МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра: Кафедра технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»	**«До захисту допущено»**
Директор інституту(декан факультету)	Завідувач кафедри
_____ ___Блаженко С.І.	_____ Якимчук М.В.
(підпис) (ім'я та прізвище)	(підпис) (ім'я та прізвище)
«___» _____ 20__р.	«___» _____ 20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності___зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв
на тему: Інтенсифікація гідродинаміки в вакуум-апараті шляхом встановлення камери упорядкування циркуляційного потоку утфелю

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

Артеменко Олександр Валерійович (підпис)
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

Керівник: Погорілий Тарас Михайлович (підпис)
(прізвище , ім'я та по батькові повністю)

Консультанти_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

_____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент _____ _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

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

Здобувач_____
(підпис)

Київ - 2022р.

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. Якимчук М.В.

«____» _____ 20___ року

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

Артеменка Олександра Валерійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): *Інтенсифікація гідродинаміки в вакуум-апараті шляхом встановлення камери упорядкування циркуляційного потоку утфелю*

керівник проекту (роботи) Погорілий Т.М., доц., кандидат тех. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » листопада 2021 р. № 860-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 01.02.2022р.
3. Вихідні дані до роботи: *1. Виробнича потужність вакуум-апарату 60 тон утфелю за одну 2. Наукова та спеціальна література*
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): *1.Анотація;2.Вступ; 3. Аналітичний огляд стану питання; 4.Методика проведення дослідження; 5. Дослідна частина та узагальнення результатів;6.Устрій та принцип роботи модернізованого обладнання; 7.Розрахункова частина; 8. Підбір конструктивних матеріалів; 9.Технологія машинобудування; 10.Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання;11. Автоматизація процесу;12. Заходи з охорони праці; 13. Охорона навколишнього середовища;14. Маркетингове обгрунтування;15. Висновки.16. Список використаної літератури*
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): *Загальний вигляд обладнання – 2 аркуша; 2.Поплавок – 1 аркуш;3. Частина циркулятора - 1 аркуш 3.Опора нижня-1 аркуш;4 .НДРС- 9 аркушів; 6 Схема автоматизації – 1 аркуш. Технологія машинобудування – 1 аркуш*

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 14.09.2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	*Вступ*	24.09	
2	*Аналітичний огляд стану питання*	05.10	
3	*Методика проведення досліджень*	20.10	
4	*Дослідна частина та узагальнення результатів*	03.11	
5	*Обґрунтування модернізації. Устрій та принцип роботи модернізованого об'єкту проектування*	15.11	
6	*Розрахункова частина*	01.12	
7	*Підбір конструкційних матеріалів*	12.12	
8	*Технологія машинобудування*	25.12	
9	*Правила монтажу,експлуатації та ремонту обладнання*	01.01	
10	*Автоматичний контроль та управління об'єктом проектування*	07.01	
11	*Заходи по охороні праці*	12.01	
12	*Охорона довкілля*	17.01	
13	*Маркетингове обґрунтування проекту*	18.01	
14	*Висновки*	19.01	
	Графічна частина формату А1 – 10 шт.	01.12 – 01.01	
	Подача кваліфікаційної роботи на кафедру	01.02.2022 р.	

Здобувач _____ Артеменко О.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Погорілий Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Annotation

The topic of this master's thesis is the study of circulation in a vacuum apparatus with a device for its ordering. The paper presents the modernization of the vacuum apparatus type A2 - PVE - 60 by installing a floating circulating chamber of cylindrical type. This technical solution provides a more intensive process of boiling massecuites in a vacuum apparatus. The study is to determine the effects of the new device on the process of crystallization of sugar. The study was conducted using the computer program Flow Vision.

The theoretical material of this work presents a consideration of the basics of crystallization in vacuum devices; hydrodynamic features of the crystallization process; changes in various parameters during this process; characteristics of the circulation circuit and circulation speed; ways to intensify the crystallization process; vacuum apparatus with floating chamber.

The main task of the work was to conduct research on the process of crystallization of the first product using the software package Flow Vision. For this purpose, 10 3D-models of the device with a certain level of massecuite and the position of the floating chamber and 10 3D-models without a floating chamber were created for certain periods of sugar massecuite cooking. Also, according to the given parameters, the calculation of the velocity of the substance along the contour at the corresponding values of the relative boiling time $\tau / \tau ts$ was performed.

The results of the study are numerical data, which after generalization are presented in the form of tables and graphs of the distribution of circulation of sugar massecuite in the first, middle and last tubes of the heating chamber, as well as in the circulation pipe depending on 10 values $\tau / \tau c$.

Qualitative and quantitative influence of the new device on the crystallization process in the vacuum apparatus was carried out on the basis of comparison of the performed researches.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва Annotation	201988.МР.005.000ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA / Аркуш 1/1

Анотація

Темою даної магістерської роботи є дослідження циркуляції у вакуум-апараті із пристроєм для її упорядкування. В роботі представлена модернізація вакуум - апарата типу А2 - ПВЕ – 60 шляхом встановлення плаваючої циркуляційної камери циліндричного типу. Таке технічне рішення забезпечує більш інтенсивний процес уварювання утфелів у вакуум - апараті. Дослідження полягає у визначені впливу нового пристрою на процес кристалізації цукру. Дослідження проведено за допомогою комп'ютерної програми Flow Vision.

В теоретичному матеріалі даної роботи представлено розгляд основ кристалізації у вакуум-апаратах; гідродинамічних особливостей процесу кристалізації; зміни різних параметрів під час цього процесу; характеристики циркуляційного контуру та швидкості циркуляції; шляхи інтенсифікації процесу кристалізації; вакуум-апарат із плаваючою камерою.

Основним завданням роботи було проведення досліджень процесу кристалізації І-го продукту за допомогою програмного комплексу Flow Vision. З цією метою було створено 10 3D-моделей апарату із певним рівнем утфелю та положенням плаваючої камери та 10 3D-моделей без плаваючої камери, для певних періодів уварювання цукрового утфелю. Також, за заданими параметрами було проведено розрахунок швидкості руху речовини по контуру при відповідних значеннях відносного часу уварювання $\tau/\tau_ц$.

Результатами дослідження є отримані чисельні дані, які після узагальнення представлені у вигляді таблиць та графіків розподілу швидкостей циркуляції цукрового утфелю в першій, середній та останній трубках гріючої камери, а також у циркуляційній трубі в залежності від 10-ти значень $\tau/\tau_ц$.

Якісний та кількісний вплив нового пристрою на процес кристалізації у вакуум-апараті проведено на основі порівняння виконаних досліджень.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва Анотація	201988.МР.005.000 ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA / Аркуш 1/1

Зміст

1. Анотація……...
2. Вступ……
3.Аналітичний огляд стану питання…….
4. Методика проведення дослідження……..
5. Дослідна частина та узагальнення результатів……
6. Устрій та принцип роботи модернізованого обладнання
7. Розрахункова частина…….
8. Підбір конструкційних матеріалів……
9.Технологія машинобудування……..……...……..
10.Правила монтажу, експлуатації та ремонт обладнання.....……
11. Автоматизація процесу……
12. Заходи з охорони праці…….
13. Охорона навколишнього середовища…….
14.Маркетингове обґрунтування……
Висновки……
Список використаної літератури…….
Додатки……..

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва Зміст	201988.МР.005.000 ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA / Аркуш 1/1

Вступ

Одним із найважливіших процесів виробництва цукру є кристалізація. Перш за все це найбільш ефективний метод отримання продуктів високої чистоти для харчування та виробництва продовольчих продуктів. Значний внесок в теорію та практику отримання кристалічного цукру внесли відомі вітчизняні та зарубіжні вчені. В Україні відомі своїми фундаментальними працями в цій галузі М.Ф. Зуєв, І.А. Кухаренко, ОД. Куриленко, В.Л. Можар, М.Н. Кіров, Г.М. Знаменський, П.В. Головін. О.А. Герасименко, В.Д. Попов, І.С. Гулий, І.Г. Бажал, Ю.Д. Кот, В.Г. Трегуб, В.О. Штангеєв, В.Р. Кулінченко, В.Г. Мирончук, Н.І. Штангєєва. Б.В. Кузьменко, В.Т. Гаряжа, В.П. Тройно та інші.

Разом з цим, сучасний стан цукрової промисловості України потребує новітніх наукових підходів і рішень для подальшого збільшення ефективності виробництва кристалічного цукру.

Про важливість та необхідність прогресивних наукових досліджень в галузі кристалізації цукристих сполук свідчить те, що протягом останніх двадцяти років було прийнято декілька науково-технічних державних програм та проектів на рівні Уряду України, що направлені на розвиток цукрової промисловості. Одним з рішень цього завдання є розробка нових та удосконалення наявних способів та апаратів для промислової кристалізації цукристих речовин, а також інтеграція та використання сучасних комп'ютерних технологій.

Отже, проведення досліджень процесів кристалізації цукру з врахуванням використання новітніх наукових підходів, рішень та нових комп'ютерних систем є нагальною необхідністю для підвищення ефективності харчової промисловості України.

3. Аналітичний огляд стану питання.

Вакуум-апарати поділяються за такими ознаками:

- По принципу дії — періодичні та безперервні;
- По конструкції корпуса —циліндричні, сферичні та сундучні;
- По розташуванню у просторі — горизонтальні та вертикальні;
- За конструкцією поверхні нагріву — зі змієвиковою поверхнею, з кільцевою поверхнею, з трубчастими камерами та інше.
- По конструкції надутфельного простору —ті, що мають нормальний і розширений надутфельний простір.

По принципу дії вакуум-апарати періодичної дії нагадують випарні апарати.

Будь-який вакуум-апарат, що призначений для уварювання утфелю, складається з таких частин: корпуса апарату, нагрівальної камери, сепаратора, спускного пристрою та пристрою для впуску пари в парову камеру.

Нагрівальні камери вакуум-апаратів можуть мати різну будову. Найбільш поширені вакуум-апарати з підвісними гріючими камерами, верхні та нижні трубні решітки яких можуть мати різну конфігурацію. Пара потрапляє в міжтрубний простір нагрівальних камер, а уварюваний продукт рухається всередині труб.

Сепаратори в вакуум-апаратах виконують відділення від вторинної пари крапель продукту. Оскільки в вакуум-апаратах продукт має більшу в'язкість, то використовуються сепаратори лише інерційного типу, що встановлюються над уфельним простором у верхній частині корпусу апарату.

До нижньої частини корпусу закріплене дно, на якому встановлено

спускний пристрій для утфелю. Спускні пристрої можуть бути шиберного і клапанного типу з гідравлічним та механічним керуванням. Кращими є пристрої по клапанному типу. Вакуум-апарати з допомогою лап, підварених до нижньої частини корпусу, встановлено на балки.

Перші вакуум-апарати з циркуляційними контурами отримані шляхом переустаткування наявних вакуум-апаратів та обладнання їх мішалками. Вакуум-апарат з шнековою мішалкою (рис.3.1) був отриманий з існуючого вакуум-апарата, обладнаного підвісною камерою шляхом ліквідації кільцевого циркуляційного об'єму із заміною його елементами, що нагрівають, та встановлення всередині центральної спускної труби шнека з приводом на кришці апарата. Пристрій працював один сезон і показав хороші результати.

Схожі конструкції вакуум-апаратів із кільцевим циркуляційним простором і циркуляторами по типу шнека та пропелерної мішалки нее є ефективними, тому що мішалки нагнітають утфель донизу у підтрубний простір. Для дії створюваного ними додаткового рушійного напору циркуляції треба ліквідувати кільцевий спускний канал.

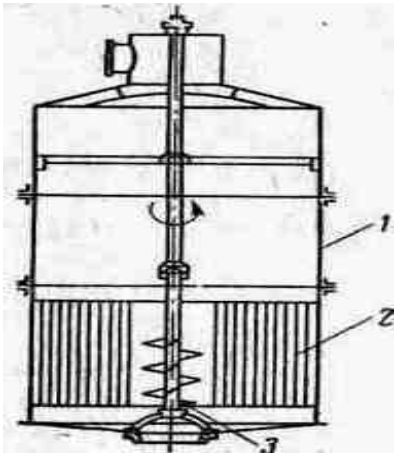


Рис. 3.1. Вакуум-аппарат з шнековою мішалкою: 1–корпус; 2–нагрівальна камера; 3–мішалка.

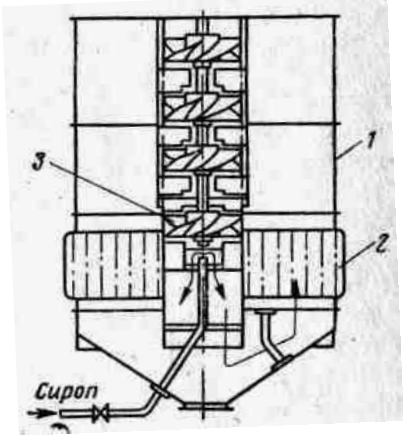


Рис. 3.2. Вакуум-аппарат з багатоступінчатою мішалкою: 1–корпус; 2–нагрівальна камера; 3–мішалка.

Найбільш ефективна конструкція вакуум-апаратів з однією центральним циркуляційним трубопроводом, у якому встановлені аксіальнопотокові циркулятори. В одному з них (рис.3.2) циркулятор мав чотири мішалки, що розміщені на одному валу з різною висотою, з направляючими перегородками, що встановлені під мішалками. Привід циркулятора був монтований на кришку вакуум-апарата.

Вакуум-апарат працював задовільно з частотою обертання мішалки 100 об/хв з електродвигуном потужністю 75 кВт, проте через часті перевантаження частота обертів була знижена до 50 об/хв, що суттєво зменшило споживану потужність. Період уварювання після установки циркулятора зменшився майже вдвічі, якість утфеля залишалася задовільною. В іншій конструкції вакуум-апарату мішалка змонтована внизу опускної труби. Привід був розміщений під вакуум-апаратом та включає електродвигун постійного струму, що обертається із змінною частотою 600-1800 об/хв, та редуктор з передаточним числом 15. Під час роботи апарату коефіцієнт теплопередачі підвищився на 25% для утфелю I продукту і на 50% — для останнього продукту. При збільшенні частоти обертання зросло споживання потужності з 5,7 до 24,5 кВт.

Було розроблено ряд конструкцій горизонтальних вакуум-апаратів з використанням механічних циркуляторів, проте вони не знайшли популярності в промисловості. Більшість досліджуваних апаратів з механічними циркуляторами були недосконалими, неміцними та малопродуктивними, для приводу циркулятора були використані електродвигуни великої потужності. ВНДІЦП проводить роботи з розробки ефективного вакуум-апарата з циркулятором. Наразі створено дві конструкції вертикальнотрубчастих вакуум-апаратів . В одній з них циркулятор був шестилопастним гвинтовим насосом з діаметром 1780 мм, висотою 1830 мм та діаметром маточини 914 мм. Під мішалкою було розміщено 12 очисних лопат. Привід циркулятора, що змонтований на кришці вакуум-апарату, включав електродвигун з потужністю приблизно 30 кВт, пасову передачу і

черв'ячний редуктор , що мав передаточне число близьке до 40. Частота обертання мішалки складала 30 об/хв. Через перевантаження у завершальній стадії варіння частоту обертів мішалки знижували до 20 об/хв. Задля зменшення опору при експлуатації аппарата прибрали спочатку 6 очисних лопат, потім усі інші. В отриманій будові вакуум-апарату мішалка була розміщена всередині опускної труби. Встановлено, що ефективність циркулятора буде вище, якщо мішалку розташовувати нижче від циркуляційної труби.

Апарат з таким розміщенням мішалки (рис.3.3) має розширений простір над нагрівальною камерою. Площа поверхні нагріву 231 м^2, висота нагрівальних трубок 813 мм, діаметр опускної трубки і мішалки 1680 мм, частота її обертання 70 об/хв, потужність електродвигуна приблизно 75 кВт. Продуктивність циркулятора 224 м3/хв.

Під час випробування вакуум-апаратів з циркуляторами було виявлено істотне підвищення температури утфеля над паровою камерою, яке свідчить про те, що частка утфеля не досягає вільної поверхні, і з кип'ятильних труб безпосередньо надходить до опускної труби і знову в кип'ятильні труби, де перегрівається .

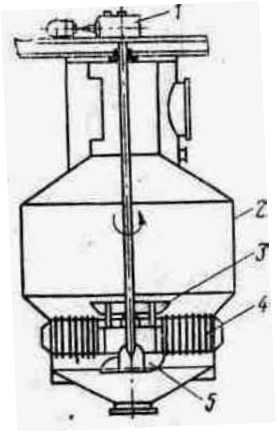


Рис.3.3 Вакуум-апарат з мішалкою, що встановлена нижче циркуляційної труби: 1– привід; 2– корпус апарата; 3– направляючі перегородки; 4– нагрівальна камера; 5– мішалка.

З метою покращення конструкції, на валу циркулятора було встановлено гвинтовий елемент з діаметром 610 мм над камерою на висоті від 900 - 1200 мм,а у вакууматорі зверху над циркуляційною трубою — відбійник,

воронкоподібний щиток висотою 203 мм і з нахилом 45°. Такий відбійний щиток було встановлено раніше в апараті без циркулятора. Потік гарячого утфеля буде направлено до периферії апарата з метою покращення циркуляції в мертвих зонах, а також для унеможливлення змішування цього утфеля з більш холодним, що прямує до циркуляційної труби.

У лабораторних умовах на моделях апаратів було помічено утворення мертвих зон у зонах розширення корпуса апарата та засмоктування в опускну трубу розчину, котрий виходить із прилеглих трубок нагрівальної камери. У моделях з кільцевими гріючими елементами більшість висхідного потоку зосереджено лише в двох-трьох зовнішніх кільцевих каналах. Розчин, що циркулюється, відкидається мішалкою на дно апарата, та розтікається нагору по стінках конічного дна та циліндричного корпуса. Швидкість у найдальшому від центра кільцевому просторі є в 2 рази вищою, ніж у найближчому. Для менш в'язкого розчину при малому заповненні апарата в ближніх кільцевих зонах спостерігався спадний потік розчину, а у п'ятому-швидкість дорівнювала нулю. У камері з трубчастою поверхнею нагрівання, було видно більш рівномірний розподіл швидкостей, котрий пояснюється високим гідродинамічним його опором . Останнім часом вакуум-апарати з кільцевою поверхнею нагрівання, котрі мають невисоку питому поверхню нагріву складні у виготовленні, та заміняються вакуум-апаратами з вертикальною трубною поверхнею нагріву.

Важливим є також і діаметр опускної труби. Задовільною вважається та опускна труба, діаметр котрої складає 40% від діаметра корпуса апарата . Гірші результати було показано вакуум-апаратом з малим діаметром опускної труби.

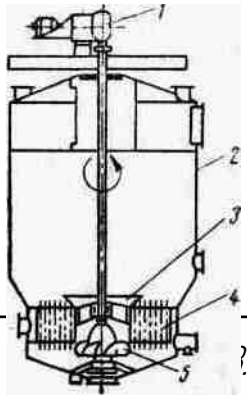


Рис.3.4 Вакуум-апарат обладнаний мішалкою 1– привід; 2– корпус; 3– направляючі перегородки; 4– нагрівальна камера; 5– мішалка.

Ефективнішою було визнано конструкція вакуум-апарата з механічним циркулятором (рис.3.4). Вал циркулятора спирається на упорні підшипники, що встановлені під апаратом по осі , також біля верхнього краю циркуляційної труби він проходить через направляючий підшипник.

Мішалка аксіально-поточна з шістьма лопатями та куполоподібною порожнинною великою ступицею встановлена таким чином, що верхній край лопастей перебуває на рівні нижнього краю опускної труби. Діаметр мішалки співпадає з діаметром труби і становить 40 % від діаметра апарату. Циркулятор обертається проти стрілки годинника і наче насос через циркуляційну трубу нагнітає та рівно розподіляє утфель у підтрубном просторі.

Швидкість обертання мішалки становить 4,8-6 м/с, швидкість руху утфеля всередині апарата повинна складати 0,045 м/с, наприкінці уварювання трохи менше. Протягом 1 хв маса утфеля в вакуум-апараті має виконати 2,5-3 оберти. Над циркуляційною трубою встановлено відбивач,що використовується для запобігання потоків утфеля, котрі опускаються і піднімаються.

Фірмою DDS (Данія) була створена серія вакуум-апаратів з механічним циркуляційним пристроєм, з місткістю 35, 50 і 75 т утфеля (рис.3.5). До переваг цього апарату відносяться гідродинамічно коректно сконструйований циркулятор, котрий забезпечує кращу циркуляцію за мінімальної витрати енергії; двигун з регульованою частотою обертання; нагрівальна поверхня, що мінімально понижає початковий забір продукту; блюдцеподібне дно, автиматизований процес варіння та інше.

Під час роботи цих вакуум-апаратів було виявлено кращу якість кінцевого продукту, зменшення періоду уварювання на 20%, можливість використання для уварювання утфелів пари III корпуса випарної станції.

У ВНДІЦП була створено серію апаратів з механічним циркулятором типу ВАВ з ємністю 40, 60 та 80 тонн утфеля. Вакуум-апарат ВАВ-60 вже виготовлено і випробувано (рис.3.6).

Його головні характеристики: діаметр корпуса 4,5м; нагрівальна камера є вбудованою з комірковою поверхнею нагрівання; довжина трубок становить 1 м; площа поверхні нагріву 320 м^2; внутрішній діаметр циркуляційної трубки у верхній частині 1,6 м; трубка звужується вниз під кутом 2°.

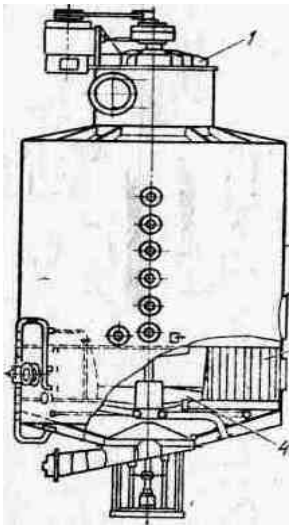


Рис.3.6. Вакуум-апарат фірми DDS: 1– електродвигун; 2– корпус; 3– нагрівальна камера; 4 – мішалка.

Рис.3.7. Вакуум-апарат з системою ВНДІЦП: 1– привід; 2– корпус; 3– направляючі перегородки; 4– нагрівальна камера; 5– мішалка.

Мішалка з п’ятьма лопастями та конічною ступицею має три швидкості обертання від 30 до 65 об/хв. Над циркуляційною трубою було встановлено воронкоподібний відбивач з висотою 180 мм та кутом нахилу його стінки 60°. Вал циркулятора закріплений до двох опор: верхня з двох радіально-упорних шарикових підшипників та нижня - підшипник ковзання із текстолітовою втулкою. Привід був розміщений на верхній кришці вакуум-апарата та включає в себе трьохшвидкісний електродвигун змінного струму з

потужністю 50 кВт та двох ступінчастий планетарний редуктор М1 0-2. Вакуум-апарат обладнується системою автоматичного керування уварюванням.

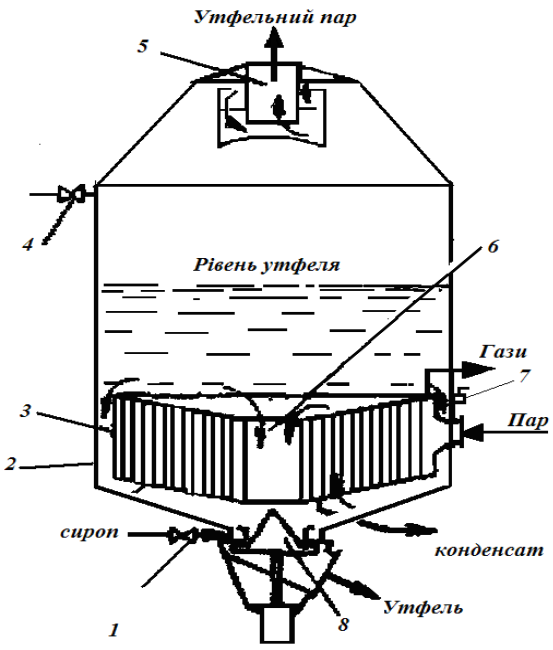
3.2. Основи кристалізації цукру

Рушійною силою тепло- і масообміну в процесі кристалізації є різниця температур і відповідна їй різниця концентрацій між рівноважною та необхідною концентрацією, що забезпечує процес масообміну. Як правило, швидкість росту кристалів цукру визначається швидкістю дифузії молекул сахарози до поверхні кристала і швидкістю приєднання молекул сахарози до кристалічних решіток.

У загальному вигляді рівняння масової швидкості кристалізації $dG/d\tau$ цукрози за умови, що швидкість дифузії молекул набагато менша швидкості приєднання молекул цукрози до кристалічних решіток, має вигляд

$$dG/d\tau = км t (C_1 - C_2)/\mu d \qquad (1.1)$$

де км — коефіцієнт масообміну; $(C_1 - C_2)$ — надлишкова концентрація; d— шлях дифундування.



Кристалізація цукрози у вакуум-апаратах найбільш інтенсивна за умови, коли швидкість випаровування води доведена до межі, що відповідає найбільшій швидкості росту кристалів за даних умов. Оскільки сахарозу можна кристалізувати тільки з пересичених розчинів, то потрапляючи у продуктове відділення з випарної установки сироп з вмістом сухих речовин 55-60 % згущається у вакуум-апараті до 92-92,5 % сухих речовин. При цьому з нього

випарюється 12-16% до маси перероблено буряка води. Утфелі уварюють у періодично діючих вертикальних вакуум-апаратах.

Повний цикл уварювання утфеля складається із чотирьох основних етапів: одержання пересиченого розчину, заведення й нарощування кристалів цукру, остаточне згущення.

1. Отримання пересиченого розчину. Метою уварювання утфеля на даній стадії є підготовка сиропу з клеровкою до заведення кристалів. Для цього у вакуум-апараті (рис. 1.1), що складається з корпуса 2, парової камери 3 і сепаратора 5, спочатку за допомогою вентиля попереднього розрідження створюють залишковий тиск порядка 0,06–0,067 МПа, а потім відкривають головний повітряний вентиль для одержання більш низького залишкового тиску (до 0,02 МПа). Одночасно з відкриттям вентиля попереднього розрідження через вентиль починається забір сиропа з клеровкою. У момент, коли апарат заповниться на третину висоти парової камери, частково (на 1 оберт) відкривають паровий вентиль і стартує прогрів парової камери. У момент, коли рівень сиропу буде таким, при якому він зможе покривати всю поверхню парової камери під час кипіння, тоді паровий вентиль відкривають повністю та за залишкового тиску не вище 0,02 МПа виконують інтенсивне згущення. У таких умовах сироп кипить при температурі не вище 70–72 °С, що дає можливість одержати достатньо хорошу корисну різницю температур між гріючою парою та сиропом, що кипить, і провести згущення з невеликими витратами цукрози від розкладання.

У процесі згущення сиропом заповнюють так, щоб при досягненні розрахованого пересичення вакуум-апарат був заповнений на третину місткості. Під час кипіння уварюється маса, кипятильними трубами піднімається догори, а опускається вниз по циркуляційній трубі 6 у постійному русі.

Утворена утфельна пара, проходячи через сепаратор 5, позбавляється від крапель утфеля й відсмоктується вакуум-насосом до барометричного конденсатора.

При згущенні сиропу до рівня 80–82% СВ, котрий відповідає коефіцієнту пересичення 1,25–1,3, температура його кипіння під час незмінного розрідження підвищується до 74–76 °С. Це пояснюється збільшенням вмісту сухих речовин у порівнянні з вихідним сиропом. Ступінь пересичення й готовність розчину для заведення кристалів визначаються по зовнішніх ознаках: по рухливості сиропу, що уварюється, швидкості стікання крапель по зоровому склу, інтенсивності підйому пухирців пари. Більш надійно визначати коефіцієнт пересичення уварюваної маси, що за допомогою кондуктометра електропровідності, котра підвищується за рахунок збільшення вмісту сухих речовин та в'язкості. На величину електропровідності чинять також вплив доброякісність розчину й температура. Максимум електропровідності цукрових розчинів спостерігається при вмісті сухих речовин 28%.

2. Заведення кристалів цукру. Завдання заведення кристалів складається в отриманні точної кількості центрів кристалізації цукру. При коефіцієнті пересичення 1,25–1,3, коли система нестабільна (лабільна зона), є найкращим моментом для заведення кристалів . Перед цим температуру сиропу частково підвищують (прикриваючи повітряний вентиль) і через пробний кран вводять запал у вигляді тонкоподрібненої цукрової пудри, просіяної через шовкове сито із числом ниток 67 на одному сантиметрі (з розрахунку 50–100 г цукрової пудри на апарат ємкістю 40 т утфеля). Для утворення рівномірних кристалів одночасно з уведенням цукрової пудри підкачують небагато сиропу. Після уведення цукрової пудри через кран 7 починають відбирати проби сиропу на скло й спостерігають за кількістю кристалів, що утворилися. Для отримання кристалів з середнім розміром

(близько 3000 в одному грамі цукру-піску) потрібно, щоб у І мм довжини скла розміщалося 5–6 кристалів (зародків).

Своєчасне заведення кристалів і закінчення їхнього утворення є важливими для процесу уварювання та якості готового утфеля. Чим більше є кількість центрів кристалізації в момент заведення, тим меншими будуть розміри кристалів цукру, проте , чим менше буде уведено центрів кристалізації, тим більші кристали в готовому утфелі. Утфель із великими кристалами легше піддається центрифугуванню й пробілюється, але довше уварюється, у ньому виділяється більше «борошна».

У сиропи з низькою доброякісністю запалу вводять приблизно в 2 рази більше, так як швидкість кристалізації сахарози в таких сиропах буде нижчою, і якщо площина поверхні кристалізації буде недостатньою, то при згущенні утфеля сахароза не зможе встигнути викристалізовуватися. Це приводить до підвищення пересичення розчину та випадання «борошна».

Коли в уварюваній масі, що, після уведення запалу утвориться достатня кількість зародків (5–6 на один мм), у вакуум-апарат докачують певну кількість сиропу для пониження коефіцієнта пересичення на рівні 1,08–1,12, що переведе пересичення сиропу у метастабільну зону, коли припиняється утворення нових кристалів, а ті, що в наявності уже ростуть. Підкачування сиропу, зроблені в цей час, називаються закріпними, тому що кристали швидко ростуть (закріплюються). Сироп на закріпні підкачування беруть невеликими порціями й вводять так, щоб не розбавити міжкристалічний розчин до ненасиченого стану й не розчинити утворені кристали. Подальше нарощування кристалів проводиться при залишковому тиску не менше 0,02 МПа й температурі не більше 76 °С.

Найбільш ефективним способом регулювання числа кристалів в утфелі є заведення кристалів за допомогою пасти. Її вводять в сироп у метастабільній чи проміжній зоні пересичення.

3. Нарощування кристалів цукру. На цієї стадії кристалізації головним завданням є рівномірне нарощування вже наявних кристалів без утворення нових при мінімальній витраті пари. Для цього потрібні: постійна подача свіжого сиропу в апарат, підтримка певного коефіцієнта пересичення в міжкристалічному розчині (1,08–1,12), енергійна циркуляція утфеля й достатня поверхня кристалізації.

Дрібні кристали, котрі зароджуються в цей час («борошно») розчиняються збільшеним підкачуванням сиропом. Сироп краще підкачувати у вакуум-апарат безперервно, збалансувавши підкачування з випарюванням води. На початку нарощування кристали через малий розмір будуть мати меншу поверхню кристалізації, тому сахароза кристалізується повільніше, ніж випарюється вода. При цьому порушується рівновага в системі й пересичення починає збільшуватися. Щоб зберегти його на заданому рівні, у вакуум-апарат підкачують воду. Знижувати інтенсивність випарювання води з утфеля у вакуум-апаратах із природною циркуляцією небажано, тому що буде погіршуватися його перемішування. У вакуум-апаратах з механічним циркулятором можна зменшити підведення гріючої пари, і обходитися, таким чином, без підкачувань води.

З ростом кристалів росте площина їхньої поверхні, зменшується розмір середньої відстані між кристалами, внаслідок цього знижується можливість утворення «борошна» та коефіцієнт пересичення поетапно підвищують у межах 1,08–1,12 до 1,12–1,15, регулюючи його підкачуваннями сиропу.

Сироп, що підкачується, попередньо нагрівають приблизно на 5°С вище температури кипіння утфеля. Тому при поступанні до вакуум-апарата він закипає, що сприяє швидшому змішуванню його з масою утфеля й запобігає утворенню дрібних кристалів. Температура утфеля у вакуум-апараті підтримується 74–76 °С. Контроль за підкачуваннями ведеться за показниками кондуктометра в сполученні з візуальними спостереженнями.

У міру збільшення маси кристалів міжкристалічний розчин утфеля втрачає цукристість та до закінчення уварювання доброякісність його знижується з 91–93 до 82–84%.

Для отримання цукру-піску вищої якості при уварюванні утфеля необхідно забезпечити його інтенсивну циркуляцію. При слабкій циркуляції різко зростають дельта температур і пересичення, наприклад, у верхніх й прилягаючих до нагрівальної камери шарах маси утфеля; під впливом стовпа утфеля в нижній частині вакуум-апарата росте температура кипіння; слабка циркуляція утфеля приводить до утворення кристалічного «борошна» і значної частини конгломератів, порушується безперервний і рівномірний ріст кристалів.

4. Остаточне згущення і спуск утфеля. Після досягнення максимального обсягу утфеля, накачку сиропу припиняють, проте випарювання води й кристалізацію цукру продовжують, доки не отримають необхідну концентрацію сухих речовин.

Так як в процесі уварювання доброякісність міжкристалічного розчину знижується, то можна дещо підвищувати пересичення.

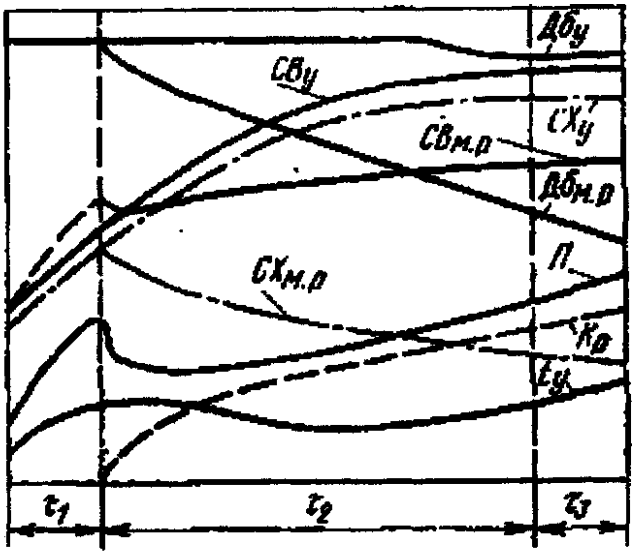


Рис. 1.2 Зміна основних показників під час уварювання утфеля

Остаточне згущення утфеля до високого вмісту сухих речовин (92–92,5%) позитивно впливає на вихід кристалічного цукру. Згущення утфеля

вище 92,5 % СВ недоцільно,тому що густий утфель дуже повільно циркулює, при цьому знижується швидкість кристалізації й процес розтягується в часі. До кінця уварювання температура утфеля не повинна перевищувати 70–73 °С.

Розглянутий повний цикл уварювання утфеля І кристалізації добре інтерпретується графічно. На рис. 1.2 показаний характер зміни основних показників уварюваної маси утфеля: доброякісності утфеля й міжкристалічного розчину (Дбу, $Дб_{мр}$), сухих речовин утфеля й міжкристалічного розчину ($СВ_{У}$, $СВ_{мр}$), змісту цукру в утфелі й міжкристалічному розчині ($СХ_{У}$, $СХ_{мр}$), росту маси кристалів (КР), коефіцієнта пересичення (П), температури уварювання ($t_{У}$). По осі абсцис відкладений час уварювання, затрачуваний на згущення (t_1), нарощування кристалів (t_2) і остаточне згущення (t_3). Заведення кристалів на графіку відповідають границі t_1та t_2

Перед спуском утфеля з вакуум-апарата відключають систему розрідження й подачу пари до парової камери та відкривають вентиль, котрий поєднує вакуум-апарат з атмосферою, і клапан спуску ІЗ, що управляється гідравлічним циліндром. Для рівномірного спуска утфеля у вакуум-апараті підтримують невеликий залишковий тиск (0,08–0,087 МПа). При спуску в холодну приймальну утфелемішалку температура утфеля понижається на 5–6°С, що збільшує коефіцієнт пересичення міжкристалічного розчину на 0,06–0,08, при цьому з'являється можливість виділення «борошна». Для цього утфель обприскують водою з температурою близько 75 °С, що знижує коефіцієнт пересичення до 1,03–1,06. Звичайно на це витрачається близько 0,5 % до маси утфеля води.

При обприскуванні утфеля водою відбувається розчинення дрібних кристалів і підвищується доброякісність міжкристалічного розчину, утфель стає рухливішим , вільним від «борошна» і центрифугується майже в 2 рази активніше.

Після вивантеження до вакуум-апарату подають пару для розчинення залишків утфеля. Утворений сироп (пропарювання) направляється в ту ж утфелемішалку, куди було відправлено утфіль І. Для контролю за процесом уварювання утфеля вакуум-апарат обладнений оглядовим склом; вакуумметром, що контролює розрідження в апараті; термометром, що показує температуру утфеля, і манометром для контролю за тиском пари в паровій камері.

Зразкова тривалість окремих операцій при уварюванні утфеля І із суміші сиропу з доброякісністю 90–92 % і низьким змістом речовин колоїдної дисперсності наступна (у хв):

Заповнення апарата сиропом	5
Згущення до заведення кристалів	20
Заведення кристалів	3
Нарощування кристалів	115
Згущення кристалічної маси	10
Спуск утфеля й пропарювання апарата	12
Усього	165

Цього часу досить, якщо на уварювання поступає сироп належної якості. При переробці сиропу низької якості цикл уварювання утфеля зростає до 210 хв і більше.

3.3. Гідродинамічні особливості робочого процесу у вакуум-апаратах

Апарати для випарювання розчинів, що кристалізуються, займають особливе місце серед випарників і випарних апаратів для згущення розчинів. Загальною особливістю гідродинаміки процесу в цих апаратах є паралельне протікання теплообміну, випарювання й основного технологічного процесу - кристалізації розчиненої речовини за різних режимів живлення апарата свіжим розчином в умовах перемішування й рециркуляції утфеля.

Перша особливість гідродинамічної обстановки робочого процесу, характерна переважно для випарників-кристалізаторів періодичної дії, полягає в підвищенні рівня киплячої маси, що досягає до кінця варіння 2х-3х довжин кип'ятильних труб. Змінна глибина затоплення поверхні нагрівання в сполученні із впливом зростаючої твердої фази й підвищення загальної концентрації сухих речовин істотно відрізняє процес випарювання утфеля від кипіння води в парогенераторі або розчину, що не кристалізується, у випарнику із природною циркуляцією.

Друга особливість випарників-кристалізаторів — робота їх під вакуумом по технологічних умовах кристалізації цукрози. Тиск у вакуум-апараті в 3–4 рази менший від атмосферного, що зміщує робочий діапазон параметрів процесу в поле високих співвідношень густин утфеля й пари, що утворюється (p_y/pn) і викликає ряд специфічних властивостей пароутворення й зміни структури пароутфельного потоку.

Третя гідродинамічна особливість процесу кристалізації зумовлена рядом специфічних властивостей багатофазної системи, який є утфель; останній є механічною бінарною сумішшю полідисперсних кристалів і високов'язкого маткового розчину (у мішалках-кристалізаторах) і потрійною сумішшю кристалів розчину й пари (у вакуум - апаратах). Внаслідок наявності твердої фази (до 55%), високої в'язкості (порядку 50 П) і малого вмісту води (до 7–8%) утфелі наприкінці варіння здобувають властивості напіврідких грубо дисперсних суспензій, що мають в'язко-пластичні властивості. Різкий злам у структурно-механічних властивостях утфелів і характері їхнього руху починається з моменту зіткнення кристалів, що відповідає загальній масовій концентрації сухих речовин близько 90% і зменшенню вмісту пари в утфелі.

Четвертою відмінною рисою процесу у вакуум-апаратах можна назвати непостійність фізичних властивостей утфеля в часі процесу й в об'ємі апарата.

У міру кристалізації теплофізичні, структурно-механічні й реологічні параметри утфеля зазнають сильних змін. Вони відбуваються при накладенні різко вираженого змінного температурного поля, що спостерігається як поблизу поверхні нагрівання біля гарячих стінок апарата, так і в його робочому об'ємі. Тому параметри середнього ізотермічного потоку сиропу або утфеля можуть бути іншими відносно параметрів тих же потоків для розглянутої області елемента, що нагрівається або охолоджується. Це підвищує основний термічний опір, і основна частина температурного напору в кристалізаційному контурі діють на площу теплообміну між поверхнею нагрівання й кристалізованною масою. Тому спочатку висувається питання про вибір визначальної температури пароутфельної суміші й розрахункових корисних температурних перепадів.

Ці правила практично можуть змінюватися, якщо в апаратах відбувається утворення піни, при вдуванні повітря й пари, зміні кратності обміну в контурах циркуляції утфеля, введенні водного і патокового підживлення, а також при коливаннях режиму у зв'язку з наявністю загальної з випарною станцією конденсаційної установки й з ряду інших причин, що викликають активізацію основного процесу.

Більша складність процесів руху пароутфельних сумішей у вакуум-апаратах і високов'язких утфелів у мішалках-кристалізаторах заважає списати реальні процеси в елементарній математичній формі, а існуючі рішення системи диференціальних рівнянь процесу ще не доведені до інженерних прийомів для конкретних умов. Тому на даному етапі вивчення руху утфелей доводиться задовольнятися наближеними напівемпіричними розрахунками й дослідами, що підтверджуються лише експериментально.

3.4. Гідродинамічні характеристики циркуляційного контуру

Гідродинамічні процеси у вакуум-апаратах діють згідно законів, загальних для всіх випарників, а методика гідродинамічного розрахунку

циркуляційного контуру парогенераторів з певними виправленнями використовується й для вакуум-апаратів.

Природна циркуляція маси, що уварюється, відбувається під дією сил гравітації, виникаючих внаслідок розходження густин середовища в опускних і піднімальних каналах. Створений у такий спосіб рушійний напір повністю витрачається на подолання гідравлічних опорів і підвищення швидкості руху уварюваної маси у піднімальних каналах.

Реологічні властивості утфелів впливають на гідродинамічні характеристики середовища у вакуум-апараті. Рух чистих цукрових розчинів відповідає закону Ньютона, відповідно до якого їхня в'язкість не залежить від напруг зрушення й часу зберігання розчину.

Виробничі цукрові розчини можуть містити в складі сухих речовин майже половину речовин, що відносяться до нецукрів. Залежно від сполуки нецукрів при однаковому вмісті сухих речовин у розчинах зі зниженням їхньої доброякісності спостерігалося як підвищення, так і зниження в'язкості цукрових розчинів. У таких розчинах було виявлено малопомітні псевдопластичні властивості.

Наявність кристалів цукру значно підвищує в'язкість утфеля, особливо при концентраціях кристалів КР>45% , у разі заткнення кристалів і неможливості їх індивідуального руху. Про реологічну природу утфелів немає єдиної думки, а значення в'язкості однакових за сполукою утфелів різняться часом до десяти порядків.

Зміна розмірів кристалів від 0,5 до 3 мм не впливає на відносну в'язкість $\mu_у/\mu_м$, а відносна в'язкість для утфелів із вмістом кристалів розміром 3–5 мм на 7–10% нижче, ніж при інших розмірах кристалів, однак в інженерних розрахунках таку різницю не розглядають.

Різниця температур не впливала на величину відносної в'язкості утфеля. Підвищення $\mu_у/\mu_м$ з ростом температури спостерігається лише при витіканні утфеля з короткого патрубка. Ймовірно, що підвищення величини

відношення $\mu_у/\mu_м$ зв'язане не з ростом в'язкості утфеля, а з підвищенням турбулізації потоку кристалами цукру при зменшенні в'язкості розчину.

Якщо співставити дані, представлені на рис. 3.1, то можна зауважити, що значні розбіжності існують між дослідами з різною кінематикою плину утфеля. Для порівняння на ньому наведені результати випробування ультразвукового віскозиметра, запропонованого для контролю в'язкості міжкристального розчину з метою регулювання процесу уварювання утфелів. В’язкість спостерігали по швидкості зменшення ультрозвукових коливань пласкої пластини, що робить високочастотні повздовжні коливання в утфелі. При КР<20% прилад реагував на присутність кристалів близько до похибки. За допомогою такого віскозиметра було отримано найменші параметри $\mu_у/\mu_м$ (лінії 1, 2 на рис. 3.1), тому стикалася головним чином з міжкристальним розчином і лише епізодично — із кристалами, тому тверда фаза практично не мала впливу на показники приладу.

Значний вплив вмісту кристалів на відносну в'язкість утфеля помітно при русі утфеля вертикальними патрубками. Напрям руху кристалів і розчину тут співпадають. Кристали цукру завдяки більшій густині мають деяку відносну швидкість в розчині і, завихрюючи його, створюють ефект додаткової в'язкості утфеля.

Однак найбільші значення $\mu_у/\mu_м$ отримані в дослідах на ротаційних віскозиметрах, у зазорі яких кристали цукру під дією рушійних, гравітаційних і відцентрових сил роблять складний просторовий рух з більшими, ніж у вертикальних трубах, відносними швидкостями. Цим пояснюється підвищення

розсіювання енергії потоку й збільшення в'язкості утфеля.

Для розрахунків циркуляції утфеля у вакуум-апаратах і використовують залежності, отримані при русі утфелів у трубах. Можна припустити, що рух утфелів високої в'язкості при невеликих швидкостях, характерних для

вакуум-апаратів, відноситься до ламінарних режимів, для яких коефіцієнт тертя по довжині труби визначається за рівнянням Пуазейля: $\lambda_{од} = 64/\mathrm{Re}$ (3.1)

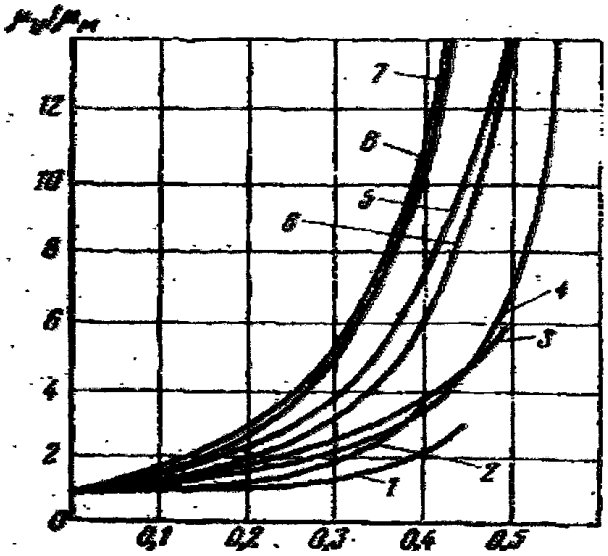


Рис. 3.1 Залежність відносної: в'язкості утфеля від вмісту кристалів при вимірюванні: ультразвуковим віскозиметром: 1-Дб=100; 2-Дб=60; 3 – віскозиметром Геплера при зміні розмірів кристалу цукру від 0,5 до 5,5 мм

При дослідженні втрат на тертя при русі кормової патоки в трубах отримані невеликі відхилення від рівняння Пуазейля, які перебувають у межах погрішностей дослідів. Втрати на тертя при русі утфелів можна визначати по рівнянню Букингама для структурованих систем. Це рівняння дещо відрізняється від рівняння (3.1), тому що граничні статичні напруги зрушення мають невеликі абсолютні значення. Отримані дані [2] підтверджують справедливість рівняння (3.1) для визначення коефіцієнта тертя при русі утфелів у вертикальних трубках.

Авторами також досліджені місцеві опори при вході утфеля в трубу й при виході з її. Дослідні дані задовільняють рівняння (рис. 3.3):

$$\zeta_{вх} = (500/\mathrm{Re}) + 1{,}6; \quad (3.2)$$

$$\zeta_{вих} = (250/\mathrm{Re}) + 1; \quad (3.3)$$

Коефіцієнти тертя й місцевих опорів λ, $\zeta_{вх}$ і $\zeta_{вих}$ і залежать тільки від чисел Re потоків утфеля й не залежать від концентрації кристалів і вмісту сухих речовин в утфелі.

У дослідженому діапазоні зміни режимних параметрів (СВ= 79–86% , КР=10–54%, розмір кристалів 0,5–5 мм, температура 28–50° С, швидкість руху утфеля 0,05–1,3 м/с) рух утфелів у трубах мав ламінарний характер. У той же час при русі утфелів через місцеві опори ламінарний характер спостерігається лише при Re<80. При Re>80 має місце перехідне поле параметрів.

При малих значеннях Re вплив другого параметра рівнянь (3.2) і (3.3) менший, якщо порівнювати з першим параметром. У цій області рух утфеля через місцевий опір є безперервним, ламінарним, і опір визначається дією сил в'язкого тертя.

Зі збільшенням значень Re поряд із втратами на внутрішнє тертя виникають втрати напору, обумовлені відривом потоку й утворенням вихрів, тобто частковою турбулізацією потоку. Це так звана перехідна область опорів тертя. При досить більших значеннях чисел Re втрати на вихроутворення стають превалюючими, коефіцієнти опорів тертя практично не залежать від чисел Re. ЇЇ називають квадратною (тому що втрати напору пропорційні квадрату швидкості плину) або автомодельна областю опорів, характерною для турбулентних рухів.

Другі доданки рівнянь (3.2) і (3.3) визначають параметри місцевих опорів, перехідна область наступає при Re>80, у той час як для опорів тертя по довжині труби всі дослідні дані до Re=1800 відносяться до області в'язкого руху. Появу турбулентності в місцевих опорах при більш низьких значеннях Re в порівнянні із рухом утфелів у стабілізованих ділянках трубопроводу можна пояснити турбулізуючим впливом кристалів цукру під час переходу місцевими опорами, що пов'язані з перебудовою поля швидкостей і утворенням вихрів.

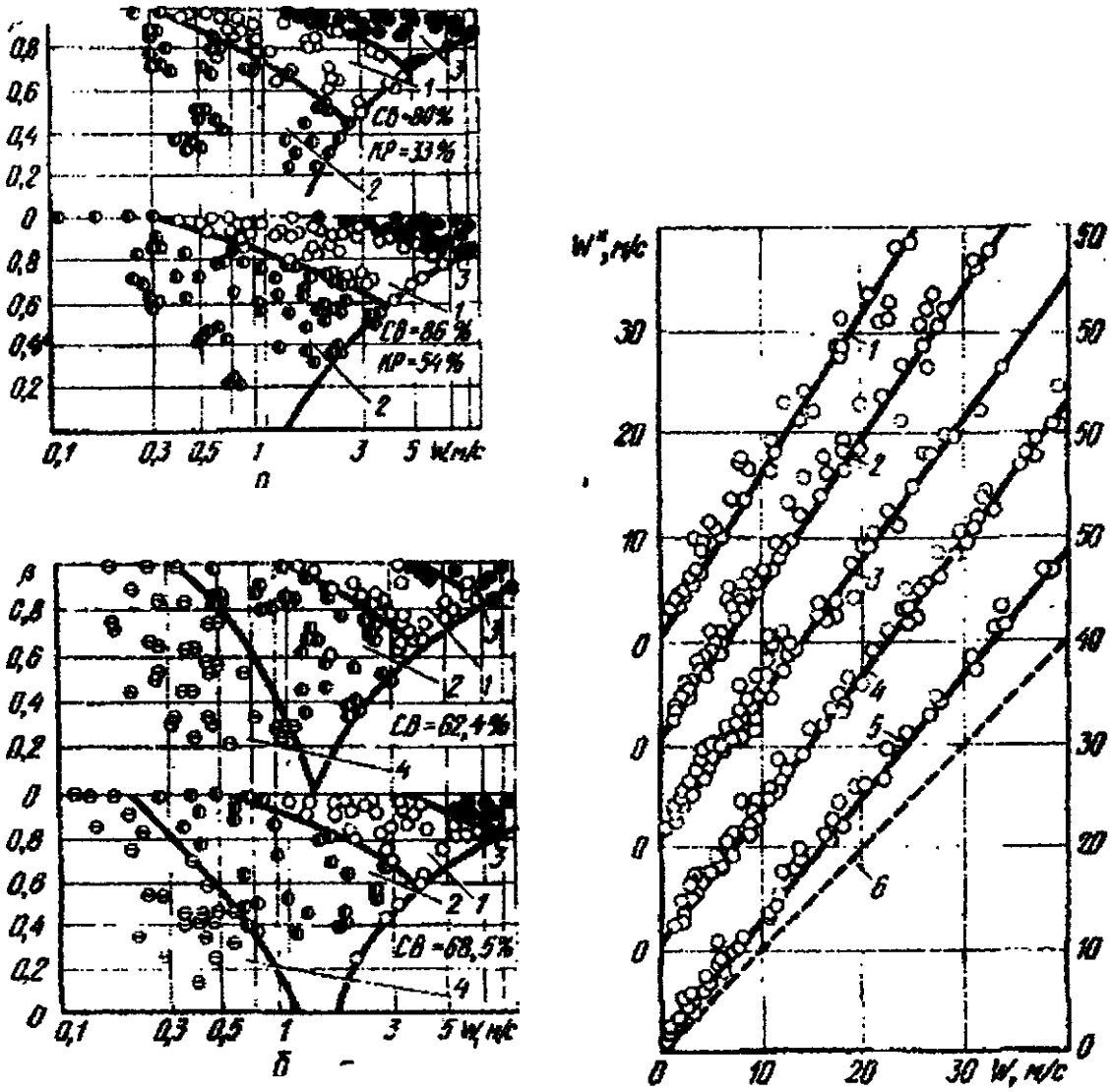


Рис. 3.2. Карти форм руху сумішей повітря з утфелем (а) і цукровим розчином (б) у трубі 0 50 мм. Форми руху:

1 — поршнева; 2 — снарядна; 3 — кільцева; 4 — пухирькова.

Рис.3.3. Залежність дійсної швидкості повітря від

витратної швидкості суміші

його із цукровим

розчином і

утфелем.

Форма руху газо-утфельних потоків може бути пухирьковою, снарядною, поршневою і кільцевою (рис. 3.2). Рух газо-утфельних потоків із пухирьковою формою (рівномірно розподіленими дрібними пухирцями) не спостерігалися. У дослідах із цукровими розчинами й утфелями при КР<15% при невеликих витратах повітря спостерігалися рухи, у яких повітряні пухирці різних розмірів нерівномірно рухалися по центру труби. Це відбувається внаслідок високих в’язкостей цукрових розчинів і утфелів.

Більш характерною для газо-утфельних потоків є снарядна форма з рівномірним рухом газових снарядів, що чергуються і займають майже весь розріз труби, і рідких перемичок.

Поршнева форма схожа до снарядної, але відрізняється від неї тим, що довжина газових снарядів значно перевищує довжину рідких перемичок, що рухаються як поршень. На зайнятих газом ділянках труби було видно стікання вниз шару утфеля, котрий після цього захоплювався утфельною перемичкою, що піднімається. Такий рух супроводжується більшими змінами тиску в трубі й швидкостями руху потоку.

Кільцева форма газо-утфельних потоків спостерігається тільки при невеликих витратах утфеля й більших газовмістах потоків. При цьому в центрі труби рухається суцільний потік повітря з окремими частками утфеля, а по стінках піднімається хвилеподібно шар утфеля.

Область існування окремих форм руху газо-утфельних сумішей визначається витратними газовмістами β і швидкостями Wсм потоку, а також вмістом сухих речовин і кристалів в утфелі. Під час росту концентрації й газових снарядів, а отже, в'язкості рідкого компонента потоку границі між окремими формами потоків зміщалися убік менших значень *β* і *Wсм. Це* пояснюється збільшенням опору пересуванню перемичок утфеля й, отже, ростом відносної довжини.

Характерними для промислових вакуум-апаратів є снарядна й поршнева форми руху газо-утфельних потоків у кип'ятильних трубах. Дійсні газовмісти

й швидкості плину фаз є найважливішими гідродинамічними характеристиками кип'ятильних труб, тому як мають найбільший вплив на потік циркуляції утфеля.

Газовмісти, а також швидкості руху газу (пари) W´´ або рідини W" у великому ступені залежать від форми потоків. Під дією архімедових сил газ (пара) у кип'ятильних трубах рухається швидше, ніж утфель. Відносна швидкість газу (Wг= W"–W´)тим вище, чим більше розділені фази в потоці суміші. Найменшу Wг мають дрібні одиничні пухирці газу, зі збільшенням їхніх розмірів Wг зростає. Якщо пухирці газу рухаються один за одним, їхні відносні швидкості підвищуються Wг при переході форм плину від пухирькової до снарядної, поршневої і кільцевої. Широко досліджені дійсні газовмісти паро- і газоводних потоків, отримані залежності для визначення цих параметрів у парових котлах і випарниках. Менш досліджені дійсні газовмісти потоків з рідинами, що значно відрізняються від води своїми фізичними властивостями сильно змінюють свою кількість і зростають.

Властивості рідкої фази мають значний вплив на дійсні газовмісти й швидкості плину фаз. Так, на рис. 3.3 показаний вплив в'язкості рідкого компонента μ на W". Зі збільшенням в'язкості в напірних газо-утфельних потоках швидкості газу W" підвищуються, а газовміст зменшується.

Дослідження (див. рис. 3.4–3.5) показують, що зміни витратних швидкостей Wo, розміру кристалів в утфелі, тиску в діапазоні, характерному для роботи вакуум-апаратів, не має значного впливу на дійсні характеристики газо-утфельних потоків. Для узагальнення експериментальних даних була використана залежність

$$W''/W_{ст} = \beta/\varphi = C_p + (V_д/W_{ст}) \quad 3.4.$$

у якій дійсна швидкість газу W" представлена в порівнянні зі швидкістю Wсм, під час гомогенного пливу суміші. Розходження між ними визначено параметром розподілу Ср, що відбиває нерівномірність поля швидкостей і газовмісту, і дрейфовою швидкістю Vд, з якої окремі газові утворення під дією архімедових сил випереджають середню швидкість плину навколишньої їхньої суміші.

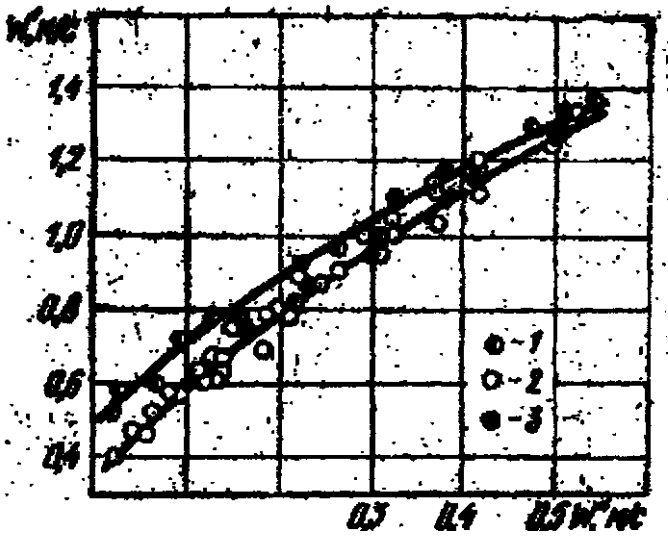


Рис. 3.4. Залежність дійсної швидкості повітря від витратної при барботажі його через цукрові розчини зі вмістом сухих речовин (в %): **і**—62;2 — 71,5;3 — за результатами кінозйомки.

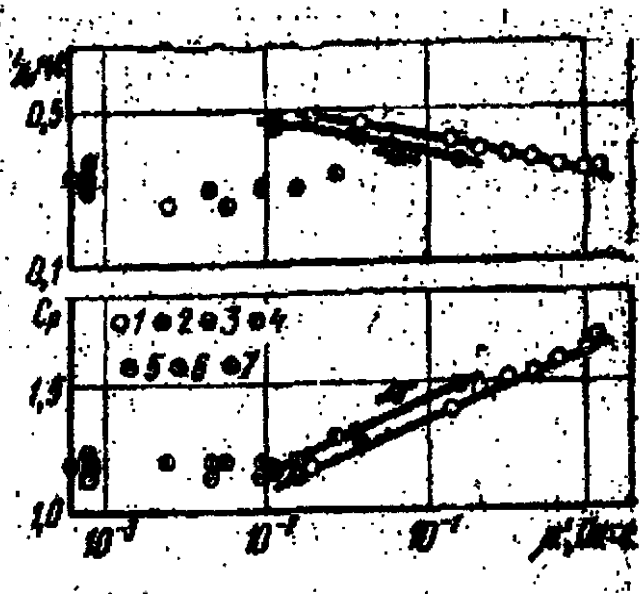


Рис. 3.5. Залежність дрейфової швидкості й параметра розподілу від в'язкості рідини утфеля

Отримані експериментальні дані оброблені в координатах W" = f(Wст). На ділянках Wсм<12 ці залежності усереднені лінійними функціями й знайдений параметр *Ср* по нахилу прямих до осі Wсм, а параметр Vд — по відрізку, що відтинається прямими на осі W". У дослідах більш точне визначення параметра Vд визначалось за результатами дослідження

барботажних режимів. На рис. 3.5 представлені отримані значення параметрів Vд і Ср залежно від в'язкості рідкого компонента й діаметра експериментальної труби.

В області μ <0,018 Па·с параметри Vд і Ср не залежать від μ. При більше високих в'язкостях рідкого компонента спостерігалося зниження параметра Vд і ріст коефіцієнта Ср практично по лінійній залежності в логарифмічних координатах (див. рис. 3.5), Помітно також деяке збільшення параметра Vд і зниження коефіцієнта Ср зі збільшенням діаметра труби.

Гідравлічні опори при русі повітряно-утфельних потоків у трубах є головними складовими загального опору циркуляційного контуру. Вони містять у собі втрати тиску на тертя суміші по довжині труби $\Delta p_{òð}^{ä}$,на прискорення плину суміші $\Delta p_{ó}$ й на розширення при виході суміші із труби $\Delta p_{âèõ}^{ä}$

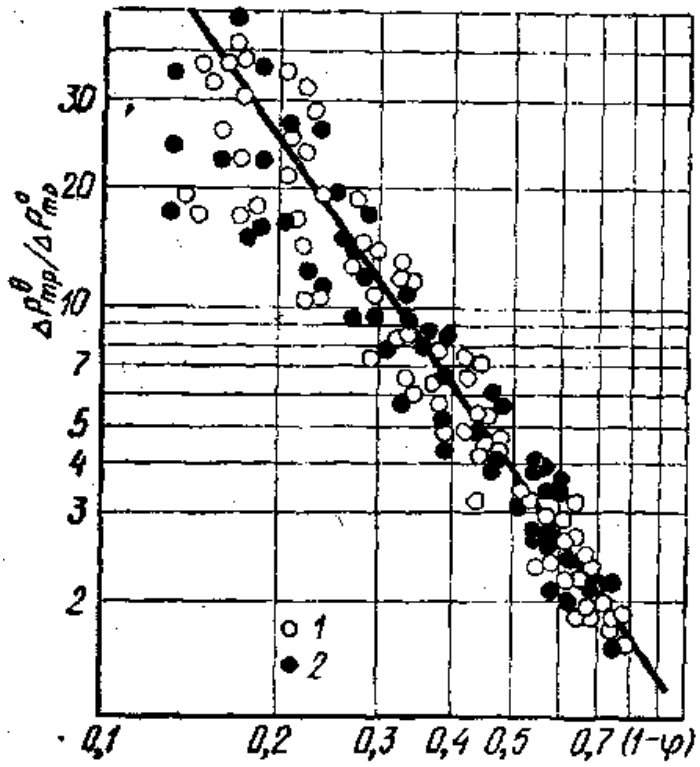
Дані про втрати тиску на тертя повітряно-утфельних потоків у вертикальних трубах залежно від дійсного змісту рідини в суміші (1–φ*)* і від втрат на тертя $\Delta p_{òð}^{0}$ при плині одного лише рідкого компонента зі швидкістю циркуляції Wo узагальнюються наступною залежністю:

$$\Delta p_{òð}^{ä} / \Delta p_{òð}^{0} = 1/(1-\varphi)^2 \qquad (3.5)$$

Аналогічна залежність отримана також для паро-водяних потоків при аналітичному рішенні моделі з турбулентним рухом рідини в кільцевому шарі. Однак залежність (3.5) узагальнює дані, стосовно також до пухирькової і снарядної форм руху. Зміна тиску й витрати швидкості рідкого компонента не позначається на залежності (3.5), тобто воно однаковою мірою впливає на $\Delta p_{òð}^{ä}$, $\Delta p_{òð}^{0}$ (рис. 3.6). Розкид дослідних Даних біля середньої лінії досить значний. Це пояснюється пульсуючим характером плину повітряно-утфельних потоків, що спричиняє погрішності вимірів. Втрати напору на прискорення потоку газо-рідинних сумішей визначаються їхньою масовою швидкістю й зміною

Рис. 3.6 Втрати тиску на тертя у повітряно-утфельних

потоках при вмісті сухих речовин 82% і кристалів 32 42%
(1) і відповідно 86,1 і 54% (2).



дійсного газовмісту вздовж потоку. Аналітично отримана залежність для визначення Δp_{∂}, що для випадку, коли вище щільності газу р", що характерно для роботи вакуум-апаратів, можна представити у вигляді

$$\Delta p = W_0^2 p'(\varphi_2 - \varphi_1)/(1-\varphi_1)\cdot(1-\varphi_2) \quad (3.6)$$

де індекси 1 і 2 характеризують початковий і кінцевий перетини ділянки, що розраховується.

Дослідження втрат тиску на виході повітряно-утфельних сумішей із труб у вигляді залежності відношення коефіцієнтів місцевого опору ($\zeta^{д}_{вих}$ для повітряно утфельного потоку й $\zeta^{0}_{вих}$ *для* потоку утфеля) від відношення витратних швидкостей газу W" про і утфеля W'0 дозволили одержати залежність

$$\zeta^{д}_{вих} / \zeta^{0}_{вих} = 1 + 0{,}53(W_0'' - W_0')^{0{,}42} \quad (3.7)$$

Зміна фізичних властивостей і витратної швидкості рідкого компонента не позначається на отриманій залежності, ймовірно, тому, що однаковою мірою впливає на $\zeta^{д}_{вих}$ і $\zeta^{0}_{вих}$

3.5. Вплив різних факторів на швидкість циркуляції

У вертикально-трубчастих вакуум-апаратах швидкість природної циркуляції утфеля встановлюється такий, при якій рушійний напір повністю витрачається на

подолання опорів у циркуляційному контурі. Гідродинамічна обстановка в періодично діючих вакуум-апаратах безупинно змінюється. При цьому швидкість циркуляції утфеля різко коливається й поступово знижується до кінця варіння до мінімуму.

Отримана залежність для швидкості циркуляції

$$W_0 = K(f_{оп} / f_{под})\Delta t C B_y^{-n} \exp(-b(KP/(1-KP))^2) \quad (5.1)$$

де К— коефіцієнт, що характеризує нерівномірність поля швидкостей в опускній трубі й визначається як співвідношення середньої швидкості до максимальної.

Залежність (5.1) дозволяє охарактеризувати вплив окремих факторів на швидкість циркуляції утфеля.

Коефіцієнт К збільшується з підвищенням концентрації утфеля від 0,7 при СВу=61% до 1 при СВу=86%. Показник ступеня *n* у рівнянні (6.1) залежить від співвідношення $(f_{оп} / f_{под})$ і Δt Мінімальне значення n=0,94 отримане при $(f_{оп} / f_{под})$=1,1-1,2 і Δt =51 °С, а при подальшому збільшенні або зменшенні $(f_{оп} / f_{под})$ і Δt його значення різко зростають. Співмножник показника експоненти *b* залежить від *СВу* й *КР,* причому з підвищенням СВу фактор *b* різко зростає, а з підвищенням *КР* — різко падає.

Конструктивний фактор досліджувався тільки як співвідношення перетинів піднімальних і опускних каналів. Збільшення відношення ^юд/^ш веде до зниження швидкості циркуляції, що пояснюється підвищенням опору опускних каналів. Зменшення значень $(f_{оп} / f_{под})$ нижче 1,1 супроводжується повільним ростом значень W0 тому що цей фактор не впливає на Wo. Так, при перетину опускної труби менш 10% від площі перетину кип'ятильних труб $f_{оп}$ впливає на W_0.

Температурний напір визначає інтенсивність пароутворення в кип'ятильних трубах t впливає на величину рушійного напору циркуляції. З підвищенням Δt відповідно до залежності (5.1) W_0 росте за рахунок зменшення показника ступеня *n,*

але лише до значень $\Delta t \leq 50°C$. При подальшому підвищенні А збільшується *n,* що трохи зменшує величину співмножника $СВ_y^{-n}$

Інтенсивність паротворення при однакових Δt буде різною в різні стадії уварювання, тому вплив цього фактору на швидкість циркуляції є складнішим. З підвищенням різниці температур швидкість циркуляції утфеля зростає. Цьому сприяє також більш високий перегрів утфеля біля стінок кип'ятильних труб, що супроводжується зниженням в'язкості пристінного шару утфеля. Однак при цьому треба враховувати також технологічні вимоги (недопущення перегріву й пригоряння продукту, розчинення кристалів у пристінному шарі й ін.).

Фізичні властивості утфеля істотно впливають на швидкість циркуляції. З підвищенням СВу й *КР* швидкість циркуляції утфеля зменшується, що випливає також з рівняння (6.1). Це пов'язане з підвищенням в'язкості утфеля й зниженням інтенсивності паротворення, особливо на заключних стадіях уварювання.

З підвищенням в'язкості утфеля відбувається зростання опорів по всьому контуру. До того ж, як видно з рис. 3.3, при цьому збільшуються дійсні швидкості руху пари, а дійсний газовміст й рушійний напір циркуляції зменшуються. Зменшення інтенсивності пароутворення пов'язане з підвищенням фізико-хімічної депресії, зменшенням рухливості утфеля, а також зі зменшенням ділянки генерації пари кип'ятильної труби. Всі ці фактори приводять до зниження швидкості циркуляції.

У періодично діючих вакуум-апаратах підвищення концентрації утфеля супроводжується збільшенням обсягу й рівня утфеля в апараті, що пов'язане

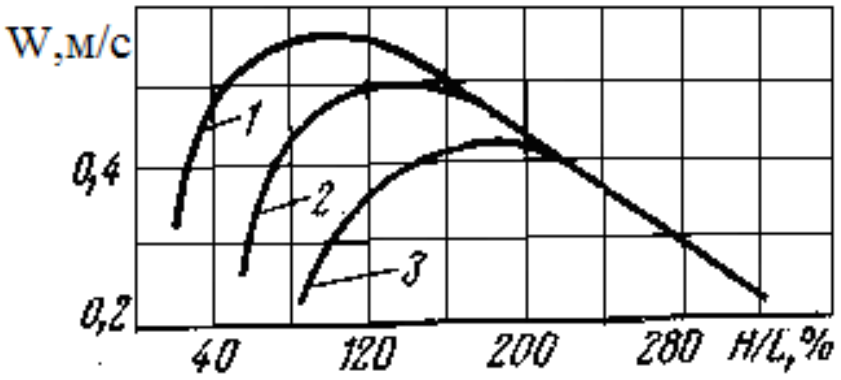


Рис.5.1. Зміна швидкості циркуляції утфгеля I рафінаду залежно від глибини затоплення при різному змісті кристалів (в %): 1–15; 2–30; 3–45.

з підвищенням гідростатичної депресії, що приводить до зниження інтенсивності пароутворення й зменшенню швидкості циркуляції. На рис. 5.1 показаний вплив глибини затоплення утфелем камери, що нагріває, на швидкість циркуляції. Можна визначити оптимальні значення глибини затоплення, що характеризуються найбільш можливою інтенсивністю пароутворення й найбільшою швидкістю циркуляції. У разі збільшення концентрації утфеля оптимальні значення W_0 понижуються, а область їхнього існування зміщується до більших значень глибини затоплення.

Залежність W_0 =f(H) є неоднозначною як для утфельних вакуум-апаратів, так і для випарних апаратів при кипінні розчинів. На рис. 5.1 представлена залежність швидкості циркуляції утфеля не тільки від висоти шару, але й від фізичних властивостей, що безупинно змінюються, утфеля при уварюванні його в періодично діючих апаратах.

3.6. Шляхи інтенсифікації уварювання утфелю та кристалізації цукрози

3.6.1 Інтенсифікація теплообміну.

Коефіцієнти тепловіддачі до киплячих утфелів є досить незначними, і тому для скільки-небудь значних величин теплового потоку визначається великий температурний перепад між тепловіддаючою поверхнею й утфелем.

Значні перегріви приводять до погіршення якості уварюваного утфеля і помітно змінюють теплофізичні властивості його в пристінному шарі. Тому необхідно скорочувати цикл тепло- і масообміну, що досягається шляхом інтенсифікації процесу кристалізації у вакуум-апараті.

Шляхи інтенсифікації процесу багатогранні і їх умовно можна розділити на три групи:

1. Інтенсифікація процесу, що залежить від тепловіддаючої поверхні.
2. Інтенсифікація процесу шляхом впливу на кипляче середовище.
3. Інтенсифікація процесу шляхом впливу зовнішніх факторів.

Як вказувалося, площина тепловіддачі відіграє важливу роль у процесі теплообміну. Шорсткість поверхні сприяє збільшенню кількості активних діючих центрів генерації парової фази. Збільшити шорсткість штучним шляхом можливо завдяки нанесенню на тепловіддаючу поверхню капілярно-пористого покриття. На таких поверхнях процес кипіння протікає інтенсивніше і здійснюється при малих різницях температур.

Аналіз результатів досліджень по кипінню на пористих покриттях пояснює фізичну сутність процесу. При нагріванні рідини усередині пористого шару утвориться пара, що виходить через одні пори, а через інші пори під дією капілярних сил підсмоктуються нові порції рідини. Виникає питання, що є причиною високої інтенсивності теплових потоків при низьких значеннях А1, у той час як кипіння на поверхнях, що не мають пористого покриття, вимагає набагато більших перегрівів, необхідних для утворення і росту зародків парових пухирців. Цей факт можна пояснити, припустивши, що усередині пористого шару існують порожнини з границею розподілу фаз. Оскільки ці порожнини є значними у порівнянні зі звичайними паровими зародками, то і випаровування у них буде протікати при набагато менших перегрівах, ніж при випаровуванні в порожнину парового пухирця. Рідина, котра підсмоктується капілярними силами усередину,

контактує з поверхнями, що мають пористий шар, температура якого вище температури рідини.

Зростання інтенсивності теплового потоку за малої різниці температур у процесі кипіння на пористих покриттях може бути пояснено трьома факторами: наявністю усередині шару границі розподілу фаз, що знижує необхідний для пароутворення перегрів; високим коефіцієнтом конвективного теплообміну при ламінарному русі рідини в капілярному каналі; розвинутою поверхнею капілярної структури при незначних її товщинах (0,1—0,2 мм).

Менш ефективним способом збільшення інтенсивності тепловіддачі в порівнянні з описаним є оребрення тепловіддаючої поверхні з боку киплячого утфеля. В області розвинутого бульбашкового кипіння інтенсивність тепловіддачі для оребрених поверхонь вище, ніж для гладких, особливо при низьких значеннях інтенсивності теплового потоку і низьких тисків у надутфельном просторі.

Крім названих шляхів інтенсифікації процесу теплообміну існують методи, що сприяють утворенню парової фази за допомогою зовнішніх збудників, які утворюють магнітні, електричні, гравітаційні поля або вузьконаправлені кванти високих енергій. Помічено, що іонізуюче випромінювання і частки високої енергії викликають передчасне закипання перегрітої рідини. Область радіаційної чутливості рідини відповідає високим перегрівам і примикає до лінії мимовільного (спонтанного) закипання в природних умовах. При атмосферному тиску ширина температурної області, де виявляється чутливість до у-квантів, складає в багатьох органічних рідин приблизно 15° С . Зі зниженням тиску ця область розширюється, а з його ростом — звужується. Механізм ініціювання парових пухирців у перегрітій рідині до кінця не з'ясований. Спочатку пропонувалася іонна теорія, у якій враховується вплив на рівновагу пухирця однойменних електричних зарядів, розташованих на його поверхні. Кулонівське відштовхування іонів сприяє росту пухирця.

Інше пояснення іонізуючого дії випромінювання відоме як теплова теорія. Відповідно до цієї теорії основне значення має утворення в рідині уздовж сліду частки областей локального розігріву. При досить високій надлишковій енергії ці макроскопічні області буквально вибухають, утворюючи пухирці, здатні до подальшого росту в перегрітій рідині.

Іншим методом інтенсифікації процесу теплообміну є використання електричного поля. Різниця інтенсивностей теплообміну в електричному полі й у його відсутності при незмінному температурному перепаді є мірою, що характеризує вплив електричного поля на тепловіддачу. В усіх режимах кипіння електричне поле покращує теплообмін, що супроводжується кардинальною зміною гідродинамічних показників: діаметра бульбашок при відриві і частоти їхньої генерації на тепловіддаючій поверхні. Було виявлено, що під впливом електричного поля відбувається перерозподіл основних зон кипіння: плівкове кипіння переходить у розвинуте бульбашкове, а останнє — у слабоінтенсивне кипіння.

Залежність інтенсивності тепловіддачі від інтенсивності теплового потоку дозволяє заявити, що під дією електричного поля криві кипіння зміщуються в область підвищених теплових навантажень і відбувається істотна інтенсифікація теплообміну.

При бульбашковому кипінні з подачею поля високої напруги в першу чергу перестають діяти дрібні джерела утворення пари. При незмінній інтенсивності теплового потоку температура поверхні електричного поля знижується, і життєздатними залишаються центри, що генерують найбільш великі парові пухирці. Під дією електромеханічної сили пухирці зриваються на більш ранніх стадіях росту. При фіксованій інтенсивності теплового потоку зі збільшенням напруженості поля щільність діючих центрів пароутворення різко зменшується аж до повного їхнього зникнення.

3.6.2.Спосіб механічних і ультразвукових коливань.

Основою тепловіддачі при бульбашковому кипінні є генерація парової фази на тепловіддаючій поверхні. Зміна деяких стадій пароутворення може призвести до покращення теплообміну в цілому. Тому знання фізичної сутності діючих сил на паровий пухирець у період його росту і відриву дозволить цілеспрямовано впливати на інтенсивність пароутворення. Дослідження показали, що малі амплітуди і частоти коливань на частоту пароутворення не впливають. їхній вплив починає позначатися при частотах більш 20 Гц [2]. При цьому відрив пухирця відбувається у верхній частині, а його утворення — в основному в період руху тешіовіддаючої поверхні вниз. Найбільша ймовірність утворення пухирця при f = 80 Гц для А = 0,1 мм складає 0,3, для А = 0,24 мм — 0,42.

Вивчення впливу коливань (f = 0...50 Гц, А = 2...6,5 мм) на інтенсивність тепловіддачі до цукрових розчинів і утфелів показало, що низькочастотні коливання тепловіддаючої поверхні в декілька разів збільшують коефіцієнти тепловіддачі.

Поряд з інтенсифікацією процесу тепло- і масообміну методом механічних коливань і пульсацій існують й інші способи, що полегшують закипання в результаті деяких зовнішніх впливів. До них відносяться звукові й ультразвукові коливання.

Відомо, що кипіння супроводжується звуковим шумом, що сприяє росту парових пухирців, тому закипання в одному місці повинне за допомогою звукових хвиль викликати зародження парової фази у всьому обсязі перегрітої рідини. Дослідження з цукровими розчинами (СР = 0...60%) при q = 5...50 кВт/м^2 , швидкості 0,1–1,5 м/с і f= 0,3...3 кГц показали можливість застосування акустичних коливань для покращення тепловіддачі при кипінні цукрових розчинів. Коефіцієнт тепловіддачі при цьому підвищується в середньому в 1,5 рази.

У цукровому розчині звукові хвилі переміщуються перпендикулярно площині теплообміну і проникають в область прикордонного шару, викликаючи в ньому акустично турбулентний потік. Турбулізація потоку спричиняється завдяки тому, що під дією звуку паровий пухирець у напівперіод розрідження збільшується, а в напівперіод стискання зменшується, причому поперемінне збільшення об'єму трохи більше наступних стискань пухирця.

Завдячуючи таким нелінійним пульсаціям граничний розмір зародка парової фази зменшується, а інтенсивність кипіння зростає. При цьому дія сили поверхневого натягу як би збільшує зовнішній тиск при стисканні пухирця і зменшує розтягуюче напруження, якщо паровий пухирець збільшує свій розмір. Ефект інтенсифікації збільшується зі зростанням потужності звукових коливань при зменшенні швидкості потоку і вмісту сухих речовин у розчині і досягає свого максимального значення при появі у потоці резонансного акустичного поля.

Електричне поле значно змінює характер кипіння рідин и зростання парової фази. Виявлено, що під час кипіння органічних рідин в електричному полі відбувається інтенсифікація теплообміну, що супроводжується значною зміною гідродинамічних параметрів, відривного діаметра парових пухирців і частоти їхнього утворення.

3.6.3. Введення поверхнево-активних речовин(ПАР).

Розглянемо фізичну природу масообміну на границі розділу фаз утфель — пара і механізм тепловіддачі від тепловіддаючої поверхні в паровий пухирець у момент кипіння. Механізм утворення і росту парового пухирця на тепловіддаючій поверхні при кипінні утфелів відбувається внаслідок більш складних закономірностей у порівнянні з однокомпонентними рідинами. Під час кипіння утфелів навколо парового пухирця утворюється граничний шар зі збільшеною концентрацією сухих речовин, з якого в парову фазу переходить практично тільки вода. Тому

навколо зростаючого парового пухирця з’являється шар розчину з кристалами цукру, що збіднений водою. У межах цього шару концентрація сухих речовин змінюється від максимальної величини $СР_{мах}$ у поверхні розділу фаз до концентрації СР в основній масі утфеля (СРу). Виникаючі в неоднорідному концентрованому полі градієнти хімічних потенціалів зумовлюють появу зустрічних потоків компонентів розчину в напрямку нормалі до поверхні розділу фаз. У зв'язку з тим, що СРмах >СРу, частки розчинника (води) рухаються до поверхні розділу фаз, а частки розчиненої речовини — углиб розчину. Це рух переносу маси ускладнюється наявністю кристалів цукру, що мають більшу щільність, ніж розчин, і під дією гравітаційних сил направляються вниз і ущільнюють міжфазний, концентраційний шар, зменшуючи кількість нового розчину, збагаченого водою, до зростаючого парового пухирця.

Наявність концентраційного шару приводить до зростання температури перегріву утфеля в ньому на величину, приблизно рівну величині фізико-хімічної депресії. Тільки такий додатковий потік теплової енергії від тепловіддаючої поверхні може забезпечити ріст парового пухирця у високов'язкому утфелі. Понизити температурний потенціал, необхідний для процесу кристалізації, можна за допомогою ПАР, що можуть впливати на концентраційний шар, поліпшуючи зустрічний перенос мас у ньому шляхом зменшення гідродинамічного опору.

Основні ПАР цукробурякового виробництва є речовинами колоїдного характеру . Вони накопичуються в сиропі і поступають до продуктового відділення. При значній кількості нецукрів, збагачених ПАР, уварювання утфелів затрудняється і супроводжується пінінням маси, що уварюється. У таких випадках спостерігається інтенсивна адсорбція ПАР на поверхні зростаючого кристала. Пінливий утфель стає настільки в'язким, а міжфазний концентраційний шар настільки щільним, що подальше пароутворення неможливе й утфель не уварюється до необхідної густини. Встановлено , що

ціноутворення при кипінні міжкристального відтоку утфеля I кристалізації приводить до різкого зниження питомого теплового потоку. Коефіцієнти теплопередачі знижуються в 2,6 рази.

Поверхневий натяг о цукрових розчинів досягає свого максимуму (75,2 кН/м) при концентраціях цукру в розчині 2,65 моль/л. При вмісті цукру в розчині понад 2,8 моль/л о знижується, досягаючи 71 кН/м. Добавки ПАР зменшують о для всіх цукрових розчинів. Збільшення добавки ПАР приводить до зниження поверхневого натягу. Зниження о залежить також і від концентрації цукрового розчину. З підвищенням концентрації цукру в розчині відносне зниження поверхневого натягу збільшується.

Внаслідок вимірювання крайових кутів і поверхневого натягу визначається адгезія між поверхнею кристала і цукровими розчинами.

Зі збільшенням концентрації цукру в розчині адгезія зменшується. Добавлення ПАР сприяє зниженню адгезії у всіх цукрових розчинах.

3.6.4.Підвищення швидкості циркуляції.

Необхідність підвищення швидкості циркуляції випливає з несприятливої гідродинамічної обстановки, особливо на заключній стадії періодичного уварювання утфеля. В'язкість утфеля різко зростає у зв'язку зі збільшенням вмісту кристалів і підвищенням в'язкості міжкристального розчину, викликаного сукупністю значної кількості нецукрів. Зі зростанням μ_γ гідравлічні опори всіх ділянок циркуляційного контуру зростають. Крім того, з ростом μ_γ зменшується рушійний тиск циркуляції і зростає істинна швидкість руху пари, а істинний газовміст зменшується.

Одночасно з ростом в'язкості і підвищенням рівня h збільшується термічний опір, підвищується можливість недогріву утфеля на вході в кип'ятильні труби, що супроводжується збільшенням довжини економайзерного ділянки і зменшенням довжини ділянки генерації пари кип'ятильних труб, що також знижує рушійний тиск циркуляції.

Оскільки температура нагрівальної пари звичайно не є керованою у вакуум-апаратах, то зростання термічного опору та пониження швидкості циркуляції супроводжується падінням інтенсивності теплообміну, зменшенням величини питомого теплового потоку, що у свою чергу веде до зниження істинних газовмістів і рушійного тиску циркуляції.

На кінцевих стадіях уварювання можливі такі режими роботи апарата, коли кипіння утфеля в трубчастих теплообмінних поверхнях не відбувається, утфель у них тільки нагрівається, а кипіння його відбувається лише у верхньому шарі. Природно, у цьому випадку швидкості циркуляції мають надзвичайно низькі значення.

Для посилення природної циркуляції запропоновані два способи: шляхом вдування газу (пари) під нижні трубні решітки, а також за допомогою встановлюваного в центральній опускній трубі механічного циркулятора, що подібно насосу нагнітає утфель під нижні трубні решітки. З метою покращення циркуляції утфельної маси у вакуум-апаратах було запропоновано певну кількість покращень, зокрема установка на циркуляційній трубі відбивача, щоб направляти висхідний потік, від центра до кожуха, щоб запобігти змішуванню гарячих та холодних потоків, що опускаються з поверхні киплячого утфеля. Адже в шарі набрякання немає чіткої межі між піднімальними та опускальними потоками.

3.6.5.Посилення циркуляції механічним способом.

Посилення циркуляції механічним способом досягається шляхом додавання зовнішнього рушійного тиску. Механічний циркулятор як правило розмішується усередині центрального опускного каналу і частково може виходити за визначені межі. Додатковий тиск, сщо створюється циркулятором, залежить від геометричних розмірів, форми і частоти обертання циркулятора. Чим вище буде створюваний тиск, тим більше зростає швидкість циркуляції утфеля.

Як наслідок, підвищується також тиск на вході в кип'ятильні труби. Відповідно при зростанні показників тиску росте і недогрів утфеля до температури кипіння, збільшується довжина економайзерної ділянки кип'ятильних труб і зменшується паровміст у них та рушійний тиск природної циркуляції.

Зміна гідродинамічного режиму руху утфелів за рахунок обертання відносно поверхні нагрівання змінює потік теплообміну при кипінні, сприяючи відриву парових пухирців і переносу в прикордонний шар нових порцій утфеля.

Перевагою механічних циркуляторів є покращення якості звареного утфеля і кристалічного цукру за відсутності появи конгломератів в апаратах із природною циркуляцією, котра досягається шляхом ведення уварювання при понижених пересиченнях і таким чином, нижчих середніх швидкостях росту кристалів та більшому періоду уварювання.

Порівняння якості цукру, звареного у вакуум-апаратах з циркуляторами, показало зменшення вмісту в ньому домішок на 50%. Штучна циркуляція дозволяє запобігти або принаймні значно зменшити подачі пари в нагрівальну камеру у момент заведення кристалів, підтримуючи також рух маси, що уварюється, необхідний для утворення якісних кристалів. У звичайних вакуум-апаратах необхідна циркуляція забезпечується тільки за рахунок кипіння продукту, що уварюється, тоді як при цьому випаровується незначна кількість води. Тому апаратники в цій стадії підкачування застосовують очищений сік або навіть воду. До того ж, при проходженні через гріючу поверхню, утфель попадає поперемінно то в гарячі, то в охолоджені зони, тобто зони недосичення і пересичення, з небезпекою або розчинення заведених кристалів, або довільного утворення нових кристалічних зародків («муки»).

Цукри, отримані при уварюванні з примусовою циркуляцією, добре центрифугуються і пробілюються завдяки більш досконалій формі їх

кристалів. Існує три види зольності кристалічного цукру: зола, розміщена в плівці, що покриває кристали; зола, що осіла усередині кристала; зола, не зв'язана з кристалами у вигляді домішок. Отже, примусова циркуляція може знизити зольність цукру тільки за рахунок поліпшення пробілювання, тобто зменшення золи в плівці на поверхні кристалів.

Уварювання з примусовою циркуляцією має перевагу також з погляду водних підкачувань. Апаратник має можливість регулювати інтенсивність випаровування за допомогою тиску гріючої пари, без непотрібного пониження швидкості її циркуляції, тому йому потрібно менше води чи соку для підтримки при уварюванні рівноваги між швидкістю випаровування і швидкістю кристалізації. За умови автоматичного керування цим процесом є можливість обійтися без водних підкачок і вести уварювання утфелів більш економічно. Крім того, у зв'язку з інтенсифікацією теплопередачі при використанні механічних циркуляторів існує можливість застосування для обігріву вакуум-апаратів пари меншого потенціалу з температурою до 100° С. В апараті ВАВ-60 можна уварювати утфель при тиску гріючої пари 130 кПа і температурі близько 107 С°, що неможливо здійснити у вакуум-апараті ВАЦ–600 без циркулятора. Це дає змогу провести обігрів вакуум-апаратів парою менших потенціалів, впровадити більш прогресивну теплову схему з повним і ефективним використанням вторинних енергоресурсів і знизити витрати пари на технологічні потреби на 6–9%. Переваги від встановлення механічних циркуляторів добре видно при порівнянні дослідних даних, що приведені у таблиці 6.1., отриманих на промислових вакуум-апаратах ВАЦ-600 (природна циркуляція) та ВАВ-60 (примусова циркуляція механічним циркулятором).

Таблиця 3.6.5.1.Показники роботи вакуум-апаратів при уварюванні утфелів I кристалізації

Показники	При переробці				
	буряку			цукру-сирцю	
	ВАЦ-600	ВАВ-60	ВАВ-60	ВАЦ-	ВАВ-60
Сироп для уварювання утфелю	рідкий	рідкий	концентрований	рідкий	рідкий
Час активної роботи, год.	4,58	4,27	3,08	4,125	3,85
Кількість звареного утфеля, т	61,5	61,4	70,12		—
Тиск гріючої пари, кПа	174.5	159,8	170,6	193,7	204,6
Температура гріючої пари	115,8	113,0	115,1	119,2	120,9
Температура кипіння утфеля,	72,9	72,6	82,6	72,05	73,9
Тиск в апараті, кПа	21,8	26,2	28,9	22,6	26,8
Сироп: СР,%	51,2	48,9	67,8	54,5	45,5
Дб,од.	91Д	91,8	91,8	%,05	96,7
Кольоровість, °Шт.	46,1	57,1	20,9	18,7	16,0
Утфель СР, %	92,2	92,7	92,4	92,4	92,8
Дб, од.	90,9	91,6	91,8	95,4	95,9
Кольоровість, °Шт.	57,9	64,4	29,9	31,1	17
				*	
Міжкристалічний розчин СР,%	84	83,1	83Д	81	80,8
Дб, од.	78,8	79,0	80,9	89,3	88,6
Відтік І СР,%	82,6	82,9	81,5	—	—
Дб, од.	81,5	79,7	81,9	—	—
Відтік П СР,%	79,0	77,6	78,7	—	—
Дб, од.	88,1	88,7	89,5	—	—
Вміст кристалічного цукру, %	51,2	55,2	53,5	57,4	613
Кольоровість, °Шт.	1.13	1,04	0,62	—	0,65
Фракційний склад, % більше	—	—	0,22	1,08	0,1
Більше 1мм	—	—	23,94	4539	70,6

Більше 0,5 мм	—	—	64,62	4031	26,22
Більше 0,25мм	—	—	10,62	13,05	2,95
Менше 0,25 мм	—	—	0,60	0,17	0,13
Цикл центрифугування, хв.	3.6	3,5	4,5	—	—
Споживана потужність,	—	—	11,77	—	—
Коефіцієнт теплопередачі. Вт/(м^{2}К)	572.2	756	531,1	—	—

3.6.6. Підсилення циркуляції гідродинамічним способом.

При вдуванні пари (газу) у кип'ятильні труби підвищується газовміст, економайзерна ділянка перестає існувати, у зв'язку з чим значно зростає рушійний тиск, і на ділянці кип'ятильних трубок, і в шарі набрякання. При цьому кипіння утфеля відбувається на самому початку кип'ятильних труб. Оскільки внизу утфель недогрітий до температури кипіння, то частина тепла газу (пари), що вдувається, буде використовуватися для його підігріву.

Природньо, що кількість газу (пари), що вдувається, не повинна перевищувати значень, при яких верхні ділянки кип'ятильних труб оголюються внаслідок зриву плівки утфеля парою (газом). Додатково, вдування значних об’ємів пари є економічно недоцільним.

Збільшення швидкості циркуляції утфеля при вдуванні газу (пари) проходить за рахунок росту середнього газовмісту в кип'ятильних трубах. Але при цьому будуть підвищуватись додатково і гідравлічні опори, причому сильніше, ніж рушійний тиск. Отже, збільшення швидкості циркуляції з ростом кількості пари, що вдувається, буде відбуватися доти, доки збільшення рушійного тиску буде випереджати ріст гідравлічних опорів.

Не менш важливим є також питання про дисперсність газу (пари), що вдувається. Пошуки шляхів інтенсифікації тепло- і масообміну неминуче приводять до необхідності турбулізувати утфельні потоки. Газові пухирці, введені в рідину, створюють велике число вихрів, що сприяє підвищенню інтенсивності тепло- і масообміну.

Перемішування істотно впливає на дифузійний опір. Пухирці повітря, що вдувається, насичені водяними парами, крім чисто гідродинамічного ефекту, що створюється на утфель внаслідок зміни питомої ваги суміші в піднімальних каналах, беруть участь у переносі імпульсів на окремі кристали, що зазнають відносного руху у міжкристальному розчині.

Додаткове надходження газу (пари) змінює рівновагу рушійних сил і сил опору і приводить до збільшення обох сил, але в різних пропорціях. Очевидно, ефективним гідродинамічний спосіб буде в тому випадку, якщо при вдуванні газу (пари) рушійний тиск буде зростати в більшій ступені, ніж втрати тиску, зв'язані з опорами. Уже перші дослідження цього способу показали, що підвищення витрати газу (пари), що вдувається, спричиняю збільшення циркуляції і покращення ефективності тепло- і масообміну лише до певних оптимальних значень. Так, при вдуванні інтенсифікація теплообміну досягається лише при низьких теплових потоках у граючій камері. При більш високих тисках гріючої пари і, отже, підвищених теплових потоках вдування практично не впливало на інтенсивність теплообміну, і навпроти, робило його гіршим.

Постійні спостереження щодо впливу вдування повітря або неконденсованих газів на інтенсивність теплообміну при кипінні води і цукрових розчинів показали, що якісна характеристика інтенсифікації теплообміну усередині кип'ятильної трубки при випаровуванні води і цукрових розчинів однакова. При збільшенні витрати повітря, що вдувається, коефіцієнт тепловіддачі зростає, але тільки до визначеної оптимальної витрати повітря, що складає 4–6% від витрати гріючої пари. Збільшення витрати повітря, що вдувається, понад оптимальні значення приводить до зменшення α_2 і пульсаційного режиму в кип'ятильній трубці. Коефіцієнт тепловіддачі при вдуванні повітря для води підвищується до 10%, для цукрових розчинів — до 15–20%. Зі збільшенням концентрації цукрового розчину ефективність вдування зростає.

Інтенсифікація теплообміну при вдуванні повітря відбувається головним чином на початковій ділянці трубки, що пояснюється падінням п'єзометричного рівня рідини і, отже, зменшенням гідростатичного тиску, а також підвищенням турбулентності потоку. На вихідній ділянці кип'ятильної трубки спостерігалося зниження a_2 до значень, більш низьких, ніж без вдування. Це пояснюється високим вмістом пари в суміші, що приводило в окремі моменти до висихання рідкої плівки на деяких ділянках трубки.

Порівняльна характеристика експлуатації вакуум-апаратів з природною циркуляцією та апаратів з гідродинамічною інтенсифікацією процесів уварювання та кристалізації наведена у табл.3.6.6.1.

Таблиця 3.6.6.1. Результати випробовування способу інтенсифікації уварювання утфелю II кристалізації вдуванням водяної пари і неконденсованих газів.

Показники	Спосіб уварювання утфелю		
	Без вдування	З вдуванням водяної пари	З вдуванням неконд. газів
Початков	а відтік		
СР,%	81,6	81,4	81,8
Ч,%	79,8	79,6	79,8
Кольоровість, од. опт. густини на	2970	3040	2995
Утфель	кристалізації		
СР, %	93,2	93,8	93,8
4,%	79,8	79,6	79,8
Кр, %	43,9	44,4	44,8
Кольоровість, од. опт. густини на	4455	4073	4022
Наростання кольоровості утфелю при уварюванні, %	50,0	34,0	34,3
СР, %	88,2	88,6	88,6
4,%	61,6	61,4	61,4
Тривалість уварювання, год.	10,1	7,83	7,85
Тиск гріючої пари, кПа	130	130	130
Тиск у вакуум-апараті, кПа	20	21	20
Маса звареного утфелю, т.	59,6	59,9	59,7
Маса випареної води, т.	8,47	9,12	8,76
Пара для	ування в	»	
Тиск, кПа	-	130	122
Витрати, кг/год.	-	100	100
Витрати, % до маси випареної води	-	8,6	9,0

Показники	Спосіб уварювання утфелю		
	Без вдування	З вдуванням водяної пари	Задуванням неконд. газів
Кристали цукру			
Середній розмір, мм	0,28	0,35	0,35
Коефіцієнт нерівномірності	36,1	30,7	30,2
Розкладено цукрози, % до початкової	0,099	0,077	0,077

Дані дослідження показали, що вдування водяної пари в утфель II кристалізації зменшує тривалість його уварювання з 10,1 до 7,83 годин, тобто на 22,4%. Таке скорочення тривалості процесу мало місце і при застосуванні неконденсованих газів вторинної пари II корпусу випарної установки. Це свідчить про інтенсифікацію уварювання утфелю за рахунок вдування в нього водяної пари чи неконденсованих газів. Дані про розклад цукрози отримані з емпіричної залежності. З них видно, що за рахунок вдування водяної пари або газів кількість розкладеної цукрози зменшилася з 0,099 до 0,077% від початкової маси. Таке зменшення маси розкладеної цукрози на 28,6% можна пояснити скороченням тривалості уварювання утфелю.

Для визначення оптимальних витрат водяної пари, при гідродинамічній інтенсифікації уварювання утфелю, штучний утфель II кристалізації чистотою 78% і початковим вмістом кристалів 20% уварювали з вдуванням різної кількості водяної пари з таким розрахунком, щоб за час проведення досліду його маса зросла з 900 до 1000 г.

4. Методика проведення дослідження.

Дослідження полягає у визначенні впливу нового пристрою на процес кристалізації цукру та перевірку доцільності впровадження модернізації нагрівальної камери вакуум-апарата. Будемо порівнювати моделі звичайної та модернізованих камер.

Під час створення нових видів обладнання та вдосконаленні існуючих, останнім часом, окрім фізичних моделей, періодично використовують моделі математичні. Такий тип розрахунків дозволяє з меншими витратами часу та матеріальних ресурсів слідкувати за технологічними процесами, котрі відбуваються в апараті та оптимізувати їх, а також визначити чисельні значення величин, котрі не можна виміряти за підтримки наявних приладів. Для рішення цієї проблеми запропоновано використати інформаційні технології проектування та аналізу.

Опис об'єкту

Порядок уварювання утфелю містить чотири єтапи:

•Згущення сиропу до моменту появи кристалів. Після набору достатньої кількості сиропу до апарата, починається випаровування під розрідженням за температури 68-70°С, котре дає можливість зробити нижчим розкладання цукрози, а також підвищити швидкість випаровування води. У разі згущення сиропу до 80-82% сухих речовин, температуру підіймають до 72-73°С.

•Заведення необхідної кількості кристалів цукру. Маючи коефіцієнт пересичення 1,2-1,3, коли система не є стабільною, виникає момент для ліпшого заведення в вакуум-апарат центрів кристалізації. Для цього температура в вакуум-апараті піднімається та крізь пробний кран вводиться затравка. Заведення кристалів і зупинка їх додаткового утворення мають вплив на якість цукру. Чим більшою буде кількіть центрів кристалізації під час заводки, тим менше стануть їхні розміри, та навпаки. Утфель з великими

кристалами буде легше центрифугуватися і пробілюватися, але довше уварюватися і при цьому більш можливим буде випадання „муки". У момент, коли в масі утфелю, що уварюється, з'явиться певна кількість кристалів, у вакуум-апарат у 2/3 прийому відбувається закачка сиропу, понижуючи коефіцієнт пересичення до рівня 1,08-1,1. За такого коефіцієнта нові кристали не з'являються, проте збільшуються. Подальше нарощування відбувається за температури менше ніж 75°С.

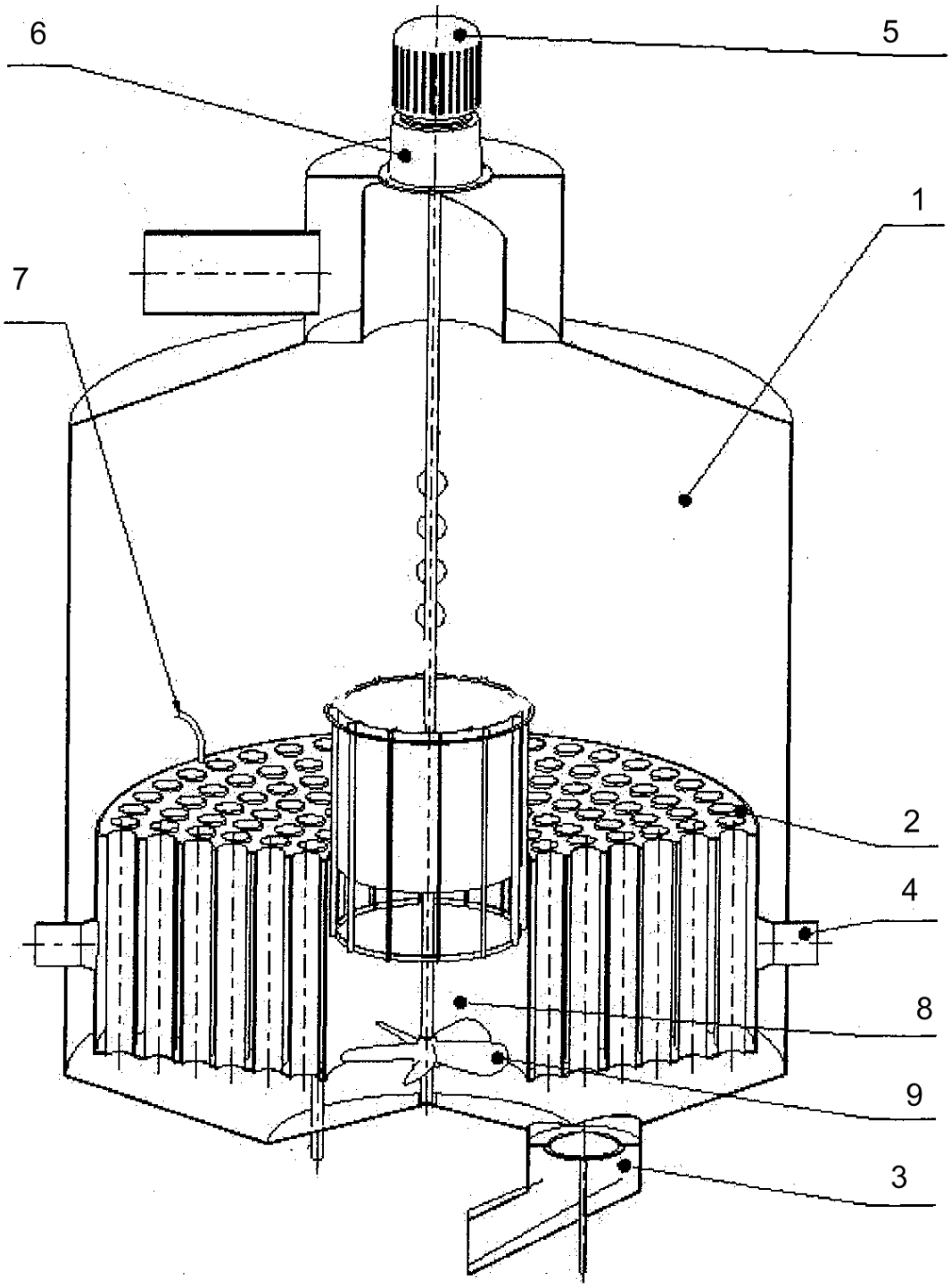


Схема вакуум-апарата

1 - корпуса апарату, 2 - гріюча камера, 3 - спускний пристрій, 4 – патрубок для введення пари в парову камеру, 5 - двигун, 6- редуктор, 7 - відвод аміачних газів,8 – порожнистий циліндр, 9 – циркуля тор.

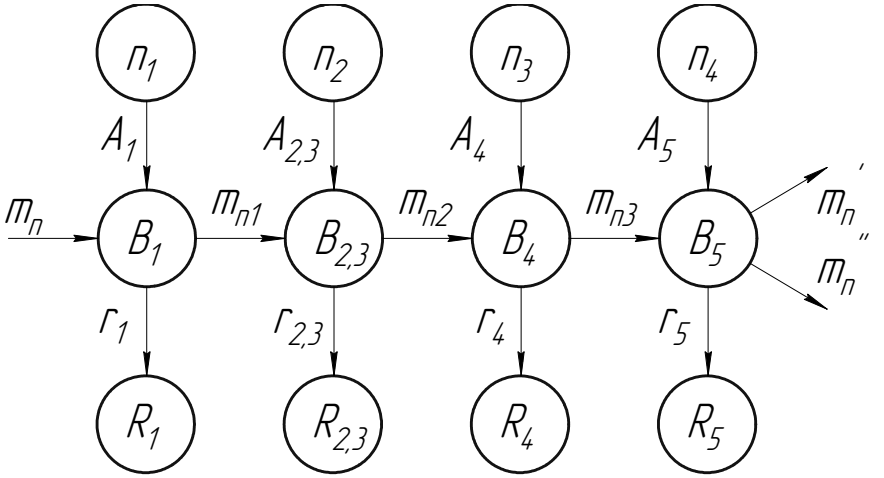
•Нарощування кристалів цукру потребує проводення систематичної підкачки сиропуза підтримки коефіцієнта пересичення на рівні 1,08-1,1.

•Загущення та випускання утфеля з апарату. Після надходження до апарату останньої підкачки, проводиться остаточне згущення утфелю, котре необхідне для максимального знецукрення міжкристалевого розчину. Воно виконується до досягнення СР 92-92,5%. За цього показника маса кристалів зростає до 54-56% від маси утфеля. Подальше згущення є недоцільним, тому що вода з такого утфеля буде випаровуватись повільно.

Топологічний аналіз машини

Структурний граф машини

Енергетично-потоковий граф



До його складу входить:

B – вузли відповідні (операції)

n – приводи вузлів

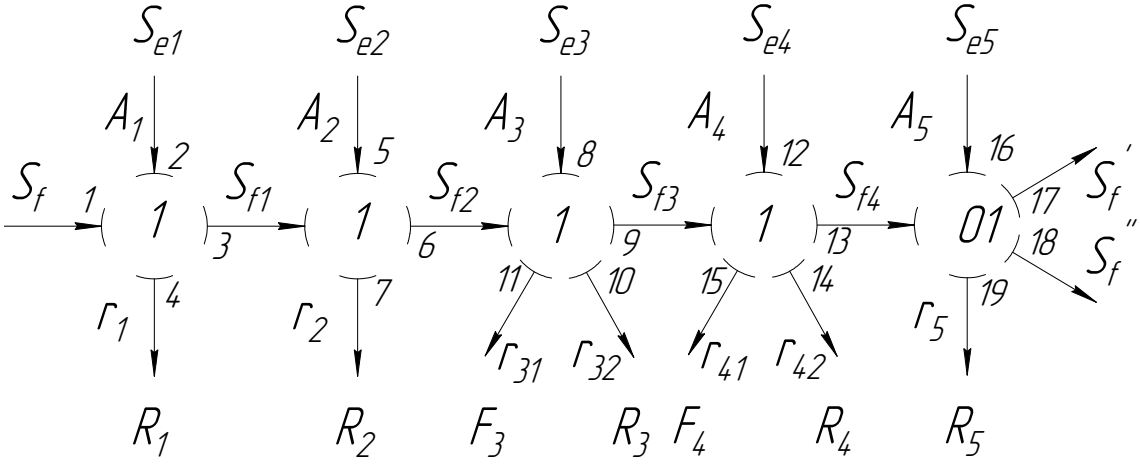
A – енергія, котра витрачається на подолання сили опорів

R – опори у вузлах

r – робота, що виконанується для подолання сил опору

m_n – маса продукції

ЗВ’язковий граф



Se – основне джерело рушійної сили

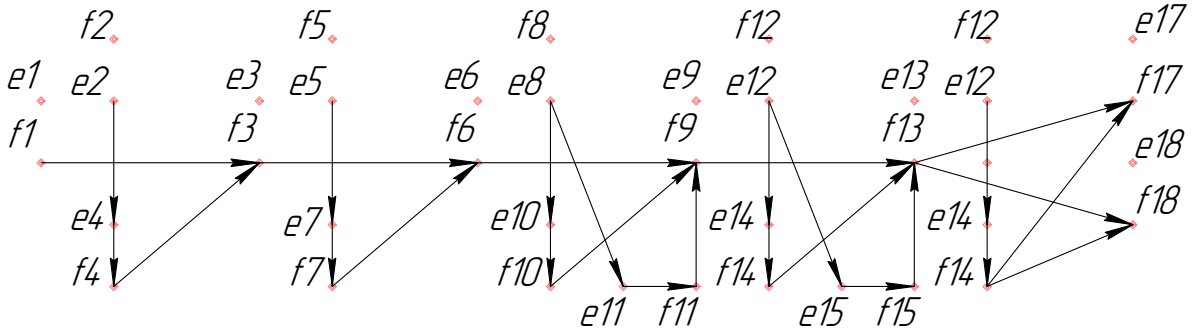
1 – цей вузол не містить розділення потоків

01-у цьому вузлі виконується розділення потоків

S_f - потік маси

F- опори, що зумовлені енергією продукції

Сигнальний граф



e - енергія

f-потік

маси

Методика з проведення дослідження.

Будемо проводити серію чисельних експериментів за допомогою програмного масиву FlowVision, котрий допоможе отримати експериментальні дані та виконати аналіз отриманих результатів.

Послідовність розрахунку течії сиропу(утфелю)включає такі кроки:

1. Кожну модель апарата з чітким рівнем утфеля і положенням плаваючої камери робимо в програмі КОМПАС; потім цю модель інтерпретуємо в программу FlowVision.

2. Відкриваємо модель за допомогою програми FlowVision, задаємо в моделі граничні данні (стінка, симетрія, вихід, вхід).

3. Отримуючи відповідні параметри з таблиці вихідних даних виконуємо серію чисельних експериментів.

4. Переглядаємо отримані результати та задіюємо можливості постпроцесора. Зводимо необхідну інформацію у таблиці.

5. Відповідно до таблиць даних використовуємо програму CurveExpert для знаходження рівняння регресії.

6. Порівнюємо отримані результати досліджень моделі без плаваючої камери та з плаваючою камерою.

7. Робимо висновки проведеної роботи.

5. Дослідна частина та узагальнення результатів.

За допомогою програми Компас створюємо площину розрахунків для FlowVision. Нею буде відбиток сиропу (утфелю) всередині апарату по якій можна буде пустити процес, і дослідити рух речовини. Для цього розроблено 10 моделей апарату із певним рівнем утфелю та положенням плаваючої камери і 10 моделей без плаваючої камери, для певного періоду уварювання та із заданими параметрами. Проведемо розрахунок швидкості руху речовини по контуру.

Взявши дані з таблиці для кожної ітерації$\tau/\tau_ц$ стандартної та модернізованих моделей задаємо:

1. Граничні умови та фізичні параметри.
2. Сітку початкових розрахунків.
3. Критерії її адаптації .
4. Крок часу алгоритму, що обчислюється.

Потім відповідно до кожного кроку $\tau/\tau_ц$ запускаємо варіанти на розрахунок і далі переглядаю його результати. За використання можливостей постпроцесора отримуємо екперементальні дані та зводимо їх до таблиці.

За даними, які отримані з дослідів отримаємо графіки швидкостей які оцифровуємо використовуючи програму Grafula і знаходимо відповідні данні для кожного кроку $\tau/\tau_ц$. Зводимо їх до таблиці. Відповідно до таблиць даних використовуючи програму CurveExpert отримуємо рівняння регресії.

Теоретичні відомості регресійного та кореляційного аналізу.
Метод найменших квадратів.

$\Phi=\sum_{i=1}^{N}(y_i-\bar{y})^2\to\min$, де N – об'єм вибірки

$\bar{y}=f(x,b_0,b_1,b_2,...)$

$\Phi=\sum_{i=1}^{N}(y_i-f(x,b_1,b_2,...)^2\to\min$

Знаходимо регресійне рівняння кривої за допомогою програмного продукту Curve Expert 1.3, з наступним позначенням стандартної помилки:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{точок}} (y_i - f(x_i))^2}{n_{точок} - n_{парам}}}$$

та коефіцієнти кореляції

$$r = \sqrt{\frac{S_t - S_r}{S_t}}$$

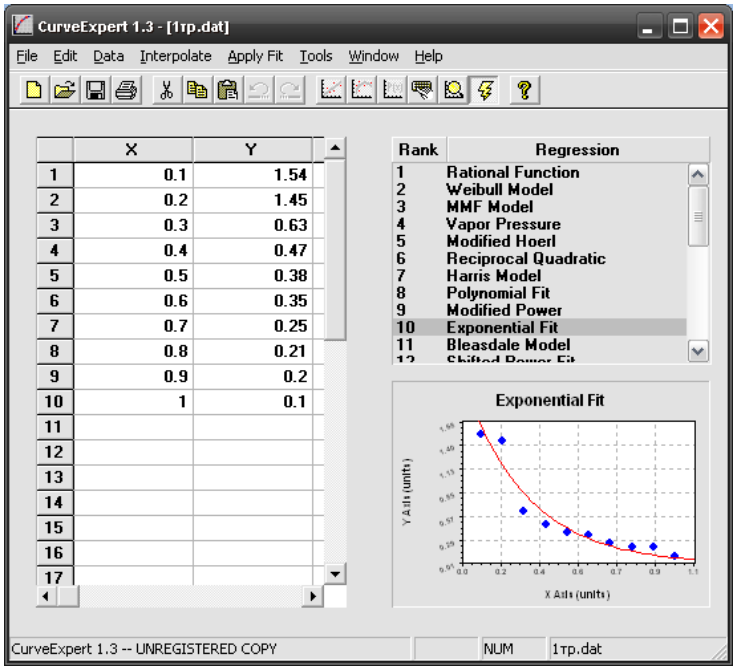
де

$$S_t = \sum_{i=1}^{n_{точок}} (\bar{y} - y_i)^2$$

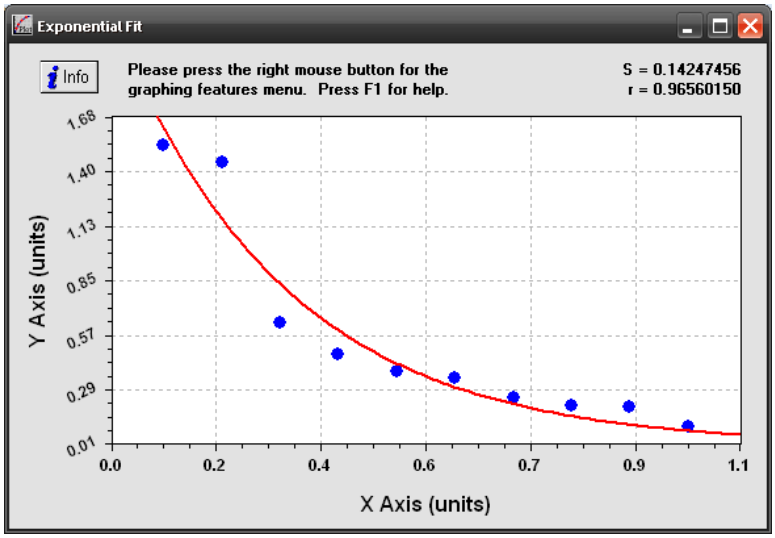
$$S_r = \sum_{i=1}^{n_{точок}} (y - f(x_i))^2$$

Швидкість в першій трубці звичайної гріючої камери

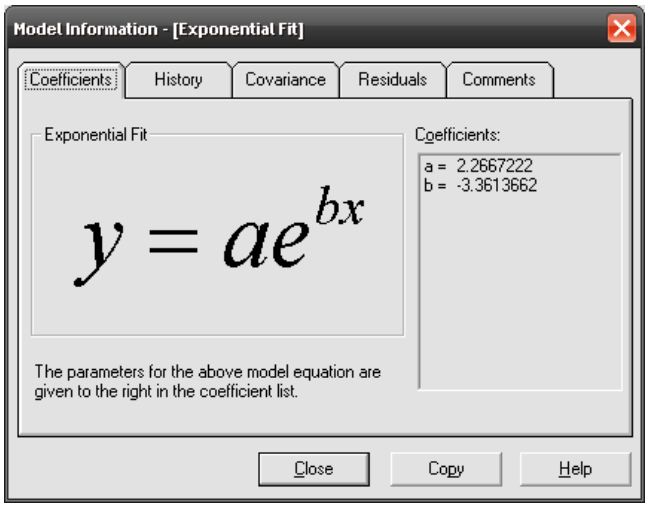
$\tau/\tau_ц$	Швидкість в першій трубці звичайної гріючої камери; м/с
0,1	1,54
0,2	1,45
0,3	0,63
0,4	0,47
0,5	0,38
0,6	0,35
0,7	0,25
0,8	0,21
0,9	0,20
1	0,1



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



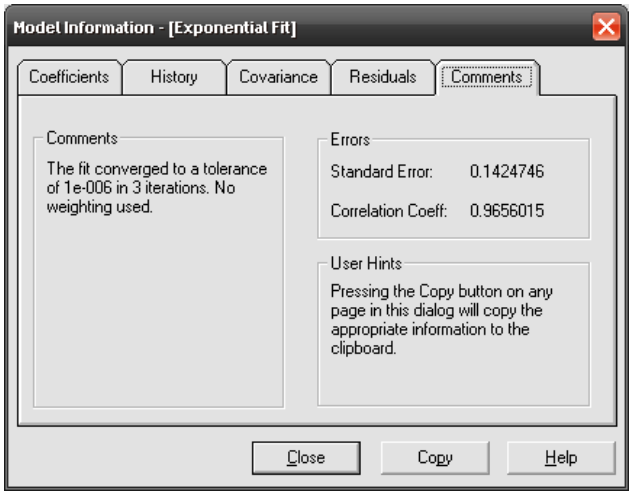
Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.



Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 2.2667222 b = -3.3613662



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.1424746

Correlation Coefficient: 0.9656015

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used.

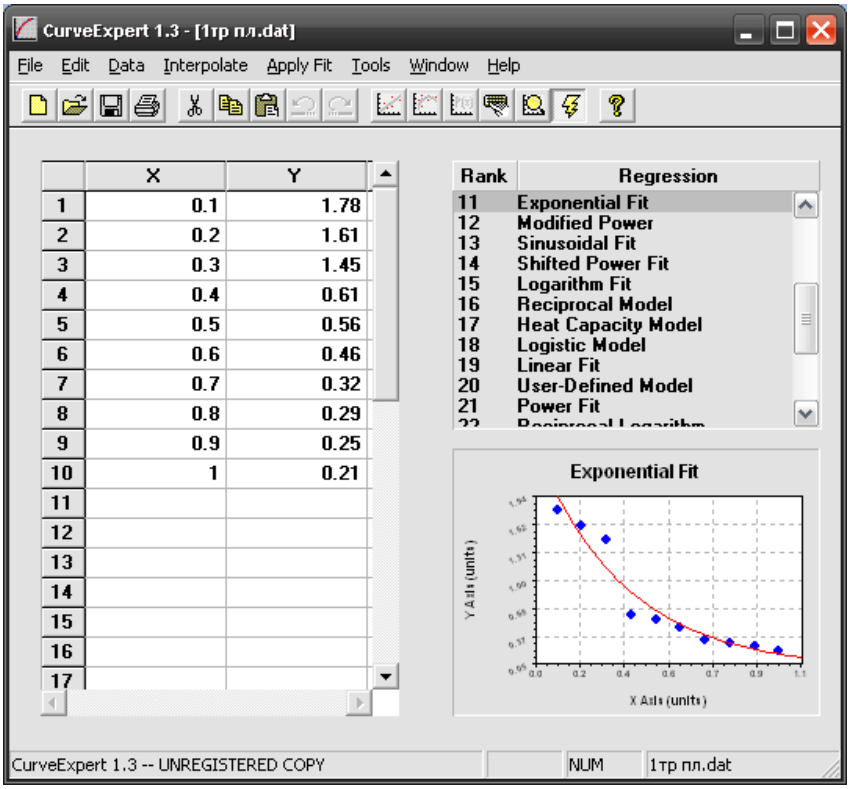
Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9656015 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в першій трубці звичайної гріючої камери:

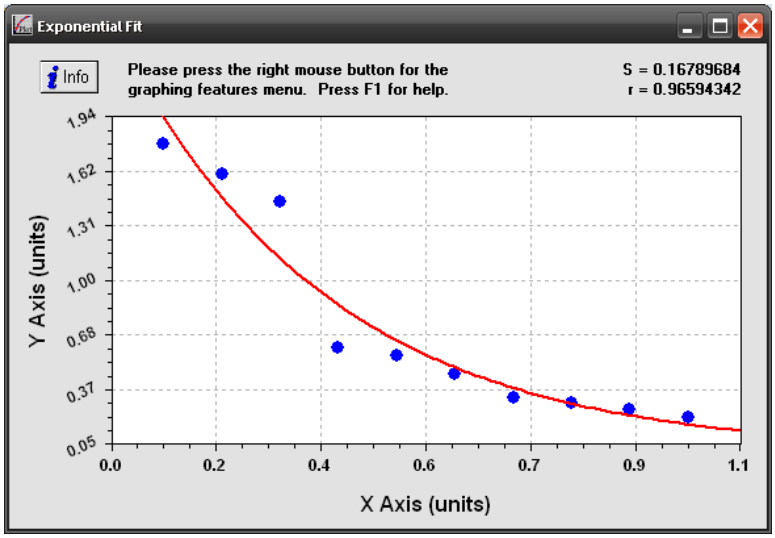
$$v_1(\tau/\tau_ц) = 2{,}27 \cdot e^{-3{,}36 \cdot \tau/\tau ц}$$

Швидкість в першій трубці плаваючої камери

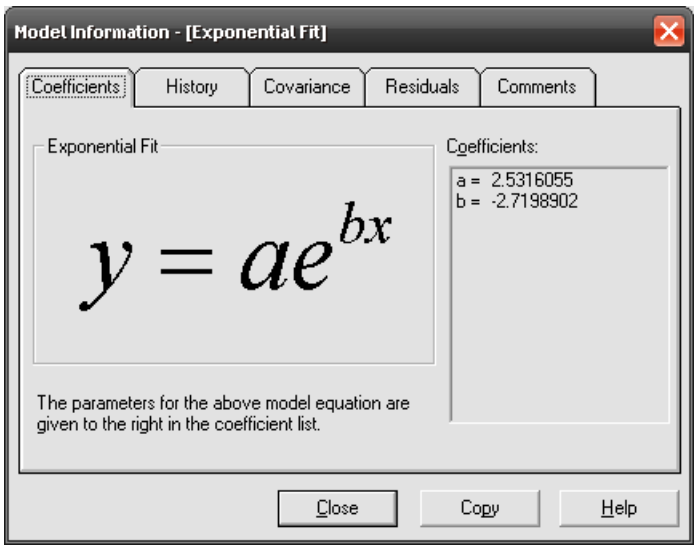
$\tau/\tau_ц$	Швидкість впершій трубці плаваючої камери, м/с
0,1	1,78
0,2	1,61
0,3	1,45
0,4	0,61
0,5	0,56
0,6	0,46
0,7	0,32
0,8	0,29
0,9	0,25
1	0,21



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.

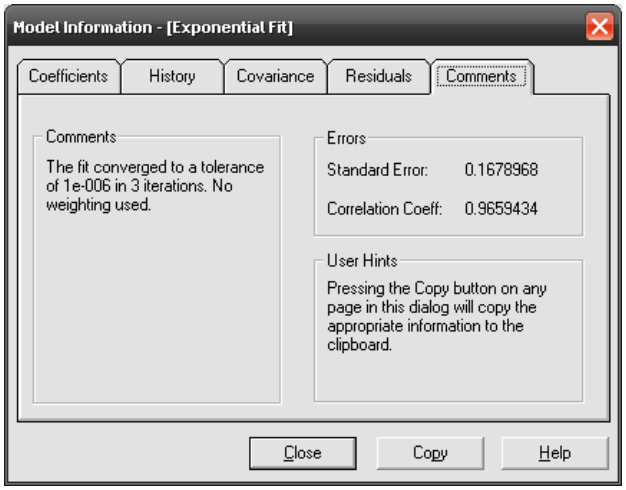


Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 2.5316055

b = -2.7198902



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.1678968

Correlation Coefficient: 0.9659434

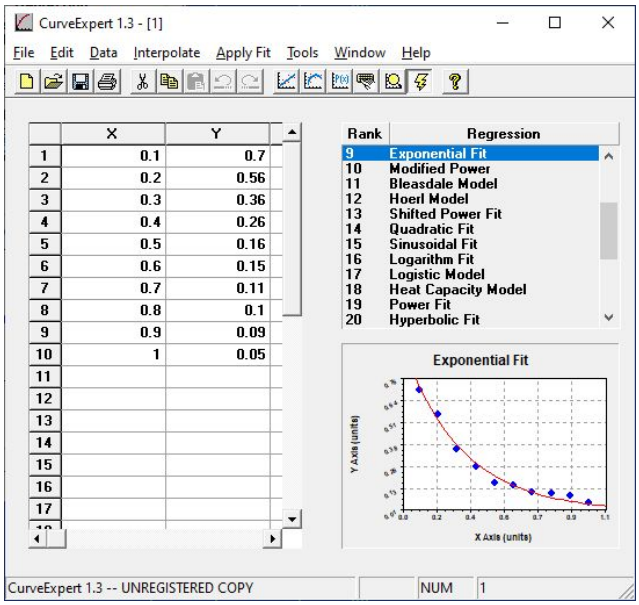
Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used.
Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9659434 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в першій трубці плаваючої гріючої камери:

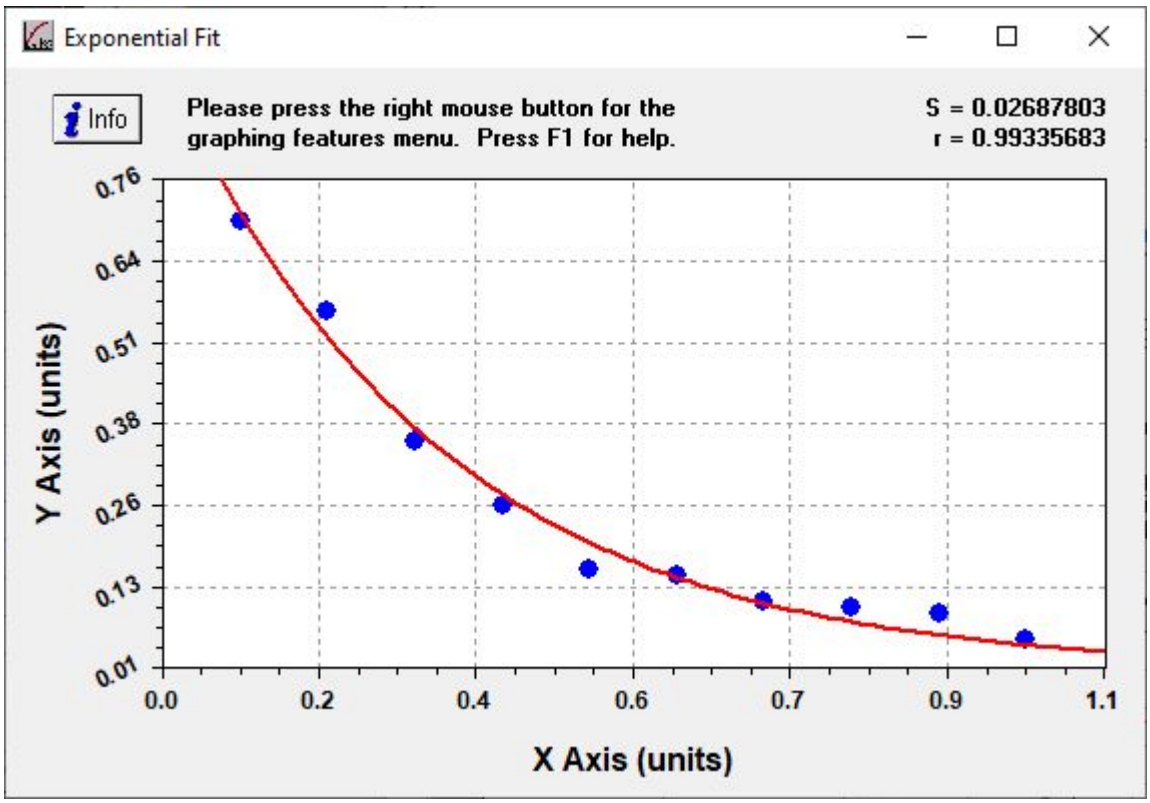
$v_2(\tau/\tau_ц) = 2{,}53 \cdot e^{-2{,}72 \cdot \tau/\tau ц}$

Швидкість в середній трубці звичайної гріючої камери

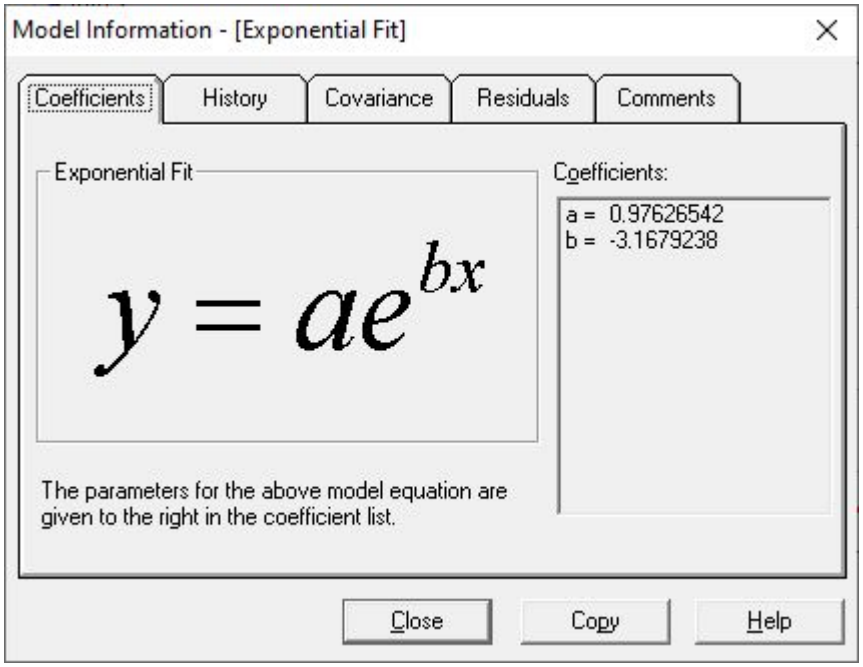


$\tau/\tau_ц$	Швидкість в середній трубці звичайної гріючої камери; м/с
0,1	0,70
0,2	0,56
0,3	0,36
0,4	0,26
0,5	0,16
0,6	0,15
0,7	0,11
0,8	0,10
0,9	0,09
1,0	0,05

Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



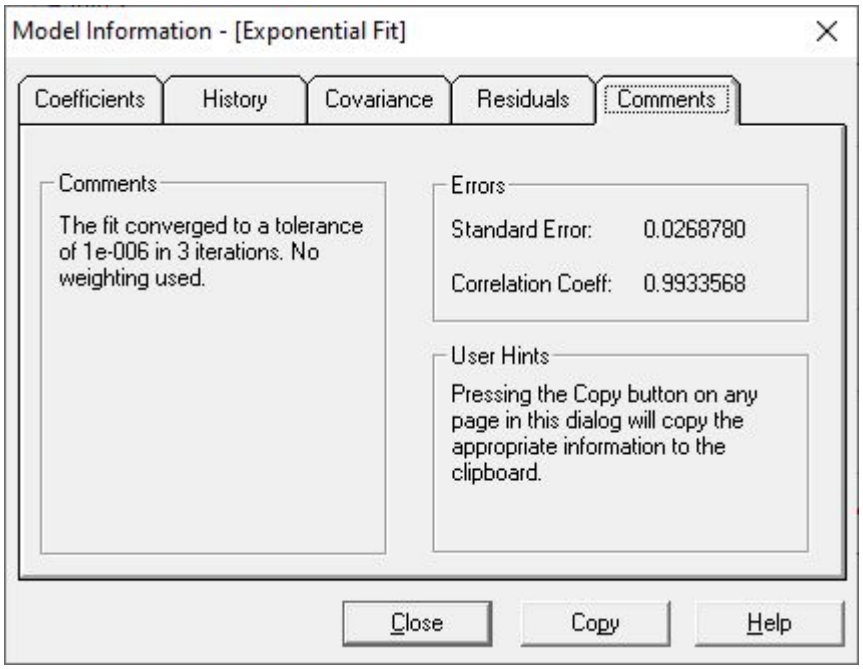
Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.



Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 0.97626542 b = -3.1679238



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0268780

Correlation Coefficient: 0.9933568

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used.

Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9659434 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

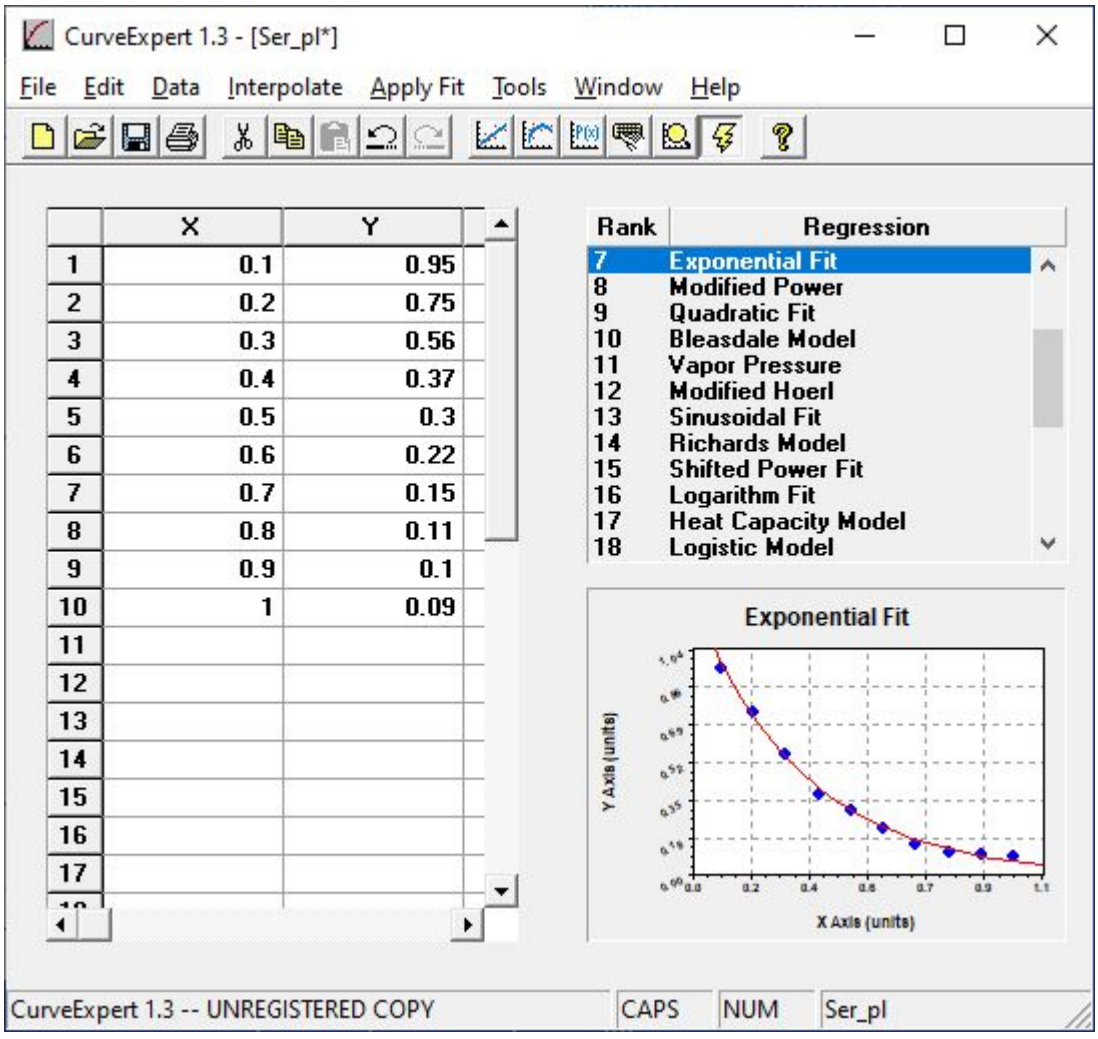
Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в середній трубці звичайної гріючої камери:

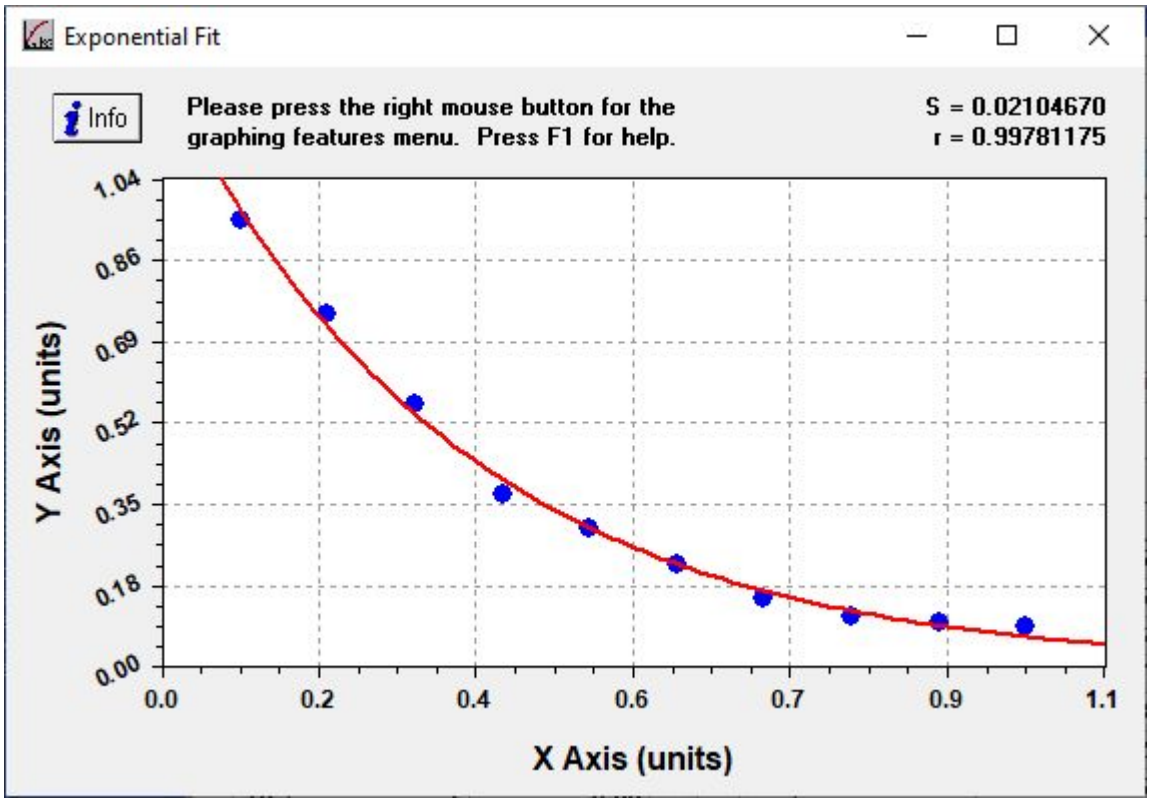
$$v_3(\tau/\tau_ц) = 0{,}98 \cdot e^{-3{,}17 \cdot \tau/\tau ц}$$

Швидкість в середній трубці плаваючої камери

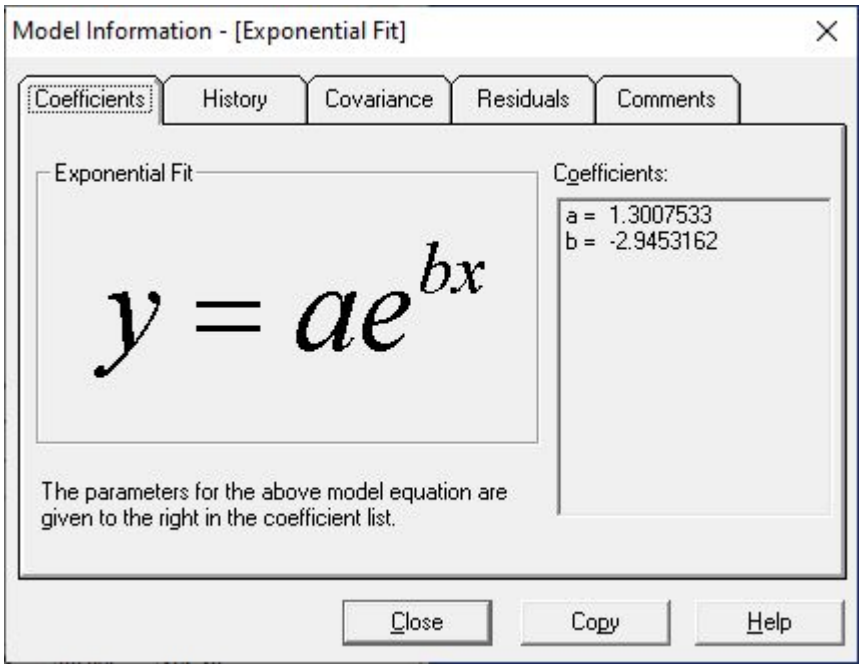
τ/τц	Швидкість в середній трубці плаваючої камери; м/с
0,1	0,95
0,2	0,75
0,3	0,56
0,4	0,37
0,5	0,30
0,6	0,22
0,7	0,15
0,8	0,11
0,9	0,10
1,0	0,09

Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.





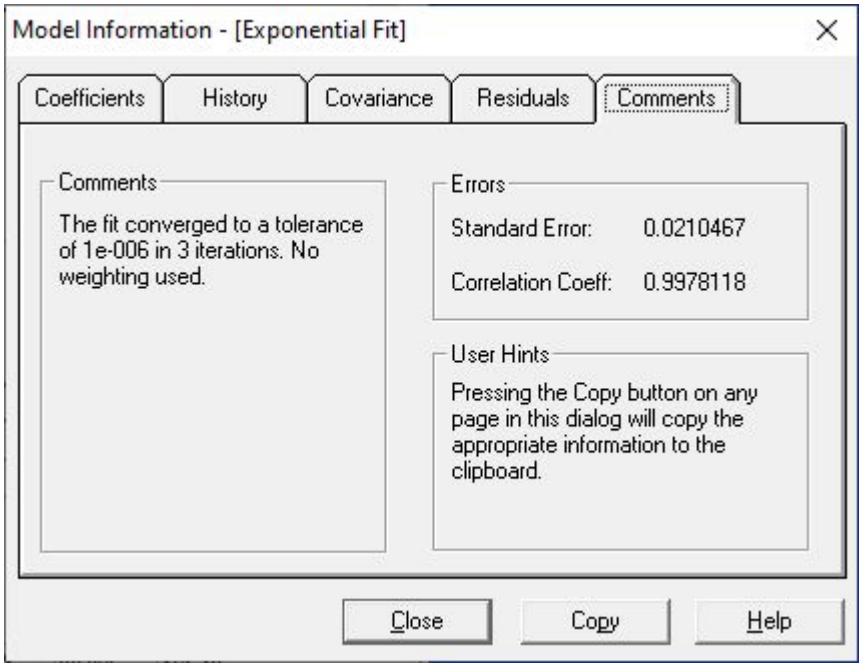
Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.



Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 1.3007533 b = -2.9453162



Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0210467

Correlation Coefficient: 0.9978118

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used.

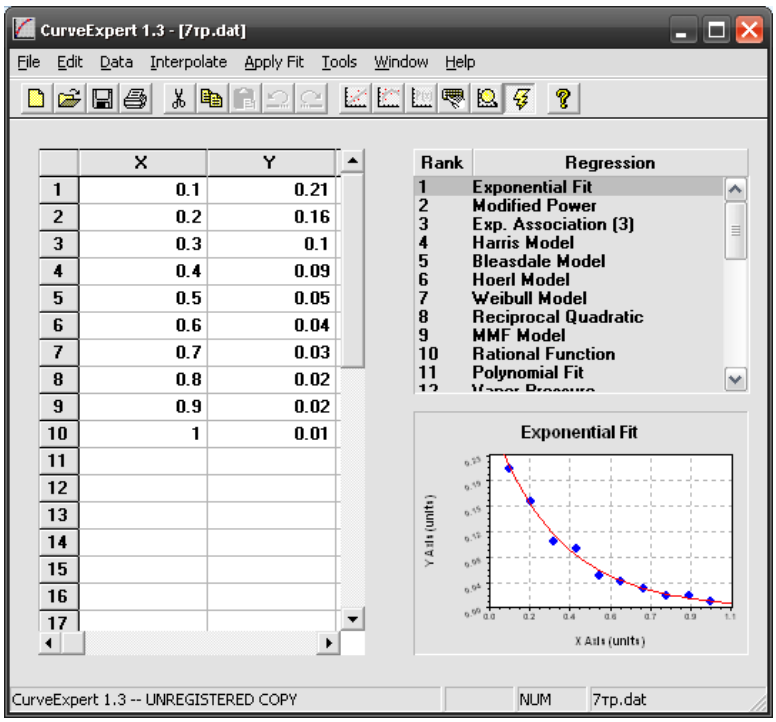
Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0. 9849392 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в середній трубці плаваючої гріючої камери:

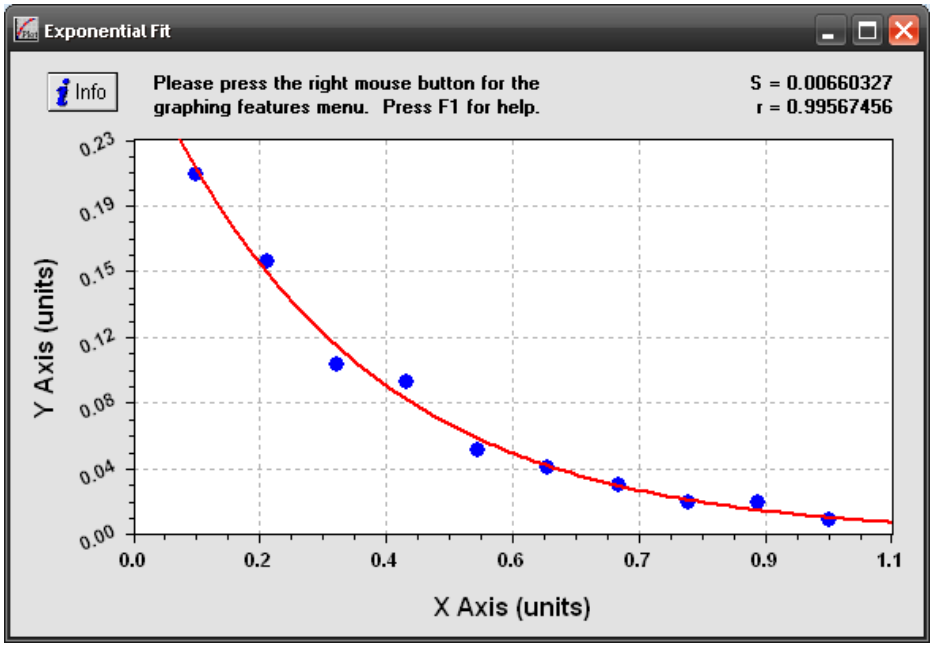
$$v_4(\tau/\tau_ц) = 1{,}3 \cdot e^{-2{,}95 \cdot \tau/\tau_{тц}}$$

Швидкість в останній трубці звичайної гріючої камери

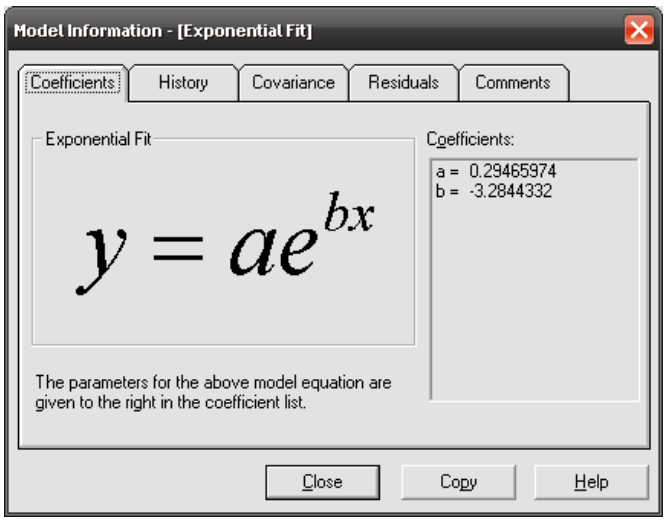
$\tau/\tau_ц$	Швидкість в останній трубці звичайної гріючої камери, м/с
0,1	0,21
0,2	0,16
0,3	0,10
0,4	0,09
0,5	0,05
0,6	0,04
0,7	0,03
0,8	0,02
0,9	0,02
1	0,01



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.

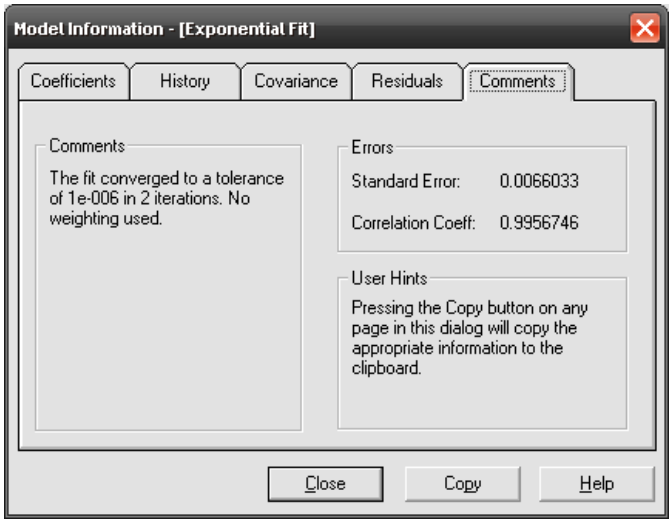


Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 0.29465974

b = -3.2844332



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0066033

Correlation Coefficient: 0.9956746

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 2 iterations. No weighting used. used.

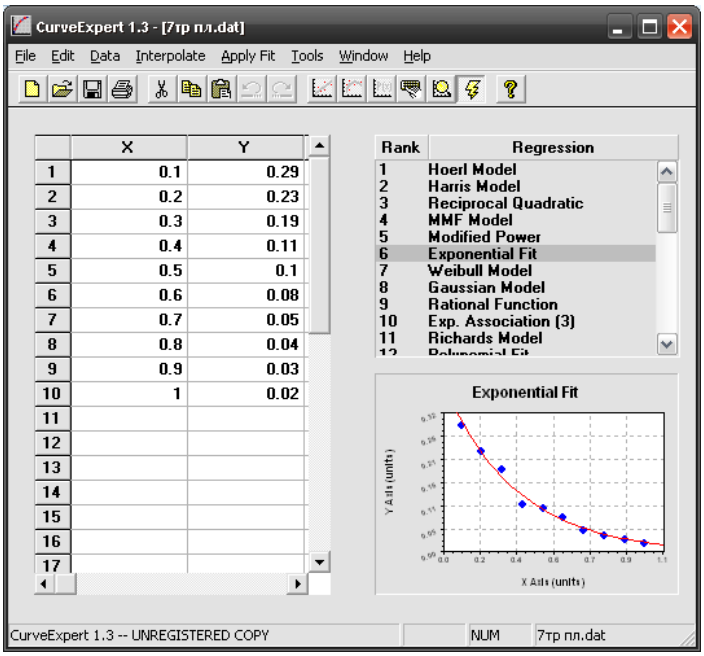
Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9956746 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в останній трубці звичайної гріючої камери:

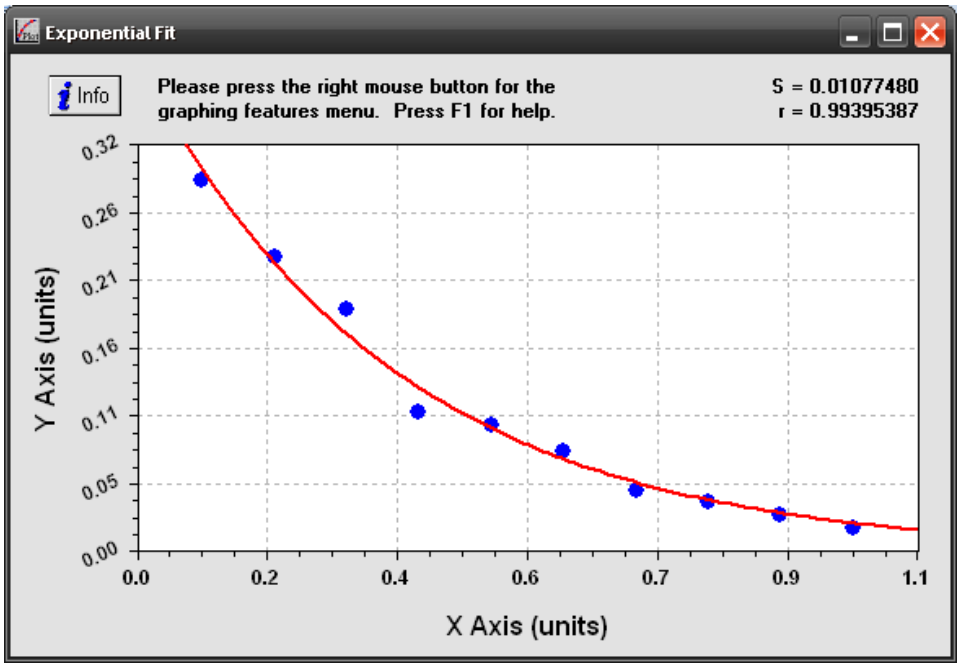
$$v_5(\tau/\tau_ц) = 0{,}3 \cdot e^{-3{,}28 \cdot \tau/\tau ц}$$

Швидкість в останній трубці плаваючої камери

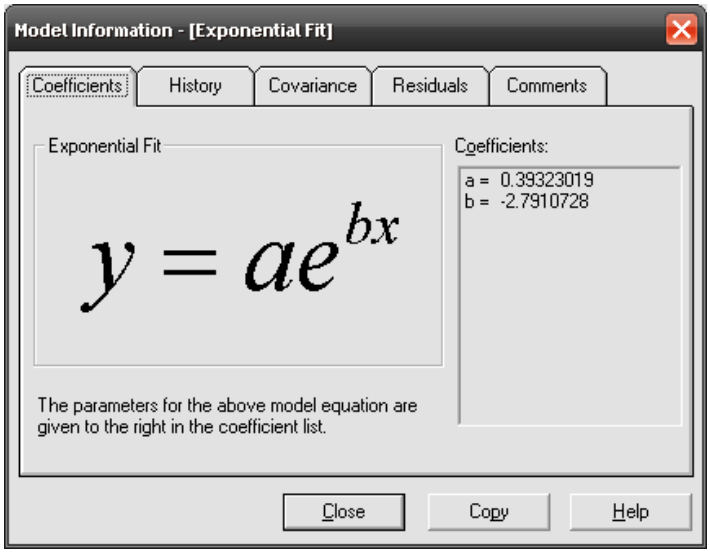
$\tau/\tau_ц$	Швидкість в останній трубці плаваючої камери, м/с,
0,1	0,29
0,2	0,23
0,3	0,19
0,4	0,11
0,5	0,10
0,6	0,08
0,7	0,05
0,8	0,04
0,9	0,03
1	0,02



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.

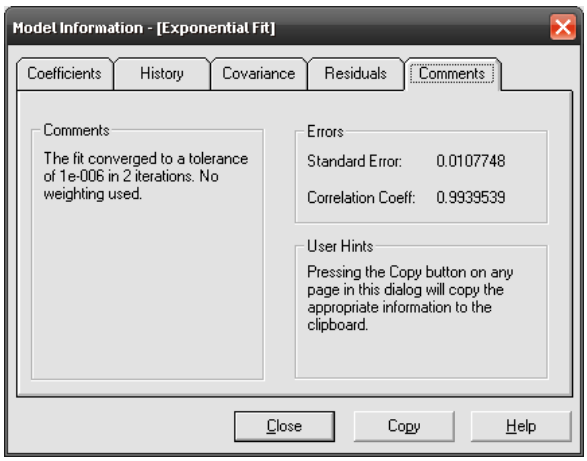


Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 0.39323019

b = -2.7910728



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0107748

Correlation Coefficient: 0.9939539

Comments:

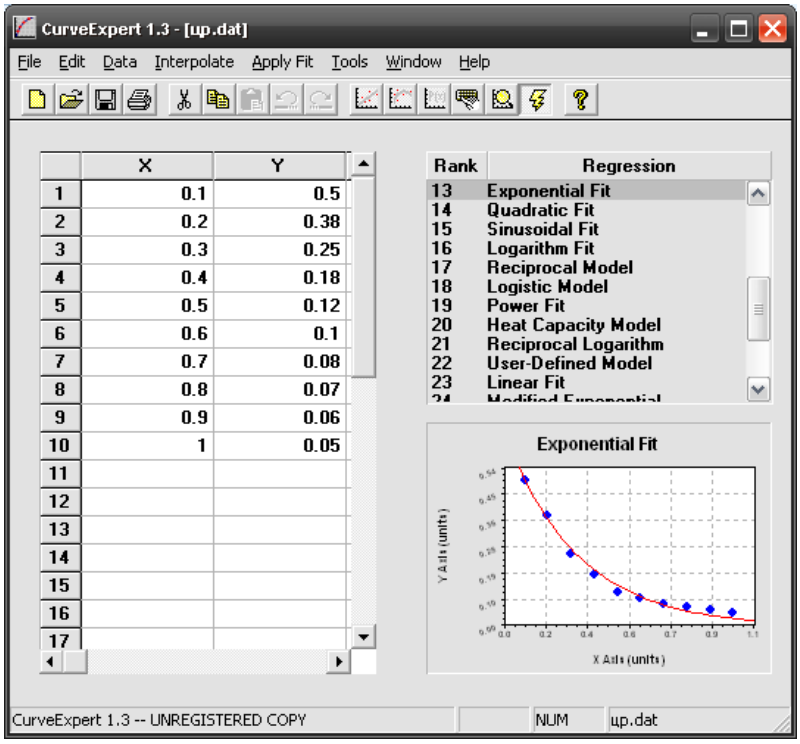
The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 2 iterations. No weighting used.
Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9939539 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в останній трубці плаваючої гріючої камери:

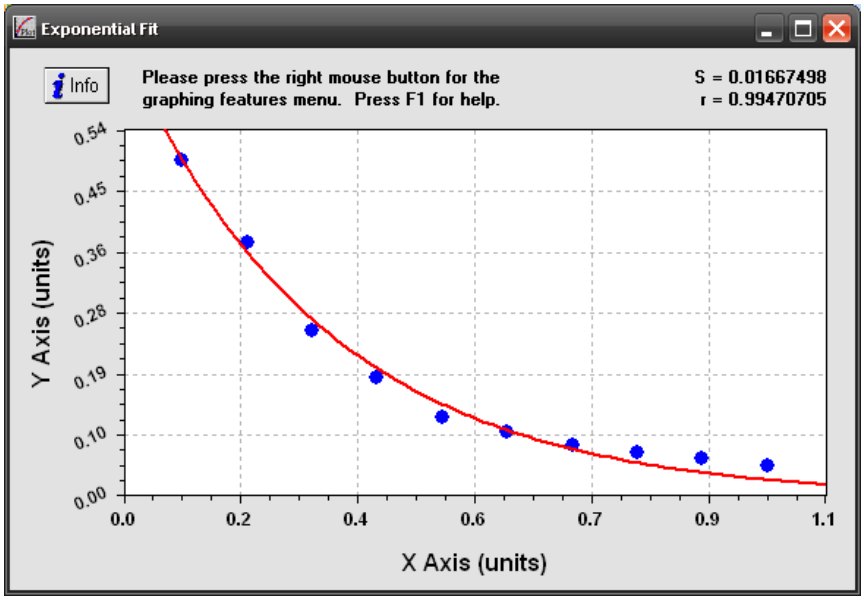
$v_б(\tau/\tau_ц) = 0{,}39 \cdot e^{-2{,}79 \cdot \tau/\tau ц}$

Швидкість в циркуляційній трубі звичайної гріючої камери

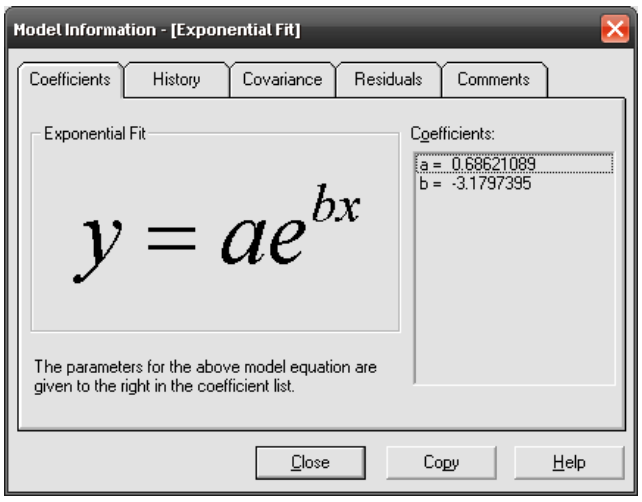
$\tau/\tau_ц$	Швидкість в циркуляційній трубі звичайної гріючої камери, м/с
0,1	0,50
0,2	0,38
0,3	0,25
0,4	0,18
0,5	0,12
0,6	0,10
0,7	0,08
0,8	0,07
0,9	0,06
1,0	0,05



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.

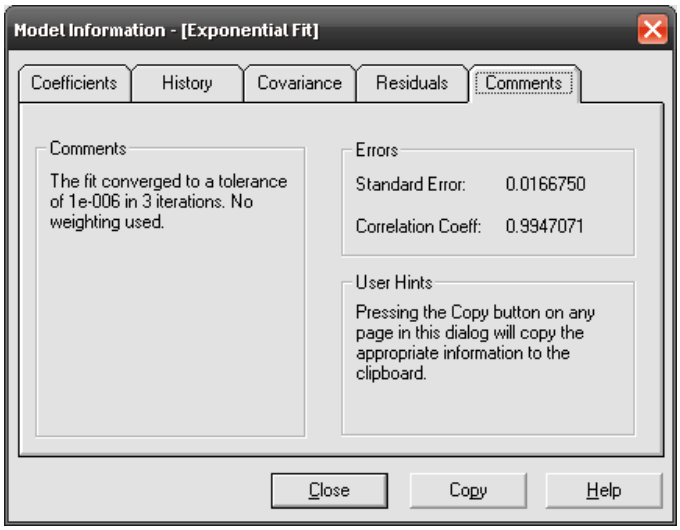


Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 0.68621089

b = -3.1797395



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0166750

Correlation Coefficient: 0.9947071

Comments:

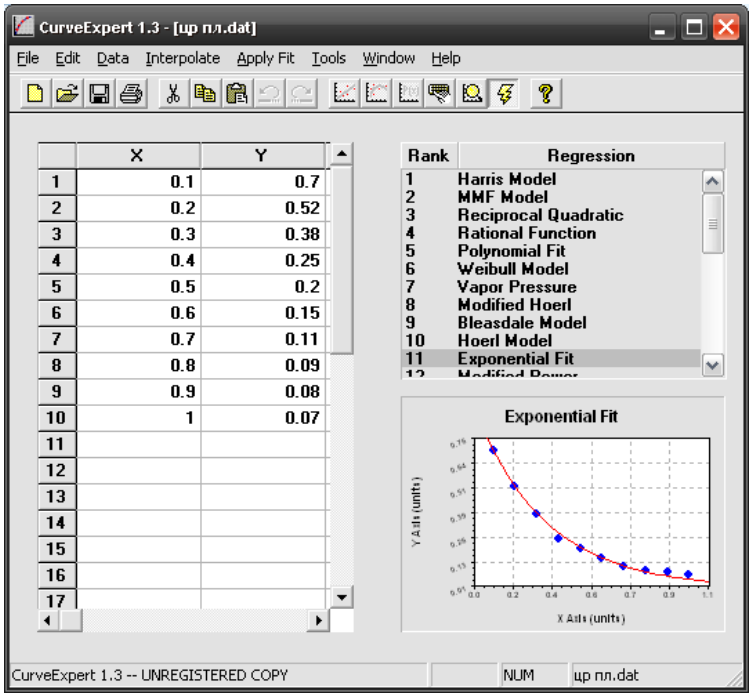
The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used. Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9947071 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в циркуляційній трубі звичайної гріючої камери:

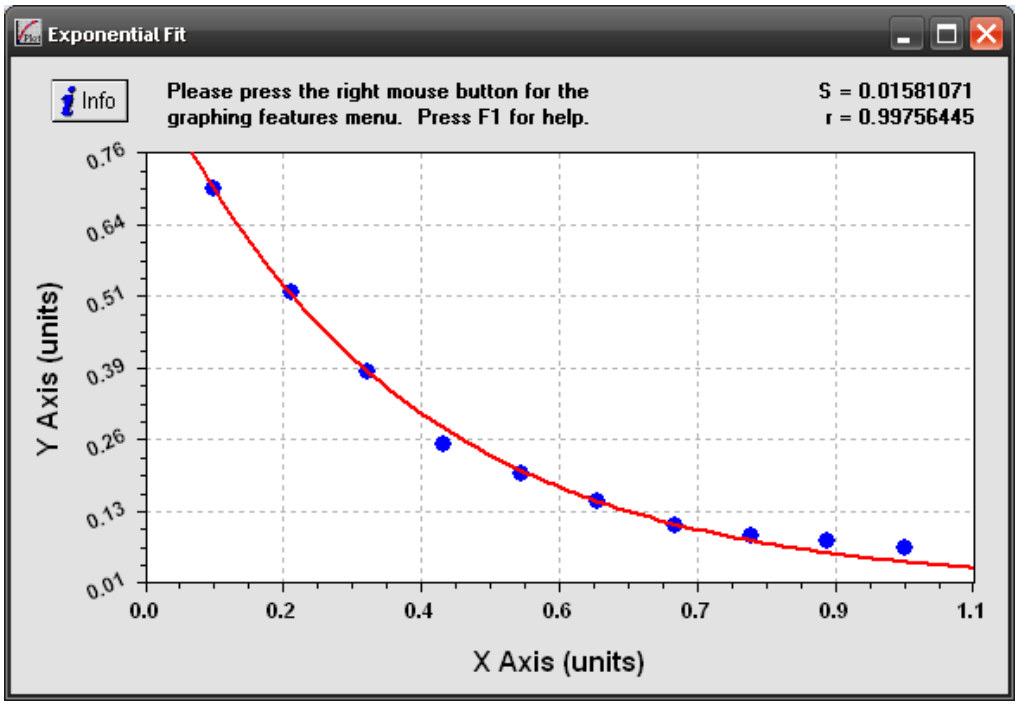
$$v_7(\tau/\tau_ц) = 0{,}69 \cdot e^{-3{,}18 \cdot \tau/\tau ц}$$

Швидкість в циркуляційній трубі плаваючої камери камери

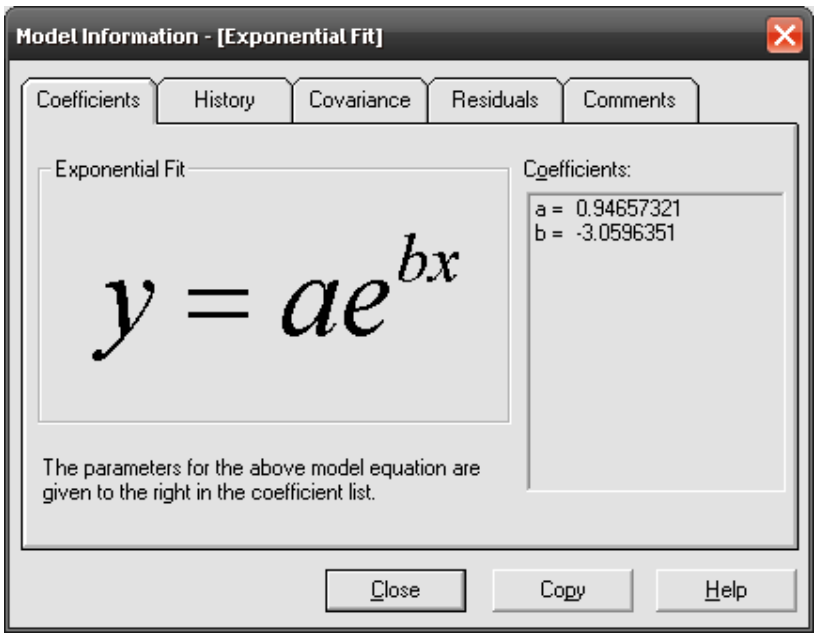
$\tau/\tau_ц$	Швидкість в циркуляційній трубі плаваючої камери, м/с,
0,1	0,70
0,2	0,52
0,3	0,38
0,4	0,25
0,5	0,20
0,6	0,15
0,7	0,11
0,8	0,09
0,9	0,08
1	0,07



Після обробки інформації та пошуку всіх типів регресійних кривих, із списку, що виводить Curve Expert, вибираємо саму першу функцію, оскільки в неї найкращий показник коефіцієнту кореляції.



Далі витягуємо характеристики регресійної кривої.

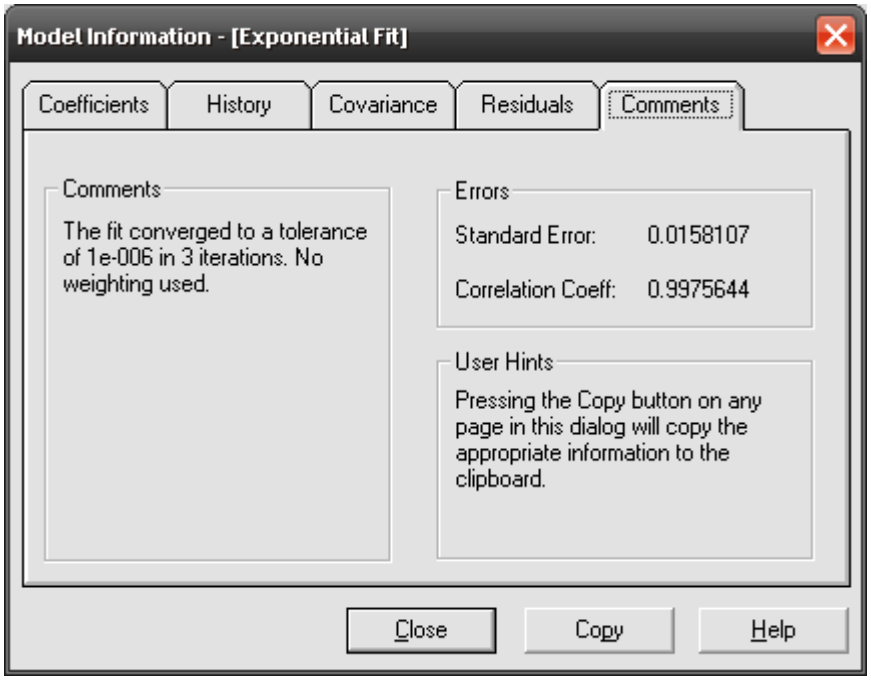


Отримаємо рівняння лінійної регресії поставленої у вигляді Exponential Fit: y=ae^(bx)

Coefficient Data:

a = 0.94657321

b = -3.0596351



Отримаємо інформацію стосовно коефіцієнту кореляції та стандартної помилки.

Exponential Fit: y=ae^(bx)

Standard Error: 0.0158107

Correlation Coefficient: 0.9975644

Comments:

The fit converged to a tolerance of 1e-006 in 3 iterations. No weighting used.

Висновок: оскільки коефіцієнт кореляції r = 0.9975644 близький до одиниці, то регресійна крива знайдена з достатньою точністю.

Рівняння регресійної кривої швидкості руху утфелю в циркуляційній трубі плаваючої гріючої камери:

$$v_8(\tau/\tau_ц) = 0{,}95 \cdot e^{-3{,}06 \cdot \tau/\tau ц}$$

Висновок

Результатом роботи є проведення дослідження процесу кристалізації І-го продукту за допомогою програми Flow Vision. Для цього було розроблено 10 моделей апарату із певним рівнем утфелю та положенням плаваючої камери і 10 моделей без плаваючої камери, для певного періоду уварювання та із заданими параметрами проведено розрахунок швидкості руху речовини по контуру. Результатами дослідження є отримані рисунки швидкості циркуляції речовини. На них ми бачимо рух та інтенсивність руху речовини в певний проміжок часу з певними параметрами. Порівнюючи 2 випадки, ми бачимо значну різницю в русі утфеля, особливо над паровою камерою, де за рахунок плаваючої камери рідина в цій зоні інтенсивніше рухається, зменшуючи при цьому кількість застійних «мертвих» зон у верхніх шарах утфеля. Цим ми бачимо переваги вакуум-апаратів з плаваючою камерою, що забезпечують інтенсивність процесу кристалізації вцілому.

Було проведено і створено:

• топологічний аналіз машини. Побудовані:

- Структурний граф;
- енергетично-потоковий граф;
- зв’язковий та сигнальний графи;

• розроблено математичну модель процесу зміни швидкості у трубці, простори стандартної та модернізованої нагрівальних камер в залежності від часу уварювання утфеля з використанням методу найменших квадратів. Було знайдено типи регресійних кривих вірно та відповідні коефіцієнти регресійних кривих з максимально можливою точністю на основі відповідних їм коефіцієнтів кореляції для всіх цих розрахунків, що були близькими до одиниці.

На основі проведеного дослідження ми можемо зробити висновок, що плаваюча камера:

- дозволяє зменшити кількість застійних «мертвих» зон і цим дещо прискорити процес кристалізації;

Що в свою чергу призводить до:

• зменшення термічного розпаду цукрози в вакуум-апараті;
• збільшення експлуатаційної ефективності
• скорочення часу уварювання

Таблиця даних для звичайної гріючої камери 5.1.

τ/τц	Т, Сº	СР, %	Рівень утфелю, мм	Час уварювання, хв	Густина, кг/м	В´язкість $\frac{н \cdot сек}{м^2}$	Теплопровідність, Вт/м·К	Швидкість входження утфелю (сиропу) в гріючу камеру, м/с
0,1	66	76	1500	17	1390	0,0768	0,39	0,50
0,2	68	77	1600	34	1430	0,09510	0,37	0,38
0,3	69	82	1700	51	1440	0,3727	0,33	0,25
0,4	70	86	1800	68	1445	0,7400	0,3	0,18
0,5	71	87	1900	85	1450	1	0,3	0,12
0,6	72	88	2000	102	1452	1	0,3	0,1
0,7	73	89	2100	119	1454	1	03	0,08
0,8	73	90	2200	136	1456	1	0,3	0,07
0,9	75	92	2300	153	1458	1	0,3	0,06
1,0	75	93	2400	170	1460	1	0,3	0,05

Таблиця даних для модернізованої гріючої камери 5.2.

τ/τц	Т, С°	СР, %	Рівень утфелю, мм	Час уварювання, хв	Густина, кг/м	В´язкість $\frac{н \cdot сек}{м^2}$	Теплопровідність, Вт/м·К	Швидкість входження утфелю (сиропу) в гріючу камеру, м/с
0,1	66	76	1500	15	1385	0,0147	0,39	0,70
0,2	68	77	1600	30	1395	0,0768	0,37	0,52
0,3	69	82	1700	45	1430	0,0951	0,33	0,38
0,4	70	86	1800	60	1440	0,3727	0,3	0,25
0,5	71	87	1900	75	1445	0,7400	0,3	0,2
0,6	72	88	2000	90	1450	0,8523	0,3	0,15
0,7	73	89	2100	105	1454	1	03	0,11
0,8	73	90	2200	120	1455	1	0,3	0,09
0,9	75	92	2300	135	1457	1	0,3	0,08
1,0	75	93	2400	150	1460	1	0,3	0,07

6. Устрій та принцип роботи модернізованого обладнання.

Запропонована конструкція упорядковувача циркуляції встановлюється в вакуум-апараті А2-ПВЕ-60 для уварювання цукрових утфелів.

1. Відомий вакуум-апарат для кристалізації розчинів, переважно цукровмісних (Интенсификация уваривания утфелей в вакуум-аппаратах периодического действия. СМ. Петров та ін. - "Сахарная промышленность", 1986, № 7. - с. 19-23), що виконаний у вигляді вертикального циліндричного корпусу, всередині котрого була розміщена підвісна трубчата нагрівальна камера з центральним циліндричним та зовнішнім опускними каналами. Зверху над центральним циркуляційним каналом було встановлено конфузор за формою зрізаного конуса, який спирається низом на парову камеру, а його верхня фіксується розпорками.

Головним недоліком даного апарату є можливість попадання уварюваного розчину із нижнього шару утфеля над паровою камерою в зону седиментації кристалів так як виріз у стінці конфузора буде мати спіралеподібну форму.

В основу сконструйованого апарата поставлено задачу створення удосконаленого пристрою для кристалізації розчинів котрий досягне покращення циркуляції шляхом розділення підйомних та опускних потоків у просторі зверху над паровою камерою.

Така задача вирішується таким чином, що вакуум-апарат для кристалізації розчинів має вертикальний корпус циліндричної форми, підвісну нагрівальну камеру із центральним опускним каналом, циркулятор для змішування та циркуляції кристалічної маси. Згідно винаходу у середині центрального опускного канала розташовано порожнистий циліндр, котрий опирається бортиками, що знаходяться у верхній частині, на його парову камеру, і таким чином може вільно спливати при заповненні вакуум-апарата розчином під дією сили Архімеда, котра діє

на порожнистий циліндр та поплавки, які розміщені у верхній частині порожнистого циліндра.

Причинно-наслідковий зв'язок поміж цими ознаками і технічним результатом полягає в слідуючому. Конструкція розташованого у центральному опускному каналі порожнистого циліндра, котрий спирається бортиками, які знаходяться у його верхній частині та на парову камеру, і може вільно підніматися за наповнення вакуум-апарата розчином під дією сили Архімеда, котра діє на порожнистий циліндр та його поплавки, котрі розташовані у верхній частині порожнистого циліндра та дозволяє розділити підйомні й опускні потоки розчину.(рис 6.1)

Вакуум-апарат містить: вертикальний циліндричний корпус 1, в нижній частині якого перебувають: пристрій для вивантаження 2, підвісна трубчата нагрівальна камера 3 з патрубками підводу пари 4та відводу аміачних газів 5 і відводу конденсату 6. Зверху вакуум-апарату знаходиться патрубок відводу вторинної пари 7. На вертикальному валу 11 циркулятора, що приводиться в обертання двигуном 9 через редуктор 10, розміщена мішалка 12. В в центральному опускному каналі розташовано порожнистий циліндр 8, який спирається бортиками 13, що знаходяться у його верхній частині, на парову камеру 3, і має змогу вільно спливати за наповнення вакуум-апарата розчином під дією сили Архімеда, котра діє на порожнистий циліндр 8 та поплавки 14, розташовані у верхній частині порожнистого циліндра. На зовнішній поверхні порожнистого циліндра 8 закріплені радіальні полоси 15, які для жорсткості у нижній частині скріплені обручем 16. Радіальні полоси служать для уникнення заклинювання порожнистого циліндра 8, а також утворюють підйомні циркуляційні канали у просторі між порожнистим циліндром 8 і стінкою парової камери 3.

Вакуум-апарат працює таким чином. Його корпус 1 заповнюється вихідним розчином до рівня, котрий забезпечує покриття розчином парової камери 3. В нагрівальну камеру 3 через патрубок 4 подають пару, яка при

конденсації підігріває розчин. Вторинна пара що утворюється за кипіння розчину, відводиться використовуючи патрубок 7. Одночасно в апараті виконують розрідження. Конденсат нагрівальної пари відводиться через патрубок 6. З метою підсилення природної циркуляції, котра створюється за рахунок кипіння розчину, включається електродвигун 9, який приводить в обертання через редуктор 10 і вал 11 мішалку 12. Порожнистий циліндр 8, що спливає при наповненні вакуум-апарата розчином під дією сили Архімеда котра діє на порожнистий циліндр 8 та поплавки 14, розташовані у верхній частині порожнистого циліндра, служить для створення у вакуум-апараті направленої циркуляції розчину із підйомних у внутрішній опускний канал. Циркуляція розчину із опускних у підйомні канали відбувається між поплавками 14 та над ними. Потім, після згущення розчину до стану пересичення, в ньому здійснюють кристалоутворення та нарощування кристалів за одним з відомих способів, тимчасово або безперервно підкачуючи вихідний розчин.

Після того, як в розчині (утфелі), що кристалізується, маса кристалів досягне вмісту 45-55% до маси утфелю, нарощування кристалів припиняють, закривають подачу гріючої пари в гріючу камеру 3, вимикають електродвигун 12 приводу циркулятора. Вакуум-апарат опорожнюють через вивантажувальний пристрій 2.

Запропонована конструкція вакуум-апарата для кристалізації розчинів, дозволяє оптимізувати теплообмін, інтенсифікувати циркуляцію утфелю, скоротити тривалість цих процесів, а також збільшити середній розмір кристалів і зменшити коефіцієнт їх неоднорідності.

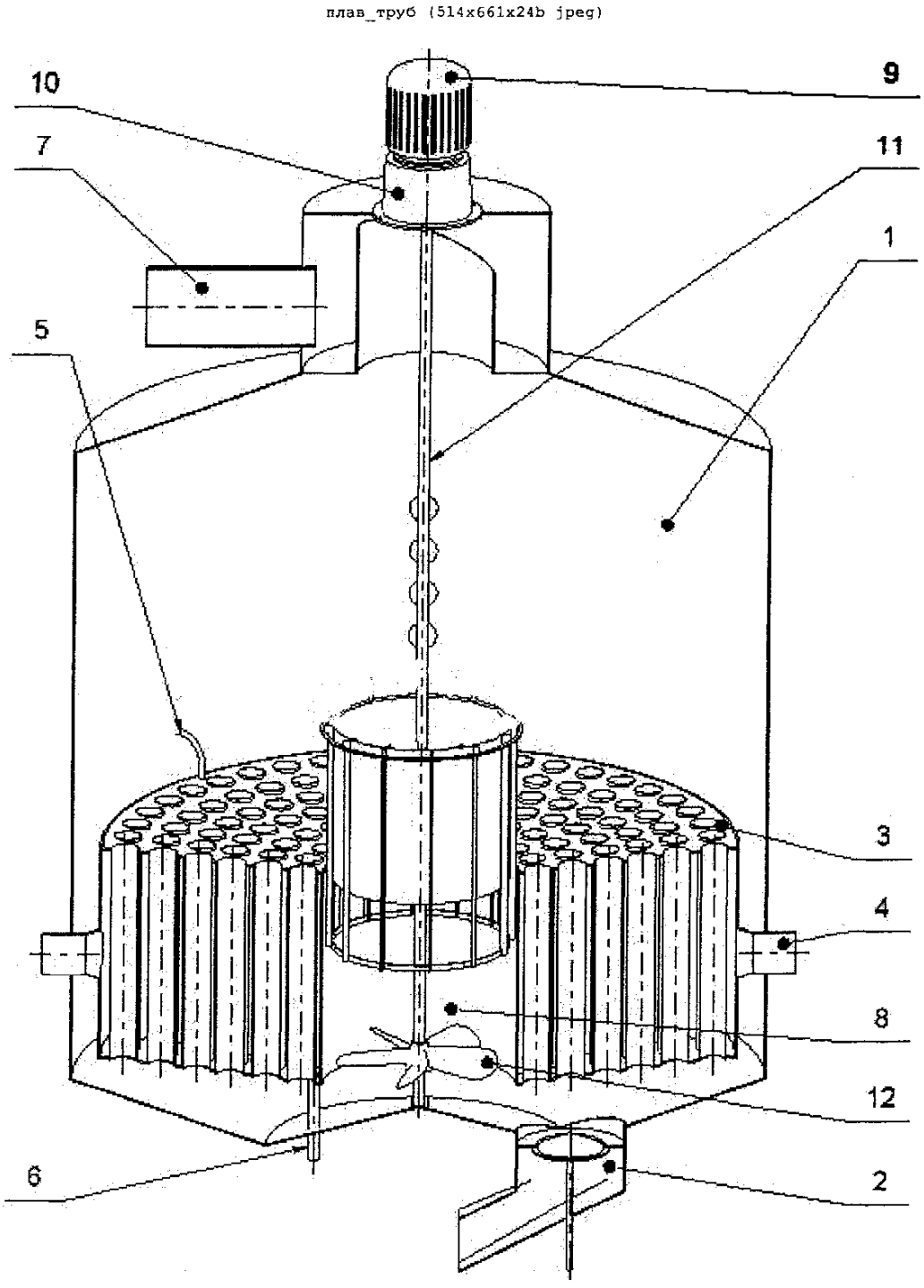
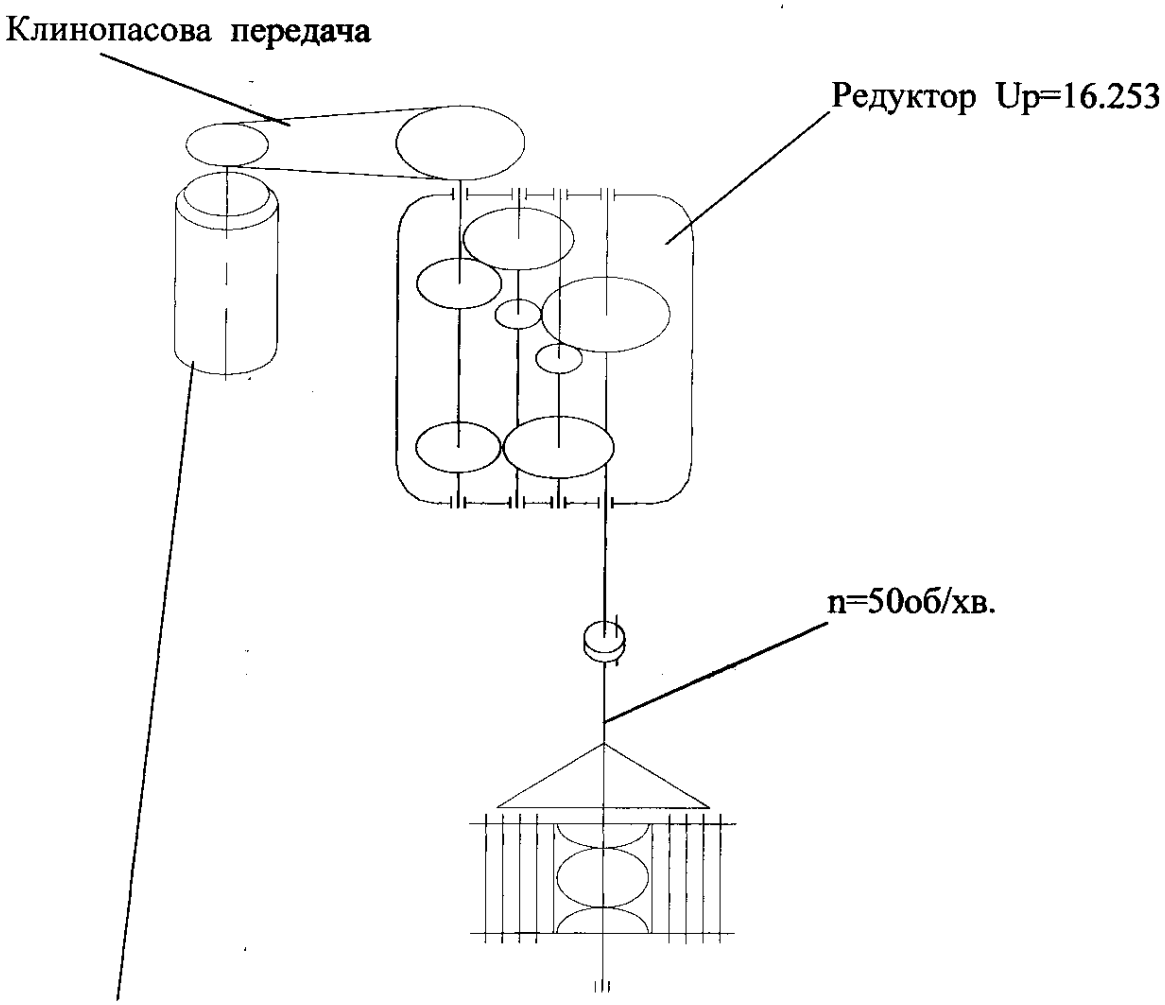


Рис. 6.1.

7. Розрахункова частина.

7.1. Розрахунок потужності двигуна



Двигун 4АМР25056У3

N=45квт., n=985об/хв.

Рис. 7.1 Схема привода циркулятора.

Розрахунок вихідної потужності двигуна циркулятора будемо вести за допомогою критеріальних рівнянь.

Значення критерія Рейнольдса при

$$n = \frac{50}{60} = 0{,}833$$

об/с

$$\mathrm{Re} = \frac{nd^2 \cdot \rho}{\mu} = \frac{0{,}83 \cdot 2{,}8^2 \cdot 1460}{0{,}0115} = 826131{,}47 \qquad (7.1)$$

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва Розрахункова частина	201988.МР.005.007 ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA / Аркуш 1/13

де n- це кількість обертів циркулятора за 1с ; d-діаметр його лопатей, м; p - густина утфеля, кг/м ; μ - в'язкість утфеля, $H / ì^2 \cdot ñ$

Критерій потужності:

$$K_N = 1{,}581\,\mathrm{Re}_{â}^{0{,}88}\left(\frac{D}{d}\right)^{0{,}26} \qquad (7.2)$$

де D - внутрішній діаметр апарата, м .

$$K_N = 1{,}581 \cdot 826131{,}47^{0{,}88}\left(\frac{4{,}5}{2{,}8}\right)^{0{,}26} = 251428{,}57 \qquad (7.3)$$

Потужність, що витрачається на перемішування:

$$N = K_N \mu n^2 \cdot d^3 = 251428{,}57 \cdot 0{,}0115 \cdot 0{,}833^2 \cdot 2{,}8^3 = 4404{,}96 \quad (7.4)$$

Приймаємо двигун типу 4АМР25056УЗ з потужністю N=45 кВт і n=985 об/хв

7.2. Вибір редуктора.

Приймаємо для привода циркулятора редуктор виготовлення ВАТ "Смілянський машинобудівний завод". Передаточне число редуктора Up = 16,253; частота обертання тихохідного вала n = 50 об/хв.

Частота обертання швидкохідного вала редуктора:

$$n_{øâ} = n_{òõ} \cdot U_p = 50 \cdot 16{,}253 = 812{,}65 \text{ об/хв} \qquad (7.5)$$

Крутний момент на швидкохідному валу редуктора:

$$M_{øâ} = \frac{9740 N \eta}{n_{øâ}} = \frac{9740 \cdot 45 \cdot 0{,}96}{812{,}65} = 517{,}78 \text{ Н·м} \qquad (7.6)$$

де η- коефіцієнт корисної дії редуктора.

Максимальний крутний момент на швидкохідному валу редуктора дорівнює Mmax = 570,1 Н·м. Оскільки Мшв<Mmax, то застосування редуктора доцільне.

7.3. Розрахунок клинопасової передачі.

Частота обертання ведучого шківа n = 985 об/хв, частота обертання веденого шківа n = 812,65 об/хв. Приймаємо діаметр ведучого шківа D1 = 355 мм. Передаточне число клинопасової передачі:

$$U_{\text{êï}} = \frac{n_{\text{âø}}}{n_{\text{âì}}} = \frac{985}{812,65} = 1,212 \qquad (7.7)$$

Діаметр веденого шківа:

$$D_2 = D_1 \cdot U_{\text{êï}} = 355 \cdot 1,212 = 430,29\,\text{мм} \qquad (7.8)$$

приймаємо D2 = 430 мм.

Уточнюємо передаточне число:

$$U_{\text{êï}} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - S)} \qquad (7.9)$$

де S = 0.01 - відносне ковзання ;

$$U_{\text{êï}} = \frac{430}{355 \cdot (1 - 0,01)} = 1,2235$$

Уточнюємо частоту обертання веденого шківа (швидкохідного вала редуктора):

$$n_{\text{âì}} = \frac{n_{\text{âø}}}{U_{\text{êï}}} = \frac{985}{1,2235} = 805,07\,\text{об/хв} \qquad (7.10)$$

Уточнюємо крутній момент на швидкохідному валу редуктора по формулі (5.6):

$$M_{\text{øâ}} = \frac{9740 \cdot 45 \cdot 0,96}{805,07} = 522,65\ \text{Н·м}$$

Швидкість пасу:

$$\upsilon = \frac{\pi D_1 n_{\text{âø}}}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 355 \cdot 985}{60 \cdot 1000} = 18,3\ \text{м/с} \qquad (7.11)$$

По передаваємій потужності і швидкості пасу вибираємо пас перерізу Д (Г) ГОСТ 12841-80.

Орієнтовна міжцентрова відстань :

$$l = kD_2 = 1,5 \cdot 430 = 645\ \text{мм} \qquad (7.12)$$

де к=1,5

$$L = 2l + W + \frac{y}{l} \qquad (7.13)$$

$$W = \frac{\pi(D_2 + D_1)}{2} = \frac{3{,}14 \cdot (430 + 355}{2} = 1233\,\text{мм} \qquad (7.14)$$

$$y = \left(\frac{D_2 - D_1}{2}\right)^2 = \left(\frac{430 - 355}{2}\right)^2 = 1406{,}25\,\text{мм} \qquad (7.15)$$

$$L = 2 \cdot 645 + 1233 + \frac{1406{,}25}{645} = 2525{,}18\,\text{мм}$$

По ГОСТ 12841 приймаємо пас перерізу Д(Г), з розрахунковою довжиною

L= 3150 мм.

Фактична міжцентрова відстань :

$$l = 0{,}25\left((L - W) + \sqrt{(L - W)^2 - 8y}\right) \qquad (7.16)$$

$$l = 0{,}25\left((3150 - 1233) + \sqrt{(3150 - 1233)^2 - 8 \cdot 1460{,}25}\right) = 959{,}23 \qquad (7.17)$$

Приймаємо l = 960 мм

Мінімальна міжосьова відстань при надіванні пасу:

$$l_{\min} = l - 0{,}01L = 960 - 0{,}01 \cdot 3150 = 928{,}5\,\text{мм} \qquad (7.18)$$

Максимальна міжосьова відстань для компенсації витяжки пасу:

$$l_{\max} = l + 0{,}055L = 960 + 0{,}055 \cdot 3150 = 928{,}5 \qquad (5.19)$$

Кут обхвату пасом шківа:

$$\alpha = 180' - 60'\left(\frac{D_2 - D_1}{l}\right) = 180' - 60' \cdot \left(\frac{430 - 355}{960}\right) = 175'18'' \qquad (7.20)$$

Кількість пасів клинопасовової передачі:

$$z = \frac{N}{N_0 k_1 k_2} \qquad (7.21)$$

де *N* - потужність двигуна, кВт ; N0 - потужність що передається одним пасом при куті обхвату α= 180°; к1 - коефіцієнт що залежить від кута

обхвату; к2 - коефіцієнт що враховує характер навантаження і характер роботи;

$$z = \frac{45}{13{,}3 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}6} = 5{,}75$$

Приймаємо кількість пасів z = 6шт.

Навантаження на вали:

$$\Theta = 2\sigma_0 Fz \sin\frac{\alpha}{2}, \text{Н} \qquad (7.22)$$

де σ_0 - натяг пасу кгс/$ñì^2$; F- площа поперечного перерізу пасу $ñì^2$.

$$\Theta = 2 \cdot 20 \cdot 4.77 \cdot 6 \cdot \sin\frac{175'18''}{2} = 1143{,}8 \text{ кг/с} \approx 11210 \text{ Н} \qquad (7.23)$$

Уточнюємо передаточне число приводу:

$$U_{ïð} = U_{ð} \cdot U_{êï} = 16{,}253 \cdot 1{,}2235 = 19{,}885 \qquad (7.24)$$

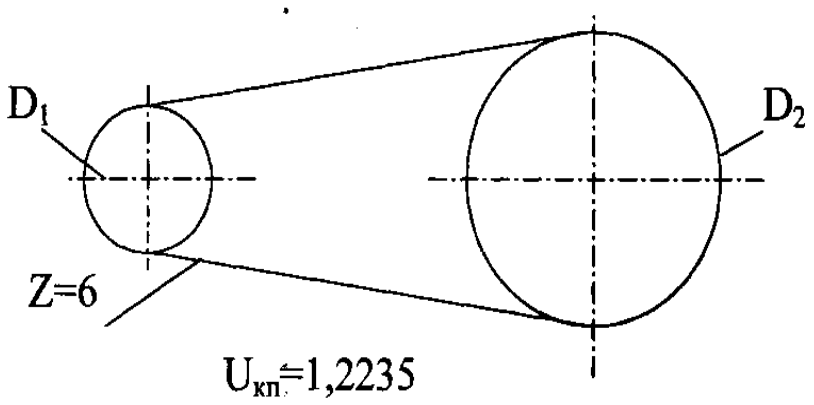


Рис.7.2 Клинопасова передача

7.4. Розрахунок муфти.

Муфта з двома шпонками поєднує два вали. ЇЇ розрахунок полягає в перевірці шпонки з умови міцності на зминання використовуючи формулу :

$$Ì \le 0{,}5dl_p k[\sigma]_{çì} \qquad (7.25)$$

де d - діаметр вала, мм; 1р-робоча довжина шпонки, мм; к - робоча висота шпонки, мм; [σ]зм - границя з міцності матеріалу, МПа; для Сталі 45 за середнього режиму роботи [σ]зм = 130 МПа; М-крутній момент вала, Н·м.

$0,5 \cdot 140 \cdot 7,4 - 130 = 9427600 Н \cdot мм = 9427,6 Н \cdot м$

М =8494Н·м < 9427,6 Н·м - умова виконується.

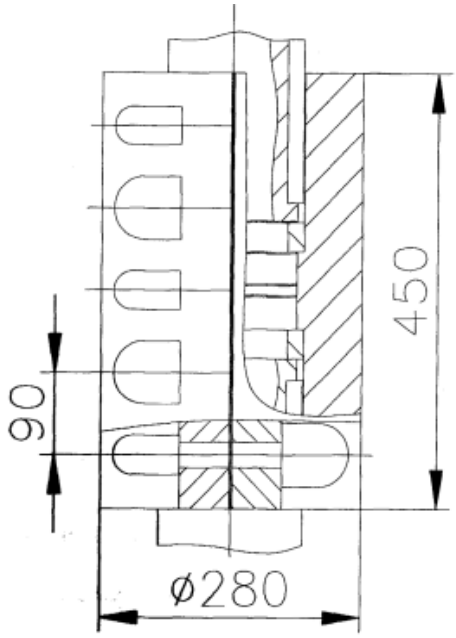


Рис.7.3 Муфта

7.5. Розрахунок шнека.

Зовнішній діаметр шнека приймаємо D = 0,75 м, внутрішній діаметр шнека d = 0,155 м, а крок t = 0,75 м.

Кут підйому гвинтових ліній на зовнішній кромці шнека (α_D і біля вала α_d визначається за формулами :

$$\alpha_D = arktg\frac{t}{\pi D} = arktg\frac{0,75}{3,14 \cdot 0,75} = arktg\,0,318 = 17'38'' \qquad (7.26)$$

$$\alpha_d = arktg\frac{t}{\pi D} = arktg\frac{0,75}{3,14 \cdot 0,155} = arktg\,1,54 = 57' \qquad (7.27)$$

Середньє значення кута підйому гвинтових ліній витка шнека знайдемо з рівняння :

$$\alpha_{ñð} = 0{,}5(\alpha_D + \alpha_d) = 0{,}5(14^\circ 38'' + 57^\circ) = 35^\circ 49'' \qquad (7.28)$$

Допоміжні величини, що вводяться в розрахунок :

$\cos^2 35^\circ 49'' = 0{,}6575;$

$tg35^\circ 49'' = 07215;$

sin35°49" =0,585.

Крутній момент який потрібен на обертання шнека Мкр2 значно менши: від крутного момента який потрібен на обертання лопатей Мкр1, знаходиться з виразу:

$$\frac{M_{êð1}}{Ì_{êð2}} - \frac{d_ë}{d_{øí}} \qquad (7.29)$$

звідки :

$$Ì_{êð2} = \frac{Ì_{êð1} \cdot d_{øí}}{d_ë} = \frac{8494 \cdot 0{,}75}{2{,}8} \approx 2275 \text{ Нм}$$

де dл і dшн діаметри кола лопатей і шнека.

Максимальний тиск ρmax , що розвивається шнеком знаходимо з виразу:

$$Ì_{êð} = 0{,}131 n \rho_{\max} (D^3 - d^3) \cdot tg\alpha_{ñð} \qquad (7.30)$$

$$\rho_{òàò} = \frac{Ì_{êð}}{0{,}131 n (D^3 - d^3) \cdot tg\alpha_{cp}}$$

де n-число робочих витків.

$$\rho_{òàò} = \frac{2275}{0{,}131 \cdot 2(0{,}75^3 - 0{,}155^3) \cdot tg35'59''} = 28601 Ïà \approx 28{,}6 \text{ КПа}$$

Згинаючий момент в витку шнека по внутрішньому контурі:

$$Ì_{çã} = \frac{\rho_{òàò} D^2}{32} \cdot \frac{1{,}9 - 0{,}7a^{-4} - 1{,}2a^{-2} - 5\ln a}{1{,}3 + 0{,}7a^{-2}} \qquad (7.31)$$

де а-відношення діаметрів шнека і вала (а= D/d = 0,75/0,155 = 4,83)

$$Ì_{çã} = \frac{0{,}0286 \cdot 10^6 \cdot 0{,}75^2}{32} \cdot \frac{1{,}9 - 0{,}7 \cdot 4{,}83^{-4} - 1{,}2 \cdot 4{,}83^{-2} - 5\ln 4{,}83}{1{,}3 + 0{,}7 \cdot 4{,}83^{-2}} \approx -2267{,}33 \text{ Нм/м}$$

Товщина витка шнека вираховується з виразу:

$$\sigma = \pm 6M / \delta^2 \qquad (7.32)$$

Витки шнека будуть виготовлені з сталі Сталь 20, для якої напруження при згині слід прийняти рівним допустимому напруженню при розтязі [13].

$$\delta = \sqrt{6M / \sigma} = \sqrt{6 \cdot 2267{,}33 / 250 \cdot 10^6} = 0{,}00583$$

Приймаємо товщину шнека і лопатей рівними 6 мм.

Розгортки гвинтових ліній вираховуються з рівнянь:

$$l = \sqrt{t^2 + (\pi \cdot D)^2} = \sqrt{0{,}75^2 + (3{,}14 + 0{,}75)^2} = 2{,}47 \text{ м} \qquad (7.33)$$

$$l = \sqrt{t^2 + (\pi \cdot d)^2} = \sqrt{0{,}75^2 + (3{,}14 + 0{,}155)^2} = 0{,}894 \text{ м} \qquad (7.34)$$

Ширина витків шнека:

$$b = 0{,}5(D - d) = 0{,}5(0{,}75 - 0{,}155) = 0{,}297 \text{ м} \qquad (7.35)$$

Кут вирізки витка в заготовці:

$$\alpha_0 = 2\pi - \frac{L - l}{b} = 2 \cdot 3{,}14 - \frac{2{,}47 - 0{,}894}{0{,}297} = 0{,}98 \text{ ðàä} \approx 55'55'' \qquad (7.36)$$

Діаметри заготовок для виготовлення шнека:

$$D_0 = \frac{2L}{2\pi - \alpha_0} = \frac{2{,}247}{(2 \cdot 3{,}14) - 0{,}98} = 0{,}932 \text{ м} \qquad (7.37)$$

$$d_0 = \frac{2L}{2\pi - \alpha_0} = \frac{2{,}0894}{(2 \cdot 3{,}14) - 0{,}98} = 0{,}337 \text{ м} \qquad (7.38)$$

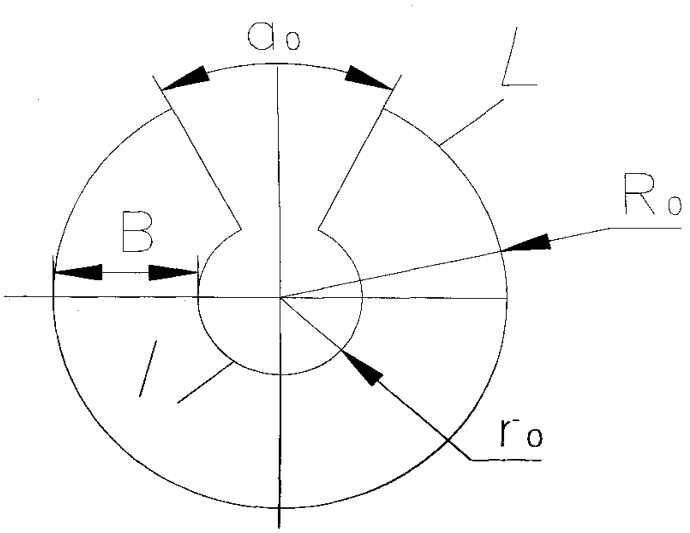


Рис.7.4 Кільце - заготовка *шнека.*

7.6. Розрахунок вала.

Розрахунок валу будемо проводити в залежності від його міцності до крутного моменту :

$$d = 1{,}713\sqrt{\frac{M_{kp}}{\tau_{ä}}} + \tilde{N} \qquad (7.39)$$

прибавка на корозію, ерозію - С та мінусовий допуск котрий приймаємо рівним нулю.

Допустиме напруження на кручення визначаємо як :

$$\tau_{ä} \approx 0{,}6\sigma_{ä}, \text{МПа} \qquad (7.40)$$

де $\sigma_д$ - допустиме напруження на розтяг, Н/м^2 (приймаємо більшим за значенням) визначаємо за формулою :

$$\sigma_{ä} = \frac{\sigma_{â}^{t}}{n_t} \cdot \eta$$

$$\sigma_{ä} = \frac{\sigma_{t}^{t}}{n_t} \cdot \eta$$

(7.41)

де $\sigma_{â}^{t}$ — границя міцності міцності при розтягуванні, при робочій температурі, МПа; $n_в$ і n_t коефіцієнти запаса міцності по згинальних і дотичних напруженнях.

В якості матеріалу для вала приймаємо Сталь 45.

$$n_{â} = \frac{\sigma_{-1}}{\hat{E}_{\sigma D} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_i} \qquad (7.42)$$

де $\sigma_{à} = \sigma$ - амплітуда номінальних напружень згину; Wo - осьовий момент опору, $ì^3$; ψ_σ - конфіцієнт чутливості матеріалу до ассиметрії циклу напружень при згині.

де $\hat{E}_{\sigma D}$ = 1,6 — коефіцієнт концентрації напружень; $\hat{E}_{\sigma}^{n}$=1,18 - коефіцієнт що залежить від шорсткості; E_{σ} = 0,78 - коефіцієнт впливу абсолютних деталей

$$\hat{E}_{\sigma D} = \frac{K_{\sigma} + \hat{E}_{\sigma}^{n}}{E_{\sigma}} \qquad (7.43)$$

$$n\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \cdot \tau_{a} + \psi_{\tau} \cdot \tau_{i}} \qquad (7.44)$$

де $\tau_{à} = \tau_{i} = \tau / 2$ - амплітуда і середнє значення номінальних напружень кручення; $\hat{E}_{\tau D}$ - ефективний коефіцієнт концентрації напружень при крученні.

$$\hat{E}_{\sigma D} = \frac{K_{\tau} + K_{\tau}^{n} - 1}{E_{\tau}} \qquad (7.45)$$

де $К_{\tau}$ =1,4 - ефективний коефіцієнт концентрації напружень полірованого зразка; $\hat{E}_{\tau}^{n}$=1,18 —коефіцієнт стану поверхні; E_{τ}=0,78- коефіцієнт впливу абсолютних деталей.

$$\hat{E}_{\sigma D} = \frac{1{,}6 + 1{,}18 - 1}{0{,}78} = 2{,}282$$

$$\hat{E}_{\tau D} = \frac{1{,}4 + 1{,}18 - 1}{0{,}78} = 2{,}202$$

По таблицям [5] для валу з даметром d > 100мм, виготвленого з сталі 45, $\hat{E}_{\sigma D}$=2,45, $\hat{E}_{\tau D}$=1,9. Приймаємо ті значення, що більші, тобто $\hat{E}_{\sigma D}$=2,45, $\hat{E}_{\tau D}$=2,02.

$$\tau = \frac{M_{kp}}{W_{p}}$$

де $W_р$ - полярний момент опору; $М_{кр}$ - крутній момент,Н/$ì^2$; τ - напруження при крученні, МПа.

$$\tau = \frac{8078{,}66}{0{,}000538} \approx 15 ÌÏà \qquad (7.46)$$

$$W_{p} = \frac{\pi d^{3}}{16} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}14}{16} = 0{,}000538 ì^{3} \qquad (7.47)$$

З формули (7.40):

$$\sigma_{ä} = \frac{420}{8} \cdot 0{,}85 = 44{,}62 \text{ МПа}$$

З формули (7.43)

$$n_{\tau} = \frac{150}{2{,}45 \cdot 7{,}5 + 0{,}05 \cdot 7{,}5} = 8$$

З формули (7.40)

$$\tau_{ä} = 0{,}6 \cdot 44{,}62 = 26{,}772 \text{ МПа}$$

Діаметр вала знаходимо з формули (7.39) :

$$d = \sqrt[1{,}713]{\frac{8078{,}66}{26{,}772 \cdot 10^6}} = 114{,}69 \text{ мм}$$

Приймаємо, що діаметр верхнього вала в найменшому перерізі рівним d = 115мм.

Розрахунок нижнього вала непроводимо з міркувань того, що велечи-чина діаметру в найменшому перерізі становить d = 128 мм.

7.7. Розрахунок підшипника ковзання.

Корпус нижньої опори, крім вкладишів, виготовлено з сталі СтЗ. Вкладиші нижньої опори виготовлено з бронзи Бр.ОЦС 5-5-5 .

Середній (умовний) тиск (контактне напруження) знаходимо з виразу:

$$p_k = \frac{F_a}{S_k} = \frac{4F_a}{\pi(D^2 - d^2)} \le [p_k] \qquad (7.48)$$

де F_a - осьова сила, Н ; $S_к$ - площа кільця контакту, $ì^2$; $[p_к] \approx 10$ МПа – гранично допустиме значення вселичини середнього тиску

$$\rho_k = \frac{4 \cdot 9000}{3{,}14(0{,}155^2 - 0{,}140^2} = 2{,}59 \text{ МПа}$$

Умова виконується оскільки *р*к =2,59 МПа < [*р*к] $\approx$10МПа

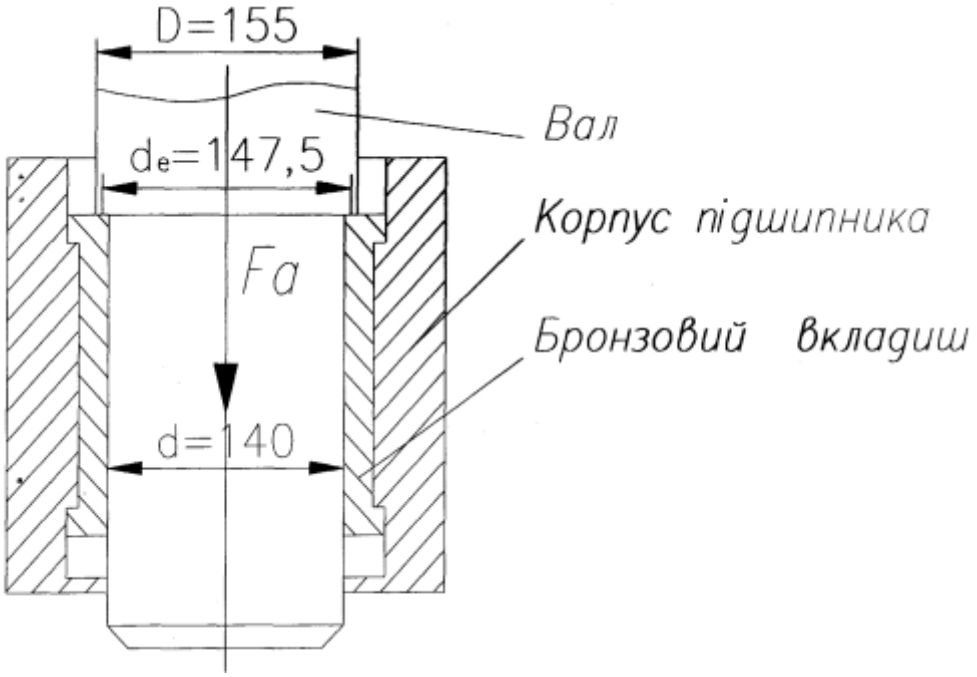


Рис. 7.5 Підшипник ковзання. Схема навантаження.

Швидкість ковзання знаходимо по формулі:

$$\vartheta_S = \omega \cdot \frac{d_e}{2} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}833 \cdot 0{,}1475}{60} = 0{,}006 \text{ м/с}$$

Значення ϑ_S не .повинно перевищувати значення $[\vartheta_S]$. Умова виконується оскільки $\vartheta_S = 0{,}006$ м/с < $[\vartheta_S] = 0{,}04$ м/с.

Перевіряємо підшипник на відповідність фактору *р*к ϑ_S. Повинна виконуватись умова $[p\text{к} \cdot \vartheta_S] \geq p\text{к} \cdot \vartheta_S$. Фактор $[p\text{к} \cdot \vartheta_S]$ для більшості стаціонарних машин становить 1-10 МПа · м/с.

$$\rho_k \cdot \vartheta_s = 2{,}59 \cdot 0{,}006 = 0{,}0155 \text{МПа} \cdot \text{м/с} \qquad (7.50)$$

Умова виконується $p\text{к} \cdot \vartheta_S = 0{,}0155$МПа · м/с < $[p\text{к} \cdot \vartheta_S] = 1 \ldots 10$ МПа · м/с.

Оскільки всі вимоги виконуються то конструкція підшипника вибрана вірно.

Розрахунок геометричних параметрів поплавкової камери.
Вихідні дані для розрахунку:

гус мін 1280
гус макс 1445
t 80 градусів
СРпоч 65
СРкін 90

Результати розрахунку на ЕОМ:
основа

V, т.си	*g*	*густина*	*Рархимеда, Н*
0,1431	*9,81*	*1460*	*2028,506895*

m, кg			Fтяжіння
204,7			*2008,107*

Все при максимальній густині

V, т.си	*g*	*густина*	*Fархимеда, Н*
0,1656	*9,81*	*1460*	*2347,45452*

m, кg			*Fтяжіння*
213,7			*2096,397*

все при мінімальній густині

V, т.си	*g*	*густина*	*Fархимеда, Н*
0,1656	*9,81*	*1280*	*2079,40608*

Висновки: щоб забезпечити підйомну Архімедову силу для вищезгаданих умов необхідно мати внутрішній об'єм поплавкової камери 0,165.

8. Підбір конструкційних матеріалів.

Вакуум-апарат типу А2-ПВЕ-60 використовується на цукрових заводах. Його основне призначення - це уварювання утфелів 1-го, 2-го та 3-го продуктів.

Утфель це один з основних напівпродуктів кінцевої стадії цукрового виробництва.

Утфель це суміш кристалів цукру та міжкристальної рідини. Під час його фугування відтік міжкристальної рідини утворює патоку.

За двохпродуктової схеми заводу отримують два види утфелів : утфель 1 і утфель 2. Після фугування утфеля 1 отримують білий цукор, білу та зелену патоки, а при фугуванні утфеля 2 отримують жовтий цукор, буру патоку та мелясу.

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

Так як нецукри збільшують процес зносу металів в цукрових розчинах, тому для визначення зносостійкості металів у середовищах продуктового відділу цукрового заводу досліджене зношення металів в утфелі 2.

Лабораторні дослідження зношення металів в утфелі було проведено при швидкості ковзання 0,02 м/сек, за нормального тиску 20 і 40 кгс/см та кімнатної температури.

В утфелі було досліджено зношення сталі Ст5 у парі тертя із чавуном СЧ 15-32, бронзами Бр. ОЦС 5-5-5 і Бр. АЖ 9-4, латунню Л62 та бабітом БН.

Утфель було приготовлено в лабораторних умовах і він відповідав за

складом утфелю 2.

За нормального тиску 20 кгс/см сталь Ст5 має кращу зносостійкість в утфелі у парі тертя з чавуном СЧ 25-32 та бронзою Бр. АЖ9-4; в парі з бронзою Бр. ОЦС 5-5-5, латунню Л62 і бабітом БН вона зношується на 33 - 40 % більше ніж в парі з чавуном.

З матеріалів контртіла кращою зносостійкістю за цих умов є бронза Бр. ОЦС 5-5-5. Її зношення є в 2 рази меншим, чим зношення чавуна. Латунь Л 62 в утфелі зношується приблизно в 1,3 рази швидше, ніж бронза Бр. ОЦС 5-5-5, але в 1,5 менше ніж чавун.

Найбільшу зносостійкістю в утфелі за нормального тиску 20кгс/см^2 мають пари тертя Ст5 із бронзою Бр.ОЦС 5-5-5 та латунню Л 62.

За підвищення нормального тиску до 40 кгс/см знос металів, більше кольорових, збільшується. За цих умов пари тертя Ст5 - Бр.ОЦС 5-5-5 і Ст.5-Л62 майже не мають переваг перед парою Ст5-СЧ15-32.

Зносостійкість пари тертя чавун-чавун за оюох випадків нижче зносостійкості пари сталь-чавун.Менш зносостійкими в утфелі - пари тертя Ст 5 - Бр. АЖ9-4 і Ст 5 - БН.

Метали зазнають абразивного впливу від кристалів цукрози в утфелі. За це свідчать багаточисельні подряпини, котрі спостерігаються на поверхнях тертя, що розташовані паралельно напрямку руху абразивів.

Інтенсивність у абразивного впливу кристалів цукру на поверхні тертя, залежить від товщини шару міжкристальної рідини між ними та визначається величиною нормального тиску. Міжкристальна рідина, що має велику в'язкість, містить досить багато розчиненої цукрози і таким чином перешкоджає зчепленню металів. Це пояснюється значним зниженням сили процесів зчеплення у парі тертя Ст 5 - Бр.АЖ9-4.

За нормального тиску 20 кгс/см для більшості металів, що випробовуються , ведучим є абразивне зношення; у парі тертя Ст 5 - Бр.АЖ9-4 абразивному зношенню допомагає зацеп. При зростанні тиску до

40 кгс/см пришвидшується процес зчеплення сталі із бронзою Бр.АЖ9-4, а в парах тертя сталі з бронзою Бр.ОЦС 5-5-5 та латунню Л 62 зчеплення сприяє абразивному зношенню.

За високих значень коефіцієнта твердості (К»60), особливо з наявністю на поверхнях тертя рідких середовищ, провідна роль в абразивному зношенні виникає завдяки електрохімічних процесів. Тому інтенсивність зношування у таких випадках визначається зазвичай корозійною стійкістю. У корозійному відношенні бронза Бр.ОЦС 5-5-5 і латунь Л 62 при нормальному тиску 20 кгс/см2 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 зменшується товщина прошарку міжкристальної рідини між поверхнями, що труться, і в парах тертя сталі з бронзами Бр.ОЦС 5-5-5 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.

Проаналізувавши дані досліди, для виготовлення частин циркулятора, що мають контакт з утфелем приймаємо такі матеріали :

Верхній і нижній вали циркулятора виготовлямо з сталі 45 ГОСТ 1050-74;

Муфту виготовляємо з сталі 45 ГОСТ 1050-74;

Лопаті виготовляємо з сталі СтЗ ГОСТ 380-88 ;

Гріючу камеру виготовляємо штампуванням і зварюваням зі сталі СтЗ ГОСТ 380-88;

1. Вкладиші нижньої опори виготовляємо з бронзи Бр.ОЦС 5-5-5 .

9. Технологія машинобудування

Вибір вузла та аналіз характеристик виробу

В запропонованому дипломному проекті проведено удосконалення циркуляційної системи вакуум-апарату на цукровому заводі в відділ кристалізації.

В даному розділі розглянуто технологію складання підшипникового вузла та

встановлення його в корпус вакуум-апарату .

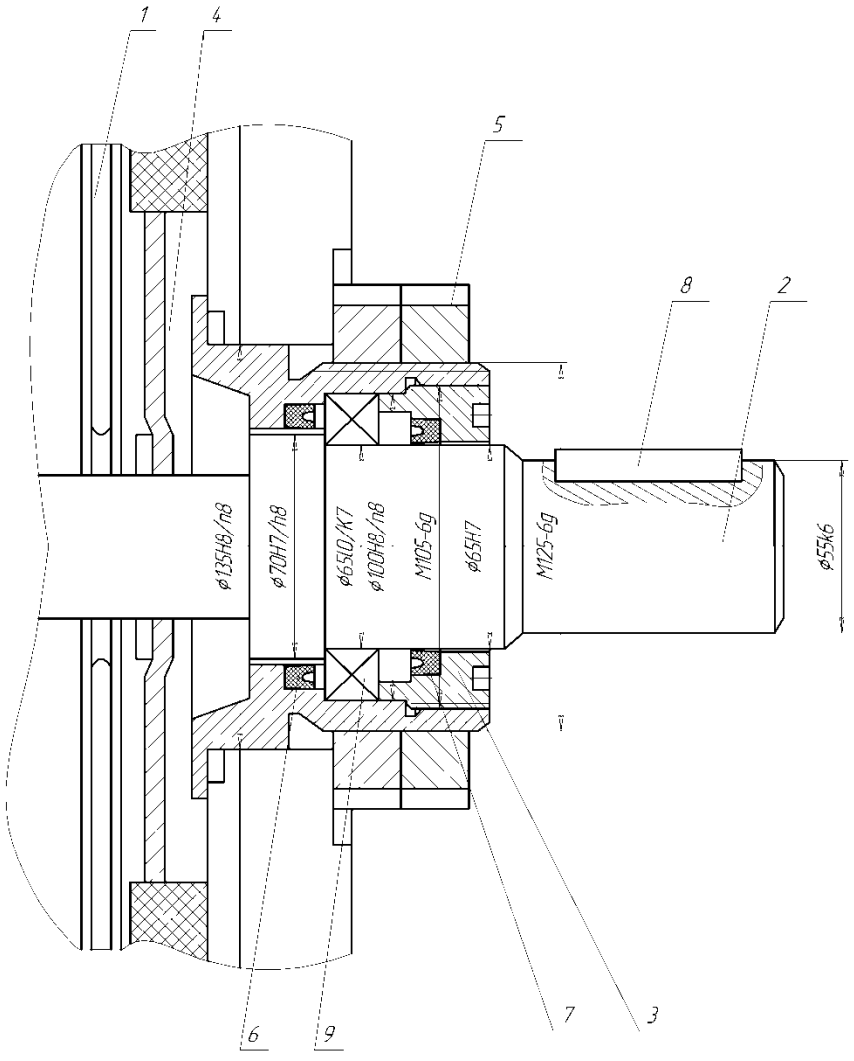


Рис.6.1. Підшипниковий вузол.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа

Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва Технологія машинобудування	201988.КП.005.009 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 1/8

Підшипниковий вузол складається з верхньої та нижньої частин і встановлюється тільки в положенні вказаному на рис.1. Склад корпуса підшипникового вузла представлено в табл.6.1.

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1.	Корпус вакуум-апарату	1
2.	Вал	1
3.	Кришка	1
4.	Стакан	1
5.	Гайка М125	2
6.	Манжета 1-80х70-0 ГОСТ 14896-84	1
7.	Манжета 1-80х65-0 ГОСТ 14896-84	1
8.	Шпонка ГОСТ 10748-79	1
9.	Підшипник 180113 ГОСТ 8882-75	1

Табл. 6.1. Подетальний склад вузла

З аналізу конструкції барабана (рис.1) необхідно виділити складальні одиниці 1-го порядку, а саме: Ск.1 – кришка вакуум-апарата, Ск.2 – підшипниковий вузол, Ск.3 –вал,Ск.4 – кришка.

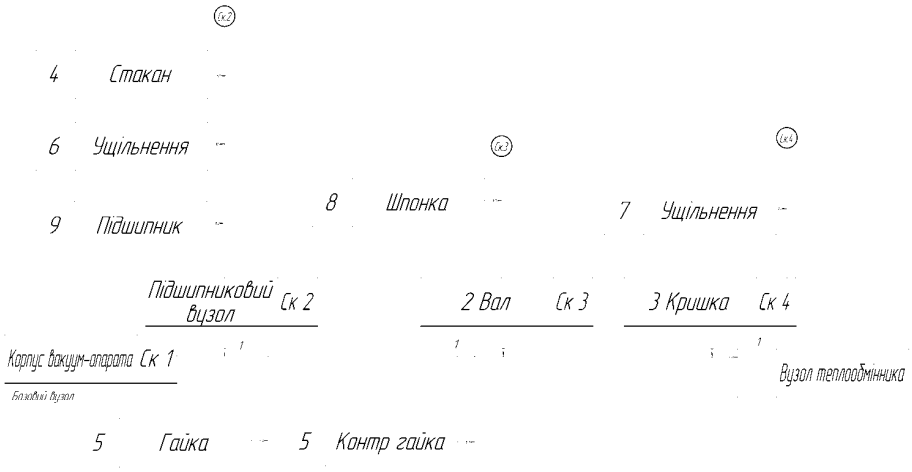


Рис. 6.2. Технологічна схема вузла

Вертикальні лінії зі стрілками показують послідовність складання окремих складальних одиниць, а горизонтальна лінія в центрі схеми – послідовність з'єднання складальних одиниць 1-го порядку за допомогою стандартних виробів. У прямокутниках розміщені найменування деталей і номери їхніх позицій на кресленні, а в прямокутниках з двома потовщеними лініями подано найменування складальних одиниць 1-го порядку.

Технологічний маршрут складання вузла полягає у описанні короткого змісту операцій з переходами (таблиця 6.2).

Номер	

переходу	Зміст переходу
10. Збирання підшипникового вузла СК2	
10.1.	Встановити стакан в корпус вакуум-апарату
10.2.	Встановити ущільнення
10.2.	Встановити підшипник
10.4.	Встановити ущільнення
10.5	Закріпити стакан гайкою
10.6	Закріпити стакан контр гайкою
20. Збирання і встановлення вала СК3	
20.1.	Встановити шпонку на вал
20.2.	Встановити вал в стакан
30. Встановлення кришки СК4	
30.1.	Встановити ущільнення в кришку
30.2.	Встановити кришку в стакан

Табл. 6.2. Технологічний маршрут складання вузла

Розрахунок

Найбільш небезпечними перерізами вала вважаються ті, які мають галтель, виточку або шпонковий паз через виникнення у них концентрації напружень.

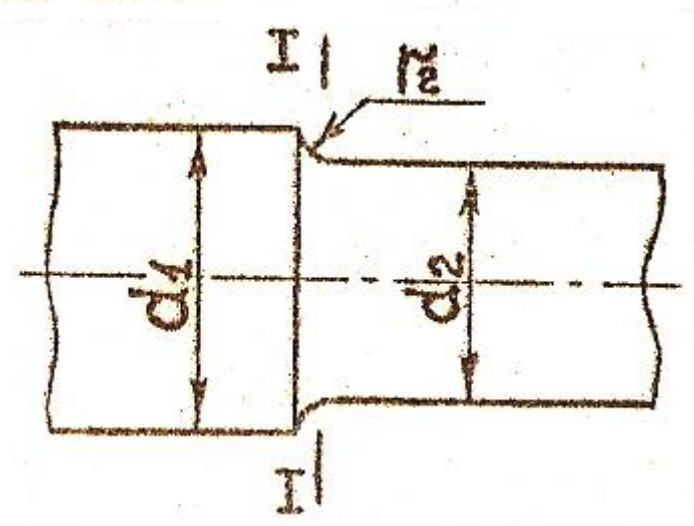


Рис.1 Робоче креслення валу

Для вала, показаного на рис.1 критичним (найбільш небезпечним) є переріз I-I в місці переходу діаметрів (галтелі).

Для визначення коефіцієнтів концентрації напружень при згині та крученні для вала з галтеллю знайдемо значення коефіцієнтів:

$$k_1 = \frac{r_г}{d_2} = \frac{0{,}5}{55} = 0{,}009$$

$$k_2 = \frac{d_1}{d_2} = \frac{65}{55} = 1{,}18$$

З таблиці шляхом інтерполяції знаходимо ефективні коефіцієнти концентрації напружень при згинанні та крученні для вала з галтеллю:

$K_\sigma \approx 2{,}2$

$K_\tau \approx 1{,}38$

Коефіцієнти масштабного фактору, які характеризують відмінність механічних характеристик зразків різного розміру, визначаємо за величиною його меншого діаметра. В нашому випадку для d_2=55 мм

коефіцієнти масштабного фактору при згині та крученні вала дорівнюють:

$$\varepsilon_\sigma = 0{,}98$$

$$\varepsilon_\tau = 0{,}8$$

Значення амплітуд напружень при циклічному знакозмінному згині та крученні:

$$\sigma_{эг} = \frac{32M_{эг}}{\pi d_2^3} = \frac{32 \cdot 10^3}{3{,}14 \cdot 55^3} = 51{,}6\text{МПа}$$

$$\tau_{кр} = \frac{M_{кр}}{0{,}2d_2^3} = \frac{50 \cdot 10^3}{0{,}2 \cdot 55^3} = 18{,}1\text{МПа}$$

Коефіцієнти запасу міцності при згинанні та крученні валу:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma}\sigma_{эг}} = \frac{280}{\frac{2{,}2}{0{,}89} \cdot 51{,}6} 2{,}2$$

$$n_\tau = \frac{2\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau}\tau_{кр}} = \frac{2 \cdot 140}{\frac{1{,}38}{0{,}8} \cdot 18{,}1} = 8{,}97$$

Загальний сумарний коефіцієнт запасу міцності:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = \frac{2{,}2 \cdot 8{,}97}{\sqrt{2{,}2^2 + 8{,}97^2}} = 2{,}14$$

Середнє квадратичне відхилення амплітуд напружень:

$$S_a = \frac{A \cdot \sigma_{эг}}{3} = \frac{0{,}71 \cdot 51{,}6}{3} = 12{,}2$$

де

$$A = \frac{\Delta M_{эг}}{M_{эг}} = \frac{50}{70} = 0{,}71$$

Коефіцієнт варіації амплітуд:

$$v_a = \frac{S_a}{\sigma_{эг}} = \frac{12{,}2}{51{,}6} 0{,}24$$

Знаходимо за графіком ймовірність відмови (руйнування валу в критичному перерізі). При одержаних розрахункових даних (n=2,14; υ_a =0,24) ймовірність руйнування валу в критичному перерізі становить $F(t)=5{,}5\cdot10^{-5}$

Ймовірність безвідмовної роботи вала:

$$P(t) = 1 - F(t) = 1 - 5{,}5 \cdot 10^{-5} = 0{,}999945$$

Одержаний показник свідчить, що вал має високу експлуатаційну надійність.

Вал використовують в конструкціях для передачі крутного моменту від однієї деталі до іншої. В процесі роботи на вал діють різного роду навантаження, і виникає потреба в його зміцненні.

Для додання поверхні вала необхідної міцності, використовують конструктивні і технологічні способи її підвищення.

Конструктивний спосіб зміцнення валів полягає в тому, щоб надати йому форму, яка б забезпечувала рівномірний розподіл напружень як в зонах їх найбільшої концентрації, так і поза цими зонами (збільшення радіуса галтелі, поглиблення галтелі в шийку тощо).

Наклеп широко застосовують для зміцнення поверхневого шару виробу. Зазвичай його проводять в місцях максимальної концентрації напруг. Наклеп виробляють наступними способами: обкаткою роликами, обдування дробом, обтиснення кулькою. При обкатці роликами і обтисненні кулькою межа витривалості на згин підвищується до 40%, а при крученні може збільшиться до 20%. При обдуванні вала дробом, межу витривалості можна підвищити до 40%.

Поверхневе гартування — застосовується з метою отримання підвищеної твердості в поверхневому шарі із збереженням в'язкої серцевини, що забезпечує деталі зносостійкість і високу динамічну

міцність. Це досягається за рахунок того, що поверхневий шар набуває структури мартенситу, а в серцевині залишається перлітно-феритна або сорбітна структура. В результаті поверхневого гартування в металі виникають напруження стиснення, які сприяють підвищенню втомної міцності деталей.

Основними видами термообробки є гартування, відпал, нормалізація, відпуск.

Хіміко-термічна обробка на відміну від термічної обробки змінює не тільки структуру сталі, але і її хімічний склад в поверхневому шарі. В результаті ХТО забезпечується збільшення зносостійкості, корозійної стійкості, втомної міцності

Основні види хіміко-термічної обробки: цементація; азотування; ціанування; дифузійне насичення сталей хромом, алюмінієм, кремнієм і бором.

За допомогою азотування можна збільшити межу міцності на згин і крутіння, в деяких випадках до 40%. Азотування не рекомендується проводити після остаточної механічної обробки деталі, так як в цьому випадку може значно знизитися втомна міцність.

Цементація і подальша термічна обробка (гартування та низький відпуск) призначені для отримання в поверхневому шарі високої твердості і зносостійкості з підвищенням межі контактної витривалості і межі витривалості при згині та крученні.

10. Автоматизація процесу.

Вдале впровадження вакуум-апаратів на підприємствах залежить не тільки від раціональності самої АСУ та її принципу функціонування, але і від постійності наступних технологічних параметрів :

• Вміст сухих речовин в сиропі, %;

• Температура сиропа і відтоків, °С;

• Вміст сухих речовин в готовому утфелі, %;

• Тиск, кПа (мм. рт. ст.);

• Тиск гріючої пари, кПа ;

Контроль процесу варки здійснюється впливом на подачу вихідного розчину в апарат. Діюче значення його витрати встановлюють у відповідності до умов теплообміну, котрі характеризуються кількістю випарної води , і умовами масообміну, рушійною силою якого є пересичення розчину, котре створюється та підтримується шляхом випарювання води.

Процес теплообміну характеризується інтенсивністю випарювання води з врахуванням швидкості зміни рівня розчину в вакуум-апараті, а процес масообміну у відповідності до технологічних потреб – за швидкістю зміни пересичення розданої доброякісності та з врахуванням зміни його рівня. Відношення швидкостей процесів тепло- та масообміну до швидкості зміни рівня дає змогу поєднати ці процеси між собою.

Не зважаючи на теоретичну досконаліть, застосування таких систем поки обмежене через складність їх застосування.

Система автоматичного управління вакуум-апаратом.

В системі автоматичного керування вакуум- апаратом процес варки в автоматичному режимі відбувається наступним чином. Натискають кнопку "Пуск" SB1 і подають напругу на катушку крокового шукача в МПК. При

цьому обезструмлюється електропневматичний перетворювач програмного в МПК, який подає сигнал на відкриття вакуумного клапана 2б, і в апараті виникає розрідження. Таке розрідження, виміряне вакуумметром 2а, зростає і коли досягне значення Р>Рмін елементи програмних блоків блоків МПК відкривають засувку 3г, котра забезпечує подачу сиропа до апарату. Сироп поступає в апарат і коли досягне рявня Н>Нп.к., коли нагрівальна камера вкрита сиропом, електрична частина система виконує наступний крок і подає команду для відкриття клапанів для подачі пари 4г, 4в. При цьому одночасно вмикається і регулятор в МПК, котрий підтримує постійний рівень в апараті.

Завдання для регулятора встановлює датчик 3и. Рівень визначають з використанням перетворювача перепаду тиску 3а, сигнал з якого поступає через блок демпфування у МПК на прилад контроля 3б, пропорціональний регулятор у МПК та програмний блок. Постійний рівень підтримується до того моменту, поки опір розчину, що уварюється, не стане R>Rзатр.

Контроль електричного опору утфеля виконують за допомогою перетворювача 1а і 1б , котрий має межу вимирювань 0-1000 Ом. Перетворювач 1а виставляють під кутом 90° до стінки апарата, на 450 - 500мм нижче пробного крана та змістивши його на 1000-1200 мм вбік від крана, не біля "застійних" зон і не менше ніж на 300-500 мм від ребер жорсткості апарата за повної герметичності.

Електропневмоперетворювач їв перетворює нормований струмовий сигнал в пневматичний. Вторинний прилад 1г виконує реєстрацію параметра.

Після досягнення уварюваним розчином опору, за якого необхідно проводити "затравку", крововий шукач робить наступний хід та через перетворювач 1в посилає команду на відкриття клапана 1г. Після його відкриття спрацьовує кінцевий вимикач 4а, за цією командою клапан подачі пудри знову закривається. Опір у розчину в вакуум-апараті продовжує зростати, і при

досягненні значення R>Rрозк. Буде повністю відкрито заслонку подачі сиропа в апарат та відбувається процес "розкачки". Опір розчину в апараті швидко знижується, і при Rогр>R система сигналізує цикл "нарощування". Від цього моменту заслонкою подачі сиропа (відтоку) в апарат управляє МПК.

Значення Rзатр, Rрозк, Rогр встановлюється з допомогою задатчиків, котрі розташовані у МІЖ, де значення завдання буде зафіксовано.

Варка в режимі спостереження триває до досягнення максимального рівня Н>Н макс. Потім апаратчик доводить електроопір продукту, що уварюється, до необхідного значення та здійснює команду "Стоп" SB2. Продукт з апарату вивантажується вручну. З допомогою перемикача SA1 оператор має змогувивести процес на будь-яку стадію процесу варки.

Дистанційне керування запорно-регулюючою апаратурою можна виконувати з використанням тумблерів, котрі розташовані на пневмосхемі. Там же розміщена сигнальна арматура, що показує стадії варки утфеля та положення всіх клапанів. При ручному введенні пудри до апарату через пробний кран треба натиснути кнопку продовження процесу варки.

Система автоматичного управління циркулятором

Вмикання циркулятора проводиться після заведення кристалів та першої підкачки. При уварюванні утфелів 3-го продукту запуск циркулятора може проводитись після стартового забору сиропа. При натисканні на кнопку "Передпускна сигналізація. Пуск" на кнопочній станції SB3 вмикається проміжне реле і загорається на щиті сигнальна лампа HL2. Реле своїм контактом вмикає дзвоник НА і сигнальну лампу HL2, що розташовані на буді-будівельних конструкціях поблизу вакуум-апарата. Через 10 секунд реле часу в МПК відключить передпускову сигналізацію і підготовить до пуску електродвигун циркулятора. І якщо ввімкнений автоматичний вимикач і перемикач режимів SA2 знаходиться в положенні "Дист.", кришка вакуум-апарата зачинена (контакт кінцевого вимикача закритий), то відбудеться запуск електродвигуна циркулятора.

Схемою може керуватись вручну (перемикач SA2 в положення "Ручн."), незалежно від передпускової сигналізації режим налаштування і автоматичний (перемикач SA2 в положення "Авт.").

Для зупинки циркулятора треба натиснути кнопку "Стоп" на кнопочній станції SB3, також і аварійна зупинка циркулятора проводиться з щита кнопкою SB4.

№	Параметр, середовище, місце відбору	Граничні значення параме	Місце встановлення	Найменування характеристика	Тип	Кількість	Завод виготівник	Примітк
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1а	Температура	°С	За місцем	Вимірювальний електрод, межі вимірювання	ПДТ-32	1	Львів-прилад м.Львів	
1б,			За	Перетворювач електроопору термометрів опору	Ш-79	8	Львів-прилад м.Львів	
1в 2в 3в 4в			На	Розподільник електропневматичний	6013			

2а 2б	Тиск	кг/см^2	За місцем	Мановакуумметр, межі вимірювання	МВ 1-100	2	Манометровий завод,	
За 3б 4в 1в 4г, 4в	Рівень	...м	За місцем Трубопровід	Рівнемір динамометричний Клапан мембранним пневмоприводом НВ/НЗ Командний тиск 0,2...1,0кг/см^2	ДСП 25ч 3бем	2 3	Саранський приладодівний ий «Красни Проф-інтерни»	

Таблиця 10.1. Замовна специфікація на прилади та засоби автоматизації

2г			На щиті	Вакуумний клапан	ПКВ	1	«Красний Проф-інтерни» м.Гусь-Хрусталь-	
SB1-SB6			На щиті	Кнопочна станція	8L2PP4A8	6	Lovato electric	
SA1-SA5			На щиті	Станція керування ручний автоматичний	8LM2TS33	5	Lovato electric	
KM1			За місцем	Пускач	11BF80C40	1	Lovato electric	

11. Правила монтажу, експлуатації та ремонту обладнання.

11.1. Роботи по монтажу та ремонту вакуум-апарату має здійснювати спеціальна монтажна організація або бригада монтажників,котрі пройшли навчання, інструктаж по безпечному виконанню монтажних робіт та атестацію кваліфікаційної комісії.

11.2. Під час проведення монтажних робіт мають виконуватись правила техніки безпеки, котрі складені та затверджені у відповідності до діючого законодавства по охороні праці.

11.3. Підйом та встановлення елементів вакуум-апарата потрібно здійснювати механізмами з відповідною вантажопід'ємностю з використанням строп.

11.4. В першу чергу слід змонтувати площадку для обслуговування з сходами.

11.5. Для початку підготовки апарата до монтажу потрібно зрізати верхню частину апарата у відповідності до монтажних креслень, зрізати полоси, котрі кріплять зонт, та в зонті зробити отвір діаметром 165мм..

В верхньому конусі корпуса апарата потрібно вирізати отвір діаметром 900 мм., через котрий буде проводитись монтаж частин циркулятора, які знаходяться всередині вакуум-апарата.

11.6. Зняти спускний затвор вакуум-апарата та через його патрубок завести до середини апарата під парову камеру нижню опору. Поставити опору в робоче положення та приварити її третьє ребро. За допомогою відвісу встановити ніжню опору співвісно з циркуляційною трубою парової камери.

11.7. Використовуючи відвіс встановити опорний фланець основи циркулятора на одній осі з циркуляційною трубою та нижньою опорою.

Виставити фланець горизонтально за рівнем та провести зварювання.

11.8. Потрібно опустити всередину апарата через отвір у верхньому конусі нижню частину циркулятора (котра без лопатей). Встановити нижній кінець її вала у підшипник нижньої опори.

11.9. Встановити на місце зонт.

11.10. Покласти прокладку на опорний фланець та вкрутити шпильки, потім поставити верхню частину циркулятора на місце. Закріпити її постамент на фланці використовуючи шпильки і гайки.

11.11. За недостатнього запасу висоти для монтажу вже зібраної верхньої частини циркулятора, можливий її монтаж, частинами, у той час коли встановлення верхнього вала проводиться з середини апарата. Тоді монтаж нижньої частини проводиться після виконання монтажу верхньої частини циркулятора.

11.12. Від верхньої частини циркулятора слід від’єднати вал, потім зняти вузол підшипників кочення, нарешті зняти нажимну втулку, кільце і набивку.

Покласти прокладку на опорний фланець , потім вкрутити шпильки та встановити постамент верхньої частини циркулятора. Зрештою закрутити гайки.

11.13. Верхній вал опустити до середини вакум-апарата, потім встановити його вертикально та підійняти вгору сепаратор.

Коли верхній кінець вала вийде далі за верхню площину постамента, надіти на нього у наступному порядку : кільце, нажимну втулку, корпус підшипника кочення разом з кільцем і підшипниками, дві гайки М130×2, прокладку та кришку підшипника із кільцем, кільце.

11.14. Поставити редуктор на постаменті (рамі) на прокладках посадочним отвором розмщеним над валом.. Піднімаючи вал догори слід посадити редуктор на вал, так щоб верхній кінець вала зрівнявся з верхнім зрізом редуктора.

11.15. Підняти вал з редуктором догори (з одночасним їх фіксуванням) так, щоб було можливо скласти вузол підшипника кочення, закрутити гайку та контргайку М130×2, закріпити за допомогою шпильками кришку підшипника кочення, закріпити гвинтами кільце.

11.16. Опустити вал із редуктором, так щоб фланець корпуса підшипника кочення став на постамент (раму) , закріпити його шпильками М20×70.

11.17. Встановити редуктор, надіти та закріпити на його валу кільце.

11.18. Встановити на місце зонт.

11.19. Опустити всередину апарата через отвір у верхньому конусі нижню частину циркулятора.

Вставити нижній кінець вала у підшипник нижньої опори.

11.20. З’єднати верхній і нижній вали муфтою.

11.21. Встановити лопаті на нижню частину циркулятора, потім подати до внутрішньої частини апарата і встановити на місце сектори і перегородки на кільцевому циркуляційному контурі.

11.22. Перебуваючи на верхній трубній решітці, прокрутити вал циркулятора вручну. Потрібно впевнитись, що лопаті та шнек не задівають стінки циркуляційної труби та трубної решітки.

11.23. Вставити набивку в ущільнювальний вузол, вкрутити шпильки та затягнути нажимну втулку.

11.24. Встановити електродвигун, шківи, відрегулювати натяг ременів.

11.25. Підключити електрообладнання згідно ПУЕ.

11.26. Підключити привід на 9-15сек. та впевнитись в його коректній роботі.

11.27. Переміщення циркулятора може проводитись будь-якими видами транспорту. Циркулятор перед транспортуванням має бути розібраний на транспортабельні блоки котрі вписуються у габарити залізничного транспорту.

11.28. Рівень мастила в редукторі та натягу ременів потрібно перевіряти при технічному огляді кожного тижня. Мастило в редукторі необхідно змінювати кожен сезон роботи.

11.29. Циркулятор зберігається на відкритому майданчику за умов по ГОСТ 15150-69.

Елементи керування мають зберігатися в закритих складських приміщеннях у заводській упаковці.

Упаковка і консервування мають забезпечити цілісність обладнання і комплектуючих виробів під час транспортування і зберігання не менше 12 місяців від моменту вивантаження.

За терміну зберігання понад 12 місяців має бути передбачене повторна консервація обладнання.

Таблиця 6.1. Перелік можливих поломок

Найменування несправності усунення	Можлива причина	Метод
1. Витікання мастила з корпуса редуктора .	1. Погано затягнуті болти фланця корпуса редуктора. 2. Розрив манжети	Затягнути болти. Замінити манжету
2. Не обертається вал двигуна. Характерне гудіння обмоток відсутнє.	1. Не поступає електро-живлення мережі. 2. Не встановлено ого-родження (не спрацював вимикач).	Ліквідувати обрив мережі. Встановити огородження.
3. Не обертається вал двигуна. Присутнє харак-терне гудіння обмоток.	1. Лопаті циркулятора заклинені увареним утфе-лем. 2. Обрив однієї фази.	1. Виключити привід і закінчувати уварюван-ня без циркулятора. 2. Негайно виключити привід, ліквідувати обрив.
4. Вал двигуна обертаєть-ся, вал циркулятора ні.	Недостатній натяг пасів.	Відрегулювати натяг.
5. Підвищена вібрація, стукіт, скреготіння в апаті.	Неспіввісність вала цирку-лятора і циркуляційної труби, непаралельність лопатей трубній решітці.	Виставити нижню опору і лопаті.

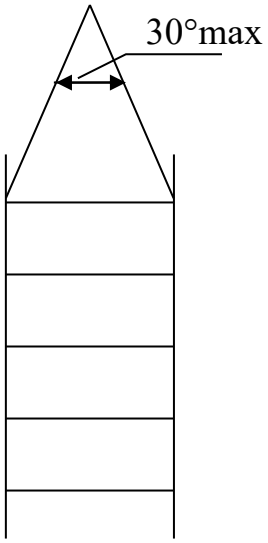


Рис.11.1. Схема строповки сходів. Маса 175кг..

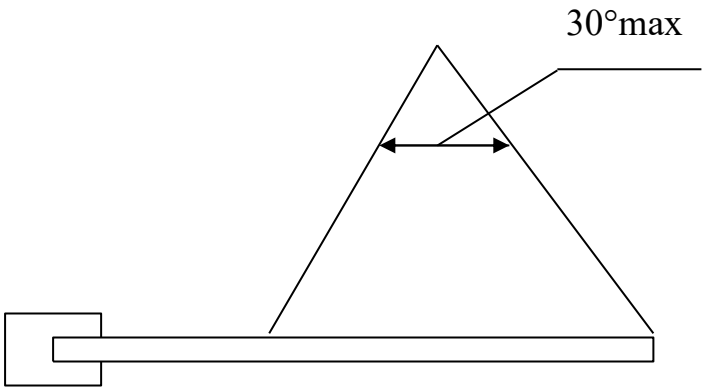


Рис.11.2. Схема строповки площадки. Маса 82кг..

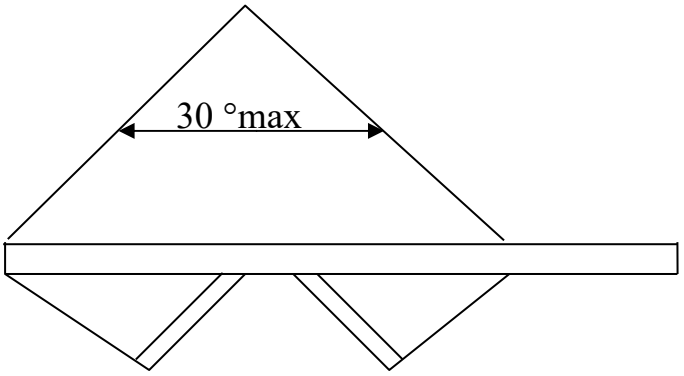
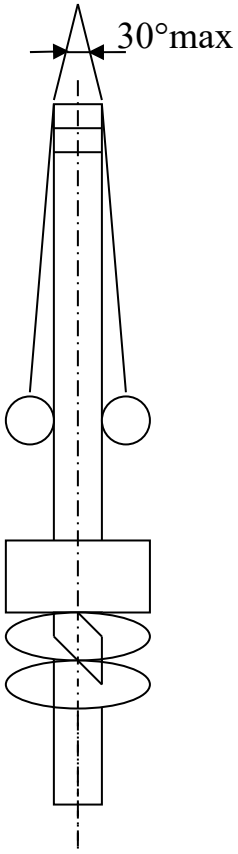


Рис. 11.3. Схема строповки рами. Маса 170кг..



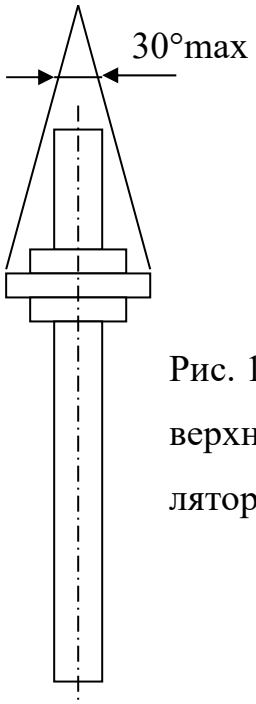


Рис. 11.5. Схема строповки верхньої частини циркулятора. Маса 69кг..

Рис. 11.4. Схема строповки нижньої частини циркулятора . Маса 645кг..

12. Охорона навколишнього середовища.

12.1. Екологічні проблеми галузі.

Несприятлива екологічна ситуація, що сталася в деяких регіонах, України не була врахована у програмах розвитку державного агропромислового комплексу, зокрема бурякоцукрового сектора. Деградація природних ланшафтів та екосистем, забруднення біосфери шкідливими хімічними речовинами прискорили збільшення захворювань, особливо серед дітей у зонах з виробництва цукру. До того ж, низька конкурентоспроможність технологій вітчизняного бурякоцукрового виробництва на світовому ринку може в найближчому майбутньому призвести до зміни інфраструктури, навіть напрямку розвитку всього агропромислового комплексу в Україні.

Так, нові економічні та екологічні умови користування природними ресурсами передбачають плату за забруднення навколишнього середовища, яка вже найближчим часом може зробити нерентабельним вирощування цукрових буряків та виробництво цукру загалом традиційними методами. Впровадження новітніх технологій в умовах економічного хаосу може поставити бурякоцукрові регіони в більш складне становище.

Повністю уникнути екологічних втрат під час виробництва цукру найближчим часом неможливо, однак досить реальнм є визначення соціально прийнятного рівня та шляхів зниження цих витрат на всіх стадіях виробництва цукру.

Проте існують альтернативні шляхи зменшення екологічних витрат. По-перше, впровадження нових технологій, екологічніших та економічно вигідніших. По-друге раціональне управління відходами бурякоцукрового виробництва

Цукрові заводи це одні з найбільших забрудників атмосфери. До атмосфери внаслідок технологічних процесів виробництва надходять :

– сірчистий газ , котрий утворюється при сульфітації соків, сиропів та живильної води;

– CO_2 і NH_3 під час проведення сатурації соку, його випарюванні та кристалізації;

– вапняковий пил випалювальних печей;

– жомовий пил жомосушок;

– цукровий пил від сушіння, трамбування та упаковки цукру;

– викиди з енергетичних установок (котелень), такі як : оксиди сірки, азоту, вуглецю, пилу від спалювання рідких видів палива.

Перехід до механізованого способу збирання цукрового буряка без використання ручної доочистки коренеплодів призвів до значного підвищення забрудненості буряка, котрий поступає на цукрові заводи. Цьому сприяють не кращі погодні умови під час вирощування та збирання буряка, недоліки агротехніки його вирощування та агротехнічних вимог до бурякозбиральних машин. Тому в результаті цього загальна забрудненість буряка складає 12,8 %, а іноді досягала 20 % та навіть більше.

Аналізи , що були проведені на одному з цукрових заводів виявили, що середній склад землі, котра поступає з буряком, складається з сухих речовин - 59,83 %, загальний азот - 0,48 %, КгО - 1,0 %. P_2O_5 -0,19 % за середнього врожаю цукрового буряка з 1 га 26,6 т, із загальною забрудненістю 12,8 % та вмістом землі у домішках 75% . Також разом з нею до цукрового заводу з кожного гектара посівів поступає азот у кількості - 12,27 кг, K_2O -25,4 кг, P_2O_2 -4,91 кг. Для поновлення полів за вказаних втрат потрібно вводити з добривами відповідну кількість селітри – 73.53 кг, 40,87 кг хлористого калія та 28,91 кг суперфосфату.

Але найголовнішим серед цього всього є те , що видалення з полів разом з коренеплодами землі наносить втрат верхньому родючому шару ґрунту, котрих неможливо відновити, та призводить до зниження в

ньому вмісту гумусу . Тому необхідно додатково із вдосконаленням бурякозбиральної техніки та зниженням забрудненості буряка, що подається на цукрові заводи, забезпечити максимальне відділення землі під час приймання та її повернення на поля. Повернення землі на поля може бути виконане тим же транспортом, на якому буряк подається на бурякопункти.

На сьогоднішній день НДІЦП була розроблена стаціонарна установка, котра складається з системи грохотів, призначених для відділення та класифікації домішок буряка на крупну та мілку бурякомасу, на гичку та землю. Така установка дає змогу відділити від буряка при вкладанні його до кагатів до половини домішок.

Враховуючи, що вілучена під час приймання буряка земля містить великий відсоток цінних мінімальних речовин та гуминових сполук та всі інші мікроелементи, котрі в ній містяться в балансі, другим напрямком є її використання для отримання органічних добрив, включаючи амонізований, живильного грунту для теплиць та живильних брикетів.

12.2. Характеристика відходів.

Транспортерно-мийний осад.

Транспортерно-мийний осад утворюється у відстійниках під час очистки транспортерно-мийних вод, котрі використовуються для подачі буряка та його очистки від домішок. У ньому міститься до 93% мулу і мілкого піска. Інша частина цього осаду представлена органічними та мінеральними домішками, що підвищує його цінність. Розбавлений транспортерно-мийний осад з відстійника подається до виробничих стічних вод, котрі піддаються природній або синтетичній біологічній очистці. До того ж транспортерно-мийний осад та інші його типи попередньо відділяються від стічних вод використовуючи земляні відстійники.

В літній час підсушений осад має вивозиться в долини та на непридатні для сільського господарства землі , тому майже не використовується у сільському господарстві. Завантаження та вивезення осаду пов'язані зі суттєвими матеріальними витратами. Більш раціональною є розроблена в останні часи зворотня система гідравлічного видділення транспортерно-мийного осаду, яка передбачає його відведення на спеціальні земляні відвали-відстійники, в яких відбувається відділення твердої фази від рідини за допомогою відстоювання. Відстійні води повертаються в обернену систему транспортерно-мийних вод. Використання окремої зворотньої системи видалення транспортерно-мийного осаду дозволяє виділяти осад в чистому вигляді. Такий осад не містить в собі каміння, крупного піску, він збагачений органічними домішками, котрі перейшли в воду під час гідро транспортування буряка, та більш цінний у порівнянні з вихідною землею, котра поступає на завод з буряком. Головним недоліком такої системи є необхідність відведення значних землеплощ під відстійники.

НДІЦП була розроблена система очистки транспортерно-мийних вод використовуючи обезводнення осаду у відстійних центрифугах типу НОГШ до вологості 35-40%, яке дозволяє використовувати його безпосередньо після зневоднення та підсушки для задоволення всіх потреб сільського господарства.

За кордоном також проводяться дослідження по зневодненню і транспортно-мийного осаду на стрічкових фільтрах, вакуум-фільтрах та в центрифугах.

Транспортно-мийний осад та земля, котра відділяється під час приймання буряка можуть бути широко застосовувані для отримання компостів, комплексних органо-мінеральних добрив.

Можливим є також використання транспортерно-мийного осаду для заземлення менш продуктивних грунтів , і зниження витрат на ці потреби.

Широке використання транспортерно-мийного осаду стримується тим, що дотепер на нього не визначені науково обґрунтовані ціни.

Фільтраційний осад.

Фільтраційний осад утворюється під час взаємодії нецукрів у дифузійному соці із вапном та вуглекислим газом. Вологість утвореного осаду безпосередньо після вакуум-фільтрів становить до 50% у відношенні до загальної маси. Він являє собою густу, липку масу, котру важко транспортувати і перевантажувати.

Кількість осаду, який утворюється, складає 8-12% від маси перероблюваного буряка та залежить від загальної кількості вапна, котре використовується для очистки. Витрати вапна визначаються за якістю буряка, технологічним режимом його очистки та особливостями підготовки вапнякового молочка.

Щороку на цукрових заводах утворюється 7-8 млн.т фільтраційного осаду. Він видаляється гідравлічним чином шляхом розбавлення у мішалці водою у відношенні 1до 5. Орієнтовний хімічний склад фільтраційного осаду (% до сухих речовин) наступній: цукор - 2,0; пектинові речовини - 1,7; безазотисті і азотисті органічні речовини - 15,4; вуглекислий кальцій - 74,2; вапно в вигляді солей різних кислот - 2,8, інші мінеральні речовини - 9,9. За хімічним складом фільтраційний осад можна розцінювати як комплексне органо-мінеральне добриво, котре є придатним для пониження кислотності ґрунтів та збагачення їх елементами живлення рослин. При високому вмісту кальція осад використовується, головним чином, як вапнякове добриво.

Численні досліди по вивченню відносної дії фільтраційного осаду і стандартних вапнякових добрив на зниження кислотності грунтів показали, що при внесенні в еквівалентних щодо діючої речовини ($CaCO_3$) кількостях осад не поступається промисловим вапняковим добривам, а в деяких випадках навіть краще них. Позитивний вплив на врожай фільтраційного осаду, як правило є вищим, ніж у стандартних вапнякових добрив. Це

спричинено наявністю в осаді інших корисних для рослин речовин. Також фільтраційний осад є найдешевшим серед меліоратів і його економічно вигідно транспортувати в радіусі біля 50 км.

Додатково при використанні осаду в сільському господарстві виникає цілий ряд проблем, що пов'язані з технологічними особливостями цих відходів. Через великий вміст вологи транспортування отриманого осаду на великі відстані не є доцільним, а рівномірний розподіл по полю при внесені з використанням серійних машин та механізмів неможливе. Тому для видалення надлишкової вологи виконують природне сушіння осаду у відстійниках або на полях фільтрації.

Фільтраційний осад може бути використаний і для отримання кормових добавок. У цьому випадку найбільш перспективним є осад, що відділяється до початку основної дефекації, що збагачений органо-мінеральними речовинами та містить невелику кількість карбонату кальцію.

Існують також способи використання осаду для виробництва коагулянтів, резинотехнічних виробів та при виготовленні силікатної цегли.

Відсів вапнякового каміння

Під час транспортування, подрібнення та сортування вапняку, що використовується на цукрових підприємствах для отримання вапна та сатураційного газу, з’являються шматки розміром від 30 мм та менше, так званий відсів вапнякового каміння, котрий не використовується для випалювання та є відходом виробництва За нормами його кількість має складати до 5,9 % до загальної маси вапняку, проте фактично вона є більшою і може досягати 15%. Основна кількість відсіву піде на будівництво шляхів та ремонтно-будівельні роботи (більше 80%), решта подається на відвали.

Недопал і перепал.

Під час обпалювання вапняку можуть утворюватися легкоплавкі ферити та алюмінати кальція, у яких частково розчиняються сілікати та вільний оксид кальція. У той же час поверхня частинок оксиду кальція вкривається плівкою, тому частина вапна стає неактивною. Утворюється перепал , у розмірі від 3 до 7 % до маси виплюваного вапняка, що обумовлює втрати вапна . Крім того, через неповну дисоціацію карбоната кальцію утворюється недопал - від 3 до 10% до маси вапняка. Його частина разом з перепалом піде на ремонт шляхів. На деяких цукрових заводах крупний недопал повертають до печі для обпалювання.

Попіл і шлаки котельних.

Під час спалювання твердого палива частина попелу, котра в ньому міститься, а також частинки ,що не згоріли, виводяться у вигляді шлака та мілкого попелу. Їхня кількість залежить від складу палива та величини його механічного недопалу. Вміст певних складових шлакового матеріалу залежить від місця їх добування. Натепер на ТЕЦ застосовують гідравлічний спосіб попелошлако-видалення. Частина шлаку і попелу застосовується у будівництві та під час проведення дорожних робіт.

12.3. Характеристика скидів.

Виробничі стічні води, що утворюються на цукрових заводах, включають в себе: розбавлений транспортно-мийний осад та кислу жомову воду, воду після промивки фільтрувальних тканин, мийки полів та апаратури, після виварки випарної установки, мийки вакуум-апаратів, після лабораторії, промивки мезговловлювачів, скидання від продувки оборотних систем вод I категорії і лаверних вод, осад від жомопресової води, відстійний розчин з звалів фільтраційного осаду, стоки з котелень тощо.

Стічні води є висококонцентрованими, їхня кількість становить в середньому 224% до маси буряка. Останнім часом, у зв'язку із застосуванням на цукрових підприємствах систем оборотного водопостачання видно тенденцію щодо зменшення загального об'єму стічних вод. Головними очисними спорудами є фільтраційні поля та непроточні біологічні водойми (ставки). На певних підприємствах використовуються станції синтетичної біологічної очистки виробничих та побутових стічних вод.

Стічні води мають цінні для рослин живильні сполуки (азот, калій; фосфор) та можуть слугувати додатковим джерелом зрошування для сільсько-господарських культур.

12.4. Характеристика викидів.

Всі викиди діляться на організовані та неорганізовані.

Організовані – це такий тип викидів, які надходять до атмосфери від стаціонарних джерел забрудненняі є контрольованими викидами.

Неорганізовані – це викиди, які утворюються внаслідок нещільності будови апаратів і трубопроводів, недостатньо організованому транспортуванні та складанні. Вони є неконтрольованими викидами.

Кількість організованих та неорганізованих викидів, що надходять до атмосфери при роботі цукрових заводів України становить близько 440 тисяч тонн в рік, у тому числі з них тверді частини (пил) – 22 тис.тон, оксиди сірки – 350 тис.тон, оксиди азоту – 50 тис.тон.

До основних викидів, котрі має цукрове підприємство, належать димові гази від котельних. Склад димових газів залежить від обраного виду палива, при спалюванні мазута та твердого палива разом із вуглекислим газом, водяною парою та азотом до атмосфери викидаються такі токсичні речовини, як окисли сірки, окисли азота, CO, сажа та інші. Додатковим джерелом забруднення атмосфери є також пил та дим, котрі негативно

впливають на організм людини і наносить економічних збитків для народного господарства.

Найбільш небезпечним забрудненням під час роботи цукрових заводів є жомовий, цукровий та вапняковий пил, що має негативний вплив як на стан людини – вапняковий пил, так і на все обладнання – цукровий пил.

Цукровий пил має абразивні властивості, які призводять до стирання елементів обладнання, а також спричинюють до утворення вибухонебезпечних сумішей.

Також цукровий пил є цінним продуктом, викид котрого зменшує вихід готової продукції.

Жомовий пил має меншу небезпеку, проте має властивість розноситись вітром на значні тереторії.

Для зниження надходження всіх видів пилу під час роботи цукрових підприємств, треба використовувати пилоочисне обладнання, потрібно враховувати вимоги до технічної безпеки, оскільки цукровий пил є вибухонебезпечним пилом 1-го класу, а також вимоги до гігієни, оскільки цукор є харчовим продуктом і не має бути забрудненим.

Наразі на цукрових заводах відсутні установки , що використовуються для очистки димових газів від окислів азоту та сірчистих газів. Основною дією щодо зменшення негативної дії токсичних газів на сусідні райони є побудова високих димових труб для відведення та розсіювання газів. Димові гази ТЕЦ містять в собі 8-10% вуглекислого газу, що може бути використаний для очищення соку у процесі переробки цукру-сирця. Розроблено схему, що складається з вуглекислотної станції, що призначена для вилучення СОз з димових газів, і складу для складання гашеного вапна та приготування вапнякового молока потрібної концентрації. В УДУХТ розроблено та випробувано метод вилучення сірчистого ангідрида із димових газів з використанням конденсації і хімічної адсорбції.

12.5. Підвищення рівня екологізації після модернізації.

Вакуум-апарат має механічний циркулятор, котрий буде пришвидшувати

процес уварювання за допомогою підвищення циркуляції утфеля.

Період уварювання скоротиться майже на 15 %. Так як час уварювання зменшується то маємо зменшення кількості пари, що напрямляється

до парової камери. Зменшення кількості пари призведе до зменшення кількості палива, котре спалюється в котельні.

Схема продуктового відділення із зображенням усіх викидів та скидів зображено на рис.12.5.1.

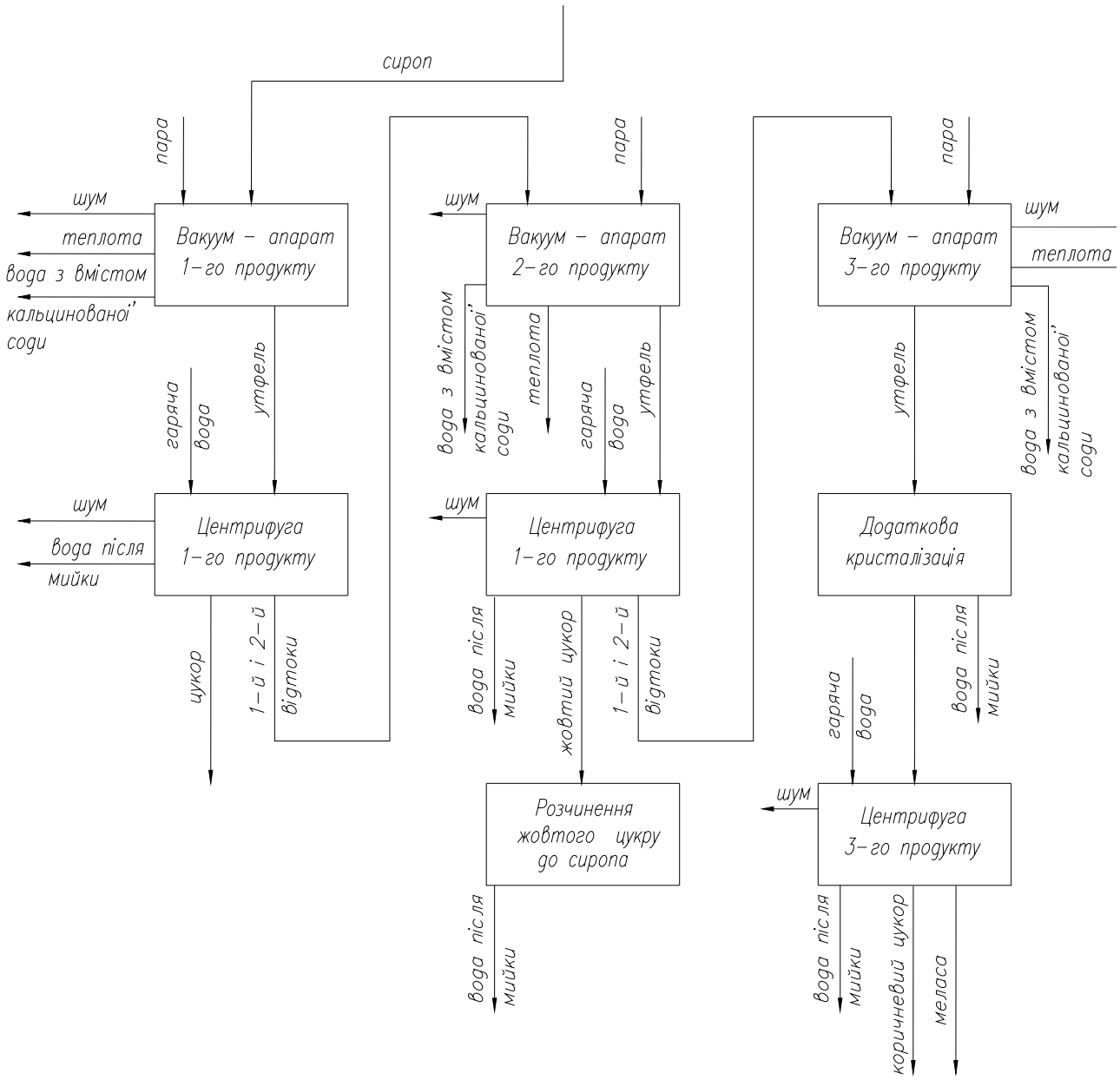


Рис.12.5.1. Схема продуктового відділення.

Висновки.

Отже, з метою комплексного використання відходів бурякоцукрового виробництва нагальним є проведення науково-дослідницьких робіт за наступними напрямками із подальшим впровадженням їх на виробництві:

1. Регенерація фільтраційного осаду з отриманням вапна та газу сатурації використання його у хімічній рекультивації кислих грунтів, в якості добавки до корму тваринам, як наповнювача гумотехнічних і будівельних матеріалів.

2. Вдосконалення систем очистки соку із відділенням осаду перед основною дефекацією та розробки технологій приготування комбікормів при використанні органо-мінерального осаду на заміну обезфтореного фосфату та кістяної муки.

3. Використання транспортерно-мийного осаду та землі задля отримання добрив, в тому числі й компостів та живильних грунтів, призначених для теплиць.

4. Одночасного використання транспортерно-мийного та фільтраційного осаду, що буде використаний для отримання комплексних органо-мінеральних та біомінеральних добрив.

5. Для утилізації осадів у виробничих стічних вод та їхнього використання у якості органо-мінеральних добрив та кормових білково-вітамінних добавок.

6. Необхідно також встановити економічно обгрунтовані ціни на всі осади, та інші відходи виробництва.

Як було сказано, цукрова промисловість є однією з галузей, яка під час виробництва споживає велику кількість води. Можемо розглянути, яким же чином розроблення нових технологічних схем посприяє покращенню екологічного стану навколишнього середовища

По-перше, в розробленій схемі мийного відділення рециркуляція води є багаторазовою, тобто споживається менше свіжої води.

По-друге, при спрощенні конструкції ополіскувача буряків, а також при заміні пневмоциліндрів на іншу конструкцію ми можемо досягти ліквідації всіх витоків рідини (циркулюючої води) серед нещільностей пневмоциліндрів, що спостерігалися раніше.

По-третє знижується загроза появи парникового ефекту, так як зменшуються викиди пари. А саме зменшення кислотних дощів є одним з головних факторів впливу на стан навколишнього середовища.

13 .Маркетингове обгрунтування проекту

Вакуум-апарати в цукровій промисловості застосовуються для додаткового випарювання води з сиропу, що надходить після випарної станції, та кристалізації цукру. Як правило, на уварювання надходить сироп після очищення та сульфітації, що містить 65% сухих речовин.

Кінцевий продукт - утфель - містить близько 7,5% води і близько 55% цукру, що кристалізувався.

На більшості цукрових заводів України встановлено вітчизняні вакуум-апарати періодичної дії з природною циркуляцією продуктивністю 40 т (марки Ж4-ПВА,ТВА 40) та 60 т утфелю (марки А2-ПВЕ-60, А2-ПВ2Е-60, ВАВ-60), звареного за одну варку, а також їхні закордонні аналоги.

Основними вітчизняними виробниками обладнання для цукрових заводів були й залишаються: машинобудівний завод “Прогрес” (Житомирська область), ВАТ “Гребінківський машинобудівельний завод “Цукорпроммеханізація” (Київська область), ВАТ “Красилівський машинобудівний завод” (Хмельницька область), ВО “Завод ім. Малишева” (Харків), ВАТ “Смілянський машзавод” (Черкаська область), ВАТ “Яготинський механічний завод” (Київська область) тощо. А також декількома приватними підприємствами, як приклад :

ТОВ «Теплоком»

	TC-VA-60	TC-VA-75
Маса звареного утфелю, т	60	75
Корисний об'єм апарата, м³	40	50
Поверхня нагрівання парової камери, м²	317	400
Питома поверхня теплообміну, м²/т	5,28	5,33
Встановлена потужність, кВт	60/46	66/35
Частота обертів циркулятора, об/хв.	73/37	57/38
Маса, кг	31 600	36 200
Внутрішній діаметр апарата, мм	4 500	4 500
Габарити — довжина, мм	5 000	5 000

ОАО «УКРНДИПРОДМАШ»,
ЧП «Терра»

Вакуум-аппарат ВА2-В-60

Технические характеристики :

- Полезная емкость по утфелю, - 40 $м^3$
- Частота вращения вала циркулятора, - 30; 60 $мин^{-1}$
- Установленная мощность электродвигателя привода, - 45 кВт
- Рабочее давление в корпусе вакуум-аппарата, - 0,08 - 0,09 МПа
- Рабочее давление пара в паровой камере, - 0,343 МПа
- Масса утфеля, сваренного за одну варь, - 60 т
- Масса аппарата, - 39000 кг
- Габаритные размеры, : высота х диаметр - 9195 мм х 4525 мм

П’ять найбільших експортерів цукру у світі: Бразилія 27,7 млн. т, ЄС 1,5 млн. т, Індія 1,2 млн. т, Австралія 5,0 млн. т, Таїланд 7,0 млн. т – охоплюють приблизно 80 % світового експорту. Світове споживання цукру зростає близько 2 % на рік. Бразілія представляє практично половину від світового обсягу експорту цукру. У 2012–2013 МР ця країна експортувала 27,7 млн. тонн цукру.

Серед основних представників підприємств, що забезпечують експортерів цукру обладнанням превалюють компанії з США,Франції, Німеччини, Турції та ін.

промислова група Fives-Lille Cail (Франція) – виробник вертикальних вакуум-апаратів.

Вертикальний охолоджуючий кристалізатор

цієї компанії максимізує падіння чистоти патоки контролюючи в'язкість утфелю та профіль температури охолодження.

Ця вертикальна система не вимагає обслуговування і забезпечує низьке споживання енергії (від 0,03 до 0,05 кВт-год на метричну тонну очерету)

Honiron(США) виробляє горизонтальні та вертикальні вакуум-апарати

Shrijee Turnkey Sugar Factory (Турція) – вакуум-апарати безперервної дії.

Апарат повинен мати спеціально розроблені багатоступінчасті відводи, щоб забезпечити найкоротший шлях циркуляції утфелю, щоб забезпечити більш високу теплопередачу з парами низької температури та тиску. Він забезпечує 100% активацію зон завдяки гарній циркуляції утфелю та запобігає втраті цукру через локальну високу температуру.

BMA-worldwide (Німеччина) – виробляють башенні випарні вакуум-аппарати для більш ніж 70 заводів світу.

Серед основних переваг продукції: Застосування мішалки у поєднанні з двоконусним зливним днищем, як і раніше, забезпечує хорошу циркуляцію та однорідність продукту. Тому подача води або пари до утфелю не потрібна, що означає нижче споживання енергії в рамках процесу.

За рахунок вдосконалення досліджуваного вакуум-апарата шляхом встановлення плаваючої камери наш апарат не поступається вище перерахованим конкурентам, економлячи до 1086 грн/добу на паливі за рахунок вдалого розрахунку моделі привода, підвищеної на 12.5 % продуктивності уварювання утфеля у порівнянні зі стандартною моделлю; та загалом прискореним процесом кристалізації.

Висновки.

У виконаній роботі було модернізовано вакуум-апарат А2-ПВЕ-60 з встановленням пристрою — плаваючої камери для упорядкування циркуляції. Було розглянуто основи кристалізації цукру у вакуум-апаратах; гідродинамічні особливості робочого процесу та циркуляційного контуру; зміни багатьох параметрів під час процесу; вплив різних факторів на швидкість циркуляції; шляхи інтенсифікації процесу кристалізації.

Результатом роботи є проведення досліджень процесу кристалізації І-го продукту за допомогою програмного комплексу Flow Vision. З цією метою було створено 10 3D-моделей апарату із певним рівнем утфелю та положенням плаваючої камери та 10 3D-моделей без плаваючої камери, для певних періодів уварювання цукрового утфелю. Також, за заданими параметрами було проведено розрахунок швидкості руху речовини по контуру при відповідних значеннях відносного часу уварювання $\tau/\tau_ц$.

Результатами дослідження є отримані чисельні дані, які після узагальнення представлені у вигляді таблиць та графіків розподілу швидкостей циркуляції цукрового утфелю в першій, середній та останній трубках гріючої камери, а також у циркуляційній трубі в залежності від 10-ти значень $\tau/\tau_ц$.

Якісний та кількісний вплив нового пристрою на процес кристалізації у вакуум-апараті проведено на основі порівняння виконаних досліджень.

Було проведено і створено:

- топологічний аналіз машини. Побудовані:
  - структурний
  - енергетично-потоковий
  - зв’язковий
  - сигнальний графи.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Погорілий Т.М.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа	
Власник документа НУХТ	Розробник документа Артеменко О.В.	Назва, додаткова назва **Висновки**	201988..МР.005.000 ПЗ		
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA / Аркуш 1/2

• математичну модель процесу зміни швидкості в середині трубок для стандартної та модернізованої гріючих камер в залежності від часу уварювання утфелю на основі методу найменших квадратів. Знайдено типи регресійних кривих коректно та відповідні коефіцієнти регресійних кривих з достатньою точністю на основі відповідних коефіцієнтів кореляції для кожного з цих розрахунків, що є близькими до одиниці.

На основі проведеного дослідження ми можемо зробити висновок, що плаваюча камера:

- дозволяє зменшити кількість застійних «мертвих» зон і цим дещо прискорити процес кристалізації, що в свою чергу призводить до зменшення термічного розпаду цукрози в вакуум-апараті;

Таким чином, запропоновані проектні рішення вказують на їх ефективність, та доцільність впровадження даної розробки в виробництво.ч

15. Заходи по охороні праці

15.1. Стан травматизму на підприємстві

На виробництві травматизм виникає при некоректному поводженні працівників з обладнанням та при недодержанні вимог техніки безпеки та ін.

При роботі з посудинами під тиском працівники повинні дотримуватись "Правил з техніки безпеки при роботі з посудинами, що працюють під тиском".

При роботи з хімічними речовинами необхідно працювати у захисному одязі, роботу проводити обережно, не допускаючи розливу/розсипу шкідливих речовин. У приміщеннях протягом всього робочого дня повинна працювати вентиляція, справність якої постійно контролюється.

Трубопроводи пофарбовані в різний різний колір, залежно від середовища, яке в них знаходиться.

Для унеможливлення травмування, обладнання має бути укомплектовано запобіжними заходами (автоматичне відключення, запобіжні клапани, реле блокування).

До професійних захворювань відносять ті, що утворюються внаслідок впливу на працюючих специфічних для даної професії шкідливих виробничих факторів, а також: захворювання, які зустрічаються серед контактуючих з цими факторами людей на роботі набагато частіше, ніж: при інших умовах. Професійні захворювання розвиваються внаслідок більш-менш тривалого періоду роботи.

При систематичному використанні на виробництві комплексу профілактичних заходів професійні захворювання у працюючих не виявляються як на протязі всього стажу роботи, так і у віддалений період життя. У випадку встановлення у працівника професійного захворювання,

йому може бути призначена допомога по тимчасовій недієздатності, пенсія по інвалідності, а також: розглянуте питання про компенсування підприємством збитків, заподіяних його здоров 'ю.

Для зменшення можливості виникнення захворювань необхідно проводити дослідження по виявленню причин, які б могли призвести до захворювання, і проводити заходи по вдосконаленню захисту працюючих від впливу шкідливих та небезпечних факторів виробництва.

На підприємстві згідно постанови Кабінету Міністрів державного нагляду з охорони праці від 3 серпня 1993р. №73 створюється служба охорони праці, котра відповідає за виконання правових, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, соціально-економічни та лікувально-профілактичних заходів,що спрямовані на запобігання нещасних випадків.

15.2.Організація служби з охорони праці на цукровому заводі

Службу охорони праці очолює інженер з техніки безпеки. Орган управління очолює директор заводу, який здійснює загальне керівництво роботи охорони праці на підприємстві за допомогою керуючих рішень (наказ розпоряджень, організаційно-технічних рішень), методів управління та дій, що забезпечують цілеспрямовану діяльність структурних підрозділів та служб області безпеки життєдіяльності на даному підприємстві.

Служба охорони праці виконує наступні функції:

-безперервне, послідовне та всебічне покращення умов та підвищення безпеки праці;

- розробляє систему управління охороною праці на підприємстві;

- слідкує за діяльністю структурних підрозділів підприємства та посадових осіб у сфері підвищення ефективності охорони праці;

-разом з підрозділами підприємства розробляє заходи по досягненню встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничого середовища;

-проводить вступні інструктажі та слідкує за якістю знань працівників питань охорони праці.

Головним завданням служби охорони праці є реалізація принципів профілактичного направлення охорони праці на всіх дільницях підприємства, основу її рішення покладено забезпечення безпеки всіх працюючих на підприємстві в першу чергу за допомогою засобів колективного захисту, призначених дій, одночасного захисту від небезпечних та шкідливих виробничих факторів, максимальної кількості працюючих. Велике значення має дотримання правил особистої гігієни під час роботи.

15.3. Фінансування заходів з ОП на цукровому заводі

Щорічні витрати щодо охорони праці складаються з витрат на появу заходів, що направлені на покращення умов праці та підвищення її безпеки, пільг та компенсацій. Ці витрати містять дві основні статті :

1.Номенклатурні заходи, що передбачені договорами щодо охорони праці.

2.Придбання спец.одягу, взуття та інших засобів для захисту, а також запобіжних пристроїв.

Фінансування заходів по охороні праці виконується власником підприємства. Робітник не має нести ніяких витрат під час проведення заходів з охорони праці.

За законом України „Про охорону праці” від 1 січня 2004року платежі на охорону праці відбуваються у розмірі 0,5% від обсягу реалізованої продукції у фонд охорони праці.

15.4. Охорона праці при роботі з вакуум-апаратом.

Вакуум-апарат належить до посудин, котрі працюють під тиском так як має парову камеру. Він належить до обладнання з підвищеним рівнем

небезпеки, тому під час його конструювання, виготовлення і експлуатації необхідно знати і виконувати вимоги правил безпеки.

Проектування, виготовлення та монтаж обладнання, його налагодження, експлуатація та ремонт цього обладнання регламентується "Правилами будови та безпечної експлуатації посудин, котрі працюють під тиском". Парова камера вакуум-апарата реєструється та перебуває під постійним контролем Державної інспекції з охорони праці України.

Перед запуском в роботу парова камера має бути оглянута органами Державної інспекції з охорони праці, котрі їх реєструють та видають дозвіл на експлуатацію, та групою яка відповідає за безпечне використання вакуум апарата та виконання робіт з ремонту цих об'єктів.

Періодичне технічне опосвідчення може бути двох видів :
-зовнішній та внутрішній огляд відбувається не рідше одного разу на 4 роки;
-гідравлічне випробовування відбувається не рідше одного разу на 8 років.

Технічне опосвідчення парової камери проводить інспектор Державної інспекції з охорони праці, а вакуум-апарата - проводиться технічним керівництвом підприємства.

Зовнішній та внутрішній огляд має проводитися з попередньою підготовкою. Вакуум-апарат охолоджують і відчищають від накипу, залишків продукту. За необхідності частково або повністю може бути знята обмурівка. Якщо товщина стінок зменшилась на 30% і навіть більше порівняно з розрахунковою, тоді посудина має бути забракована.

Робочий та пробний тиск під час гідравлічних випробовувань зображено в таблиці 11.4.1. При гідравлічному випробовувані апарат має перебувати під пробним тиском не менше ніж 10 хвилин.

Таблиця 11.4.1

Вид посудини	Тиск, МПа	
	робочий	пробний
Парова камера	0,4	0,63
Вакуум-апарат	0,092(розрідження)	0,2

Результати технічного огляду парової камери записує до паспорта обладнання інспектор Державної інспекції з охорони праці, а вакуум-апарата, відповідальна особа на підприємстві.

Трубопроводи, по яким подається пара до парової камери вакуум-апарата та відводиться з сепараційного простору відносять до трубопроводів 4-ї категорії (температура П5...250°С та тиском 0,07...1,6МПа), та не підлягають контролю органами Державної інспекції з охорони праці.

Трубопроводи 4-ї категорії реєструють та контролюють на підприємствах у встановленому порядку.

Технічне обстеження таких трубопроводів проводиться у такі терміни:

- зовнішній огляд та гідравлічне випробовування до старту експлуатації заново змонтованих систем;

- зовнішній огляд - не меньше одного разу на 3 роки;

- Огляд зовнішнього виду та гідравлічні випробування після ремонту з використанням зварних робіт, а також під час пуску трубопроводів після консервації протягом понад 2 років.

Гідравлічне випробування трубопроводів щодо міцності та щільності швів та з'єднань виконується пробним тиском, що дорівнює 1,25 робочого. Під пробним тиском трубопровід пробуде не менше 5 хвилин, після чого він знижується до робочого значення.

Трубопроводи фарбують у регламентовані розпізнавальні кольори залежно від того середовища, котре транспортується. Напрямок переміщення середовища вказується за допомогою стрілки.

Крім фарбування трубопроводи позначаються попереджувальними кольоровими кільцями, кількість яких та колір залежать від ступеня небезпеки та робочих параметрів середовища.

Перед випробуванням встановленого або відремонтованого вакуум-апарата, парової камери чи трубопроводів потрібно :

а) познайомити тих осіб, хто бере участь у випробовуванні, з порядком виконання робіт і заходами безпеки;

б) перевірити кріплення у фундаментних болтів, стан ізоляційних матеріалів та заземлення електричної частини обладнання, наявність і справність огородження, запобіжних пристроїв та контрольно-вимірювальних засобів ;

в) перекрити доступ до випробувального обладнання або до зони випробування особам, котрі не призначені для виконання роботи ;

г) перевірити норму освітленісті місць виконання робіт, додержання протипожежних заходів та наявність інструкцій по техніці безпеки.

11.2.1. Заходи безпеки для експлуатації вакуум-апарата та парової камери.

Небезпека під час експлуатації вакуум-апарата полягає у зриві болтів та кришок люків, випинанні і розриві днищ та інших видів руйнації.

Основними причинами руйнування бувають дефекти виготовлення, корозія та інші види пошкоджень, критичні порушення технологічного режиму та правил експлуатації, несправності арматури, приладів та пристроїв безпеки.

Конструкція має бути надійною та забезпечувати безпеку при експлуатації, мати можливість внутрішнього огляду, очищення та ремонту. Зварні шви мають бути повністю стиковими і доступними для контролю під час виготовлення, монтажу та експлуатації посудини. Матеріали, що призначені для їх виготовлення і ремонту, зобов’язані мати сертифікати якості.

Вакуум-апарат має відповідні контрольно-вимірювальнимі прилади, запобіжні пристрої, засоби автоматизації, різні покажчики, запірною або запірно-регулювальною арматурою.

11.5. Забезпечення санітарно-побутових приміщень

Санітарно-побутові приміщення призначені для задоволення потреб працюючих, у час роботи, у відповідності з СН і П 11.92-81 “Допоміжні будівлі”. До того ж наявність побутових приміщень поряд з виробничими є основна вимога GMP.

До складу побутових приміщень зазвичай входять:

- роздягальні;
- душові
- умивальники;
- санвузли.

Роздягальні мають мати особисті шафи для зберігання робочого, домашнього, а також спеціального одягу. Ширина проходу між шафами має бути 1,2-1,5 м. Кількість душових кабін із розрахунку – одна на 8 чоловік, умивальники – по одному на 20 робочих (працюючих у найбільшу зміну), санвузли – по одному на 15 чоловік (для жінок) та по одному на 10 чоловік (для чоловіків).

В таб. 11.5.1 наведені норми санітарно-побутових приміщень.

Табл.11.5.1.Санітарно-побутові приміщення

п/п	Відділення	Шкідливість у повітрі робочої зони			Група виробничих приміщень за СНиП 2.09.04-87	Санітарна характеристика робочого процесу	Санітарно-побутові приміщення			
		Вид	Клас небезпеки	ГДК, мг/м^3			Розрахункова кількість чоловік		Тип гардеробних, число відділень шафи на одну особу	Спеціальні побутові приміщення і обладнання
							На одну душову сітку	На один кран		

1	Відділення продуктове	Волога, тепло		0,5	2в	Процеси, які протікають з надлишком явного конвекційного тепла	5	20	Роздільні, одне відділення	Приміщення для охолодження

11.6. Виробнича санітарія і мікроклімат виробничих приміщень

Для забезпечення здорових та безпечних умов праці для людини, оточуюче повітряне середовище має відповідати встановленим санітарно – гігієнічним нормативам.

Основними факторами, котрі визначають метерологічні умови є:

- температура,
- вологість повітря,
- швидкість повітря.

Нормування виробничого мікроклімату та повітря робочої зони виконується за ГОСТ 12.100-76, параметри мікроклімату – ГОСТ 12.1.005-88 “ССБТ: Общие санитарно – гигиенические требования к воздуху рабочей зоны”.

Вимоги до мікроклімату виробничого приміщення для ампулювання ін`єкційних розчинів:

- температура близька до 20-24°С,
- відносна вологість - 60-75%,
- швидкість руху повітря - 0,2-0,5 м/с.

Для виконання встановлених норм мікроклімату передбачено встановлення систем вентиляції, герметизація та теплоізоляція трубопроводів. Допустимі норми мікроклімату зведені в таблицях.

15.7. Освітлення

Для освітлення приміщень використовується бокове природне та штучне світло. Як правило, все технологічне обладнання знаходиться в одному приміщенні, тому освітлення складає 200 лк. (таб.11.7.1).

В цьому приміщені передбачено два види освітлення, такі як робоче та аварійне.

Для аварійного використовують не всі, а частину світильників робочого освітлення. У світлу частину доби у виробничих приміщеннях освітлення здійснюється крізь вікна і штучне освітлення. Освітлення має відповідати вимогам СН і П II-4-79 «Естественное и исскуственное освещение»; ГОСТ 18.384-81.

Таблиця. 11.7.1. Освітленість робочих місць

№ п/п	Відділення	Розряд зорової роботи	Клас зорової роботи	Освітленість, лк	
				Комбіноване. Газорозрядні лампи	Загальне. Газорозрядні лампи
				Лампи розжарювання	Лампи розжарювання
1	Жомосушильне відділення	Середній	б	200	150/100

15.8. Вентиляція.

Повітря робочої зони виробничого приміщення має відповідати ГОСТ 12.1.005-88. Тому передбачена примусова і природна припливно-витяжна вентиляція, і в системі механічної витяжки приплив зовнішнього повітря у холодну пору підігрівається за участю системи, в яку входять відцентровий вентилятор та два калорифера.

Виведення надміру нагрітого повітря із приміщень виконується через ліхтарі, шахти та верхні фрамуги та дахові вентилятори, а подача зовнішнього повітря для асиміляції надлишкового тепла здійснюється у теплий період - в робочій зоні, в холодний період року - не нижче ніж 4м від підлоги. Температура повітря, котре надходить з повітропроводів, має бути від 5 до 45°С.

Для робітників котрі обслуговують вакуум-апарат у робочий час доцільно створювати місцеву припливну вентиляцію, що покращує мікроклімат в обмеженій зоні приміщення. Такмими є повітряні душі.

Повітряне душування – це подача холоднуватого припливного повітря у вигляді струменя, котрий спрямований на робоче місце.

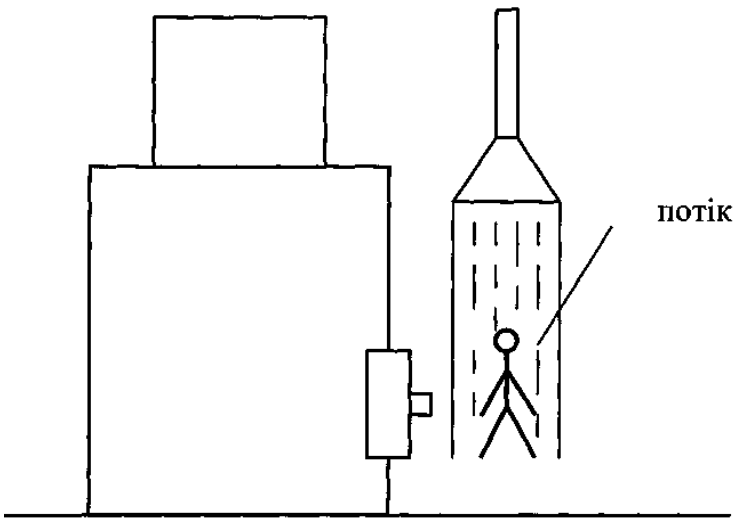


Схема повітряного душування.

Повітряне душування виконують за таких умов :

а) У разі, коли на робітника діє променистa теплота з інтенсивністю 350Вт/м та навіть більше ;

б) У випадку виділення у робоче середовище парів та газів;

в) у випадках якщо неможливо або недоцільно застосування загальної обмінної вентиляції для цієї мети, додатково коли місцева витяжна та загально обмінна вентиляції не можуть забезпечити на робочому місці необхідні параметри повітря, як і в нашому випадку.

Повітря для душування у малих об'ємах подається через окремі установки, незалежні від систем припливної вентиляції. Температура та швидкість повітря характеризуються інтенсивністю теплового випромінювання, важкістю робіт, що виконуються, та періодом року і знаходяться у рамках 16...21 °С та 0,5...3 м/с.

15.9. Шум

В цеху для сушки жому шум перевищує норми. Шум створюється від роботи такого обладнання: вентиляторів, транспортерів, елеватора. Допустимі норми для промисловості, згідно ГОСТ 12.1.003-86 “Шум. Общие требования к безопасности” наведені в табл. 11.9.1.

Таблиця.11.9.1.Допустимі норми шуму

№ п/п	Відділення	Рівень звукового тиску, дБ, в активних смугах з середньо геометричними ампулами, Гц									Рівень звуку і еквівалентні рівні звуку, дБ
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	6000	
1	Продуктове відділення	103	99	92	86	83	80	78	76	74	80

Вібрація

В приміщенні продуктового відділення вібрація не має перевищувати допустимих норм. Норми загальної технологічної вібрації, які наведені в ГОСТ 12.1.012-90 “ССБТ: Требования к вибрационной безопасности. Общие требования”.

15.10. Електробезпека

В даному приміщенні наявне обладнання з електродвигунами (воно має жорсткі вимоги з ОП), тому слід застосовувати до нього засоби та способи захисту, передбачені ПУЕ.

За ступенем небезпеки уражень людей електричним струмом згідно з наявним “ПУЕ”, приміщення продуктового відділення відносяться до класу “приміщень з підвищеною небезпекою”.

Способи захисту:

1.Все обладнання в приміщенні має бути заземлене до заземлюючого контуру.

2. Для захисту трансформаторів від струменів повинні бути застосовані високовольтні запобіжники.

4.Під час роботи використовують індивідуальні засоби захисту.

3.Серед захисних мір:

-Використання малих напруг (42В і нижче);

-захисне заземлення і занулення;

-подвійна ізоляція;

-можливість захисного відключення.

15.11.Пожежна безпека

Виробниче приміщення заводу, у котрому знаходиться ділянка сухого знежиреного молока відноситься до категорії „Б”, де ступінь вогнестійкості „П” відповідно до норм технологічного проектування ОНТП 24-86. Під

ступенем вогнестійкості мають на увазі здатність будівельної конструкції опиратись дії високої температури у разі пожежі та зберігати при цьому свої експлуатаційні характеристики.

На початковій стадії гасіння пожеж застосовують вогнегасники, головним чином вуглекислотні, перевагою яких є висока ефективність та збереження електрообладнання. В корпусах будівлі передбачені протипожежні крани з рукавами, пінні вогнегасники ОХП-10, пісок, щити з пожежним інвентарем. Навколо виробничого корпусу встановлено пожежний водопровід. Кількість вогнегасників приймається з розрахунку 1 вогнегасник на 100 $м^2$ площі та встановлюється на стінах на зручній висоті.

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

Витрати води на пожежогасіння визначається за формулою:

Q = t . 3600 . n/1000=3·3600·(5+10)/1000=162 м3,

де t – тривалість гасіння пожежі, год; n – секундні витрати води на внутрішнє і зовнішнє пожежогасіння, м/с.

За рекомендаціями для внутрішнього пожежогасіння необхідно 5л/с води; для зовнішнього – 10л/с води.

В продуктовому відділені з метою протипожежної безпеки передбачена аварійна система вентиляції.

$$G = \frac{3 \cdot 3600(n_1 + n_2)}{1000} = \frac{3 \cdot 3600(25+5)}{1000} = 10{,}8 \cdot 30 = 324 м^2$$

n1 – витрати води на зовнішнє гасіння пожежі;

15. Список використаної літератури.

1. Гаряжа В.Т., Кулінченко В.Р., Артюхов Ю.Г., Дідушко Б.Г. "Интенсификация процесса уваривания утфелей". М.: "Легкая и пищевая промышшенность", 1981. 152 с.
2. Мирончук В.Г. "Кристалізація". В кн.: "Процеси і апарати харчових виробництв". К.: НУХТ, 2003. 400 с.
3. Погорілий Т.М. Математичне моделювання асиметричного механізму рекристалізації при уварюванні цукрових утфелів.: Дис. канд. техн. наук: 05.18.12.К.: УДУХТ, 2001.217с.
4. Азирлевич М. Я. "Технологическое оборудование сахарных заводов" М.: Пищевая промышленность, 1972. 312 с;
5. Велик В. Г., Зозуля С. А., Жарик Б. Н. и др, под ред. В. Г. Велика. Справочник по технологическому оборудованию сахарных заводов . К.: Техника, 1982 . 304 с;
6. Востоков А. И., Лепешкин И. П. «Свеклосахарное производство» . М.: Пищевая промышленность, 1966 . 212 с;
7. Гребенюк С. М. «Технологическое оборудование сахарных заводов». М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 520 с;
8. Домарецький В. А., Остапчук М. В., Украшець А. І. "Технолопя харчових продуктів". Підручник/За ред. дт-ра техн.. наук., проф.. А. І. Украшця.. К.: НУХТ, 2003. 572 с;
9. Колесник Б. Г. Лошиков В. П., Парходько А. П. Справочник механика сахарного завода . М.: Легкая пищевая промышленность, 1983. 267 с;
10. Костюк В. К., Вовченко О. С, Жовшров Ю. М., Сапун П. С. "Методичні вказівки до розробки економічної частини дипломного проекту для студентів

спеціальності 17,06". К.: УДУХТ, 1994. 32 с.;

11. Комаревський Б. Д. «Автоматические приборы, регуляторы, вычислительна техника».: Справочное пособие . Л.: Машиностроение, 1976. 488 с;

12. Кукібний О. А. "Курсове проектування транспортуючих машин". К.: Вища школа, 1973 . 288 с;

13. Литвак К. М. «Технология свеклосахарных производств» . К.: Государственное издательство технической литературы УССР, 1951 . 376 с;

14. Підвищення ефективності буряко-цукрового виробництва та проблеми екології і відходів//Збірник доповідей міжнародного семінару. Україна. Київ;

15. Рева Л. П. Методические указания к написанию дипломного проекта «Сахарные заводы». Часть I. Выбор и расчеты технологического оборудования свеклосахарных заводов. К.: КТИПП, 1984 . 55 с;

16. Бобко Е.Н., Погорелый Т.М., Мирончук В.Г. Влияние вывода водяного пара на уваривания утфелей // Сахар. 1999. №3. С. 16.17.

17. Белостоцкий Л.Г. Интенсификация технологических процессов свеклосахарного производства. М.: Агропромиздат, 1989. 223с.

18. Белостоцкий Л.Г. Исследование влияния циркуляции и перемешивания утфеля в вакуум-аппаратах на процесс кристаллизации сахара: Авторе, дис. канд. техн. наук. К.: КТИПП, 1969. 24с.

19. Гребенюк СМ. Технологическое оборудование сахарных заводов. М.: Агропромиздат, 1985. 223 с.

20. Сельник Е.Т. Практикум по расчету й конструированию машин, аппаратов пищевых производств. Л.: ВО «Агропромиздат», 1991. 255с.

21. Волошин 3. С. Макаренко Л. П, Яцковський П. В. Автоматизация сахарного производства. М.: Агропромиздат, 1990. 271с.

22. Сегеда Д. Г., Дашевський В. И. Охрана труда в пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. 344с.

23. Современные технологии и оборудование свеклосахарного

производства. В 2-х ч. 4.1. / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.; Под. ред. В.О. Штангеева. К:, «Укцукор України», 2003. 352 с.

24. Физико - химические процесы сахарного производства / И.С.Гулый, В.М. Лисянсский, Л.П.Рева и др. М.: Агропромиздат, 1987. 185с.

25. Интенсификация процеса уваривания утфелей / Гаряжа В.Т., Артюхов Ю.Г., Кулинченко В.Р., Дидушко В.Г. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 152с.

26. Интенсификация процесса уваривания утфеля в серийных вакуум-аппаратах периодического действия / Сущенко А.К., Савич А.Н., Гришагина Т.П., Спичак М.П., Штангеев В.Д. М.: Агро Ниитээпп, 1991. Вып.З.-С. 12.18.

27. Пористые элементы при уваривании утфеля / Гринчук И.М., Украинец А.И., Демчук Г.С., Штангеев В.О., Гулый И.С., Новоселецкий В.А. / Сахарная свекла: Производство и переработка. 1989. №4. С.56.60.

28. Інтенсифікація варіння утфелю в вакуум-апаратах шляхом використання нових посилювачів циркуляції / Савич А.Н., Сукенко

Додатки

Міністерство освіти і науки України
24-та секція за фаховим напрямом
«Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології»
Наукової ради Міністерства освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

X МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

"Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції"

ПРОГРАМА ТА ТЕЗИ МАТЕРІАЛІВ

09-10 листопада 2021 р.

КИЇВ НУХТ 2021

Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: Програма та тези матеріалів IX-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 09-10листопада 2021 р., м. Київ. – К.: НУХТ, 2021 р. – 322 с.

ISBN 978-966-612-268-4

У даному виданні представлено програма та тези матеріалів доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції» відповідно до тематичних напрямків секції №24 «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології» Наукової ради Міністерства освіти і науки України.

Проведення конференції направлене на розширене представлення наукових здобутків науковців та ознайомлення експертів харчової промисловості і промислової біотехнології, підвищення рівня проведення експертиз проектів, що подаються на конкурси і гранти для фінансування за кошти державного бюджету та направлені на розширення тематики наукових проектів за тематикою і паспортом секції №24 «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології» Наукової ради Міністерства освіти і науки України для можливості співпраці науковців в світовому науковому просторі.

Рекомендовано Вченою радою НУХТ
Протокол №3 від «28» жовтня 2021 р.

ISBN 978-966-612-268-4 © НУХТ, 2021

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ
09 листопада 2021 року

09^{40}-10^{00} – он-лайн реєстрація учасників конференції
10^{00}-10^{30} – урочисте відкриття конференції

Підключення до конференції Zoom:
https://us02web.zoom.us/j/89718416482?pwd=Y3phUnpxMUhxeGVmWGdLN0JiTGlvZz09

Идентификатор конференции: 897 1841 6482
Код доступа: 590859

11^{00}-13^{00} – робота секцій за посиланнями на сторінках секцій
13^{00}-14^{00} – обідня перерва
14^{00}-15^{30} – робота секцій

10 листопада 2021 року

11^{00}-12^{30} – віртуальне ознайомлення учасників з лабораторією ПНДЛ, R&D центром НУХТ та центром колективного користування
12^{30}-13^{30} – кава - брейк
13^{30}-14^{30} – круглий стіл з підведення підсумків роботи конференції

Голова оргкомітету
О.Ю. Шевченко – ректор Національного університету харчових технологій, доктор техн. наук, професор
Заступники голови:
С.В. Токарчук – проректор з наукової роботи НУХТ, канд. техн. наук, доцент
А.І. Маринін – завідувач Проблемною науково-дослідною лабораторією НУХТ, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
Секретар конференції
В.М. Пасічний, завідувач кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів НУХТ, д-р. техн. наук, професор

Члени технічного комітету конференції:
Ґавва О.М. – завідувач кафедри машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв НУХТ, д-р. техн. наук, професор
Єгоров Б.В. – ректор Одеської національної академії харчових технологій, д-р. техн. наук, професор
Євлаш В.В. – завідувач кафедри хімії, мікробіології та гігієни харчування ХДУХТ, д-р. техн. наук, професор
Ковбаса В.М. – завідувач кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів НУХТ, д-р. техн. наук, професор
Іоргачова К.Г. – завідувач кафедри технології хліба, кондитерських, макаронних виробів і харчо концентратів ОНАХТ, д-р. техн. наук, професор
Михайлов В.М. – проректор з наукової роботи Харківського державного університету харчування і торгівлі, д-р. техн. наук, професор
Пирог Т.П. – завідувач кафедри біотехнології і мікробіології НУХТ, д-р. біол. наук, професор
Юкало В.Г. – професор кафедри харчової біотехнології і хімії Тернопільський національний технічний університет ім. І.Пулюя , д-р. біол. наук, професор

ЗМІСТ

Секція 1.

Промислова біотехнологія, процеси та апарати харчової, мікробіологічної та фармацевтичної промисловості

1 **А. А. Вороненко, Т. П. Пирог** 15
Мікробний синтез екзополісахариду етаполану на суміші етанолу та відпрацьованої соняшникової олії

2 **О.Ю. Шевченко, К.В. Васильківський, І.М. Вінніченко** 17
Енергетичні перетворення в технологіях анаеробного та аеробного бродіння

3 **В.М. Михайлов, А.М. Загорулько, О.Є. Загорулько** 20
Інтенсифікація процесів концентрування та ІЧ-сушіння рослинної сировини

4 **М.С. Іванов, Т.П. Пирог, Г.А. Ярова** 22
Вплив біологічних індукторів на антимікробну активність поверхнево-активних речовин *Acinetobacter Calcoaceticus* IMB B-7241

5 **Т.П. Пирог**
Біологічні методи післяврожайної обробки фруктів і овочів для подовження терміну їх зберігання 24

6 **О.І. Черевко, В.М. Михайлов, А.М. Загорулько, О.Є. Загорулько** 26
Удосконалення тепломасообмінного обладнання переробки рослинної сировини

7 **В. Л. Зав'ялов, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, В. М. Чорний,** 28
Ю. В. Запорожець, В. Є. Деканський
Математичне моделювання періодичного твердофазового екстрагування цільових компонентів

8 **О.В. Гудзенко** 31
Особливості використання α-l-рамнозидаз для покращення якості харчових продуктів

9 **T.P. Pirog, O.I. Paliichuk** 33
Influence of cultivation conditions of *Rhodococcus Erythropolis* IMV AC-5017 on the properties of synthesized surfactants

10 **О.І. Бабанова, Ю.Ю. Доломакін, В.В. Ковбасенко** 35
Система підготовки повітря для підприємств фармацевтичної галузі при виробництві стерильної та нестерильної продукції

11 **А.І. Чегринець, В.О. Красінько** 37
Сучасні підходи до створення вакцин проти ньюкаслської хвороби

12 **А. М. Слюсенко, В. В. Пономаренко, Д. М. Люлька** 39
Струминний апарат з кавітаційним ефектом

13 **Т.М. Погорілий** 41
Дослідження процесу промислової кристалізації цукру в пристінному шарі нагрівальної трубки вакуум-апарата на основі математичного моделювання

14 **Ю.Ю. Доломакін, О.І. Бабанова, Р.Р. Байрамов** 43
Дослідження гідродинаміки реактора-змішувача

дріжджових культур у 4-32 рази. При цьому значення фракційної інгібуючої концентрації не перевищувало 0,5, що вказує на синергізм між сполуками.

Окрім клотримазолу, поверхнево-активні речовини, синтезовані *A. calcoaceticus* IMB B-7241 в різних умовах культивування, також проявляли синергізм антифунгальної активності у суміші з флуконазолом.

Так, у суміші з поверхнево-активними речовинами *A. calcoaceticus* IMB B-7241 значення мінімальних інгібуючих концентрацій флуконазолу щодо *C. albicans* Д-6, *C. tropicalis* РЕ-2 та *C. utilis* БМС-65 вдалося знизити з 35,5 мкг/мл до 1,1-9,3 мкг/мл.

Список літератури

1.Singh D. K., Tóth R., Gácser A. (2020). Mechanisms of pathogenic *Candida* species to evade the host complement attack, *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 10, 94. https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.00094

2.Pappas P. G., Kauffman C. A., Andes D. R., Clancy C. J., Marr K. A., Ostrosky-Zeichner L., Reboli A. C., Schuster M. G., Vazquez J. A., Walsh T. J., Zaoutis T.E., Sobel J.D. (2016). Clinical practice guideline for the management of candidiasis: 2016 update by the infectious diseases society of America, *Clinical infectious diseases: an official publication of the Infectious Diseases Society of America*, 62(4).

УДК 664.1.054

20. ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ В ВАКУУМ-АПАРАТІ З КАМЕРОЮ УПОРЯДКУВАННЯ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПОТОКУ УТФЕЛЮ

О.В. Артеменко, Т.М. Погорілий

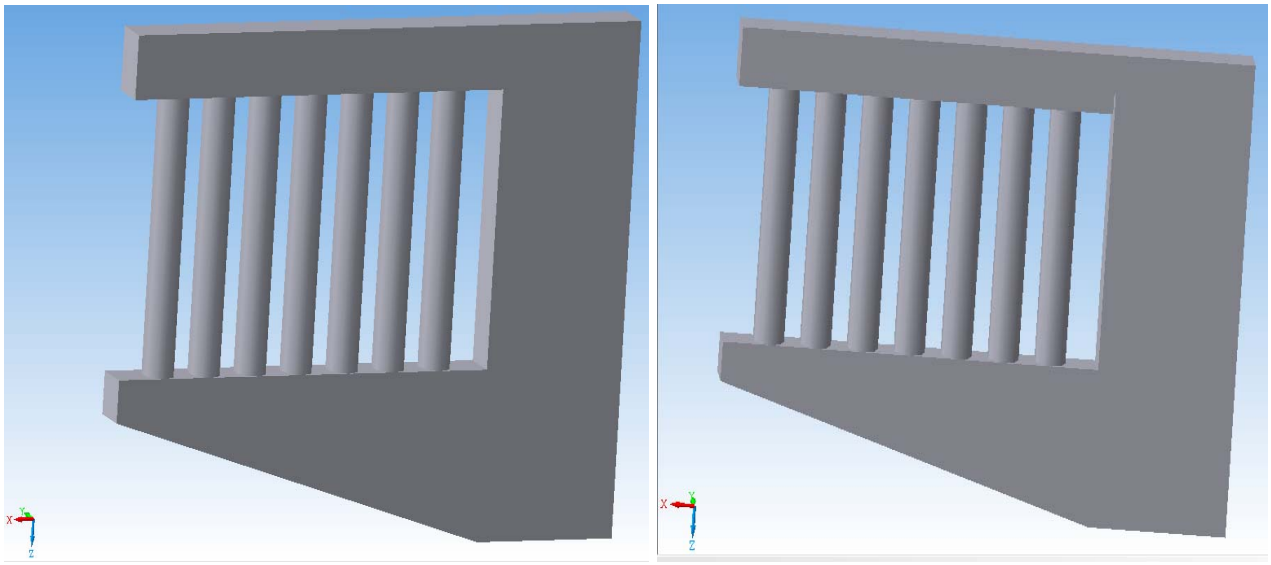
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

Вступ. Стан цукрової промисловості в Україні на сьогоднішній час ставить вимоги в створенні нових наукових підходів та рішень для подальшого

підвищення ефективності виробництва кристалічного цукру.

Важливість та необхідність подальших наукових досліджень в галузі кристалізації цукристих речовин є нагальною проблемою на рівні державних програм та проектів, що направлені на розвиток цукрової промисловості.

Для вирішення такого завдання використовуються удосконалення існуючих а також розробки нових способів та апаратів для промислової кристалізації цукристих речовин із впровадженням та використанням сучасних комп'ютерних технологій.



а) б)

Рис. 1. 3D-модель для розрахунку гідродинаміки у вакуум-апараті а) базовому; б) зі встановленням камери упорядкування циркуляційного потоку

Матеріали та методи. Пропонується розглянути вакуум-апарат А2-ПВЕ-60 у базовому виконанні та із встановленням камери упорядкування циркуляційного потоку утфелю.

По кожному випадку створюється певна кількість (10 рівновіддалених по відносному часу уварювання) 3D-моделей із різними початковими гідродинамічними характеристиками та різною висотою киплячого шару утфелю.

Один з варіантів з яких подано на рис. 1

а) для базового варіанту проведення досліджень

та на рис. 1

б) для модернізованого варіанту вакуум-апарата шляхом встановлення встановлення камери упорядкування циркуляційного потоку утфелю).

Передбачається, що проведення досліджень та визначення основних гідродинамічних характеристик у базовому та модернізованому вакуум-апараті буде проведено за допомогою сучасних чисельних методів та CAD-систем.

В процесі дослідження необхідно дослідити градієнт розподілу швидкостей та середню швидкість по всьому об'єму створеної 3D-моделі.

Результати. Розроблені 3D-моделі для розрахунку гідродинаміки у базовому та модернізованому вакуум-апараті, а також запропонована методика проведення досліджень надасть підстави для дослідження і порівняння основних гідродинамічних характеристик базового та модернізованого вакуум-апарата зі встановленою камерою упорядкування циркуляційного потоку утфелю.

Висновки. Розглянуто основні етапи по проведенню досліджень для визначення основних гідродинамічних характеристик базового та модернізованого вакуум-апарата зі встановленою камерою упорядкування циркуляційного потоку утфелю.

Список літератури:

1. Кулинченко, В. Р. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ: Монография / В.Р. Кулинченко, В.Г. Мирончук. – К.: НУПТ, 2012 – 426 с.

2. Современные технологии и оборудование свеклосахарного производства. / В.О. Штангеев, В.Т. Кобер, Л.Г. Белостоцкий и др.; под. ред. В.О. Штангеева. - К: Укцукор України», 2003. - 352 с.

3. Технологія харчових продуктів: підручник / В.А Домарецький, М.В.Остапчук, А.І. Українець за ред. доктора техн.. наук., проф.. А. І. Українця. – К.: НУХТ, 2003-572 с.Технологічні розрахунки у молочній промисловості: навч. посіб. / Г.Є. Поліщук, О.В. Грек, Т.А. Скорченко та ін.