

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Микола ЯКИМЧУК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових виробництв

на тему: Модернізація дільниці політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів

Виконав: здобувач 2__ курсу, групи ОХ-2-2М__
Тищенко Владислав Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Мирончук Валерій Григорович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

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

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

(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 - 2025р.

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 _____

проф. Микола ЯКИМЧУК

“ ___ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Тищенко Владислав Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Модернізація ділянки політермічної кристалізації з
нечистих цукрових розчинів

Керівник проекту (роботи) Мирончук Валерій Григорович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» 09 2025 р. № 712-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2025

3. Вихідні дані до роботи Матеріали передипломної практики. Нормативно
технічна документація цукрової промисловості України. Навчальна, спеціальна
література за темою кваліфікаційної роботи

4. Зміст пояснювальної записки: Реферат, Вступ, Актуальність роботи. Аналіз
сучасного стану за темою магістерської роботи. Устрій і принцип роботи
модернізованого об'єкту. Результати досліджень. Розрахункова частина. Вибір
конструкційних матеріалів. Технологія складання опори трубоваду. Основи
монтажу і технічного сервісу. Принцип автоматизації. Заходи з охорони праці.
Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Існуючі апаратурно-технологічні схеми політермічної кристалізації - 2 арк.
Удосконалена апаратурно-технологічна схема - 1 арк. Загальний вигляд
кристалізатора - 2 арк., Нижня і верхня опори трубоваду - 2 арк, Технологія
збирання нижньої опори - 2 арк, Принципова схема автоматизації - 1 арк.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання: 18.09.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Вступ	18.09.2025	
2	Аналіз сучасного стану за темою магістерської роботи	20.09.2025	
3	Устрій і принцип роботи модернізованого об'єкта	30.09.2025	
4	Розрахункова частина	02.10.2025	
5	Вибір конструкційних матеріалів	10.10.2025	
6	Технологія складання опори трубовала	12.10.2025	
7	Основи монтажу та технічного сервісу	16.10.2025	
8	Принципи автоматизованого керування об'єктом проектування	19.10.2025	
9	Заходи з охорони праці	22.10.2025	
10	Висновки	26.10.2025	
11	Використана література	28.10.2025	
12	Підготовка графічної частини кваліфікаційної роботи та додатків	01.11.2025	
13	Підготовка презентації	27.11.2025	
14	Подання роботи на кафедрі	01.12.2025	

Здобувач

_____ (підпис)

Тищенко В.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Мирончук В.Г.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Аналіз роботи дільниць політермічної кристалізації сахарози шляхом охолодження цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації оснащених вертикальними перемішувачами-кристалізаторам виявив низку недоліків усунення яких покращує технологічні та експлуатаційні характеристики цього процесу.

Модернізацією дільниці політермічної кристалізації сахарози пропонується здійснювати за такими напрямками:

технологічними, створення умов для ізогідричного ведення процесу; конструкційними, удосконаленню приводу перемішувального пристрою;

удосконалення машино-апаратурної схеми дільниці політермічної кристалізації.

Магістерська робота містить вступ, аналіз стану питання за темою роботи, мету роботи, актуальність роботи, розрахункову частину. Запропоновано нові технічні рішення щодо модернізації дільниці політермічної кристалізації сахарози шляхом охолодження цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації.

За матеріалами виконаної роботи зроблена доповідь на 91-й Міжнародній конференції молодих вчених, аспірантів та студентів на тему: "Особливості політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів в перемішувачах-кристалізаторах" / Тищенко Владислав, Мирончук Валерій. НУХТ, квітень 2025, сторінка 120–121.

Ключові слова: ступінь кристалізації, утфель, сахароза, чистота, політермічна, ізогідрична, перемішувач-кристалізатор.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Мирончук В.Г.	Вид документа Пояснювальна записка		Статус документа		
Власник документа НУХТ	Розробник документа Тищенко В.В.	Назва, додаткова назва РЕФЕРАТ	240261.КР.05.000 ПЗ			
	Документ затверджено Якимчук М.В.		Інд.	Дата	Мова UA	4

ABSTRACT

The analysis of the operation of sucrose polythermal crystallization sections carried out by cooling the sugar massecuite of the final crystallization stage, equipped with vertical mixer-crystallizers, revealed a number of shortcomings, the elimination of which improves the technological and operational characteristics of this process.

The modernization of the sucrose polythermal crystallization section is proposed to be implemented in the following directions:

- **technological** – creating conditions for conducting the process under isohydric conditions;
- **design-related** – improving the drive of the mixing device;
- **machine-apparatus scheme improvement** – optimizing the layout of the polythermal crystallization section.

The master's thesis includes an introduction, an analysis of the current state of the issue, the purpose of the work, the relevance of the research, and the calculation part. New technical solutions have been proposed for modernizing the sucrose polythermal crystallization section by cooling the sugar massecuite of the final crystallization stage.

Based on the completed work, a report was presented at the 91st International Conference of Young Scientists, Postgraduates, and Students titled “*Features of Polythermal Crystallization of Sucrose from Impure Sugar Solutions in Mixer-Crystallizers*” / Tyshchenko Vladyslav, Myronchuk Valerii. NUFT, April 2025, pp. 120–121.

Keywords: crystallization degree, massecuite, sucrose, purity, polythermal, isohydric, mixer-crystallizer.

ЗМІСТ

Титульний листок	1
Завдання	2
Реферат	4
Зміст	6
Вступ	7
1. Актуальність роботи	8
2. Аналіз сучасного стану за темою магістерської роботи	10
3. Устрій і принцип роботи модернізованого об'єкта	18
4. Результати досліджень	24
5. Розрахункова частина	30
6. Вибір конструкційних матеріалів	34
7. Технологія складання опори трубоваля	35
8. Основи монтажу та технічного сервісу	39
9. Принципи автоматизованого керування об'єктом проектування	43
10. Заходи з охорони праці	44
11. Висновки	45
12. Використана література	46
13. Додатки	48

ВСТУП

Політермічна кристалізація сахарози в утфелі останнього ступеня кристалізації обумовлена рушійною силою, а саме різницею концентрації розчиненої сахарози в міжкристальному розчині в його об'ємі та на межі поділу фаз: цукровий розчин – поверхня кристалу.

Процес кристалізації охолодження відбувається за температур від 70 °С до 40 °С з певною швидкістю, яка визначається ступенем насичення розчину сахарози. При цьому, коефіцієнт пересичення знаходиться в межах 1.15-1.25. Процес теплообміну за умов політермічної кристалізації сахарози залежить від багатьох факторів: чистоти утфелю, в'язкості утфелю, температури утфелю, пересичення міжкристального розчину та ін.

Завдяки використанню політермічної кристалізації утфеля останнього ступеня кристалізації додатково отримують до 10 кг цукру з кожної тони перероблених цукрових буряків.

Політермічна кристалізація сахарози в утфелі останнього ступеня кристалізації здійснюється в безперервному режимі.

За останні роки для комплектації дільниці політермічної ізогідричної кристалізації сахарози набули широкого використання вертикальні перемішувачі-кристалізатори.

Світова практика реалізації політермічної кристалізації сахарози свідчить про те, що температура цукрового утфелю в цьому процесі змінюється в межах від 70 °С на початку охолодження до 40 °С в кінці процесу. За цих умов відбувається ізогідрична політермічна кристалізація сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації в перемішувачах кристалізаторах. Дотримання встановленого технологічного регламенту протікання політермічної кристалізації забезпечується, як дотриманням технологічних параметрів, так і застосуванням ефективного обладнання для реалізації цього процесу.

Одним із завдань вирішення ефективної політермічної ізогідричної кристалізації є забезпечення цукрових заводів інноваційним технологічним обладнанням, а саме вертикальними перемішувачами кристалізаторами.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Актуальність даної роботи полягає в тому, що на основі накопиченого досвіду експлуатації дільниць політермічної кристалізації сахарози утфелю останнього ступеня кристалізації, не зважаючи на переконливо позитивні результати використання вертикальних перемішувачів кристалізаторів на цих дільницях, на сьогодні існують не вирішеними декілька прогалин. Серед них, актуальне завдання по усуненню “розкачок” (розбавлення) утфелю останнього ступеня кристалізації водою, та цукровим розчином, мелясою. В даному випадку мова йде про заміну “розкачок” водою на проміжне нагрівання, що унеможливить додаткове утворення меляси через високий мелясоутворюючий коефіцієнт води (2,3...2,7 одиниць).

Іншим важливим елементом модернізації дільниці політермічної кристалізації сахарози є поліпшення конструкційних характеристик власне вертикальних перемішувачів -кристалізаторів стосовно спрощення конструкції приводів перемішувачів робочих органів. Використання рухомих поверхонь теплообміну, як запобіжника утворення інкрустованого шару цукру на поверхнях теплообміну.

З огляду на вищезазначене, магістерська кваліфікаційна робота на тему “Модернізація дільниці політермічної кристалізації з нечистих цукрових розчинів” є актуальним завданням підвищення ефективності роботи дільниць політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів, якими є міжкристальні розчини сахарози цукрових утфелях останнього ступеня кристалізації

Мета роботи: Інтенсифікація політермічної ізогідричної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів за рахунок удосконалення технологічного обладнання дільниць охолодження цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації.

Об'єкт дослідження: Політермічна, ізогідрична кристалізація сахарози в цукровому утфелі останнього ступеня кристалізації.

Предмет дослідження: Дільниця політермічної кристалізації цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації оснащена вертикальними перемішувачами кристалізаторами.

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Практика світового досвіду з експлуатації перемішувачів-кристалізаторів для політермічної кристалізації сахарози в утфелі останнього ступеня кристалізації засвідчує, що:

- буряково-цукрові заводи на сьогодні в переважній більшості оснащені вертикальними перемішувачами-кристалізаторами місткістю від 150м³ до 300м³ і більше;
- конструкції перемішувачів-кристалізаторів поділяються на два різновиди: з рухомою і не рухомою поверхнею теплообміну. З точки зору теплообміну перевагу слід віддати першому різновиду;
- використання води, меляси, цукрового розчину високої та низької чистоти для розбавлення утфелю останнього ступеню кристалізації порушує ізогіричні умови процесу, що призводить до збільшення вмісту сахарози в мелясі;
- зменшення енергетичних витрат на процес перемішування цукрового утфелю в перемішувачах-кристалізаторах досягається використанням гідравлічного приводу перемішувача робочого органу замість електромеханічного.

В цукровій промисловості використовують два способи кристалізації сахарози: ізогіричний та ізотермічний.

Ізотермічна кристалізація сахарози здійснюється у вакуум апаратах за умов кипіння цукрового утфелю шляхом випаровування розчинника для підтримання необхідного пересичення цукрового розчин. При цьому, температура кипіння цукрового утфелю підтримується постійною. **Ізогірична кристалізація** здійснюється шляхом охолодження цукрового утфелю. Ізогірична (політермічна) кристалізація відбувається в перемішувачах-кристалізаторах діляниць політермічної кристалізації.

На сьогодні практично всі цукробурякові підприємства оснащені дільницями політермічної кристалізації, в яких використовують вертикальні перемішувачі вітчизняного та зарубіжного виробництва. Найбільшого поширення набули дільниці політермічної кристалізації сахарози, що укомплектовані виключно вертикальними перемішувачами-кристалізаторами. В окремих випадках застосовують вертикальні кристалізатори в комбінації з використанням горизонтальних кристалізаторів.

Приклад комплектації дільниць політермічної кристалізації оснащених чотирма вертикальними перемішувачами-кристалізаторами наведено на рисунку 1.

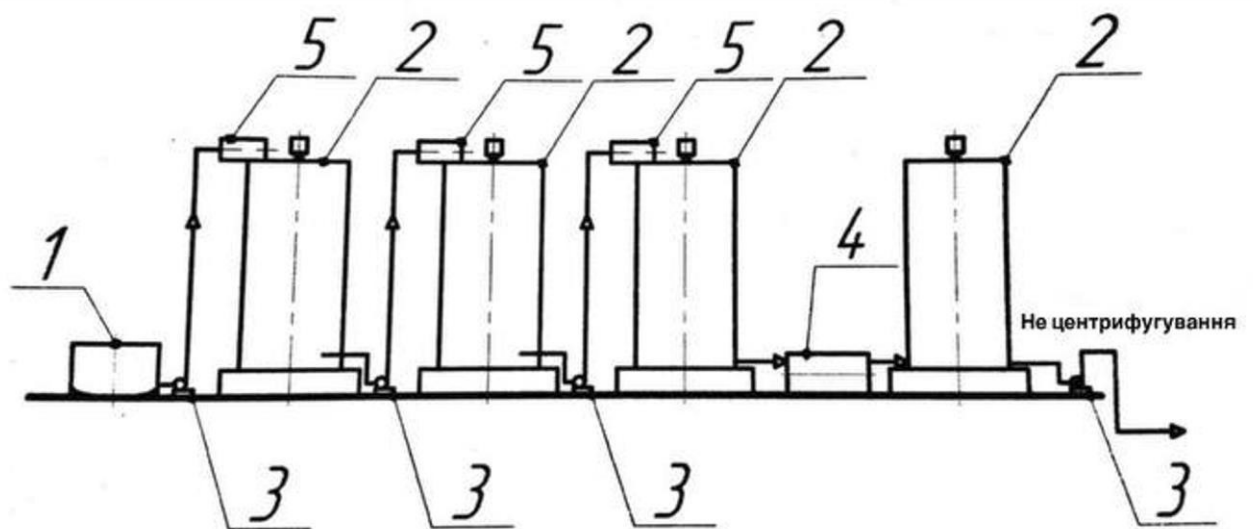


Рис. 1. Схема компоновки перемішувачів-кристалізаторів фірми Yougu:

- 1 – приймальний перемішувач; 2 – вертикальні кристалізатори;
- 3 – утфельні насоси; 4 – утфелепровід; 5 – змішувачі

Відповідно до апаратурно-технологічної схеми, рис.1, готовий утфель із вакуум апарата температурою 70°C надходить в горизонтальний приймальний перемішувач 1. Цей перемішувач слугує буферною ємністю для забезпечення сталого надходження утфелю у вертикальні перемішувачі-кристалізатори у режимі ідеального витіснення.

Охолодження утфелю до 40 °С здійснюється за допомогою теплообмінних елементів з урахуванням, що корисна різниця температур між утфелем та холодоагентом має бути в межах 10 °С. Перед цинтрофугуванням цукровий утфель нагрівається на 5–7 °С останньому кристалізаторі. При цьому перехід утфелю с передостаннього кристалізатора в останній здійснюється за допомогою утфелепроводу 4, що забезпечує рух утфеля самопливом в режимі поєднувальних посудин.

Апаратурно-технологічна схема ділянки комбінованої компоновки вертикальних та горизонтальних перемішувачів-кристалізаторів наведена на рис. 2. Відповідно до цієї схеми, рис. 2, утфель після вакуум апарата 2 надходить до приймального перемішувача 4. Цей перемішувач забезпечує рівномірне надходження утфелю у вертикальний 3 та послідовно горизонтальний кристалізатори 1. З останнього перемішувача-кристалізатора утфель надходить в центрифугу 5, де розділяється у полі відцентрових сил на кристали цукру останнього ступеню кристалізації і на мелясу.

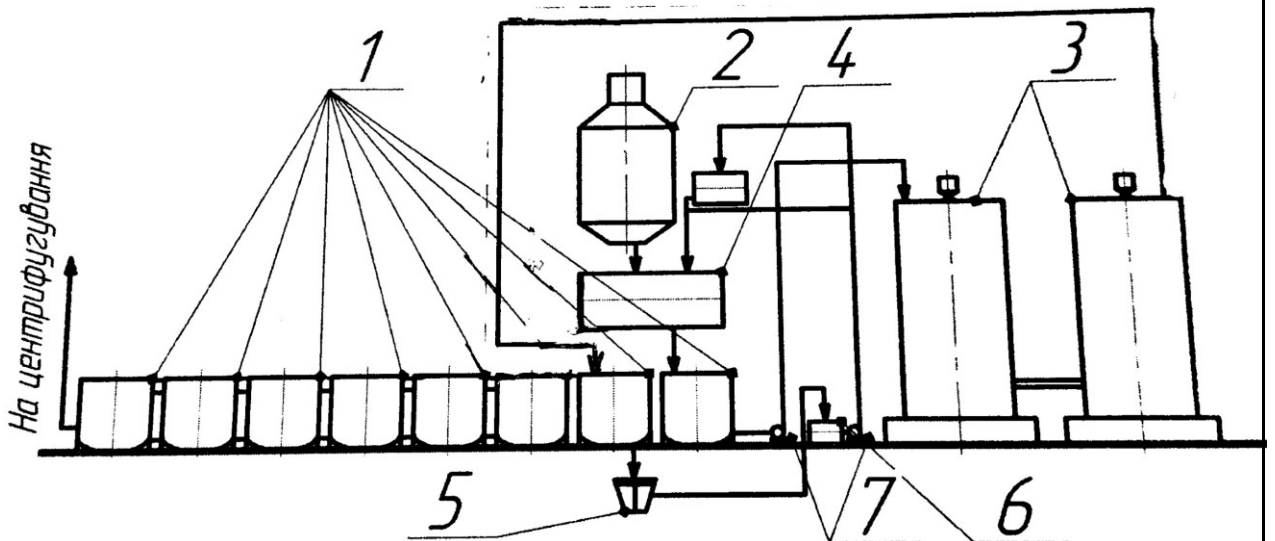


Рис. 2. Принципова апаратурна схема кристалізації сахарози із утфеля останнього ступеня кристалізації з двома вертикальними кристалізаторами та сімома горизонтальними: 1 – горизонтальні кристалізатори; 2 – вакуум-апарат; 3 – вертикальні кристалізатори; 4 – приймальний утфелеперемішувач; 5 – центрифуга; 6 – збірник меляси; 7 – насоси

Комплектування дільниці політермічної кристалізації сахарози за комбінованої схеми дозволяє суттєво зменшити фінансові витрати внаслідок використання вже наявних на підприємстві горизонтальних кристалізаторів. Окрім того, наявність горизонтальних кристалізаторів дає можливість раціонально і гнучко забезпечувати необхідний технологічний регламент дільниці політермічної кристалізації.

На теперішній час в промисловості переважна кількість дільниць політермічної кристалізації сахарози використовує, з метою зменшення в'язкості міжкристального розчину, розбавлення (розкачки) утфелю водою після його охолодження до 50 до 52 °С. Разом з тим, вода являє собою високий мелясоутворювач, коефіцієнт мелясоутверення води 2,3...2,7 одиниць, що призводить до зниження ефекту політермічної кристалізації. Необхідно зауважити, що добавлення в утфель додаткової води порушує ізогідричні умови ведення процесу.

В свій час, в Україні, співробітниками НУХТ і ТТФ НАН України та УкрНДІЦП було запропоновано та випробувано спосіб кристалізації сахарози в утфелі останнього продукту, який передбачав застосування коливального механізму почергового нагрівання та охолодження утфелю в процесі політермічної кристалізації. Цей спосіб був апробований на Долинському цукровому заводі. Однак, з певних причин, він не знайшов подальшого розповсюдження. Недоліком цього способу було неузгодження швидкості охолодження утфелю зі швидкістю кристалізації сахарози з нечистих міжкристальних розчинів в утфелі останнього ступеня кристалізації. Проміжне нагрівання утфелю здійснювали ступінчасто через один перемішувач-кристалізатор. Як теплоносій використовували воду відповідної температури.

В Національному університеті харчових технологій нагрівання утфелю перед центрифугуванням пропонувалося здійснювати тепловою

обробкою утфеля в електромагнітному полі надвисокої частоти. При цьому, термін підігріву складав до 10 хвилин.

Результати аналізу додаткової кристалізації утфеля останнього ступеня кристалізації, стосовно використання проміжного нагрівання утфелю електромагнітним полем надвисокої частоти, в порівнянні з його розбавленням водою, засвідчують дані, приведені в таблиці 1:

– використання НВЧ для проміжного нагрівання утфеля останнього ступеня кристалізації має суттєві переваги в порівнянні з розбавленням утфелю водою;

– в'язкість утфеля зменшується майже на половину та складає 4,7 Па·с в порівнянні з розбавленням водою – 7,1 Па·с;

– всі інші характеристики утфеля змінюються несуттєво.

Таблиця 1

№ п/п	Характеристики міжкристального розчину	Без розбавлення	З розбавленням водою	З підігрівом електромагнітним полем НВЧ
1	Сухі речовини, СР, %	82,6	82,0	82,7
2	Вміст сахарози, Ссах, %	45,1	46,0	45,3
3	Чистота, Ч, %	54,6	56,0	54,8
4	Температура, t, °С	40,0	40,0	50,0
5	В'язкість, η, Па·с	10,1	7,1	4,7
6	Тривалість оброблення, τ, хв.	–	120	10

Аналіз конструкцій перемішувачів-кристалізаторів для політермічної кристалізації сахарози показав, що з огляду на процес теплообміну вони, як уже відмічалось, поділяються на такі, що мають рухому і нерухому поверхню обміну.

До перемішувачів-кристалізаторів з нерухомою поверхнею теплообміну відносять:

- виробництва фірми JOURY(Франція); поверхня теплообміну 150, 175, 225, та 300 м²;
- виробництва фірми DDS (Данія) ; поверхня теплообміну 250, 480 м²;
- виробництва Чехії; поверхня теплообміну 120, 200 м²;
- виробництва фірми ВМА (Німеччина); поверхня теплообміну 260 м²;
- виробництва фірми ТМА (Україна); Ш1-ПКВ - поверхня теплообміну 170, 225, 300 м²;
- виробництва фірми ТМА (Україна) ; КВ 200, 225, 280, 300 – з відповідними поверхнями теплообміну.

До перемішувачів-кристалізаторів з рухомою поверхнею теплообміну відносять:

- фірми Seluig&Zande (Німеччина); поверхня теплообміну 315 м²;
- виробництва Венгрія; поверхня теплообміну 88 м²;
- фірми Fletcher (Англія);
- фірма Техінсервіс (Україна) ТКВ300, 450, 600, 975, 1235, 1500 з відповідними поверхнями теплообміну.

Недоліком перших конструкцій є громіздкість електроприводів, утворення значного, до 20 мм, інкрустаційного шару цукру на нерухомих поверхнях теплообміну. З метою усунення цих недоліків необхідно розробляти перемішувачі-кристалізатори з рухомими поверхнями теплообміну. Окрім цього забезпечити їх рух запровадженням гідравлічних приводів замість електромеханічних.

Аналіз показує, що найбільше споживання енергії спостерігається при роботі обладнання з нерухомими поверхнями теплообміну. За рухомих поверхонь теплообміну цей недолік в значній мірі усувається. За рухомих поверхонь теплообміну товщина адгезійного шару зменшується. Наприклад, товщина адгезійного шару за рухомої поверхні теплообміну зменшується на 10-12 мм. Це в підсумку надає перевагу використанню рухомих поверхонь

теплообміну. Раціонального режиму руху поверхонь теплообміну можна досягти використанням гідравлічних приводів.

При розробці ефективних апаратурно-технологічних схем політермічної кристалізації сахарози доцільно використовувати проміжне нагрівання утфелю, виключивши розбавлення його водою.

Технологія кристалізації цукрових утфелів останнього ступеня кристалізації удосконалювалась різними способами проміжного розбавлення та теплової обробки утфелів. Ці заходи були спрямовані на уникнення вторинного кристалоутворення, зменшення в'язкості та забезпечення необхідного пересичення між кристального розчину.

У практиці цукрового виробництва набула застосування безперервна кристалізація утфеля останнього ступеня кристалізації у вертикальних перемішувачах-кристалізаторах місткістю від 100 до 300 м³. На базі даних промисловості та досліджень виконаних в НУХТ аналіз роботи діляниць політермічної кристалізації сахарози проводили за двома схемами:

– чотири вертикальних перемішувачів-кристалізаторів місткістю по 150 м³ кожний з охолодженням утфелю в перших трьох кристалізаторах і нагріванням в останньому;

– два вертикальних перемішувачі-кристалізатори місткістю 150 м³ та сім горизонтальних кристалізаторів місткістю по 40 м³ кожний.

Охолодження хладоагентом здійснюється у вертикальних кристалізаторах, природне охолодження здійснюється в перших шести горизонтальних перемішувачах-кристалізаторах. Нагрівання утфелю перед центрифугуванням здійснюється в останньому горизонтальному перемішувачу-кристалізатору.

Аналіз результатів досліджень за першою схемою свідчить про те, що довготривале нагрівання утфелю в останньому перемішувачі-кристалізаторі перед центрифугуванням знижує ефект політермічної кристалізації на 4,26 %. Необхідно звернути увагу на те, що ефект кристалізації досягнутий в перших

трьох вертикальних кристалізаторах втрачається повністю внаслідок тривалого нагрівання утфелю в четвертому кристалізаторі.

Результати отримані на другому типі ділянок політермічної кристалізації засвідчив, що підтримання градієнту температур між теплоагентом і утфелем у межах 10-12 °С забезпечує рівномірне охолодження утфелю, що зменшує нерівномірність полів температур і пересичень. Це мінімізує вторинне утворення кристалів цукру.

Результати політермічної кристалізації можна поліпшити за рахунок технологічних тепломасообмінних факторів, а також застосуванням нових конструктивних рішень, які забезпечують сприятливі умови кристалізації.

До несприятливих умов політермічної кристалізації можна віднести зменшення інтенсивності теплообміну через утворення інкрустаційного шару цукру на нерухомих поверхнях теплообміну.

Для усунення вищезгаданих недоліків пропонується модернізована конструкція перемішувача-кристалізатора, яка передбачає використання рухомої поверхні теплообміну, заміну електромеханічного приводу на гідравлічний та запровадження проміжного нагрівання утфелю замість розбавлення водою.

3. УСТРІЙ І ПРИНЦИП РОБОТИ МОДЕРНІЗОВАНОГО ОБ'ЄКТУ

За об'єкт модернізації використали утфелеперемішувач-кристалізатор ШІ–ПКВ вітчизняного виробництва (Яготинський механічний завод). Схема цього перемішувача-кристалізатора наведена на рисунку 3.

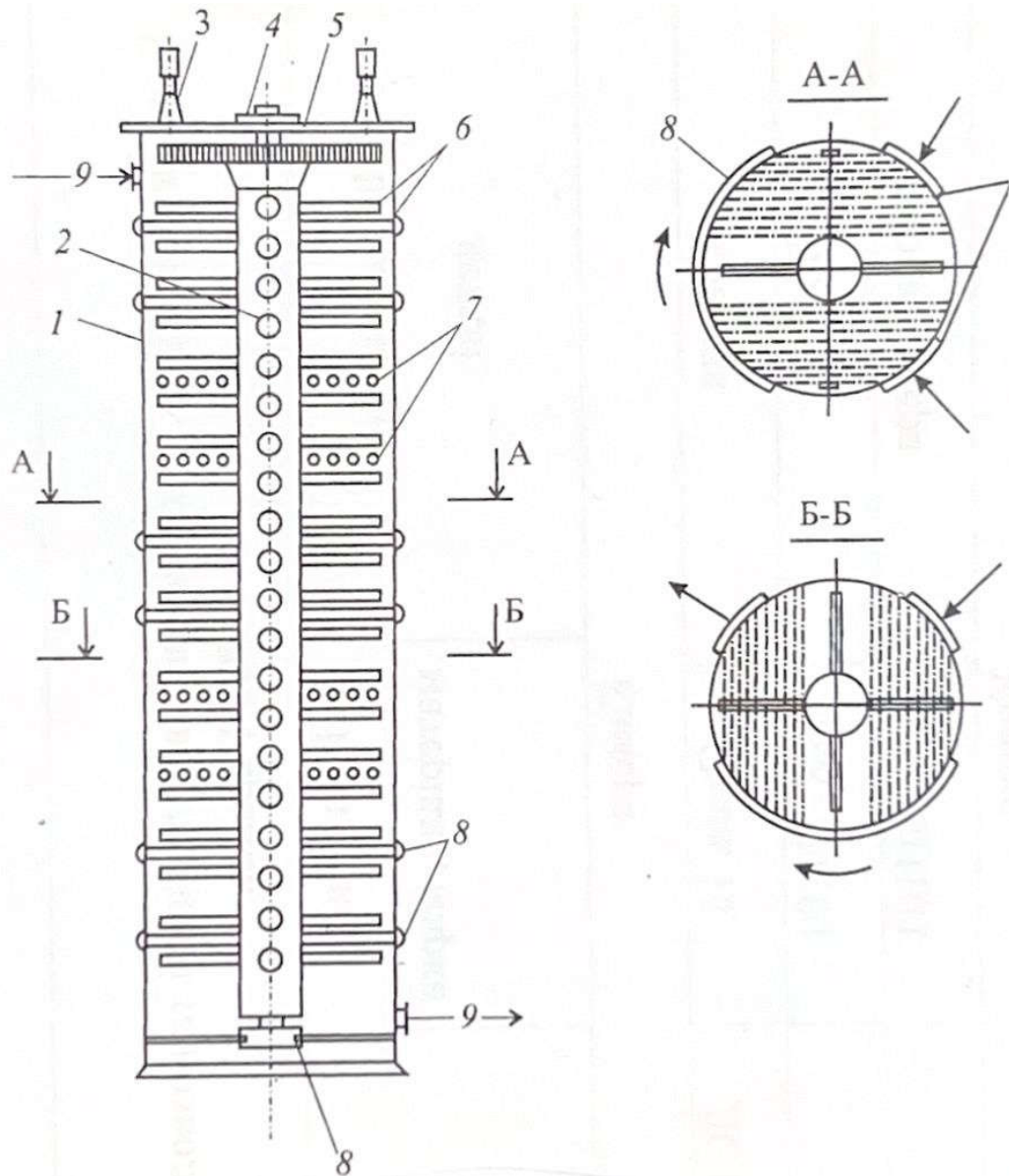


Рис. 3. Вертикальний перемішувач-кристалізатор ШІ–ПКВ: 1 – корпус; 2 – трубовал; 3 – привод; 4 – верхня опора; 5 – шестерня; 6,7 – теплообмінні трубки; 8 – колектори; 9 – нижня опора.

Одним із недоліків цього перемішувача-кристалізатора є використання в ньому електромеханічного приводу для обертання трубовала.

Модернізований перемішувач-кристалізатор наведено на рисунку 4.

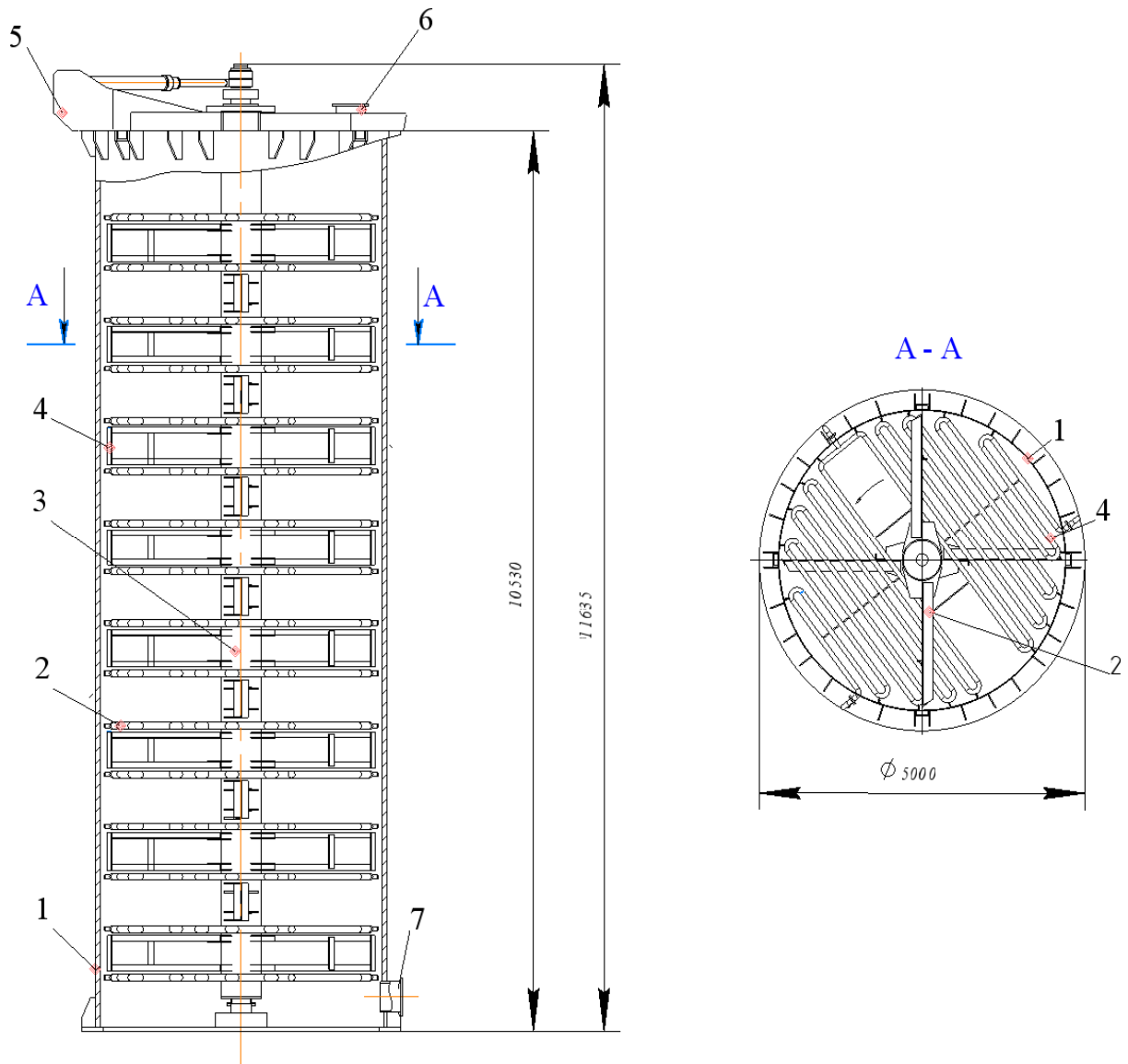


Рис. 4. Вертикальний перемішувач-кристалізатор з модернізованим приводом:

- 1 – корпус; 2 – поверхня теплообміну; 3 – трубовал; 4 – лопаті перемішувач;
5 – гідропривід; 6 – патрубок завантаження утфелем; 7 – патрубок виходу утфеля

Корпус утфелеперемішувача-кристалізатора складається з трьох царг. Всередині їх розміщена поверхня теплообміну. Трубовал діаметром 800 мм складається також із трьох царг, з'єднаних між собою.

Привід трубовалу має два гідроциліндри (рис. 5), розташованих між перемішуючого органу та мінімізує утворення інкрустаційного шару цукру.

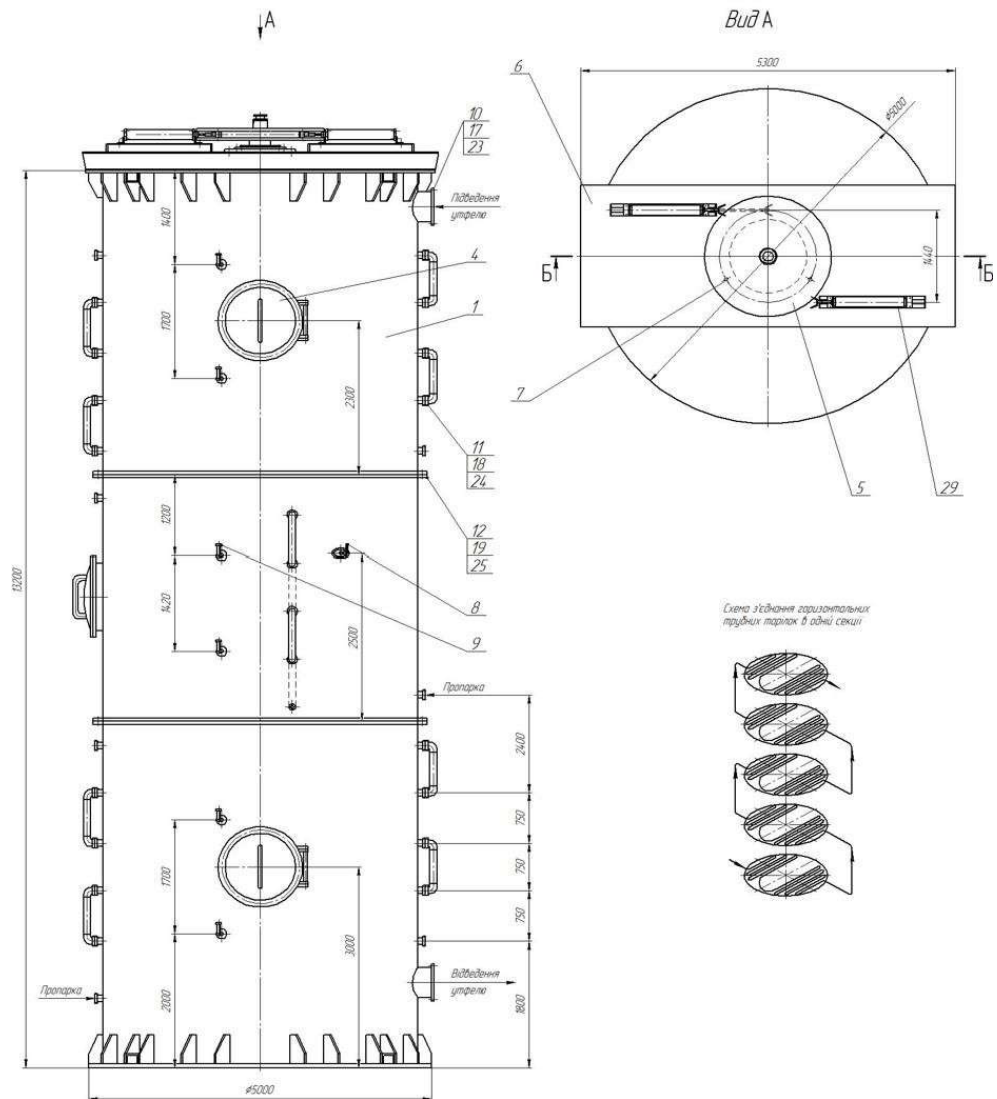


Рис. 5. Варіант розташування гідроциліндрів привода, що забезпечує зворотно-обертний рух перемішуючого органу на 160°

На рис. 6 наведено варіант розташування гідроциліндрів приводу вертикального перемішувача-кристалізатора, що забезпечує обертовий рух на 360° перемішувального робочого органу.

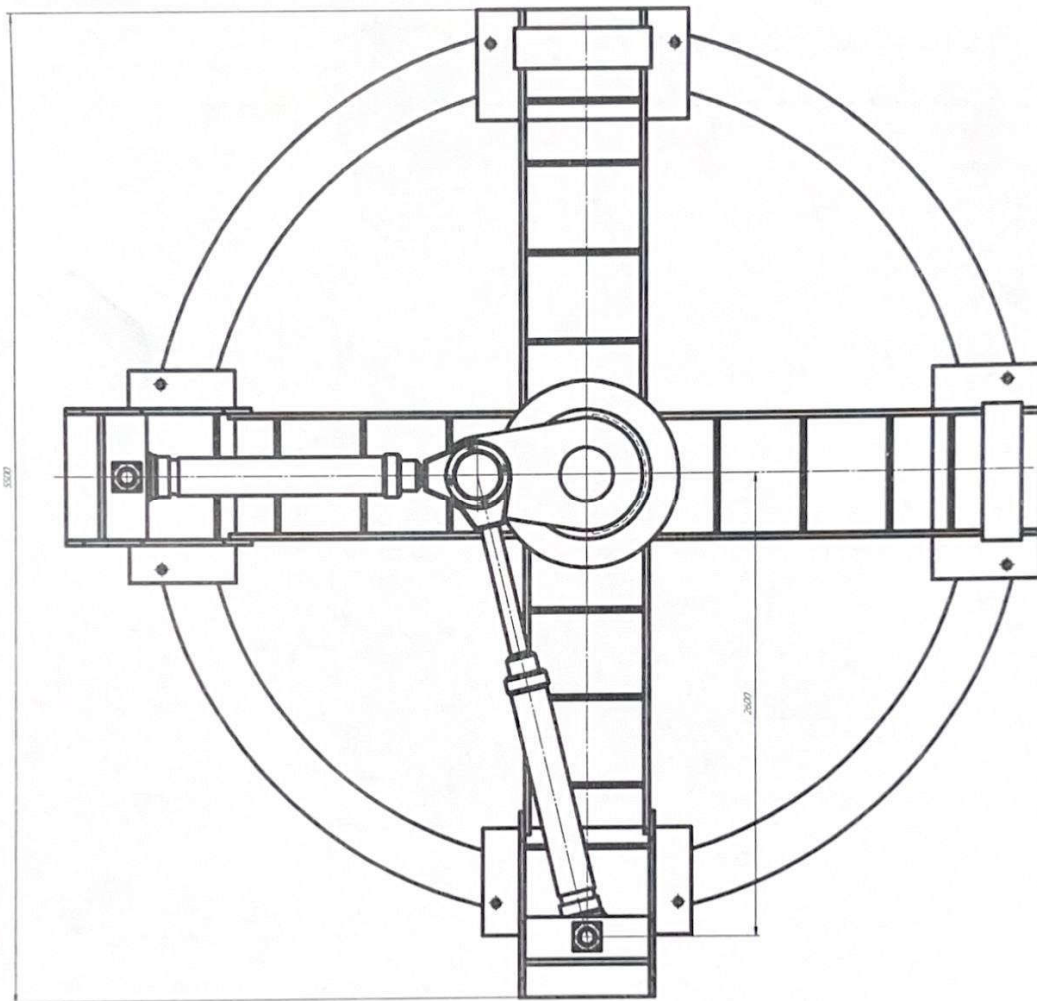


Рис.6. Варіант встановлення двох гідроциліндрів для перемішувального органу вертикального перемішувача-кристалізатора
Перевагою гідравлічного привода є відносно невелика металоемність, плавність роботи, уникнення великих пускових моментів, простота в обслуговуванні та технічному сервісі.

Застосування вертикальних перемішувачів-кристалізаторів для додаткової кристалізації сахарози на ділянці політермічної кристалізації забезпечує додаткове знецукрення меляси і поліпшує роботу центрифуг.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відповідно до рекомендацій Укрцукру за існуючих технологій під час кристалізації утфеля останнього продукту охолодження здійснюється розбавлення утфеля водою чи цукровим розчином. Наші дослідження показали, що розбавлення водою утфелю останнього ступеня кристалізації сахарози на ділянці політермічної кристалізації охолодження порушує ізогідричні мови ведення процесу внаслідок додатково введеної води, яка є значною мелясоутворюючою речовиною. Розбавлення утфелю цукровим розчином низької чистоти майже в 2 рази зменшує швидкість подальшої кристалізації. Застосування проміжного нагрівання утфелю останнього ступеню кристалізації замість розбавлення водою, мелясою чи цукровим розчином забезпечує ізогідричні умови процесу політермічної кристалізації.

Велике значення має чітке узгодження швидкості охолодження утфелю останнього ступеня кристалізації зі швидкістю кристалізації сахарози у цьому утфелі, що унеможлиблює вторинне кристалоутворення. Вторинне кристалоутворення відбувається за умов, коли швидкість охолодження більше від швидкості кристалізації. У випадку коли швидкість охолодження менше за швидкість кристалізації, збільшується тривалість процесу. Це призводить до зменшення виробничої потужності ділянці політермічної кристалізації сахарози останнього ступеня кристалізації.

Для реалізації нових технічних рішень на ділянці політермічної кристалізації сахарози охолодження утфеля останнього ступеня кристалізації в перемішувачах-кристалізаторах пропонується використовувати удосконалену апаратурно-технологічну схему (рис. 7). Така схема оснащена нагрівачами проміжного та кінцевого нагрівання утфеля, гідравлічними приводами перемішування утфелю в кристалізаторах.

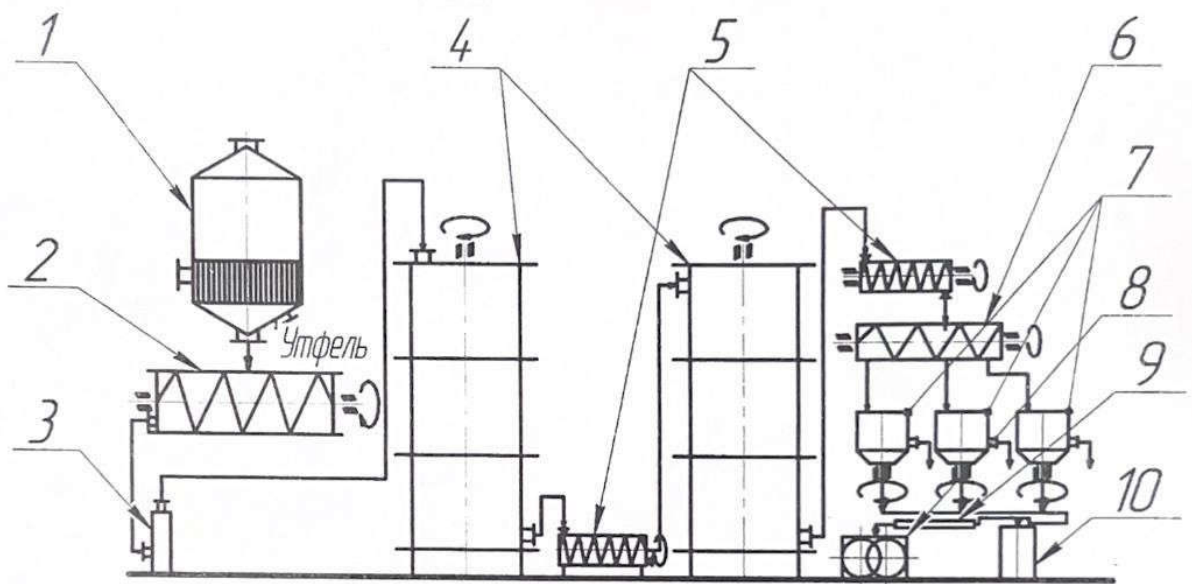


Рис. 7. Удосконалена апаратурно-технологічна схема політермічної кристалізації з проміжним нагріванням утфеля останнього ступеня кристалізації: 1 – вакуум-апарат; 2 – приймальний перемішувач; 3 – тифельний насос; 4 – вертикальні перемішувачі-кристалізатори; 5 – нагрівач відповідно проміжного та кінцевого нагрівання утфеля; 6 – утфелерозподільник; 7 – центрифуги; 8 – перемішувачь афінаційної маси; 9 – шнек жовтого цукру; 10 – збірник меляси

Температурний регламент модернізованої дільниці політермічної кристалізації сахарози наведений на рисунку 8.

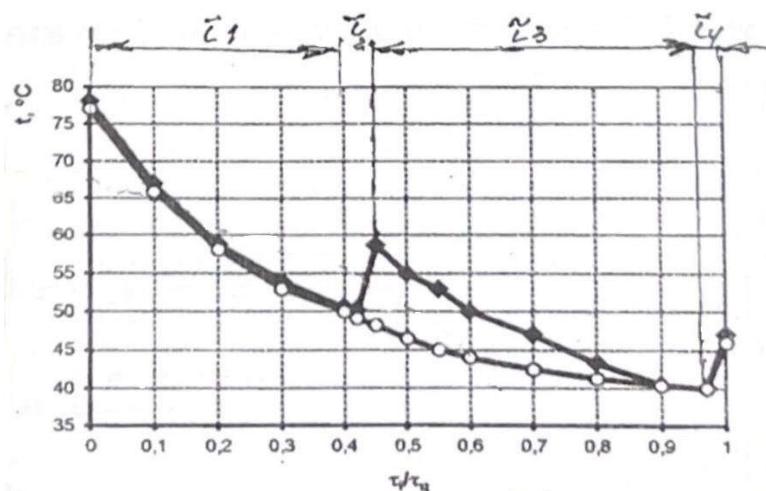


Рис. 8. Температурний режим реалізації політермічної кристалізації сахарози:
 τ_1 – зона охолодження; τ_2 – зона проміжного нагрівання; τ_3 – зона охолодження;
 τ_4 – зона нагрівання утфеля перед центрифугуванням

Як нагрівачі проміжного нагрівання утфелю на ділянках політермічної кристалізації сахарози можуть застосовуватись: теплообмінні пристрої зі шнековим та сорочковим нагрівачами (рис. 9); теплообмінні пристрої типу «труба в трубі»; нагрівачі електромагнітним полем надвисокої частоти.

Конструкція теплообмінника для проміжного нагрівання утфеля показана на рисунку 9.

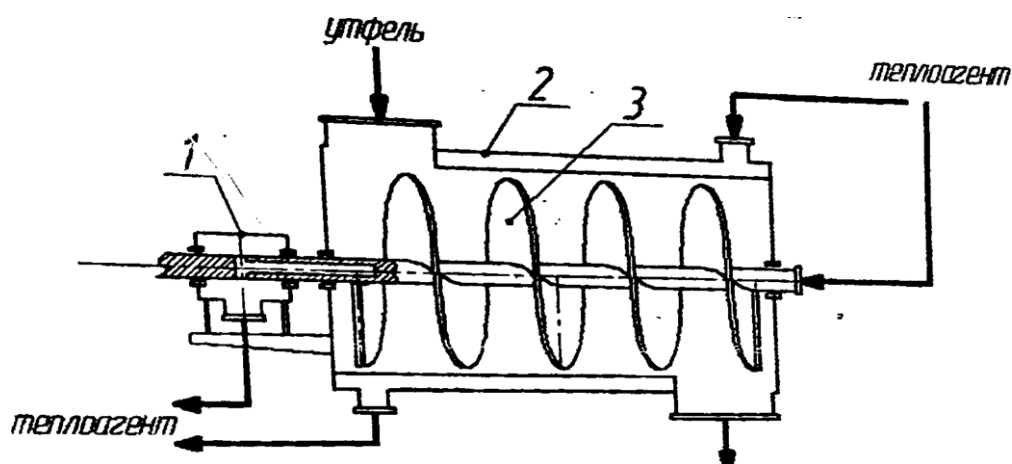


Рис. 9. Схема теплообмінника: 1 – відвідник води; 2 – теплообмінна сорочка;
3 – шнековий нагрівач

Теплообмінник складається із циліндричного корпусу обгорнутого теплообмінною сорочкою. Всередині змонтовано трубобал. На трубобалу закріплений пустотілий шнек. Теплоагентом слугує вода, яка одночасно надходить через патрубки в трубобал і нагріває сорочку. Теплоагент рухається в режимі протитечії відносно руху утфеля. Для відведення теплоагента (води) із системи слугує пристрій 1.

Аналіз літературних джерел в галузі політермічної кристалізації сахарози показав, що в теперішній час практично без виключення використовують розбавлення утфелю водою, мелясою чи цукровим розчином. Такий стан порушує ізогідричні умови процесу політермічної кристалізації. Для

усунення такого недоліку на кафедрі технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування запропоновано замінити розбавлення утфелю водою на проміжне нагрівання утфелю після того як температура утфелю внаслідок охолодження знизиться до 50 °С.

Розбавлення утфелю водою порушує ізогідричні умови кристалізації. При цьому, за рахунок того, що вода має високий мелясоутворюючий коефіцієнт, який дорівнює 2,3...2,7, збільшується кількість меляси та втрати сахарози в ній.

Нами вирахована кількість утворення меляси в залежності від кількості води, необхідної для розбавлення утфелю останнього ступеня кристалізації. За даними М.А. Люсого, кількість води для розбавлення утфелю, наприклад від $CP = 95,5\%$ утфелю після вакуум апарата до $CP = 90,0\%$ утфелю після політермічної кристалізації складає 0,55 м³ на 10 тон утфелю. Для вакуум апарата місткістю 60 тон утфелю кількість води на розбавлення складає 3,3 м³. За аналогією кількість води що використовується на розбавлення 60 тон утфелю (1 вар вакуум-апарата) наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вміст CP в утфелі після вакуум апарата, %	Вміст CP в утфелі в кінці політермічної кристалізації, %	Кількість води на розбавлення м ³ на 10 тон утфеля	Кількість води на розбавлення м ³ на 60 тон утфеля
95,5	90,0	0,55	3,3
95,0	91,0	0,44	2,64
94,5	91,5	0,33	1,93

94,0	92,0	0,22	1,32
93,5	92,5	0,11	0,66
93,0	93,0	0	0

Враховуючи те, що вода є однією із м'ясоутворюючих речовин, визначимо кількість додаткової м'яси, що утворюється внаслідок розбавлення утфелю водою (рис. 10) для м'ясоутворюючих коефіцієнтах 2,3...2,7.

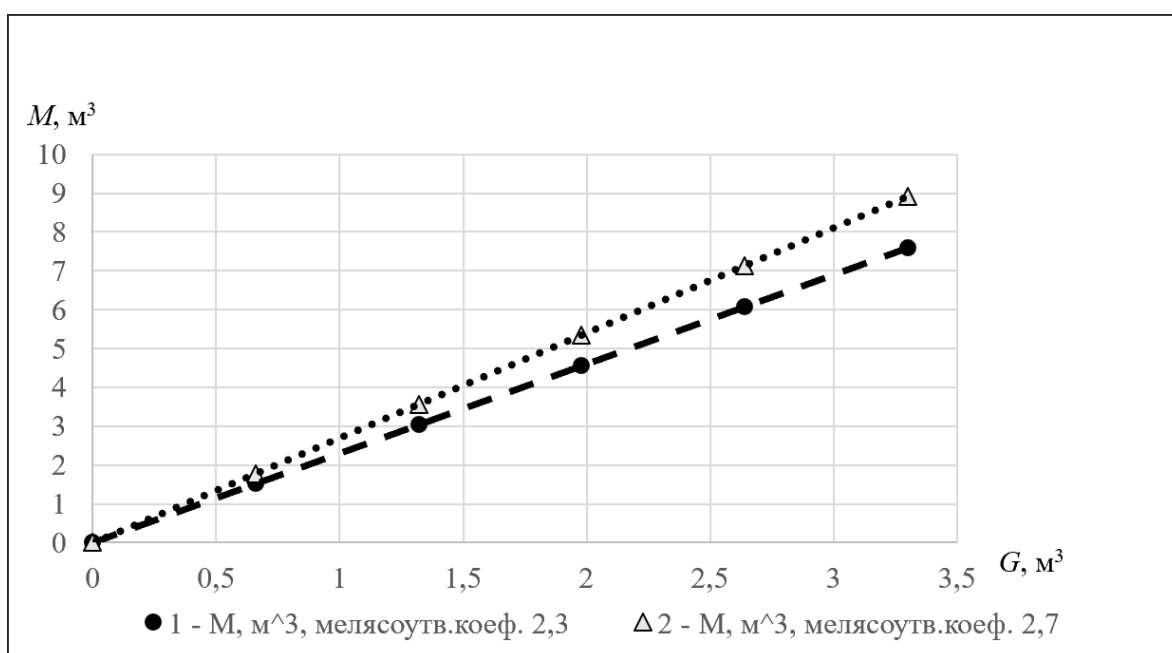


Рис. 10. Залежність кількості додаткової м'яси M від кількості води G , що використана на розбавлення утфелю

З вищезазначених розрахункових результатів досліджень видно, що залежність кількості додаткової м'яси, отриманої в результаті проміжного розбавлення утфелю останнього ступеню кристалізації від кількості води, що використана на розбавлення носить лінійний характер незалежно від величини м'ясоутворюючого коефіцієнта.

Отже, використання води на проміжне розбавлення утфелю останнього ступеня кристалізації недоцільне в наслідок порушення ізогідричних умов ведення процесу, значного утворення додаткової меляси та збільшення вмісту сахарози в ній.

Велике значення для підтримання раціонального темпу охолодження утфелю останнього ступеня кристалізації має його чистота. Від неї залежить час охолодження утфелю, який має чітко відповідати темпу кристалізації сахарози для підтримання необхідного пересичення міжкристального розчину.

Залежність тривалості політермічної кристалізації сахарози від чистоти утфелю отриманого в вакуум-апараті приведена на рис. 11.

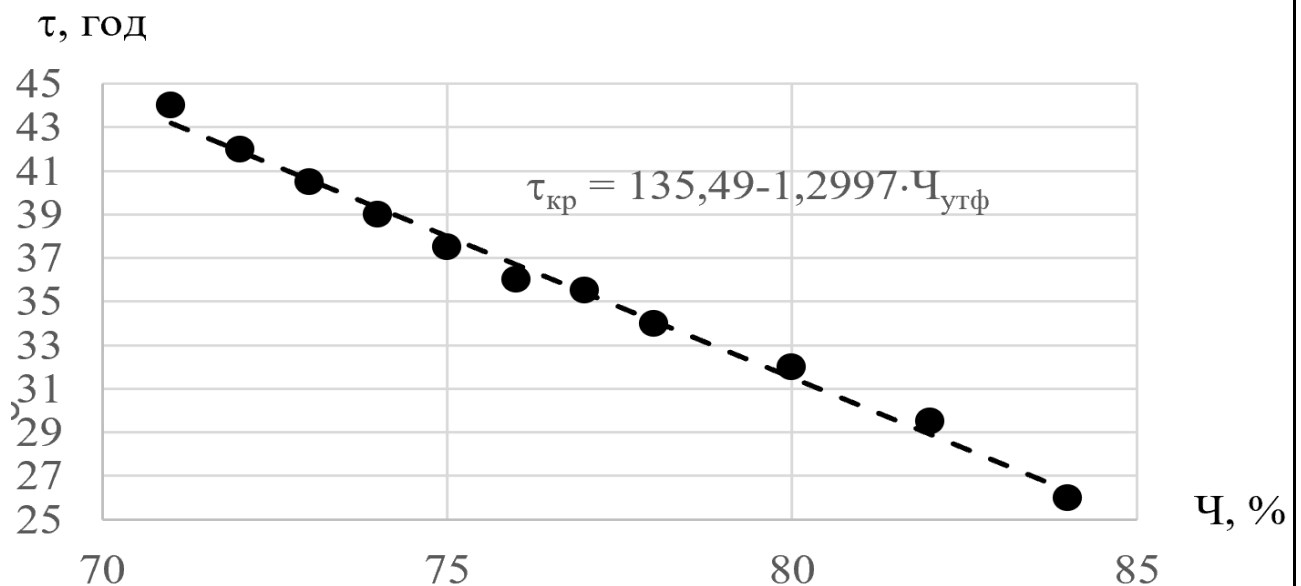


Рис. 11. Тривалість політермічної кристалізації сахарози утфеля останнього ступеня кристалізації в функції $\tau=f(Ч_{утф})$.

Дотримання таких умов політермічної кристалізації чітко узгоджує швидкість охолодження утфелю в перемішувачах-кристалізаторах зі швидкістю кристалізації утфелю в них.

Наші розрахунки свідчать про те, що в разі розбавлення утфелю останнього ступеня кристалізації водою, кількість додаткової меляси отриманої при одному вару у вакуум-апараті масою 60 тон, складає до 9 м³. Це обумовлює додаткові втрати цукру в мелясі. Отже, розбавлення утфеля водою при політермічній кристалізації порушує ізогідричні умови ведення процесу, як наслідок, зменшення ефекту політермічної кристалізації сахарози.

Усунути це негативне явище можливо застосуванням проміжного нагрівання утфелю останнього ступеня кристалізації замість розбавлення водою, що забезпечує ведення процесу в ізогідричних умовах

5. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Розрахунок виробничої потужності дільниці політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів оснащеної вертикальними перемішувачами-кристалізаторами.

Вихідні дані до розрахунку :

- місткість перемішувача-кристалізатора $V = 150\text{ м}^3$;
- кількість послідовно працюючих перемішувачів-кристалізаторів, $n = 2$ шт ;
 - коефіцієнт заповнення утфелем перемішувача-кристалізатора, $\varphi = 0,9$;
 - густина утфеля, $\rho = 1,45 \text{ тон/м}^3 = 1450 \text{ кг/м}^3$;
 - час охолодження утфелю, $\tau = 34$ годин ;
- кількість утфелю останнього ступеня кристалізації, $a = 8,5\%$.

Виробничу потужність дільниці політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів визначаємо за формулою:

$$A = \frac{100 \cdot 24 \cdot V \cdot \varphi \cdot n \cdot \rho}{\tau \cdot a} = \frac{100 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 0,9 \cdot 2 \cdot 1,450}{34 \cdot 8,5} = 3251 \text{ тона/добу.}$$

Отже, виробнича потужність дільниці політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів забезпечує виробничу потужність цукрового заводу 3251 т/перероблення цукрових буряків за добу.

Розрахунок гідропривода

Одним із елементів модернізації дільниці політермічної кристалізації сахарози з утфелю останнього ступеня кристалізації є заміна електромеханічного привода перемішувача-кристалізатора на гідравлічний. Використання гідравлічного привода замість електромеханічного має свої переваги:

- плавність обертання трубовала перемішувача-кристалізатора;
- надійність в роботі;
 - простота монтажу і технічного сервісу;
 - низький показник шуму.

Загальний вигляд гідроциліндра наведено на рисунку 12.

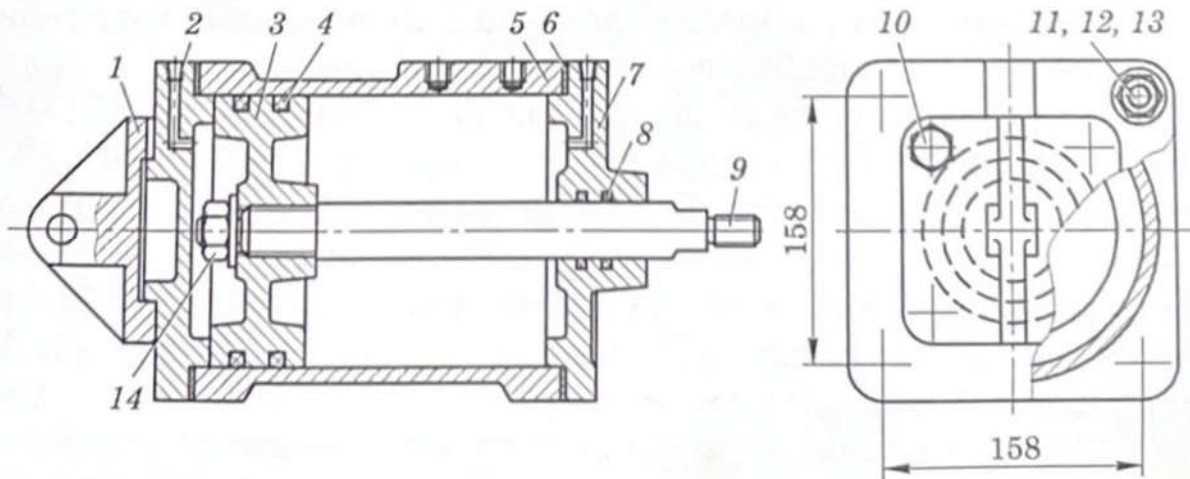


Рис. 12. Гідроциліндр привода перемішувача-кристалізатора:

- 1 – проушина; 2 – задня кришка; 3 – поршень; 4 – ущільнююче кільце;
 5 – корпус; 6 – прокладка; 7 – передня кришка; 8 – ущільнююче кільце;
 9 – шток; 10 – болт; 11 – шпилька; 12 – гайка; 13 – шайба; 14 – гайка.

Вихідні дані до розрахунку гідропривода приймаємо такі, як до розрахунку перемішувача-кристалізатора Ш1-ПКВ, що модернізується:

– швидкість обертання валу $U = 0,5 \div 0,6$ об/хв, що відповідає швидкості 0,017 м/с.

– крутний момент $M_{кр} = 277590$ Н/м ;

– хід переміщення поршня $H = 1$ м ;

– плече кривошипа $L = 0,5$ м ;

– внутрішній діаметр циліндра $D = 150$ мм .

Розв'язок. Робоча площа поршня:

$$F = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} = 0,0176 \text{ м}^2 .$$

Зусилля, що діє на шток:

$$P = \frac{M}{L} = \frac{277590}{0,5} = 555180 \text{ Н} .$$

В даному випадку величина зусилля вирахована без витрат на тертя. Фактичне зусилля з його врахуванням:

$$P_{\text{факт}} = \frac{P}{\eta_m},$$

де η_m – механічний ККД циліндра: η_m коливається в межах 0,85...0,97. В нашому випадку приймаємо значення механічного ККД $\eta = 0,95$.

$$P_{\phi} = \frac{555180}{0,95} = 584400 \text{ Н.}$$

Звідси визначаємо сумарну потужність потоку рідини до гідроциліндра

$$N_c = P_p \cdot v_{\text{штока}} = 584400 \cdot 0,017 = 9,9 \text{ кВт.}$$

За іншої існуючої методики визначаємо потужність рідини, що подається до гідроциліндра.

Розрахунковий об'єм рідини:

$$Q_p = v \cdot F = 0,017 \cdot 0,0176 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Фактичний об'єм рідини, що надходить в гідроциліндр:

$$Q_{\phi} = Q_p - Q_{\text{пр}},$$

де $Q_{\text{пр}}$ – кількість рідини що протікає через ущільнення поршня.

$$Q_{\text{пр}} = k_{\text{пр}} \cdot F \cdot P_{\phi},$$

де $k_{\text{пр}} = 1,7 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ – коефіцієнт перетікання через ущільнення поршня.

$$P_{\phi} = \frac{P + P_{\text{тр}}}{F},$$

де P_{ϕ} – сила тертя в рухомих спряженнях, $P_{\text{тр}} = 1200 \text{ Н}$.

$$P_{\phi} = \frac{555180 + 1200}{0,0176} = 31,6 \cdot 10^6 \text{ Н.}$$

Визначаємо витрати рідини:

$$Q_{\text{вт}} = 1,7 \cdot 10^{-11} \times 0,0176 \times 31,6 \cdot 10^6 = 0,945 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Фактичне надходження рідини в циліндр:

$$Q_{\phi} = Q_{\text{вт}} + Q_p = 3 \cdot 10^{-4} + 0,0945 \cdot 10^{-4} = 3,0945 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

Потужність потоку рідини, що підведена до гідроциліндра

$$N = P_{\phi} + Q_{\phi} = 31,6 \cdot 10^6 \times 3,0945 \cdot 10^{-4} = 97,8 \cdot 10^2 \text{ Вт} = 9,78 \text{ кВт}.$$

Порівнюючи результати розрахунку потужності, що підводиться з рідиною до гідроциліндра за двома методиками, можна констатувати, що величини потужності практично співпадають. Похибка складає 0,099, тобто в межах 1 відсотка, що засвідчує правильність визначених і прийнятих конструкційних характеристик гідроциліндра.

Розрахунок на міцність корпусу перемішувача-кристалізатора.

Розрахунок корпусу зводиться до визначення товщини його стінки. З цією метою використовуємо відому формулу:

$$S = \frac{\eta_1 \cdot \gamma \cdot h_1 \cdot r}{m \cdot R_{зв}};$$

де $\eta_1 = 1,1$ – коефіцієнт перевантаження; $\gamma = 1450 \text{ кг/м}^3$ – густина утфеля; $h_1 = 1,1 \text{ м}$ – відстань від верхнього рівня речовини до днища; $r = 2,5 \text{ м}$ – внутрішній радіус царги; $m = 0,8$ – коефіцієнт умов роботи стінки корпусу; $R_{зв}$ – розрахунковий опір зварного шва розтягу при ручному зварюванні, $R_{зв} = 0,85 \cdot R$; R – розрахунковий опір сталі, $R = 16 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

$$S = \frac{1,1 \cdot 1,450 \cdot 10^{-3} \cdot 1,1 \cdot 2,5}{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1600 \cdot 10^5} = 0,004 \text{ м} = 4,03 \text{ мм}.$$

Із врахуванням запасу міцності корпусу за умов його експлуатації приймаємо товщину стінки $S = 12 \text{ мм}$.

6. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

В харчовому машинобудуванні, при виборі конструкційних матеріалів для виготовлення вертикальних перемішувачів-кристалізаторів, зважають на наступні фактори:

- обмеження стосовно контакту з харчовими продуктами;
- вартість виробу;
- надійність та довговічність виробу та його окремих деталей.

Внутрішні поверхні утфелеперемішувача-кристалізатора знаходяться в постійному контакті з цукровим розчином, який являє собою суміш кристалів цукру і міжкристального розчину. При цьому, кристали цукру відіграють роль образива, що сприяє підвищеному зношуванню поверхонь контакту. З метою усунення цього недоліка в промисловості застосовують покриття поверхонь виробу захисними плівками з полімерного матеріалу. Трубовал і лопаті виготовляють із сталевих труб діаметром 108 мм. Гідравлічний привід виготовляють із Ст.45. Корпус вальниць верхньої та нижньої опор виготовлять зі конструкційної сталі 10. Втулки виготовлені із сталі Ст.35. Вальнічні вузли виготовляють із наступних матеріалів: вали вальничних вузлів виготовляють із сталі Ст.5; корпус вальничних вузлів виготовляють із сталі 20Х13. Вкладиші вальниць ковзання виготовляють із бронзи Бр. ОЦС5-5-5.

Для виготовлення корпусу перемішувача-кристалізатора використовують сталь 12Х17Т. Низький вміст вуглецю в цій сталі забезпечує сприятливі умови для електродугового зварювання. Окрім того, хромисті сталі мають високу корозійну стійкість, високу міцність, пластичність та ударну в'язкість.

7. ТЕХНОЛОГІЯ СКЛАДАННЯ ОПОРИ ТРУБОВАЛА.

Для розроблення технологічної схеми складання вузла нами вибрана нижня опора трубовала вертикального перемішувача-кристалізатора. Рисунок 13.

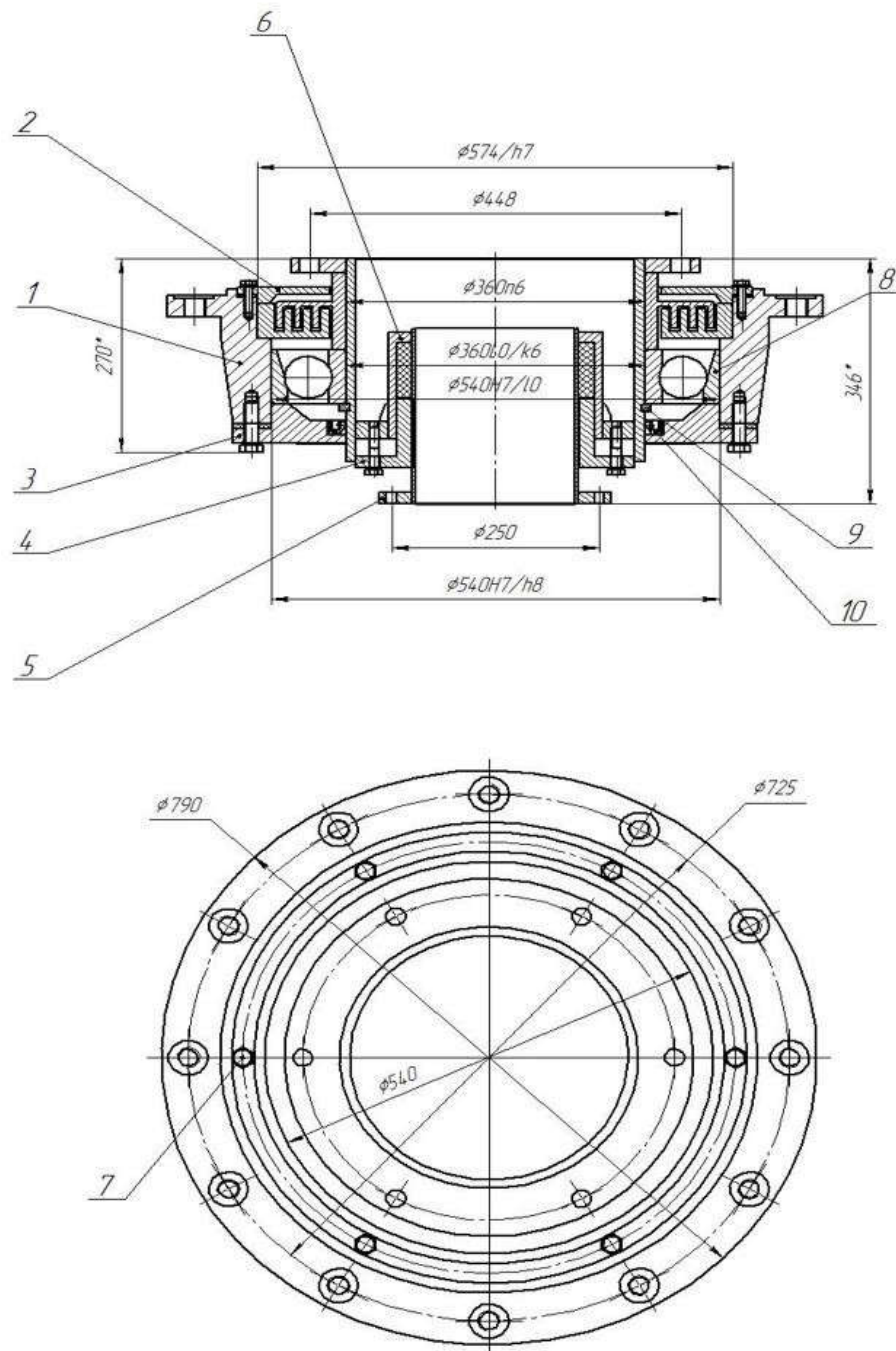


Рис. 13. Нижня опора трубовала вертикального перемішувача-кристалізатора

Нижня опора – це вузол, що слугує для закріплення трубовала та сприйняття радіальних та осьових навантажень, які діють в процесі експлуатації обладнання.

Технологічна схема складання наглядно демонструє послідовність складання і взаємозв'язок пов'язаних між собою складальних одиниць. В таблиці 3 наданий подетальний склад нижньої опори трубовала.

Конструкція нижньої опори трубовала передбачає складові одиниці першого порядку, а саме: Ск.1 – корпус; Ск.2 – стакан; Ск.3 – фланець; а також окремі стандартні деталі: болт 7, вальниця 8, прокладки 10, кільце 9.

Таблиця 3

Позиція	Назва деталі	Кількість деталей
1	Корпус	1
2	Фланець	1
3	Кришка	1
4	Стакан	2
5	Фланець	1
6	Стакан	1
7	Болт М10	12
8	Вальниця	1
9	Кільце	1
10	Сальникове ущільнення	1

Технологічна схема складання трубовалу представлена на рисунку 14.

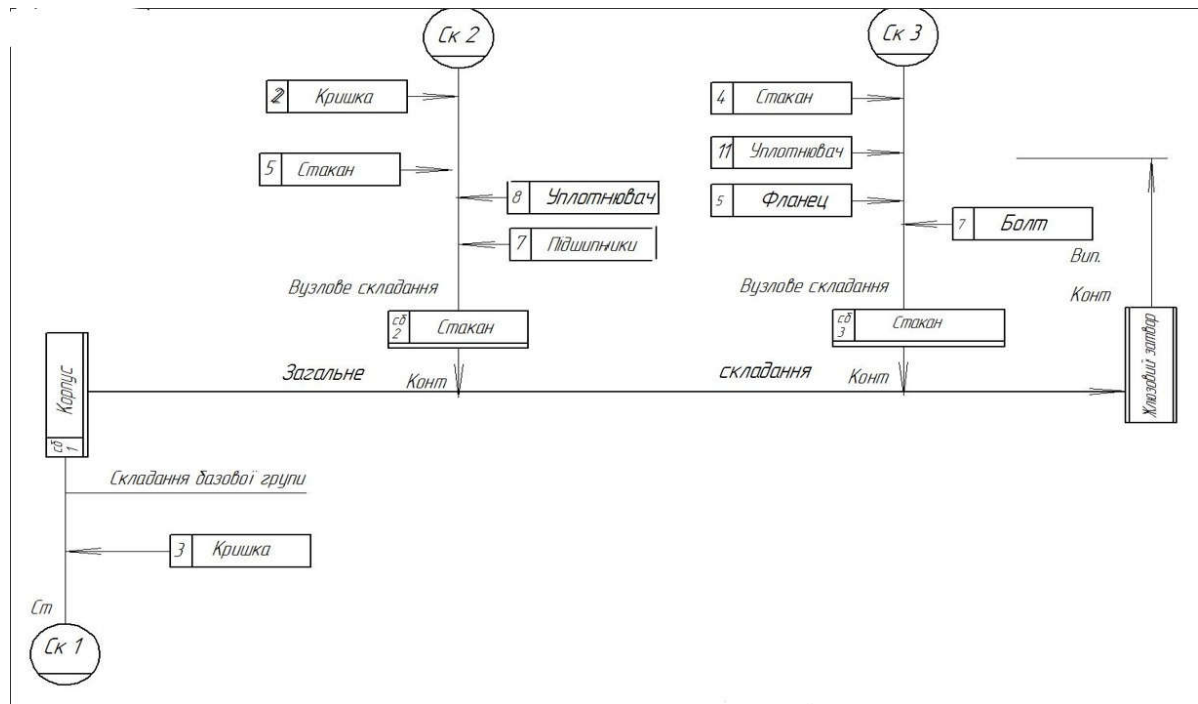


Рис. 14. Технологічна схема складання нижньої опори трубовала

Вертикальні лінії зі стрілками показують на цій схемі послідовність складальних одиниць першого порядку за допомогою стандартних деталей. У прямокутниках розміщені назви деталей і номери їх позицій на кресленику. А в прямокутниках з двома потовщеними лініями подані назви складальних одиниць першого порядку. На цій схемі застосовані також умовні позначення, що містять технологічні вказівки, наприклад Конт – це контроль. Технологічний маршрут складання нижньої опори містить номер операції та зміст переходу (таблиця 4).

Таблиця 4

Номер операції	Номер та зміст переходу
10. Складання корпусу (Ск.1)	10.1 Встановити корпус на складальний 1 стенд і закріпити його 10.2 Очистити нарізні отвори від стружки
20. Складання стакану (Ск2)	20.1 Встановити стакан на складальний стенд і закріпити його 20.2 Очистити отвори від стружки 20.3 Вставити прокладку 20.4 Встановити складальний вузол Ск.2 в Ск.1, закріпити болтами

30. Складання валу (Ск.3)	30.1 Встановити вал на складальний стенд і закріпити його 30.2 Встановити кришку 30.3 Встановити ущільнювач 30.4 Встановити вальницю 30.5 Встановити кільце 30.6 Встановити складальний вузол Ск.3 в складальний вузол Ск.1
40. Контрольна.	40.1 Проконтролювати правильність збирання вузла
50. Консервація	50.1 Нанести захисне покриття

Після розробки технологічного маршруту складання нижньої опори трубоваля переходять до безпосереднього складання вузла, визначивши необхідну кваліфікацію слюсарів-складальників.

8. ОСНОВИ МОНТАЖУ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ.

Монтаж дільниці політермічної кристалізації здійснює спеціалізована бригада робітників, що мають відповідний допуск для реалізації даного виду робіт. Перед виконанням монтажних робіт осіб, які будуть виконувати дану роботу мають вивчити паспорти на обладнання та пройти відповідний інструктаж з охорони праці.

До виконання робіт з технічного сервісу всі системи електроживлення мають бути знеструмлені, а на щитах електроживлення мають бути таблички «Не вмикати, працюють люди». Обладнання, що може виявитися під електричною напругою повинно бути заземленим(зануленим) у відповідності до ПУЗ.

Під час роботи на висоті, монтажники мають бути забезпечені відповідними засобами спецодягу (ремні, каски, одяг для зварювальних робіт, тощо). Опалубки повинні бути надійно закріплені та мати надійну огорожу. При виконанні зварювальних робіт потрібно чітко дотримуватись заходів з охорони праці. Всі роботи по переміщенню обладнання та його складових частин мають виконуватися із застосуванням підіймально-транспортних машин і механізмів. Всі монтажні роботи мають виконуватися у відповідності до спеціально розробленого проекту з організацією монтажу.

Монтаж перемішувачів-кристалізаторів виконують методом нарощування царг від нижньої до верхньої. Монтаж кристалізатора починають з корпусу, встановлюють нижню царгу на фундамент. Перевіряють правильність її положення у вертикальній та горизонтальній площинах за допомогою лазерних приладів. Нижню царгу закріплюють на фундаменту анкерними болтами. Потім на нижню царгу встановлюють середню та верхню царги. Після монтажу корпусу виконують всі роботи по збиранню та встановленню в робоче

положення трубовалу. Трубовал складається з трьох секцій до яких приварюють лопаті.

Після складання трубовалу здійснюють встановлення його в робоче положення перевіривши його вертикальність. Після цього, на верхній царги монтують привід перемішувача-кристалізатора.

Зібраний повністю перемішувач-кристалізатор перевіряють на герметичність трубовалу, трубопроводи, пустотілі лопаті гідравлічними випробуваннями водою за тиску 1,25 від робочого тиску.

З метою перевірки працездатності запуск рухомих механізмів перемішувача-кристалізатора здійснюють в режимі холостого ходу. Тривалість випробовування 8 годин.

В міжсезонний період, після зупинки роботи перемішувачів-кристалізаторів виконуються наступні роботи їх технічного сервісу та ремонту :

- від'єднання від мереж живлення електрострумом, водою, мастилом ;
- очищення поверхонь обладнання від виробничих залишків;
- визначення категорії складності ремонтних робіт;
- складання кошторису на ремонтні роботи та технічний сервіс ;
- здача обладнання в ремонт ;
- власне ремонтні та відновлювальні роботи;
- випробовування обладнання після виконання ремонтних та сервісних робіт;
- прийняття обладнання після ремонтних та сервісних робіт;
- за необхідності консервація обладнання для його зберігання.

Всі ремонтні та сервісні роботи по забезпеченню надійної експлуатації дільниць політермічної кристалізації виконують згідно системи планового технічного ремонту та обслуговування прийнятої на

цукрових заводах України. Для прикладу зупинимось, зокрема, на ремонті та технічному сервісі трубопроводів. Головним чином з'єднання трубопроводів здійснюється роз'ємним та нероз'ємними способами. Роз'ємні з'єднання здійснюють фланцевим , нарізаними, пресувальними та зтягувальними з'єднаннями. За необхідності використовують шпоночні, шліцеві з'єднання. Сюди також можна віднести з'єднання з вальницями кочення , з'єднання за допомогою муфт.

Нероз'єднані з'єднання: електрозварювання, газове зварювання, паяння, заклепочні з'єднання та з'єднання за допомогою політермічних матеріалів.

При виконанні технічного сервісу обладнання перевіряють технічний стан вальниць верхньої та нижньої опор трубоваду.

Технічний сервіс обладнання дільниці політермічної кристалізації у виробничій період включає постійний контроль за дотриманням технологічного і технічного регламенту роботи обладнання, змащування вузлів вальниць, наявність мастила в системі гідропривод , забезпечують безперебійну роботу засобів автоматичного контролю та регулювання процесу .



Рис. 15. Приклад монтажу вертикального перемішувача-кристалізатора ШІ-ПКВ фірми ТМА



Рис. 16 Приклад монтажу вертикального перемішувача-кристалізатора ТКВ фірми Техінсервіс з рухомими по вертимкалі секціями охолодження

9. ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТОМ ПРОЄКТУВАННЯ

Система автоматизації дільниці політермічної кристалізації має забезпечити оперативний контроль і управління процесом кристалізації цукрового утфеля останнього ступеня кристалізації. Дана система передбачає:

- контроль і регулювання рівня утфелю в перемішувачах-кристалізаторах;
- контроль і регулювання витрат і температури води, необхідних для охолодження утфеля в утфелеперемішувачах-кристалізаторах
- контроль температури утфеля по секціях кристалізатора, на виході із них;
- контроль і регулювання температури води, що йде на проміжне нагрівання утфелю;
- контроль і регулювання температури води, що витрачається на нагрівання утфелю перед центрифугуванням;
- контроль та регулювання рівня утфелю в розподільнику;
- контроль та регулювання витрат рідкого мастила в системі гідравлічного привода;
- забезпечення сталою напругою живлення електрострумом: шафа силова 380/220 вольт; щит керування 220 вольт; система сигналізації 24 вольт; частота електроструму 50гц.

Система автоматизованого контролю та управління складається: з датчиків і виконавчих механізмів, які встановлені по місцю; засобів дистанційного управління механізмами, що розміщені на щиту управління.

Автоматизація цукрового виробництва в цілому забезпечує якісну і ефективну роботу технологічних дільниць, підвищує продуктивність праці, забезпечує максимальний вихід цукру та максимальне знецукрення меляси.

10. ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ

На цукровому підприємстві, зокрема, на дільниці політермічної кристалізації сахарози шляхом охолодження цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації заходи з охорони праці базуються на Законі України «Про охорону праці», а також на «Кодексу законів про працю України».

Основне завданням охорони праці – забезпечення життя і здоров'я працюючих, створення найбільш безпечних умов праці. Одним із основних складових попередження нещасних випадків є інструктажі робітників з охорони праці. Ці інструктажі поділяються на вхідний, первинний, повторний, плановий, цільовий. Необхідний рівень охорони праці на підприємстві забезпечують :

- фінансування заходів з охорони праці;
- мікроклімат виробничих приміщень на ділянці політермічної кристалізації температура повітря має не перевищувати 22 °С, а вологість не вище 75 % ;
- освітлення виробничих приміщень;
- дотримання заходів при монтажу , технічному сервісу та ремонту обладнання;
- електробезпека;
- забезпечення рівня допустимого шуму і вібрації;
- забезпечення працюючих необхідними побутовими приміщеннями;
- забезпечення працюючих необхідним одягом;
- природна та штучна вентиляція виробничих та побутових приміщень;
- надійна термоізоляція обладнання та трубопроводів;
- забезпечення надійної роботи системи відведення стічної

води ;

– система водопостачання.

Заходи з охорони праці на ділянці політермічної кристалізації сахарози гарантують необхідний рівень безпеки для працюючих.

ВИСНОВКИ

Модернізація ділянки політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів шляхом охолодження утфелю останнього ступеня кристалізації передбачає:

– заміну проміжного розбавлення утфелю останнього ступеня кристалізації водою на проміжний підігрів, що забезпечить ізогідричні умови процесу кристалізації та максимальне знецукрення меляси;

– проміжне нагрівання утфелю на 8-10 °С після його охолодження до 50-55 °С підвищує ефект політермічної кристалізації сахарози до 8,2...8,4;

– запровадження гідроприводу для обертання трубовалу замість електромеханічного приводу значно покращує експлуатаційні характеристики та умови виконання сервісних робіт по обслуговуванню перемішувачів-кристалізаторів;

– використання води для проміжного розбавлення («розкачки») утфеля на ділянки політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів недоцільне внаслідок порушення ізогідричних умов ведення процесу, значної кількості утворення додаткової меляси та зменшення ефективності її знецукрення;

– на тривалість процесу політермічної кристалізації сахарози з нечистих цукрових розчинів значний вплив має чистота цього розчину. Зменшення чистоти розчину на 1% подовжує тривалість політермічної кристалізації сахарози на 0,6 години. Залежність тривалості політермічної кристалізації від чистоти цукрового розчину в першому наближенні описується залежністю:

$$\tau = 134,62 - 1,294(\text{Ч}_{\text{уг}}).$$

Наші розрахунки засвідчили, що в разі розбавлення утфеля останнього ступеня кристалізації водою кількість утвореної меляси в розрахунку на 1 вар масою 60 тон в вакуум-апараті, може сягати до 9 м³.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник / А.П. Ладанюк, В.Г. Тригуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. – К.: 2001. – 224 с.
2. Технологія цукру. Т.3. Кристалізація: Підручник: / А.А. Ліпець, В.М. Логвін, К.Д. Скорик, А.І. Українець, М.П. Купчик. – К.: ДП «Експрес-об'ява». – 2015. – 218 с.
3. Скорик К.Д. Промислова кристалізація цукру: Навч. посіб. – К.: РВЦ НУХТ, 2004. – 202 с.
4. Технологічний процес виробництва цукру із цукрових буряків. ПУП 15.83–37–106, 2007. – 420 с.
5. Мирончук В.Г. Ефективність проміжного нагріву утфеля останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / В.Г. Мирончук, О.А. Єщенко, М.М. Картава// Ukrainian FOOD Journal, №2. 2012. – С.73-77.
6. Мирончук В.Г. Моделювання кристалізації утфелю останнього продукту в перемішувачах-кристалізаторах / В.Г. Мирончук, О.А. Єщенко, М.М. Картава. //Наукові праці НУХТ, №42. 2012. – С.80-87.
7. Сухенко Ю.Г. Технологічні основи машинобудування. Лаб. практикум: Навч. посіб. / Ю.Г. Сухенко, Ю.І. Бойко. – К.: НУХТ, 2009. – 262 с.
8. Монтаж і технічний сервіс обладнання: Підручник/ В.Г. Мирончук, М.В. Якимчук, М.Д. Люлька, С.О. Володін. –К.: НУХТ, 2024. – 267 с.
9. Обладнання підприємств харчової та переробної промисловості: Підручник / За ред. В.Г. Мирончука. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
10. ДСТУ 2.001.2006 Єдина система конструкційної документації .Загальні положення .
11. Мирончук В.Г. Рекомендації промисловості щодо раціонального введення процесу кристалізації сахарози охолодження .//В.Г. Мирончук , М.М. Самілик, Ю.В. Назаренко, С.М. Сабадаш . // Вісник Сумського аграрного університету. Випуск 3(49). 2022. – С. 39-44