3. Розрахунок товщини стінки корпуса апарата (циліндричної оболонки)

Товщину стінки апарата визначаю за формулою; (мм):

$$S_p = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi_p - P}; \quad (5.11)$$

де  $P$  – розрахунковий внутрішній тиск;  $P = 0,2$  МПа;

$D$  – внутрішній діаметр корпусу апарата;  $D = 3740$  мм;

$[\sigma]$  – допустиме напруження для матеріалу оболонки при роботі апарата під тиском та розрідженням приймаю  $[\sigma] = 126$  МПа;

$S_p$  – товщина стінки парової камери;

$\varphi_p$  – коефіцієнт міцності поздовжнього зварного шва;

Приймаємо  $\varphi_p = 0,9$ .

$$S_p = \frac{0,2 \cdot 3740}{2 \cdot 126 \cdot 0,9 - 0,2} = 3,27$$

Виконавча товщина стінки корпусу:

$$S = S_p + C;$$

де  $C$  – прибавка до розрахункової товщини; (мм):

$$C = C_1 + C_2 + C_3; \quad (5.12)$$

де  $C_1$  – прибавка для компенсації корозії та ерозії; приймаю  $C_1 = 1,0$ ;

$C_2$  – прибавка для компенсації від'ємного допуску; приймаю  $C_2 = 0,8$ ;

$C_3$  – технологічна прибавка; приймаю  $C_3 = 0$ ;

$$C = 1 + 0,8 + 0 = 1,8;$$

$$S \geq 3,27 + 1,8 = 5,07;$$

Приймаю товщину стінки корпусу апарата  $S = 12$  мм.

### 5.3.1. Перевірка міцності при гідравлічному випробуванні.

При гідравлічному випробуванні гріючої камери тиск підіймають до 0,4 МПа.

Допустиме напруження в стінці апарата  $[\sigma] = 160$  МПа, при цьому товщина стінки; (мм):

$$S_e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - p} \leq S; \quad (5.13)$$

Для стінки парової камери:

$$S_e = \frac{0,4 \cdot 3350}{2 \cdot 160 \cdot 0,9 - 0,4} = 4,65 < S = 12; \text{ – умова міцності виконується;}$$

Для стінки надсокової камери:

$$S_e = \frac{0,4 \cdot 3740}{2 \cdot 160 \cdot 0,9 - 0,4} = 5,1 < S = 10; \text{ – умова міцності виконується;}$$

#### **5.4.Розрахунок основних патрубків.**

Визначаємо діаметр патрубка для вдування пари у гріючу камеру, м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{3600 \cdot \pi \cdot \omega}}; \quad (5.14)$$

d – внутрішній діаметр патрубка;

V – витрата пари, V = 39088 м<sup>3</sup>/год;

$\omega_{гр.п.}$  = 30 м/с – швидкість пари;

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 39088}{3600 \cdot 3,14 \cdot 30}} = 0,675;$$

Приймаємо 2 патрубки Ø 0,335 м

**Визначаю діаметр патрубка для відводу конденсату:**

V = 68 м<sup>3</sup>/год – кількість відведеної пари за годину. Швидкість відводу

$\omega_k = 0,7$  м/с; м:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 68}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,7}} = 0,1;$$

Приймаємо патрубков Ø 0,1 м

**Визначаю діаметр патрубка для підводу соку:**

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 120}{3600 \cdot 3,14 \cdot 1}} = 0,2;$$

Нам потрібно за 6 хвилин заповнити по вимогам гріючу камеру на 1/3 сиропом . Це означає що  $V = 12 \text{ м}^3$  за 6 хв, а отже  $V = 120 \text{ м}^3 / \text{год}$  .Також приймаємо швидкість подачі сиропу  $\omega_c = 1 \text{ м/с}$ .

Приймаємо патрубок  $\varnothing 0,220\text{м}$

**Визначаю діаметр патрубка для відбору утфеля :**

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 154.4}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,1}} = 0,54 (\text{м})$$

Нам потрібно за 12 хвилин відвести утвель з апарату . Це  $30.9 \text{ м}^3$  за 12 хвилин. Таким чином  $V = 154.4 \text{ м}^3 / \text{год}$  .Також приймаємо швидкість спуску утфеля прийнявши  $\omega_{в.с.} = 0,1 \text{ м/с}$

Приймаємо  $d = 0,6 \text{ м}$ .

**Залежно від кількості водяної пари, яку треба ввести ззовні, розраховують необхідний діаметр паропроводу, що підводиться:**

Діаметр патрубка для додаткового вдування гріючої пари:

$$d_n = 1,13 * \sqrt{\frac{D}{\rho_{сп.пару} * w * n}} ; \quad (5.15)$$

де  $D$  – кількість підведеної пари, кг/с;

$$D = 0,171 \text{ кг/с}$$

$$\rho_{сп.пару} = 0,6999 \text{ кг/м}^3; \text{ при } t = 105^\circ\text{C}$$

$n = 1$  - кількість патрубків;

$w$  - швидкість подачі пари,  $w = 20\text{-}60 \text{ м/с}$ ;

Приймаємо  $w = 35 \text{ м/с}$ .

$$d_n = 1,13 * \sqrt{\frac{0,171}{0,6999 * 40 * 1}} = 0,09\text{м};$$

Приймаємо 12 патрубків , кожний  $d_n = 7.5\text{мм}$ .

Площа перерізу паропроводу, що підводиться, визначається за формулою, м<sup>2</sup>:

$$F_{нар} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (5.16)$$

$$F_{нар} = \frac{\pi \cdot 0.09^2}{4} = 0.0064 \text{ м}^2$$

Залежно від кількості точок підведення пари визначають діаметр колекторів, що підводяться, м:

$$d_n = \sqrt{\frac{n \cdot F_{нар}}{\pi}}; \quad (5.17)$$

$$d_n = \sqrt{\frac{12 \cdot 0,0064}{3,14}} = 0.16 \text{ (м)}$$

де:  $n$  – кількість колекторів, що підводяться.

Сумарна площа отворів для виходу пари в утфельну масу має забезпечувати підтримання в паропроводі, що підводиться, заданого тиску.

Для цього має виконуватись умова:

$$F_{отв} \geq \sum F_{отв}, \quad (5.18)$$

$$0.1 \geq 12 * 0.008$$

де  $\sum F_{отв}$  – площа отворів для введення пари, м<sup>2</sup>.

Задаючись діаметром отворів для введення пари  $d_1$  розраховують їх кількість:

$$n = D / [0,67 d^2_0 \sqrt{(0,02 + 0,48 p_1) (p_1 - p_2) * 100}], \text{ шт} \quad (5.19)$$

де:

$p_1$  і  $p_2$  абсолютний тиск пари в трубі і камері.

$$n = 0.181 / (0,67 * 4^2 \sqrt{(0,02 + 0,48 * 3,5) (3,5 - 0,3) * 100}) = 12 \text{ шт.}$$

Отже 12 отворів кожний  $d = 0,08$  м

Знаючи кількість отворів  $n_{отв}$  та їхній діаметр, визначають конструкцію пристрою для введення пари .

## 6. ПІДБІР КОНСТРУКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ

Основне призначення вакуум-апарата - це уварювання утфелів 1-го, 2-го і 3-го продуктів.

Утфель є одним з основних напівпродуктів кінцевої стадії цукрового виробництва. Утфель являє собою суміш кристалів цукру і міжкристальної рідини. При його фугуванні відтік міжкристальної рідини утворює патоку.

При двохпродуктовій схемі заводу мають два види утфелів: утфель 1 і утфель 2. В результаті фугування утфеля 1 отримують білий цукор, білу і зелену патоки, а при фугуванні утфеля 2 – жовтий цукор, буру патоку і мелясу.

Утфелі містять в середньому 40...50 % кристалів цукру, 23...32 % розчиненої цукрози і деяку кількість нецукрів (до 4 % в утфелі 1 і до 20 % в утфелі 2).

Так як нецукри збільшують зношення металів в цукрових розчинах, то для визначення зносостійкості металів в середовищах продуктового відділення цукрового заводу було досліджене зношення металів в утфелі .

Лабораторні досліди зношення металів в утфелі проводили при швидкості ковзання 0,02 м/с, нормальному тискові 20 і 40 кгс/см<sup>2</sup> і кімнатній температурі.

В утфелі досліджували зношення сталі Ст5 в парі тертя з чавуном СЧ 15 – 32, бронзами Бр. ОЦС 5–5–5 і Бр. АЖ 9-4, латунню Л 62 і бабітом БН.

Утфель був приготований в лабораторних умовах і відповідав по складу утфелю 1.

При нормальному тиску 20 кгс/см<sup>2</sup> сталь Ст5 має найбільшу зносостійкість в утфелі в парі тертя з чавуном СЧ 25 – 32 і бронзою Бр. АЖ9-4; в парі з бронзою Бр. ОЦС 5-5-5, латунню Л62 і бабітом БН вона

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Локатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Підбір конструкційних матеріалів</b>		<b>14-2692.ДП.08.006 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Миронюк ВГ.			<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

зношується на 33...40 % більше, чим в парі з чавуном.

З матеріалів контртіла найбільшою зносостійкістю в цих умовах є бронза Бр. ОЦС . Її зношення майже в 2 рази менше, чим зношення чавуна. Латунь Л 62 в утфелі зношується прблизно в 1,3 рази більше, чим бронза Бр. ОЦС , але в 1,5 менше, чим чавун.

Найбільшу зносостійкістю в утфелі при нормальному тиску 20кгс/см<sup>2</sup> мають пари тертя Ст5 з бронзою Бр.ОЦС і латунню Л 62.

Кристали цукрози в утфелі виконують абразивний вплив на метали що труться. Про це свідчать багаточисельні подряпини на поверхнях тертя, розташованих паралельно напрямку руху абразивів.

Інтенсивність абразивного впливу кристалів цукру на поверхні, що труться, залежить від товщини прошарку міжкристальної рідини між ними, визначається величиною нромального тиску. Міжкристальна рідина має велику в'язкість, містить багато розчиненої цукрози і тому перешкоджає зчепленню металів. Це пояснюється значним подавленням процесів зчеплення в парі тертя Ст 5 – Бр.АЖ9-4.

При нормальному тискові 20 кгс/см<sup>2</sup> для більшості випробуваних металів ведучим є абразивне зношення; в парі тертя Ст 5 – Бр.АЖ9-4 абразивному зношенню допомагає зчеплення. Із збільшенням тиску до 40 кгс/см<sup>2</sup>

інтенсифікується процес зчеплення сталі з бронзою Бр.АЖ9-4, а в парах тертя сталі з бронзою Бр.ОЦС і латунню Л 62 зчеплення сприяє абразивному зношенню.

При високих значеннях коефіцієнта твердості ( $K > 60$ ), особливо при наявності на поверхнях, що труться рідких середовищ, ведуча роль в абразивному зношенні належить електрохімічним процесам. Тому інтенсивність зношування в цих випадках визначається головним чином корозійною стійкістю. В корозійному відношенні бронза Бр.ОЦС 5-5-5 і латунь Л 62 при нормальному тиску 20 кгс/см<sup>2</sup> зношуються в утфелі менше

чавуна, а чавун менше сталі. Зношення бронзи Бр.АЖ9-4 відбувається в основному в результаті зчеплення, а зношення бабіту БН - через наявність досить м'якої основи.

При підвищенні нормального тиску до 40 кгс/см<sup>2</sup> зменшується товщина прошарку міжкристальної рідини між поверхнями, що труться, і в парах тертя сталі з бронзами Бр.ОЦС і Бр.АЖ9-4 і латунню Л 62 відбувається інтенсивне зчеплення і абразивне зношування. В цих умовах ведуча роль в зношенні належить механічним процесам.

Абразивний вплив кристалів цукру на поверхні тертя проявляється сильніше при відсутності міжкристальної рідини.

Корпус апарата виготовляємо з сталі 45 ДСТУ 7749:2015. Гріючу камеру виготовляємо зі сталі Ст3 ДСТУ 2651:2005.

## 7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

### 7.1 Розроблення технологічного процесу складання виробу машинобудівного виробництва

Об'єктом модернізації у дипломній роботі є колонна дифузійна установка ЕКА-3. В якості виробу для розроблення технологічного процесу складання розглянемо частину привода апарату (рис. 7.1) (верхня опора).

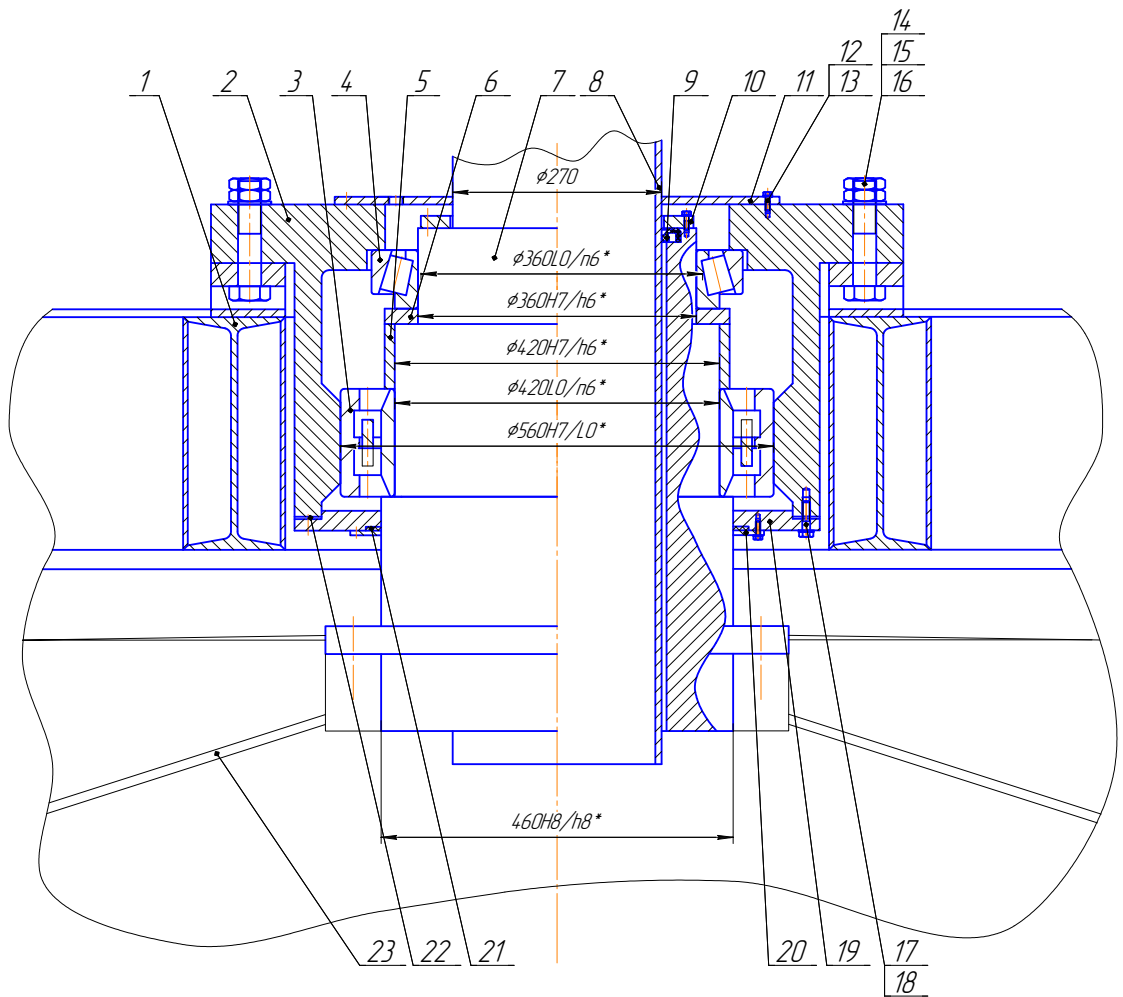


Рис.7.1 Опора трубова

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Миколай ІМ	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Локатило В.	Назва, додаткова назва Технологія машинобудування	14-2692.ДП.08.007 ПЗ			
	Документ затверджено Мирончук ВГ.		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

Даний механізм є дуже важливою складовою дифузійного апарату; вихід з ладу призведе до зупинки роботи колонної дифузії без якої завод працювати не зможе, тому важливим фактором є його якісне збирання та монтаж. Подетальний склад даного механізму представлений в табл. 7.1

Табл. 7.1

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей	Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1	Опора	1	13	Шайба 6	16
2	Стакан	1	14	Болт М30х140	14
3	Підшипник 42629/530	1	15	Шайба 30	14
4	Підшипник 2007972А	1	16	Гайка М30	16
5	Втулка	1	17	Болт М10х40	6
6	Кільце	1	18	Шайба 10	6
7	Трубовал	1	19	Нижня кришка	1
8	Труба	8	20	Кришка прокладки	1
9	Манжета 270х320	1	21	Прокладка	1
10	Кришка манжети	1	22	Прокладка	1
11	Кільце труби	1	23	Трубовал	1
12	Болт М6х20	16			

З аналізу конструкції даного механізму необхідно виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме: Ск.1 – трубовал, Ск.2 – стакан, Ск.3 – нижня кришка, Ск.4 – труба, а також окремі стандартні деталі – підшипники 3, 4, манжети 9, болти 12, 14, 17, шайби 13, 15, 18, гайки 16 і прокладки 21, 22.

Технологічна схема складання механізму завантаження сокостружкової суміші у дифузійний апарат представлена у додатку.

Технологічний маршрут складання верхньої опори трубовала представлений в табл. 7.2

Табл. 7.2

№ операції	№ переходу, зміст переходу
10. Збирання трубовалу (Ск. 1)	10.1. Установити трубовал на складальному стенді й закріпити його 10.2. Очистити різьбові отвори від стружки 10.3. Встановити манжету 270x320 10.4. Встановити кришку манжети 10.(5-8). Встановити шайби на місце з'єднання 10.(9-12). Закрутити болти М6×20 10.13. Встановити складальний вузол «трубовал Ск. 1» в трубовал 10.(14-19). Встановити шайби на місце з'єднання 10.(20-25). Закрутити болти М30×140
20. Збирання нижньої кришки (Ск. 3)	20.1. Установити нижню кришку на складальному стенді і закріпити її 20.2. Очистити різьбові отвори від стружки 20.3. Встановити прокладку 20.4. Встановити кришку прокладки 20.(5-8). Встановити шайби на місце з'єднання 20.(9-12). Закрутити болти М6×20
30. Збирання стакану (Ск. 2)	30.1 Установити стакан на складальному стенді і закріпити його 30.2. Очистити різьбові отвори від стружки 30.3. Встановити підшипник 2007972А 30.7. Встановити кільце 30.6. Встановити втулку 30.7. Встановити підшипник 42629/530 30.8. Встановити прокладку 30.6. Встановити складальний вузол «нижня кришка Ск. 3» в «стакан Ск. 2». 30.(7-12). Встановити шайби на на місце з'єднання 30.(13-18). Закрутити болти М6×20 30.19. Встановити складальний вузол «нижня кришка Ск. 3» в «стакан Ск. 2». 30.20. Встановити складальний вузол «стакан Ск. 2» в опору 30.(21-26). Встановити болти М30×140 в отвори 30.(27-32). Встановити шайби на болти 30.(33-38). Закрутити по 2 гайки М30 на болт
40. Збирання труби (Ск. 4)	40.1 Установити трубу на складальному стенді і закріпити її 40.2. Приварити кільце 40.3. Встановити складальний вузол «труба Ск. 4» в

№ операції	№ переходу, зміст переходу
	«стакан Ск. 2». 40.(4-9). Встановити шайби на місце з'єднання 40.(10-15). Закрутити болти М6×20
50. Додаткова	50.1. Залити в стакан рідке мастило
60. Контрольна	60.1. Проконтролювати роботу механізму

## 7.2 Розрахунок розмірного ланцюга складальної одиниці (рис. 7.2)

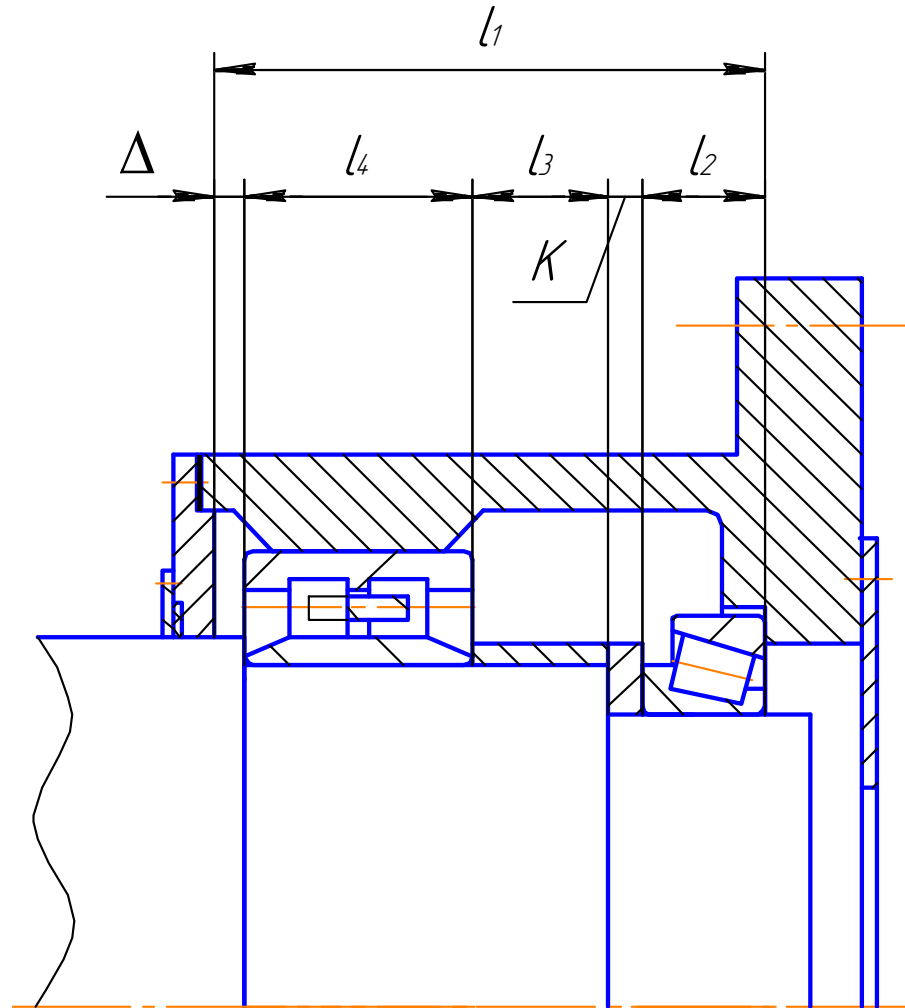


Рис.7.2 Схема складання вузла

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.

В якості прикладу розглянемо вузол, що має компенсатор у вигляді кільця. З врахуванням умов роботи такої складальної одиниці зазор між підшипником і кришкою приймаємо у:  $\Delta = 1$  мм.

З врахуванням допусків на розміри деталей, що входять в розмірний ланцюг

$$\delta_{l_1} = +0,78; \delta_{l_2} = -0,58; \delta_{l_3} = -0,58; \delta_{l_4} = -0,61; \delta_{\Delta} = -0,2,$$

визначимо розміри всіх деталей (рис. 7.2):

$$l_1 = 338^{+0,78}; l_2 = 76_{-0,58}; l_3 = 84_{-0,58}; l_4 = 140_{-0,61}; K = 20_{-0,2}.$$

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:

$$\delta_k = (\delta_{l_1} + \delta_{l_2} + \delta_{l_3} + \delta_{l_4}) - \delta_{\Delta};$$

$$\delta_k = (0,78 + 0,58 + 0,58 + 0,61 + 0,2) - 1 = 1,75 \text{ мм.}$$

У межах визначеної величини  $\delta_k = 1,75$  мм знаходимо кількість та розміри комплекту компенсаторів, що необхідні для забезпечення нормальної експлуатації вузла з врахуванням прийнятого зазору  $\delta_{\Delta} = 1$  мм:

$$n = \frac{\delta_k}{\delta_{\Delta}} + 1 = \frac{1,75}{1} + 1 \approx 3.$$

Для комплекту з трьох компенсаторів приймаємо їх розміри :

$$K_1 = 20,58_{-0,2}; K_2 = 21,16_{-0,2}; K_3 = 21,74_{-0,2}.$$

## 8. ПРАВИЛА МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ ОБЛАДНЯННЯ

### 8.1 Правила монтажу вакуум-апаратів.

Монтаж вакуум-апарата проводять відповідно до установочних креслень. Особливістю монтажу вакуум - апарату є те, що це велика кількість металевих габаритних конструкцій. Монтаж вакуум - апарат починається з установки каркаса під апарат. Потім за допомогою рівня проводять його вивірку та підлив бетоном. Після досягнення бетоном необхідної твердості, приступають до монтажу блоків вакуум - апарату на каркас, постійно роблячи перевірку на вертикальність щодо основної осі апарату. До опорної частини апарату приєднують нижню частину вакуум - апарату і перевіряють її на горизонтальність. Після цього в нижній частині апарату встановлюють парову камеру. Потім встановлюють камеру сокової пари і приварюють її до парової камери. У верхній частині вакуум - апарату встановлюють краплевловлювач. Далі встановлюють запірну арматуру і контрольно вимірювальні прилади. До днища вакуум - апарату приєднують спускний клапан. Під час монтажу особливо ретельно виробляють з'єднання які забезпечують герметичність (фланці, місця зварювання, вентилі, засувки, вікна для огляду). Герметичність вакуум - апарату перевіряють заповненням його водою. Після того, як провели монтаж вакуум - апарату, обов'язково підлягає техперевірці спеціальною комісією.

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Локатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання</b>	<b>14-2692.ДП.08.008 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

## 8.2 Правила експлуатації вакуум-апаратів.

При експлуатації вакуум - апаратів необхідно керуватися "Правилами безпечної експлуатації посудин що працюють під тиском".

Обслуговуючий персонал повинен добре знати правила експлуатації вакуум - апарату та його будову, призначення і розташування трубопроводів, арматури, контрольно вимірювальних приладів, інструкцію по техніці безпеки. При експлуатації вакуум - апарату необхідно керуватися відповідними правилами експлуатації, техніки безпеки та охорони праці.

Основні правила безпечної експлуатації, техніки безпеки вакуум-апарата:

1. Виготовлення парових камер для вакуум-апаратів повинне відповідати діючим «Правилам будови та безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

2. Вакуум-апарати повинні бути укомплектовані такими контрольно-вимірювальними приладами: вакуумметрами, термометрами і манометрами.

3. Циліндрична частина вакуум-апарата від верхньої кромки парової камери до верхньої лінії увареного утфелю повинна мати оглядові вікна із термостійкого скла, які розташовані таким чином, щоб забезпечувати контроль рівня на всій висоті апарата.

Оглядові вікна вакуум-апаратів повинні мати захисні пристрої. Пристрої для підсвічування скла повинні бути у вибухобезпечному виконанні.

У конструкцію апарата повинні входити спеціальні світильники, які забезпечують належну освітленість місць для відбирання проб і оглядових вікон. Напруга живлення світильників повинна бути не більше 36 В.

4. Для уловлювання перекидання утфелю із вакуум-апаратів потрібно використовувати уловлювачі виносного типу з гідравлічним затвором, які встановлюють перед конденсаторами.

5. Спускні і повітряні шибери вакуум-апаратів повинні мати приводи з дистанційним управлінням.

Повітряні шибери вакуум-апаратів для створення попереднього розрідження повинні мати байпас з дистанційно - керованим вентиляем.

6. На запроектованих або модернізованих апаратах повинен встановлюватися гідравлічний спусковий затвір.

7. Конструкцією апарату повинен бути передбачений відвід викидів пари та газів від вакуум-конденсатної системи та аміачних відтяжок за межі цеху.

8. Органи управління апарата повинні розташовуватися на висоті 1,2—1,4 м над рівнем полу (площадки). На площадці апарата повинна встановлюватися інформаційна панель (пневмосхема) за ГОСТ 21480-76 з показниками тиску, гріючої пари в камерному пристрої апарата, температури гріючої пари, щільності поступаючого і увареного сиропу, швидкості вивантаження утфелю, безпосередніх зв'язків з технологічними ділянками і іншими апаратами.

9. Пробні крани для відбирання проб утфелю із вакуум-апаратів повинні мати обмежники для піднімання пробок або вакуумну блокіровку. Довжина рукоятки пробного крана повинна бути не менше 0,15 м.

Кран потрібно розміщувати на висоті не більше 0,7 м від рівня підлоги (площадки).

10. Вакуум-апарати повинні бути обладнані запобіжним пристроєм від підвищення тиску у надутфельному просторі апарата згідно з розробкою УкрНДЦП.

11. Організація і проведення уварювання утфелю повинні виключати волого- і паровиділення, підвищення температури повітря в робочій зоні, газоутворення і газовиділення, розливання продуктів цукрового виробництва і води.

12. Викиди парів і газів від вакуумконденсатної системи і аміачних відтяжок потрібно виводити за межі приміщення.

13. Органи управління апарата потрібно розміщувати на висоті 1,2—1,4 м від рівня підлоги (площадки).

14. Параметри, які характеризують процес уварювання утфелю, повинні реєструватись приладами, котрі записують.

На площадці встановлення вакуум-апарата потрібно встановлювати інформаційну панель, на якій потрібно зазначити такі показники:

тиск гріючої пари у паровій камері апарата;

температуру гріючої пари;

густину поступаючого сиропу і уварюваного утфелю.

15. Площадка вакуум-апаратів повинна бути обладнана припливно-витяжною вентиляцією.

16. Мікроклімат у зоні обслуговування вакуум-апаратів повинен відповідати вимогам ДСТУ 12.1.005-88\*.

17. Підлога площадки, де установлені вакуум-апарати, повинна бути покрита матеріалом, що легко піддається прибиранню.

18. Розміщення вакуум-апаратів на площадці потрібно здійснювати з врахуванням природного і штучного освітлення, збереженням проходів і фронту обслуговування.

19. Забороняється використовувати не за призначенням вакуум-апарати (як збірників для цукроконцентрованих продуктів - сиропу і відтоків), які виведені із експлуатації в резерв.

20. При виведенні вакуум-апаратів у резерв потрібно:

- звільнити апарат від продуктів з наступним його пропарюванням;

- відкрити вентиль для набирання повітря в апарат і спускний шибер;

- відключити апарат від водяних парових і продуктових трубопроводів

шляхом установлення заглушки з вихідними назовні хвостовиками відповідно до схеми відключення;

- вивісити табличку про те, що апарат знаходиться в резерві;
- утримувати апарат в такому положенні весь час знаходження в резерві з періодичним наглядом і записом в журналі змінного технолога про його стан.

### 8.3. Правила ремонту вакуум - апаратів

Після закінчення цукроваріння вакуум - апарат промивають і пропарюють від залишків продукту. Після його охолодження проводять зовнішній і внутрішній огляд виконують наступні ремонтні роботи.

Ремонт № 1 вакуум-апаратів включає у себе зняття контрольно-вимірювальних приладів, люків, арматури, розбору клапана для спуску утфеля; ремонт арматури; ремонт мембрани вузла підводу пари; очистку вузлів і деталей із змащенням жиром, часткову заміну прокладок і оглядових скелець; виправлення різі деталей кріплення; ремонт затвору спускного клапана.

Ремонт № 2 вакуум-апаратів складається з тих же операцій, що і ремонт № 1, і додатково: ремонт парових засувок із зняттям корпусів; посилений ремонт арматури з частковою заміною деталей; заміна ущільнення спускного клапана; заміна до 50% оглядових скелець і прокладок; заміна зламаних шпильок.

Ремонт № 3 включає в себе ті ж операції, що і ремонт № 2, і додатково: ремонт вентиля відводу утфельної пари зі зняттям корпусу; заміну оглядових скелець і прокладок; посилений ремонт арматури із заміною деталей; правку гнутих місць; частковий ремонт гріючих трубок.

## 9. АВТОМАТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ТА УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЕКТУВАННЯ

Даний розділ описує схему автоматизації вакуум-апарата періодичної дії, в якому відбувається кристалізація цукру з розчину. Цукровий сироп після випарної установки надходить на вакуум-апарати, де відбувається подальше випаровування води, і з отриманого пересиченого розчину виділяється цукор у вигляді кристалів. Процес кристалізації характеризується утворенням зародків кристалів у пересичені розчині і подальшим ростом кристалів. Для полегшення утворення центрів кристалізації (зародків кристалів) в вакуум-апарат вводять «затравки» - цукрову пудру. Для інтенсифікації процесу кристалізації додатково вдувається пара через спеціальні пристрої. Автоматизація процесу кристалізації дозволяє скоротити час варіння, зменшити втрати пара, збільшити вихід цукру.

Система автоматичного контролю та управління вакуум-апаратом полягає в наступному. Перед початком роботи у вакуум-апараті створюється необхідне розрідження. Далі у гріючу камеру набирається сироп до необхідного рівня, після чого спрацьовує датчик рівня (3а) і в апарат починає подаватися гріючий пар (2г) і (2д). Автоматичний контроль рівня в збірнику сиропу дозволяє оператору отримати об'єктивну інформацію про запаси продукту, що надходить на уварювання, забезпечити ритмічну роботу апарату і запобігти переповнюванню збірника. Рівень утфелю в вакуум-апараті вимірюється діфманомет-ром ДС-П4 (3а), імпульсні лінії якого продуваються паром. Оператор вручну вводить в апарат цукрову пудру.

Після досягнення номінального рівня продукту в апараті підкачка сиропу в апарат припиняється. Продукт що знаходиться в збірнику і у вакуум-апараті повіряється двома термометрами опору (7а) і (8а). Сигнали

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Локатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>автоматичний контроль та управління</b>		14-2692.ДП.08.009 ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.			<i>Інд.</i> змін	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/1

від датчиків перетворюються у відповідну форму, яка може бути сприйнята мікропроцесорним контролером МПК1 . Значення температур реєстрація і можливість ручного контролю на пульті оператора відбувається за допомогою приладу встановленого на щитку – температурного потенціометра (7б). При відхиленні температур від заданих , регулювання відбувається автоматично (також можливе ручне регулювання потенціометром) , вмикаються сигнальні лампочки HL4, HL5 .

Основним параметром процесу кристалізації є коефіцієнт пересичення, який визначається непрямыми методами: віскозіметричним кондуктометричним . В цій системі як індикатор в'язкості (9а) застосовується ротаційний віскозиметр, електричний сигнал від якого надходить на блок живлення і вимірювання. Зі щита здійснюється дистанційне керування клапаном подачі сиропу в апарат (2). Після досягнення заданої в'язкості на щиті загоряється лампа про готовність утфелю. В якості запірних органів для основного розрідження і спуску утфелю застосовується вентиль з електроприводом М1-М5 (11).

Конкретні завдання на розробку системи наведено в таблиці 1.

Таб.1

№ п/п	Обладнання	Кіл-ть	Параметр, значення	Система автоматизації			Місце контролю
				Вид системи автомат-ії	Характер контролю, регулюван ня, управлінн я	Додаткові вимоги	
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Вакуум-апарат	1	Тиск (розрідження) t° сиропу 45...75°C м, рівень сиропу до 3,2м в'язкість утфеля	Регулювання  Контроль  Регулювання  Контроль	Покази, сигналізації Покази, запис сигналізації Автоматична та ручна стабілізація	Світлова  Світлова  Світлова  Світлова	Щит  Щит  Щит  Щит
3.	Збірник	1	t° сиропу 45°C м, Рівень сиропу 3,5 м	Контроль Контроль	Покази, запис сигналізації	Світлова Світлова	Щит Щит
4.	Електроприводи М1-М5	5	стан	Контроль, управління	Сигналізація Ручне дистанційне і програмно-логічне	Світлова Пуск, зупинка	Щит
5.	Запорні клапани	5	Положення	Контроль, управління	Покази Ручне дистанційне і програмно-логічне	Відкрити закрити	Щит

## 9.2 Специфікація на засоби автоматизації

Специфікація на засоби автоматизації наведена в таблиці 9.2.

Табл.9.2

№ позиції	Параметр значення	Місце розташування засобів	Найменування і технічна характеристика засобів автоматизації	Тип	Кільк-	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	Тиск до 0,3 МПа	По місцю	Електро-контактний манометр Кл. точн. 1, 5	ЕКМ-IV-У	1	Манометровий 3-д, Москва
7а,8а	t° 0-100°С	Щит	Вторинний прилад, реєструючий, сигналізуючий.  Кл. точн. 0, 5 Шкала 0-100°С	Диск-250	2	МЗТА Москва
ба	м	По місцю	Вимірювач рівня у збірнику	ЕіУ-2	1	Ільмаринне Таллінн
9а	В'язкість МПа	По місцю	Вимірювання в'язкості	Ротаційний	1	МЗТА Москва
3а	м	По місцю	Вимірювач рівня в вакуум-апараті дифманометр	ДС-П4	1	Ільмаринне Таллінн

### Висновок

Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування вакуум-апарата дозволяє максимально контролювати виробничий процес, дотримуватися технології виготовлення продукції, що в комплексі дозволить суттєво збільшити і стабілізувати випуск якісної продукції. Все це з мінімальною кількістю обслуговуючого персоналу. Автоматизація – це пряма дорога до економії сировини, покращення якості продукції, зниження його собівартості, збільшення терміну використання технологічного обладнання.

## 10. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 10.1 Вступ

Кожне підприємство, що займається виробництвом будь - якого продукту, має забезпечувати безпеку робітників. Створення безпечних і здорових умов праці на робочих місцях ґрунтується на сучасній законодавчій базі:

### 10.2 Виробничий травматизм

Аналіз загального виробничого травматизму на цукровому заводі показав, що більшість нещасних випадків трапляється через організаційні причини, серед яких:

- порушення трудової дисципліни;
- недоліки під час навчання безпечним прийомам праці;
- порушення вимог безпеки під час експлуатації обладнання, устаткування, машин, механізмів.

Основними видами подій, що призвели до нещасних випадків були:

- падіння потерпілого;
- дія предметів та деталей, що рухаються, розлітаються, обертаються
- падіння, обвалення, обвал предметів, матеріалів, породи, ґрунту;
- порушення правил техніки безпеки на робочому місці.

### 10.3 Організація служби охорони праці на підприємстві

Служба охорони праці створюється на підприємствах, установах, організаціях незалежно від форми власності. Служба охорони праці повинна вирішувати такі завдання:

- забезпечувати безпеку виробничих процесів, устаткування; будівель і споруд;

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Локатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Заходи з охорони праці</b>	<b>14-2692.ДП.08.010 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд. змін</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

- забезпечувати працюючих засобами індивідуального та колективного захисту;
- здійснювати професійну підготовку працівників, підвищення їх кваліфікації та перевірку знань з питань охорони праці, вести пропаганду безпечних методів праці;
- забезпечувати оптимальні режими праці і відпочинку працюючих;
- вимагати професійного добору виконавців для певних видів робіт.

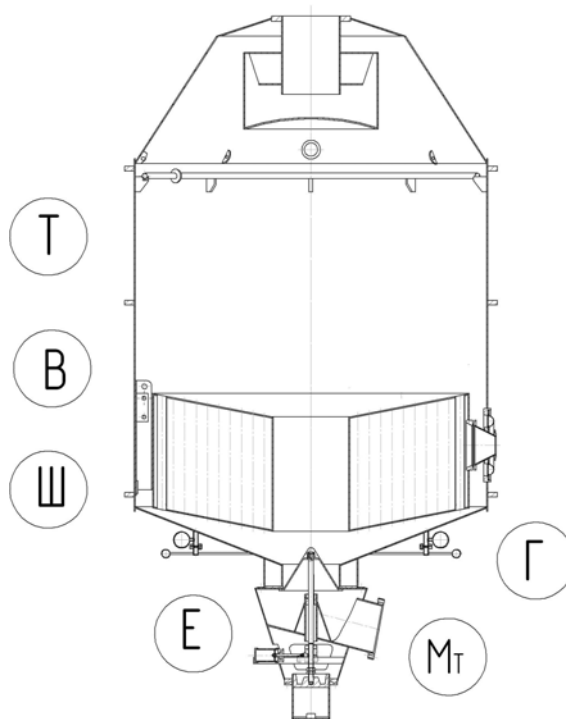
Для виконання вищевказаного, служба охорони праці підприємства повинна мати інформаційну базу, засоби зв'язку, комп'ютерне забезпечення та інженерний склад працівників.

#### **10.4 Фінансування заходів з охорони праці**

Фінансування заходів з ОП спрямовані на поліпшення умов праці та підвищення рівня безпеки на виробництві. Фінансування здійснюється власником за рахунок прибутку. Працівники не несуть ніяких витрат на заходи з охорони праці.

Фінансування заходів по охороні праці на цукровому заводі здійснюється у розмірі 0,5 % від ФОП, штрафів та спонсорської допомоги.

## 10.5 Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів при експлуатації вакуум-апарата



**Рис 10.1** Схема вакуум-апарата

Умовні позначення шкідливих небезпечних чинників:

- Ш шум
- В вібрація
- Г газо – паровідведення
- Е електробезпека
- МТ механічні травми
- Т тепловідведення

## **10.5.1 Повітря робочої зони**

### **Мікроклімат**

На мікроклімат впливають: температура повітря; вологість; швидкість руху повітря; інтенсивність теплового випромінювання. Тому для підвищення працездатності робітників потрібно забезпечити ці умови. Параметри, що забезпечують найкраще самопочуття та працездатність, називаються оптимальними нормами мікроклімату. Норма мікроклімату встановлюються в залежності від пори року. В продуктовому відділенні допустимі норми це: температура повітря 22 - 24°C; вологість 40 - 60%; швидкість руху повітря 0,2 м/с.

### **Загазованість**

Під час роботи апарату відбувається виділенням шкідливих парів і газів. Ступінь і характер впливу парів і газів шкідливих речовин на організм людини залежить від їхнього хімічного складу, шляхів проникнення (через органи дихання, шкіряний покрив або шлунково-кишковий тракт), дози, часу дії, концентрації, біологічної розчинності, стану організму в цілому, а також мікроклімату робочої зони. Наявність парів (газів) шкідливих речовин у повітрі робочої зони не повинна перевищувати граничне допустимих концентрацій (ГДК) регламентованих за ГОСТ 12.1.005-88. Під час роботи додаткового вакуум-апарата не виділяється шкідливих газів.

### **Запиленість**

Виробничий пил шкідливо діє на організм людини а також підвищує зношення обладнання, збільшує брак продукції.

Санітарними нормами проектування промислових підприємств встановлені граничне допустимі концентрації (ГДК) шкідливих аерозолів, які не мають згубної дії на організм людини. При роботі вакуум-апарата не виділяється виділення шкідливого пилу.

## Вентиляція

На заводі загальнообмінна приточно-витяжна вентиляція з механічним збудженням. Організація повітрообміну в основних виробничих приміщеннях здійснюється по схемі „зверху вверх”: повітря подається зосереджено з верхньої зони у напрямку робочої зони неізотермічними обмеженими струменями. В виробничих приміщеннях цехів розливу подача приточного повітря виконується зосередженими струменями в проходи між резервуарами

### 10.5.2 Освітлення виробничих приміщень

В зоні роботи вакуум-апарата застосовується природне і штучне освітлення. Освітленість, яка здійснюється штучним освітленням, нормується за СНиП II - 4 - 79, допустиме значення - 0,8%, вимірене 0,5%.

Штучне освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп типу ЛСП - 18. Лампи такого типу мають такі характеристики (для 1 шт.) потужність лампи, Вт - 40; світловий потік, лм - 1990; коефіцієнт використання, % - 65.

Основними недоліками цих ламп є: складність схеми вмикання; обмежена одинична потужність і великі розміри при даній потужності; залежність характеристик ламп від температури навколишнього середовища і напруження мережі живлення; шкідливі для зору пульсації світлового потоку. Але лампи мають ряд істотних переваг: висока світлова віддача; великий термін служби, тощо.

Для загального освітлення освітлювальна арматура розміщується у верхній зоні приміщення. Також передбачене аварійне освітлення. Управління освітленням здійснюється вимикачами з щита управління, який монтується на висоті 1,2 м. від рівня підлоги. В продуктовому відділенні освітлення комбіноване.

### **10.5.3 Шум і вібрація**

У вакуум-апараті, шум та вібрація утворюється від роботи обладнання і також від робіт допоміжних механізмів. Рівень шуму повинен становити 80, а фактично 84. Основними заходами для ліквідації шуму та вібрації є: організаційний (привальна експлуатація, монтаж та комплектація, проведення санітарно - профілактичних заходів) та технічний(правильне використання фундаментів, що відповідають динамічним навантаженням, ізоляція фундаментів від конструкцій, теплоізоляція трубопроводів). Головними напрямками боротьби з шумом є його послаблення або ліквідація безпосередньо в джерелі утворення.

### **10.5.4 Випромінювання**

На вакуум-апараті є теплове випромінювання. По фізичній природі теплове випромінювання являє собою потік матеріальних частинок, які мають хвильові і квантові властивості. Теплове випромінювання займає область спектра з довжиною хвилі, в межах від 760 нм до 540 мкм. Теплова ізоляція являється ефективним і самим економічним засобом по зменшенню випромінювання, а також від опіків при доторканні до цих поверхонь і зменшення витрат палива. При виборі матеріалів для ізоляції необхідно приймати до уваги механічні властивості матеріалів, а також їх можливість витримувати високу температуру. Якщо температура ізолюємого об'єкта висока, та застосовується багатошарова ізоляція.

## **10.6 Техніка безпеки при обслуговування обладнання**

Для уникнення промислового травматизму потрібно дотримуватись правил техніки безпеки. До роботи допускаються особи не молодші 18 років, які не мають медичних протипоказань, пройшли виробниче навчання та первинний інструктаж з техніки безпеки.

Необхідно проводити інструктажі:

- вступний;
- первинний;
- повторний;
- позаплановий;
- цільовий.

Необхідно дотримуватися правил внутрішнього розпорядку: не допускати присутності в робочій зоні сторонніх осіб, розпивання спиртних напоїв і куріння, робота у стані алкогольного або наркотичного сп'яніння, а також робота в хворобливому або стомленому стані.

Огляд і ремонт внутрішніх частин вакуум-апарата допускається тільки після його остигання до 30 °С. Під час проведення робіт, всі трубопроводи для подачі утфелю та охолоджуючої води повинні бути від'єднані, а на запірній арматурі повинні висіти таблички: "Не вмикати — працюють люди!".

### **10.7 Електробезпека**

В зв'язку з тим, що обладнання працює під напругою (насосні установки), то виникає небезпека ураження персоналу електричним струмом. По степені забезпечення надійності електропостачання електроприймачі вакуум-апарата відносяться до II - ї категорії. Відділення, де встановлений вакуум-апарат відноситься до категорії "В" по електробезпеці, а у відношенні до персоналу, до приміщень з підвищеною небезпекою. Експлуатація обладнання, що працює під напругою здійснюється з дотриманням "Правил техніки безпеки при експлуатації електричних установок промислових підприємств." Персонал, який обслуговує ці установки повинен забезпечуватись захисними засобами. Також мають бути плакати, стенди. Плакати поділяються на 4 групи: нагадуючі; застерігаючи, дозволяючі і забороняючи. Заземлення проводиться в якості основного заходу захисту

персонала від ураження електричним струмом передбачено занулення елементів електрообладнання.

### **10.8 Посудини, що працюють під тиском**

Експлуатація вакуум-апарата повинна проводитись згідно інструкції по веденню технологічного процесу бурякоцукрового виробництва. Щороку після очистки апарата, проводиться внутрішній огляд. Достроковому технічному затвердженню підлягають апарати після реконструкції або ремонт із застосуванням зварки, якщо апарат знаходився в бездії більше одного року і якщо затверджений інспектором Держтехнагляду.

Необхідно перевіряти товщину стінки корпусу апарата. Результати замірів товщини стінки корпусу необхідно заносити в паспорт апарата. При зменшенні стінки нижче розрахункового значення експлуатація вакуум-апарата забороняється.

### **10.9 Пожежна безпека**

Приміщення, в якому встановлено вакуум-апарат, за вибухо - пожежною небезпекою відноситься до категорії Д (пожежонебезпечне). В приміщенні передбачені шляхи евакуації і виходи, встановлено стаціонарну систему пожежогасіння з швидкодіючими світло - димовими датчиками. Також у відділенні присутні стенди з первинними засобами пожежогасіння, а саме внутрішньо пожежні крани, вогнегасники, ломи, топори та відра.

У разі виникнення пожежі в продуктовому відділенні обладнання потрібно гасити порошковими, повітряно - пінними або вуглекислотними вогнегасниками. Також, на цукровому заводі передбачено запас води на пожежогасіння.

Отже:

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (5 + 25)}{1000} = 432 \text{ (м}^3\text{)}$$

Приймаємо об'єм резервуару з водою 500 м<sup>3</sup>.

У разі пожежі або інших непередбачуваних (аварійних) ситуаціях у відділенні є два шляхи евакуації людей. Розташовують виходи з протилежних сторін будівлі або розсереджено. У разі потреби одним шляхом евакуації може бути вікно з пожежною драбиною.

### **10.10 Висновки та пропозиції щодо покращення умов праці**

Для нормальної роботи обслуговуючого персоналу необхідно:

- підтримувати оптимальні параметри мікроклімату;
- покращувати умови праці робітників, облаштовуючи робочі місця додатковими приладами, які поліпшать умови праці.

До таких приладів належать:

- додаткові засоби автоматизації;
- прилади контролю;
- кондиціонери.

На корпусі вакуум-апарата пропоную розмістити правила експлуатації та техніки безпеки.

## 11. ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

### Екологічна характеристика підприємства

Питання екологічної безпеки бурякоцукрового виробництва завжди було актуальним, і сьогодні його актуальність для України значно зростає.

Екологічна небезпека цукрового виробництва проявляється в:

- забрудненні поверхневих водойм зворотними водами;
- виснаженні водних ресурсів;
- забрудненні підземних вод;
- забрудненні атмосферного повітря газопиловими викидами як від технологічних процесів, так і від енергетичних установок;
- забрудненні атмосферного повітря внаслідок процесів розкладу відходів в місцях їх накопичування ( на полях фільтрації, очисних спорудах, жомовій ямі тощо );
- деградації біоресурсів і підвищеній кількості хвороби риби.

Все вище згадане також негативно впливає і на здоров'я людей. Тому спеціалісти цукрової галузі повинні ставитись до питань екологічної безпеки цукрового виробництва відповідно до вимог природоохоронного законодавства України, які викладені в законодавчих актах Верховної Ради України.

При переробці цукрових буряків на цукор утворюється ряд відходів виробництва, які з екологічної точки зору небезпечні для навколишнього середовища. До цих відходів належать жом, дефекаат, транспортерне мийний осад, відходи при сортуванні вапнякового каменю і одержанні вапна , а також тверді органічні відходи, які виловлюються із гідротранспортера при транспортуванні буряків ( солома, хвостики та бій буряків, зелена маса, яка складається із залишків бур'янів та гички ).

<i>Відповідальна організація</i> <b>НУХТ</b>	<i>Технічне узгодження</i> Миколай ІМ	<i>Вид документа</i> <b>Пояснювальна записка</b>	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> <b>НУХТ</b>	<i>Розробник документа</i> Покатило В.	<i>Назва, додаткова назва</i> <b>Охорона довкілля</b>	<b>14-2692.ДП.08.011 ПЗ</b>			
	<i>Документ затверджено</i> Мирончук ВГ.		<i>Інд.</i> зміни	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> <b>UA</b>	<i>Аркуш</i> 1/1

Значна частина цукрових заводів скидає свої теплообмінні води ( води І категорії головного корпусу і ТЕЦ ) в поверхневі водойми, які можуть використовуватися як джерела водопостачання в тому числі й самими цукровими заводами. Згідно з Водним кодексом всі підприємства, які скидають зворотні води в поверхневі водойми, повинні розробити і відповідно узгодити проекти нормативів гранично допустимих скидів забруднюючих речовин в воді, які враховують можливість водного об'єкту прийняти таку кількість забруднюючих речовин, яка не викличе змін у якості води.

Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод забруднення встановлюють нормативні значення для наступних параметрів води водойм:

- вміст плаваючих домішок;
- запах;
- присмак;
- колір; температура води;
- значення рН;
- вміст і концентрація мінеральних домішок;
- кількість розчиненого у воді кисню;
- біологічна потреба кисню у воді;
- вміст і гранично допустима концентрація отруйних і шкідливих речовин і хвороботворних бактерій.

## 12. МАРКЕТИНГОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Метою пропонованого проекту є модернізація вакуум-апарату.

Способом досягнення цілей проекту є модернізація апарату з установкою додаткового пристосування для вдування пара.

Проект передбачає отримання збільшеного прибутку за рахунок економії енергоресурсів в процесі виробництва цукру.

Розрахунок початкових інвестицій для впровадження нового обладнання.

Для цього розрахунку використовується формула:

$$PI = K_n = K + K_{im} \pm Об;$$

де  $K$  - початкова вартість впроваджуваної установки;

$$K = K_i + K_m + K_{tr} + K_{npr};$$

де  $K_i$  - вартість установки ( $K_i = 930000$  грн);

$K_m$  - витрати на монтаж ( 9% );

$$K_m = 0,09 \times 930000 = 83700 \text{ (грн);}$$

$K_{tr}$  - витрати на транспортування;

$$K_{tr} = 0,04 \times 930000 = 37200 \text{ (грн);}$$

$K_{npr}$  — витрати на пуско - налагоджувальні роботи;

$$K_{npr} = 0,02 \times 930000 = 18600 \text{ (грн);}$$

$$\text{Тоді } K = 930000 + 83700 + 37200 + 18600 = 1069500 \text{ (грн);}$$

$K_{in}$  - інші капітальні витрати;

$$K_{in} = 0,01 \times 930000 = 9300 \text{ (грн);}$$

$O_6$  - одночасне зростання (зниження) суми оборотних фондів;

$$PI = K_n = 1069500 + 9300 = 1078800 \text{ (грн);}$$

Визначення зміни поточних витрат.

Розрахунок зміни витрат по амортизації.

Відповідальна організація <b>НУХТ</b>	Технічне узгодження Миколай ІМ	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа <b>НУХТ</b>	Розробник документа Лекатило В.	Назва, додаткова назва <b>Маркетингове обґрунтування проєкту</b>	14-2692.ДП.08.012 ПЗ			
	Документ затверджено Мирончук ВГ.		Інд. змін	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/1

- до переоснащення

$$A = 920000 \times 0,21 = 193200 \text{ (грн);}$$

- після переоснащення

$$A = K_{нов} \frac{N_a}{100} = 930000 \frac{21}{100} = 195300 \text{ (грн)}$$

Витрати на утримання та ремонт обладнання.

- до технічного переоснащення

$$P = K_l \frac{N_p}{100} = 920000 \frac{14}{100} = 128800;$$

- після технічного переоснащення

$$P = K_l \frac{N_p}{100} = 930000 \frac{14}{100} = 130200$$

Витрати використаної пари.

- до переоснащення

$$3000 \times 0,92 \times 60 \times 0,216 = 35770 \text{ (т пари);}$$

- після переоснащення

$$3200 \times 0,92 \times 56 \times 0,183 = 30170 \text{ (т пари);}$$

де 3000, 3200 - продуктивність відповідно до і після технічного переоснащення;

0,92 - коефіцієнт використання потужності;

60, 50 - тривалість виробничого сезону до і після переоснащення;

0,216, 0,183 - питома витрата пари в т пари/т буряку до і після технічного переоснащення.

Витрати на пару в вартісному виразі.

- до технічного переоснащення

$$77169 \times 20 = 715400 \text{ (грн);}$$

- після переоснащення

$$30170 \times 20 = 603400(\text{грн});$$

де 20 (грн.) - ціна 1 т пари.

Таблиця 12.2

Статті витрат	До технічного переоснащення	Після технічного переоснащення	Зміна
Ремонт та утримання обладнання	128800	130200	1400
Амортизація	193200	195300	2100
Витрати на пару	715400	603400	-112000
Всього			-110249

Розрахунок показників ефективності.

Визначаю обсяг випуску цукру:

- До технічного переоснащення

$$A_1 = 3000 \times 0,92 \times 60 \times \frac{12,5}{100} = 20700 \text{ (т цукру);}$$

- після технічного переоснащення

$$A_2 = 3200 \times 0,92 \times 56 \times \frac{13,1}{100} = 21597 \text{ (т цукру);}$$

Собівартість всього виробленого цукру.

- до технічного переоснащення

$$Ц_1 = C_1 \times A_1 = 7700 \times 20700 = 159390000 \text{ (грн);}$$

- після технічного переоснащення

$$Ц_2 = C_2 \times A_2 = 7698 \times 21597 = 166235706 \text{ (грн);}$$

Додатковий прибуток при зміні обсягу виробництва.

$$\Delta \Pi_{\text{зар}} = (\Pi - C_2) A_2 - (\Pi - C_1) A_1;$$

де  $\Pi = 8000$  - оптова ціна 1т цукру.

$$\Delta \Pi_{\text{зар}} = (8000 - 7698) 21597 - (8000 - 7700) 20700 = 312294(\text{грн})$$

Визначаємо чистий грошовий потік.

$$ЧГП = \Delta П_{заг} - 0,23 \Delta П_{заг} + A_M = 312294(1 - 0,23) + 195300 = 435766(\text{грн});$$

Тривалість життєвого циклу проекту 5 років

Чиста теперішня вартість.

$$ЧГП = \sum_{t=1}^{t=5} \left( \frac{ЧГП}{(1+r)^t} \right)$$

де  $t=(1, 2, 3, 4, 5)$ ;

$r$  - ставка дисконту 25%

$$T_1 = \frac{435766}{(1+0,29)^1} = 337803 \text{ (грн);}$$

$$T_2 = \frac{435766}{(1+0,29)^2} = 271862 \text{ (грн);}$$

$$T_3 = \frac{435766}{(1+0,29)^3} = 242994 \text{ (грн);}$$

$$T_4 = \frac{435766}{(1+0,29)^4} = 167360 \text{ (грн);}$$

$$T_5 = \frac{435766}{(1+0,29)^5} = 131984 \text{ (грн);}$$

$$ЧТВ = 337803 + 271862 + 212994 + 167360 + 131984 = 1122003 \text{ (грн);}$$

Індекс доходності

$$I_6 = \frac{ЧТВ}{П} = \frac{1082003}{1078800} = 1,04 > 1;$$

Отже проект ефективний і його слід впроваджувати.

Обчислення дисконтованого гарантованого періоду повернення інвестицій.

Середня теперішня вартість.

$$ТВ_{\text{ср}} = \frac{ЧТВ + \Pi}{T} = (1122003 + 1078800) / 5 = 440160 \text{ (грн)};$$

$$T_{\text{гар}} = \frac{\Pi}{ТВ_{\text{ср}}} = 1078800 / 440160 = 2,4 \text{ року}$$

Визначення індексу прибутковості.

$$I_n = \frac{ЧТВ + \Pi}{\Pi} = (1122003 + 1078800) / 1078800 = 2,04 > 1$$

Отже, проект економічно ефективний.