

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра _____ Технології цукру і підготовки води _____

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

(підпис) Кочубей-Литвиненко О.В.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) Гусятинська Н.А.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 181 «Харчові технології» _____

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Технології цукру та полісахаридів»

на тему: Дослідження ефективності очищення дифузійного соку з використанням модернізації відстійників та сучасних флокулянтів на ТОВ «Новооржицький цукровий завод»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЗТЦ-2-1М

Волосковець Марія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Гусятинська Наталія Альфредівна

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти _____

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент

Зав'ялов В.Л.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

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

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра Технології цукру і підготовки води

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 181 «Харчові технології»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології цукру та полісахаридів»

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ТЦ і ПВ

Гусятинська Н.А.

“ ” 2021 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Волосковець Марія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження ефективності очищення дифузійного соку з використанням модернізації відстійників та сучасних флокулянтів на ТОВ «Новооржицький цукровий завод»

керівник роботи Гусятинська Наталія Альфредівна, професор, доктор технічних наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 28 ” 10 2020 року № 883кс

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи модернізований гравітаційний відстійник соку сатурації, опис технологічної схеми - сокоочисного відділення, оптимізація використання флокулянтів на основі поліакриламиду та тривалості процесу відстоювання соку I сатурації.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Наукова частина Літературний огляд. Аналіз фізико-хімічних процесів очищення дифузійного соку. Об'єкти і методи досліджень. Експериментальні дослідження. Дослідження ефективності очищення дифузійного соку. Оптимізація дослідних даних. Еколого-економічне обґрунтування очищення соку I сатурації додатковими реагентами. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу _____

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається з 5 розділів, виконана на 100 сторінках, ілюстрована 13 таблицями і 24 рисунками, висновку, списку літературних джерел з 51 найменувань та 4 додатків.

Об'єктом дослідження магістерської роботи – є технологія очищення дифузійного соку бурякоцукрового виробництва.

Предметом дослідження – є використання додаткових хімічних реагентів – флокулянтів на основі поліакриламідів під час відстоювання соку І сатурації, модернізований відстійник соку І сатурації.

Актуальність досліджуваної теми в тому, що відповідність цукру сучасним вимогам до якості та безпечності цукру залежить від ефективності процесу очищення дифузійного соку під час проведення дефекосатурації. Також від ступеню очищення соку від нецукрів залежить витрата енергетичних ресурсів та вихід цукру, тобто собівартість переробки цукрового буряка. Відсутність великих капіталовкладень у дороге устаткування змушує постійно шукати рішення через оптимізацію споживання допоміжних матеріалів, підбирати режими роботи обладнання при зміні якості сировини та слідкувати за дотриманням технологічних режимів при виробництві.

Ключові слова: дифузійний сік, сік І сатурації, відстійник соку І сатурації, ефект очищення дифузійного соку, флокулянт.

АННОТАЦИЯ

Магистерская работа состоит из 5 разделов, выполнена на 100 страницах, иллюстрирована 13 таблицами и 24 рисунками, заключения, списка литературных источников из 51 наименований и 4 приложений.

Объектом исследования магистерской работы - является технология очистки диффузионного сока свеклосахарного производства.

Предметом исследования - является использование дополнительных химических реагентов - флокулянтов на основе полиакриламида при отстаивании сока 1 сатурации, модернизированный отстойник сока 1 сатурации.

Актуальность исследуемой темы в том, что соответствие сахара современным требованиям к качеству и безопасности сахара зависит от эффективности процесса очистки диффузионного сока во время проведения дефекосатурации. Также от степени очистки сока от несахаров зависит расход энергетических ресурсов и выход сахара, то есть себестоимость переработки сахарной свеклы. Отсутствие больших капиталовложений в дорогостоящее оборудование заставляет постоянно искать решения через оптимизацию потребления вспомогательных материалов, подбирать режимы работы оборудования при изменении качества сырья и следить за соблюдением технологических режимов при производстве.

Ключевые слова: диффузный сок, сок 1 сатурации, отстойник сока 1 сатурации, эффект очистки диффузионного сока, флокулянт.

ANNOTATION

The master's work consists of 5 sections, made on 100 pages, illustrated with 13 tables and 24 figures, conclusions, a list of literature sources of 51 titles and 4 applications.

The object of research of the master's work is the technology of purification of diffusion juice of beet sugar production.

The subject of the research is the use of additional chemical reagents - flocculants based on polyacrylamide when settling the juice of 1 saturation, a modernized sump of 1 saturation juice.

The relevance of the research topic is that the compliance of sugar with modern requirements for the quality and safety of sugar depends on the efficiency of the process of purification of diffusion juice during defocaturation. Also, the consumption of energy resources and the yield of sugar, that is, the cost of processing sugar beets, depend on the degree of purification of juice from non-sugars. The absence of large investments in expensive equipment makes us constantly look for solutions through optimization of the consumption of auxiliary materials, select operating modes of equipment when the quality of raw materials changes and monitor compliance with technological modes in production.

Key words: diffuse juice, juice of 1 saturation, sump of juice of 1 saturation, the effect of purification of diffusion juice, flocculant.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ	11
1.1. Сучасні вимоги до якості та безпечності цукру	11
1.2. Загальна характеристика нецукрів дифузійного соку.....	15
1.3. Аналіз основних процесів очистці дифузійного соку.....	18
1.4. Методи підвищення ефективності очищення дифузійного соку	23
1.5. Застосування додаткових реагентів для підвищення ефективності очистки дифузійного соку	27
Висновки та рекомендації з практичного використання результатів	30
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
2.1. Об'єкти та предмет досліджень	32
2.2. Методи досліджень	33
2.3. Математична обробка та оцінка точності експериментів	36
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ	37
3.1. Обґрунтування механізму дії флокулянту на основі ПАА під час освітлення соку I сатурації	37
3.2. Дослідження ефективності використання флокулянтів на основі ПАА ..	40
3.3. Дослідження процесу відділення осаду соку I сатурації у відстійниках..	59
3.3.1. Опис технологічної схеми очищення соку на Новооржицькому цукровому заводі	59
3.3.2. Аналіз якості соків у виробництві	67
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ	73
4.1. Постановка задачі оптимізації	73
4.2. Визначення рівнянь регресії	73
4.2.1. Визначення залежності швидкості осадження осаду	73

4.2.2. Визначення залежності ефективності освітлення соку 75

РОЗДІЛ 5. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

ОЧИЩЕННЯ СОКУ І САТУРАЦІЇ ДОДАТКОВИМИ

РЕАГЕНТАМИ 79

5.1. Екологічне обґрунтування застосування флокулянту на основі ПАА ...79

5.2. Економічні розрахунки впровадження технології очищення дифузійного соку аніонним флокулянтом 80

ВИСНОВКИ 85

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 86

ДОДАТКИ 91

ВСТУП

Цукор є одним з джерел легкої енергії для роботи організму людини. У повсякденному житті використовується для приготування їжі та широко у харчовій промисловості: хлібобулочній, кондитерській, м'ясопереробній та у виробництві соків і безалкогольних напоїв. Тому виробництво цукру є однією з стратегічних галузей харчового виробництва України. Проте існують суттєві проблеми розвитку ринку цукрового виробництва в Україні і світі пов'язані з надлишком виробленої продукції відповідно до ринку споживання і часто низькою ціною на нього. Окрім того, виробники працюють в умовах дефіциту сировини, здорожчання енергоресурсів, застарілого обладнання, недостатньо високої кваліфікації сезонного персоналу та інших негативних чинників.

Останні року вимоги до цукру як для продукту або компоненту харчового продукту, що споживає людина, посилюються на рівні законодавства та замовників. Введені в дію закони про харчову безпеку і оновлюються нормативи з вмісту забруднюючих речовин. Виробники напоїв вимагають у своїх специфікаціях на екстра білий цукор низьку кольоровість, відсутність слідів пестицидів, гербіцидів та добрив, що використовувалися при вирощуванні. Ці та низка інших вимог лягає на плечі виробників цукру.

Отримання якісного цукру з сировини різної якості у великому ступеню залежить від ефективного процесу очищення дифузійного соку підчас проведення дефекосатурації. Пошук рішень для удосконалення технології очищення дифузійного соку – це постійна задача вчених цукрової галузі та виробників. Від ступеню очищення соку від нецукрів (високомолекулярні сполук, редукувальних речовин, альфамінного азоту, солей кальцію тощо) залежить не тільки якісні показники цукру, а й витрата енергетичних ресурсів та вихід цукру, тобто собівартість переробки цукрового буряка.

Як показує досвід сучасних ефективних рентабельних виробництв, високого ступеня вилучення цукрози можна досягти на високопродуктивних цукрових заводах, що оснащені прогресивними технологічними схемами. Проте відсутність централізованих капіталовкладень у дороге устаткування призводить до скорочення заходів, які спрямовані на модернізації та переоснащення діючих і тим більш будівництва нових підприємств у галузі.

Тому необхідно постійно шукати рішення через економічне споживання допоміжних матеріалів, підбирати оптимальні режими роботи обладнання при зміні якості сировини та слідкувати за дотриманням технологічних режимів при виробництві.

Мета роботи – на основі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтувати та удосконалити технологію очищення дифузійного соку з використанням модернізованих відстійників та додаткових реагентів.

Для досягнення поставленої мети були сформовані наступні *завдання досліджень*:

- дослідження способів очищення соку дифузійного соку;
- дослідження технологічних показників дифузійного соку до очищення та після в різні сезони переробки;
- дослідження ефекту очищення при застосуванні флокулянтів різних марок в залежності від дозування та часу відстоювання;
- встановлення оптимальних параметрів дозування флокулянту та тривалості перебування соку I сатурації у відстійнику;
- розробити удосконалену технологічну схему очищення дифузійного соку з використанням модернізованих відстійників та флокулянту;
- провести еколого-економічне обґрунтування використання флокулянтів та модернізації відстійників.

Об'єктом дослідження в даній роботі виступає технологія очищення дифузійного соку бурякоцукрового виробництва.

Предметом досліджень є використання додаткових хімічних реагентів – флокулянтів на основі поліакриламідів під час відстоювання соку І сатурації, модернізований відстійник соку І сатурації.

Методи досліджень. Під час виконання магістерської роботи використовувались стандартні та загальновідомі методи досліджень, що забезпечують виконання поставлених задач. Оптимізацію технологічних процесів здійснювали розробкою математичної моделі та одержанням відповідних рівнянь регресії, що описують процес освітлення соку І сатурації шляхом відстоювання з додаванням флокулянтів. Метою при вирішенні двопараметричної задачі було визначення оптимальних витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення соку.

Наукова новизна отриманих результатів. На основі отриманих теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей процесів очищення дифузійного соку встановлено нові відомості щодо застосування флокулянтів на основі поліакриламідів. Визначено, що раціональними параметрами застосування флокулянту марки «Хімфлок 1009» є витрати флокулянту 2,95 г/м³, тривалість процесу 3,95 хв. (з оптимізації). При цьому досягається збільшення ефективності освітлення соку та підвищення швидкості седиментації осаду соку І сатурації

Практичне значення отриманих результатів. На основі експериментальних досліджень запропоновано удосконалити технологію очищення соку І сатурації шляхом переобладнання гравітаційних відстійників з тонкошарових п'ятиярусних на одноярусні з застосуванням додаткового реагенту – флокулянту, що дозволить керувати швидкістю подачі соку І сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу..

Реалізація запропонованої технології очищення дозволяє підвищити ефект очищення дифузійного соку через покращення седиментаційних властивостей соку І сатурації при переробці цукрових буряків різної якості

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ
ДИФУЗІЙНОГО СОКУ

1.1. Сучасні вимоги до цукру

Цукор є одним із основних продуктів харчування, які щоденно присутні в раціоні людини. Цукор є джерелом енергії, що допомагає швидко відновитись організму після інтенсивних розумових і фізичних навантажень. Крім того, цукор є сировиною для багатьох галузей харчової промисловості: кондитерської, молочної, хлібопекарської, виноробної та у виробництві безалкогольних напоїв.

Простим споживачам якість цукру, що відповідає вимогам ДСТУ [1], цілком достатньо, проте замовники цукру, які використовують його як сировину, можуть пред'являти до нього вимоги у специфікаціях, обумовлені технологічними регламентами своїх виробництв. Зазвичай вони жорсткіші від показників ДСТУ і законодавства України. Наприклад у Табл. 1 приведені деякі вимоги до якості цукру від виробника безалкогольних напоїв.

Впроваджуючи вимоги Угоди про асоціацію між Україною було імплементовано Директиву Ради 2001/111/ЄС від 20 грудня 2001 року про деякі цукри, призначені для споживання людиною. Директивою передбачені вимоги до якості за трьома категоріями цукру: напівбілий цукор, цукор або білий цукор та екстра білий цукор [2].

Було видано Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України Про затвердження Вимог до видів цукрів, призначених для споживання людиною 02.11.2017 № 592, де регламентовані аналогічні європейській директиві вимоги. Наказ набирає чинності з 01.09.2022 року. У таблиці 1.2 наведені характеристики цукрів за цим нормативом Тому виробникам цукру необхідно переглянути свої внутрішні документи.

У випадку постачання цукру компанії можуть прописувати у контрактах посилання на вимоги країн, де буде реалізовуватися продукція.

Таблиця 1.1 – Якісні показники на цукор зі специфікації

Параметри	Значення	Метод контролю
Чистота (концентрація основного речовини)	Не менше 99,9 % за вагою, що рахується формулою: 100% сахарози мінус % золи, мінус % вологи, мінус % інвертної сахарози	Розрахунковий метод
Зола	0,015 % за вагою	ICUMSA GS 2/3- 17
Кольоровість	Не більше 35 од ICUMSA	ICUMSA GS 2/3- 10,
Мутність	Не більше 20 од ICUMSA	ICUMSA GS 2/3- 18
Здатність до флокуляції	Відсутність флокул	SM-PR-270
Вологість	Не більше 0,04 % за вагою або не більше 0,06 % при умові зкомкування	ICUMSA GS 2/1/3-15
Четвертинні амонійні сполуки	2 мг/кг максимально для цукру	SM-PR-470
Осад	Максимально 7 мг/кг нерозчинних речовин, які визначені гравіметричним методом	SM-PR-415
Двоокис сірки	Максимально 6,0 мг/кг	ICUMSA GS 2/1/7-33, GS 2/3- 35
Розмір часток	Максимум 7,5 % гранул, що проходять через сито 65 меш (меш – кількість отворів на 1 лілійний дюйм, 65меш = 0,211мм) за 10 хвилин повинен пройти тест (цукор не повинен містити надлишкової кількості цукрового пилу або комків)	ICUMSA GS 2/9- 37
Інвертований цукор або редуючи речовини	0,04 % по масі максимально	ICUMSA GS 2/3- 9/5
Залізо	1,0 мг/кг максимально	ICUMSA GS 2/3/7/8-31, ICP- MS
Сторонні домішки	Не більше 4 включень в 500гр цукру. Домішки металевого походження (стружка) не допускаються	Візуальний контроль
Час фільтрації	Не більше 600сек	SM-PR-800

Наприклад, у Великобританії діє Положення про технічні характеристики цукрової продукції (The Specified Sugar Products (England) Regulations 2003), що визначає аналогічні європейським категорії цукру та іншої цукрової продукції, а також вимоги до їх складу та методам випробування. [3]

Таблиця 1.2 – **Фізико-хімічні показники певних видів цукровмісної продукції за європейською класифікацією**

Показники	Екстра білий цукор	Білий цукор	Напівбілий цукор
Кольоровість у розчині, максимально	3 бала (22,5 ICUMSA)	-	-
Зольність, максимально	6 балів = 0,0108%		
Кольоровість, максимально	4 бала (45,0 ICUMSA)	9 балів	-
Поляризація, хв., мінімум	99,7	99,7	99,5
вологість (втрати шляхом висушування), максимально	0,1 % до кількості продукту.	0,1 % до кількості продукту.	0,1 % до кількості продукту.
Редукуючі речовини, максимально	0,04 % до кількості продукту	0,04 % до кількості продукту	0,1 % до кількості продукту.
Вміст SO ₂ , мг/кг, не більше	15	15	15

Цукор екстра білий характеризується високою чистотою і переважно використовується для виробництва безалкогольних напоїв. У ньому незначний залишковий вміст поверхнево-активних речовин (серед яких присутній сапонін), які у разі застосування цукру не найвищої чистоти можуть призводити до утворення пластівців, опалесценції та піноутворення при заповненні пляшок в процесі розливу напоїв. [5] Білий цукор-пісок з

середнім та дрібним розміром кристалів використовується у виробництві кондитерських і хлібопекарних виробів та у домашньому господарстві.

Виробляючи сучасний продукт для глобального ринку необхідно проваджувати зміни як у технології виробництва, так і у методики дослідження цукрів та нормативи.

Одному балу у оцінці відповідає:

1) для типу кольоровості - 0,5 одиниці (обчислюють за методом Брауншвейського інституту технологій сільського господарства та цукрової промисловості);

2) для вмісту золи - 0,0018 % (обчислюють за методом Міжнародної комісії з уніфікації методів аналізу цукру (ICUMSA));

3) для кольоровості у розчині - 7,5 одиниці (обчислюють за методом Міжнародної комісії з уніфікації методів аналізу цукру (ICUMSA)).

Окрема увага приділяється показникам харчової безпечності. Виробникам цукру необхідно підтверджувати протоколами досліджень на залишковий вміст пестицидів, як ті, що використовувалися при вирощуванні, так на всі з переліку, що затверджені Єврокомісією або Наказом МОЗ України. [6]

Подібні вимоги до підтвердження відсутності ГМО. Окремі вимоги до вмісту алергенів у цукрі та управління ними мають бути прописаними у специфікаціях та підтверджені дослідженнями у зовнішніх акредитованих лабораторіях. У світі на даний час визнані 14 харчових алергенів. У цукровій галузі з них застосовується двоокис сірки. Відповідно до технології він може контактувати під час сульфитації з живильною водою, дифузійним соком або сиропом. Відповідно до цього збільшується можливий залишковий вміст. На даний час в Україні вступило в дію законодавство про маркування. В цьому законі прописані вимоги до інформування на етикетках про вміст алергенів.

Також у специфікаціях прописуються такі показники як зовнішній вигляд, смак, запах, запах після підкислення, кольоровість, вологість,

чистота, зола, інвертований цукор, залізо, розмір часток, осад, діоксид сірки, каламутність, здатність до флокуляції.

Очевидно, щоб отримати цукор, який має відповідати сучасним вимогам замовників, та які висуваються до нього в українських та міжнародних стандартах, необхідно застосовувати інноваційні методи очищення з дифузійного соку.

1.2. Загальна характеристика нецукрів дифузійного соку

Основною сировиною для виробництва цукру в Україні є цукровий буряк. Основна маса коренеплодів складається з води (75 %) та сухих речовин (25 %). Дифузійний сік містить цукрозу (17 % цукру) і нецукри (8 % нецукрів). Склад нецукрів дифузійного соку у значній мірі залежить від сорту буряків, ґрунту, клімату, стиглості, а також від способу сокодобування. Нецукри представлені розчинними білковими і пектиновими речовинами та продуктами їх розкладу, редуруючими речовинами, амінокислотами, азотовмісними органічними (0,9 — 1,1 %) та мінеральними (0,5 — 0,6 %) речовинами, солями органічних і неорганічних кислот. З цукрових буряків в дифузійний сік переходить біля 98 % цукрози і до 80 % розчинних нецукрів.

Білки та пектинові речовини відносяться до високомолекулярних речовини (ВМС). Також під час виробництва цукру утворюються такі ВМС як барвні речовини, арабан, галактан [7, 8].

ВМС, що містяться у дифузійному соці мають незворотній та зворотній характер. Якщо після осадження їх спиртом вони не здатні переходити з твердої фази до водного розчину - це незворотні ВМС. Ці ВМС у цукровому виробництві вважаються нешкідливими, так як вони у більшості видаляються під час вапняно-вуглекислотного очищення дифузійного соку. ВМС, які після осадження їх спиртом можуть знову переходити в водний розчин, називають зворотними. Такі ВМС можна віднести до «шкідливих» ВМС,

тому що вони проходять по верстату заводу і перешкоджають кристалізації цукру, що призводить до переходу його у мелясу [7].

Відомо, що ВМС складають близько 20 % усіх нецукрів дифузійного соку, та орієнтовно 50 % ВМС – це білки [7, 9]. Під час попереднього вапнування під дією іонів кальцію відбувається коагуляція білків [10].

Під час зберігання буряків нативні молекули білків руйнуються і в буряковій тканині накопичуються продукти їх деструкції [11]. Продукти деструкції білків видаляються лише частково, їх присутність у розчині знижує ступінь коагуляції білкових речовин та спричиняє розчинення білкового коагуляту [12].

Дослідження Л.П. Реви та його колег свідчать, що пектинові речовини дифузійного соку осаджуються повніше ніж білки, а останні сприяють осадженню пектинів [13]. На попередньому вапнуванні білок коагулює разом з пектиновими речовинами у вигляді білково-пектинового комплексу.

Пектини утворюють в'язкі речовину, що небажано для бурякоцукрового виробництва, так як це погіршує, уповільнює фільтрування та призводить до додаткових витрат на перекачування цукровмісних розчинів.

Під час зберігання буряків при несприятливих погодних умовах сировина може підлягати дії шкідливих факторів. В такому випадку в результаті дії ряду мезофільних бактерій у клітинному соку цукрових буряків утворюються полісахариди – декстран і леван [14]. Їх наявність спричиняє похибку в разі визначення вмісту сахарози в буряках. В уражених слизистим бактеріозом буряках вміст полісахариду декстрану складає від 0,3 до 1,9 % до маси сухих речовин соку, а левану – від 0,2 до 6,6 %. Декстран розчиняється у дифузійному соку і значно підвищує його в'язкість, погіршує фільтраційну здатність й умови очищення. В соку збільшується вміст редукувальних речовин. Отримання білого цукру при переробці буряків, що уражені слизистим бактеріозом більш ніж 2 %, стає неможливим через вміст редукувальних речовин і 0,5 % декстрану. Для нормального перебігу

технологічного процесу переробки буряків максимальна кількість гнилої маси, обумовленої слизистим бактеріозом, не повинна перевищувати 2 % [11]. У процесі очищення дифузійного соку вапном осаджується близько половини вмісту декстрану, інший переходить в очищений сік [14].

Низькомолекулярні сполуки, що містяться в дифузійному соці, представлені органічними та неорганічними кислотами та їхніми солями, редукувальними речовинами [15].

За вмістом азоту в речовині нецукри можна розділити на азотовмісні та безазотисті. До азотистих речовин дифузійного соку відносяться амінокислоти, азотисті основи, солі амонію, амідні кислоти, а також нітрати і нітрити, які представлені в невеликій кількості. Вміст амінокислот у дифузійному соці становить більше ніж 20 % від загального вмісту азотистих речовин.

У дослідженнях А.Р. Сапронова [16] встановлено, що всі амінокислоти, за винятком сірковмісних амінокислот, підсилюють реакцію утворення барвних сполук, безпосередньо приймаючи участь у реакції меланоїдиноутворення. Інтенсивність утворення барвних речовин збільшується в декілька разів у присутності аміаку, який утворюється при розкладанні амідів та амонієвих солей.

Азотовмісні сполуки, які не видаляються під час вапняновуглекислотного очищення, називають «шкідливим азотом». До таких, відносяться амінокислоти та бетаїн. Азотовмісні сполуки характеризуються сильною мелясоутворювальною здатністю (одна частина α -амінного азоту перешкоджає кристалізації 25...40 частинам сахарози), що підвищує втрати сахарози у виробництві.

Клітинний сік містить різноманітні безазотисті органічні кислоти. Основними представниками є дикарбонові кислоти: щавелева, малінова, бурштинова, глутарова, адипінова та оксикарбонові: гліколева, молочна, яблучна, винна, лимонна. Під час розкладання моносахаридів в розчині також з'являються монокарбонові кислоти: мурашина, оцтова, пропіонова, а

з оксикислот - молочна. До неорганічних аніонів кислот, які представлені в клітинному соку, відносяться фосфати, сульфати, нітрати, хлориди [17].

Вміст щавелевої та лимонної кислот в соку визначає натуральну лужність соку та є важливим показником, який впливає на очистку дифузійного соку. При збільшенні в сировині вмісту шкідливого азоту, пектинових речовин, редукувальних речовин натуральна лужність зменшується.

При різноманітному складі дифузійного соку необхідно створити певні умови для максимального видалення складного за фізико-хімічним походженням комплексу нецукрів. Це зумовлює складність у пошуку способів очищення дифузійного соку.

1.3. Аналіз основних процесів очистки дифузійного соку

Однією з найважливіших стадій технології отримання цукру з буряків, яка значною мірою визначає ефективність всього бурякоцукрового виробництва, є очищення дифузійного соку. Основним показником, що характеризує якість сировини, що переробляється, є чистота дифузійного соку, на підставі якої формуються параметри і принципи процесів його очищення.

До нинішнього часу відсутня єдина теорія, котра зумовлює уніфікований підхід до створення технології очищення дифузійного соку, що свідчить про необхідність подальшого пошуку нових технологічних і технічних рішень з використанням сучасних фізичних і фізико-хімічних методів інтенсифікації цього процесу.

Видалення нецукрів з соку під час вапняково-вуглекислотного очищення засновано переважно на процесах осадження, коагуляції, розщеплення та адсорбції. Основними операціями очищення є: обробка дифузійного соку вапном (попередня і основна дефекація) і подальше

видалення її надлишку діоксидом вуглецю (I і II сатурація) з проміжним відведенням утвореного осаду.

Результати роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних учених – М.О. Архиповича, Л.П. Реви, Л.Д. Бобрівника, М.І. Даїшева, Г.О. Сімахіної, Ю.І. Молотіліна, О.Р. Сапронова, С.П. Олянської, В.М. Логвіна, А.А. Ліпеца, Р. Кона, І. Вашатко та інших, присвячені виявленню основних факторів, які впливають на перебіг процесу очищення дифузійного соку з використанням вапна і сатураційного газу.

Найбільш поширена технологія очищення дифузійного соку з чотирьох етапів: холодна прогресивна попередня дефекація, комбінована холодно-гаряча дефекація, I сатурація і додаткова гаряча дефекація, II сатурація. За рахунок різних хімічних реакцій видаляються 25-35 % нецукрів.

Порівняно низький ефект видалення нецукрів при очищенні дифузійного соку пояснюється змінним складом нецукрів, погіршенням в другій половині виробничого сезону якості буряка, зниженням натуральної лужності соків, збільшенням вмісту шкідливих нецукрів - редукувальних речовин, органічних кислот і розчинних азотовмісних речовин.

В технологічних процесах станції очищення соку важливу роль відіграє попередня дефекація, завданням якої є максимальне осадження нецукрів дифузійного соку при мінімальному розкладі інвертного цукру. Це насамперед осадження білка. [18]

Головною метою попередньої дефекації при мінімальній витраті вапна є забезпечення максимального осадження ВМС і речовин колоїдної дисперсності, аніонів кислот, що утворюють з іоном кальцію малорозчинні солі, формування осаду, стійкого до пептизації на основній дефекації і володіє високими седиментаційно-фільтраційними показниками. Прогресивне попереднє вапнування передбачає поступове підвищення лужності. При цьому створюються оптимальні умови для коагуляції різних груп речовин колоїдної дисперсності у вигляді максимально дегідратованого осаду, який під впливом надлишку вапна під час основного вапнування

майже не розчиняється. При одноразовому додаванні лужного реагенту одна частина іонів нецукрів осаджується, а інша, що перебуває у середовищі з надлишком вапна, залишається сильно гідратованою. Щоб цього уникнути, попереднє вапнування слід проводити тільки в оптимальних умовах.

В процесі попередньої дефекації окрім коагуляції речовин колоїдної дисперсності і ВМС відбуваються також нейтралізація і осадження кальцієвих солей деяких кислот. [19].

При попередньому вапнуванні дифузійного соку колоїдно-хімічні, обмінні та інші реакції потребують часу, тому тривалість холодного та теплового попереднього вапнування (20°C – 60 хв) буде більшою, ніж у випадку проведення гарячого попереднього вапнування (85°C – 5 хв). Крім того, підвищення температури попереднього вапнування сприяє зростанню повноти осадження білкових речовин.

Підвищення температури в інтервалі 40...60°C в процесі попереднього вапнування викликає конформаційні зміни нецукрів колоїдної дисперсності та призводить до їх флокуляції. Додавання до дифузійного соку позитивно заряджених частинок CaCO_3 з поверненням суспензії сатураційного осаду до утворення флокул між частинками, що коагулювали, робить можливим їх агрегування на CaCO_3 , чим покращує фільтраційні показники соку. Авторами пропонується, суспензію сатураційного осаду доцільно вводити в дифузійний сік до початку конфірмаційних змін у колоїдних нецукрах, коли pH_{20} соку ще не впливає на ці зміни. Це дає можливість сформувати грубо дисперсний осад [20].

Для рециркуляції в якості повернень на цукрових заводах можуть повертатися згущена суспензія соку I сатурації, нефільтрований сік I сатурації, згущена суспензія II сатурації з додаванням необхідної кількості нефільтрованого соку I сатурації.

Агрегати осаду, що повертаються, виконують роль центрів коагуляції, на яких осаджується коагулят ВМС, утворюючи конгломерати – компактні більших розмірів агрегати [21].

Нефільтрований сік I сатурації повертають на попереднє вапнування у кількості 100 % до м.б. За цих витрат спостерігають високі седиментаційно-фільтраційні властивості осаду соків та підвищення чистоти очищеного соку. Але при збільшенні витрат повернень нефільтрованого соку I сатурації більше за 100 % до м.б. спостерігається зменшення чистоти та підвищення забарвленості очищеного соку та сиропу [22].

Л.П. Рева, Г.О. Сімахіна, В.М. Логвін запропонували замість нефільтрованого соку I сатурації повертати на попереднє вапнування частково сатураційний сік I сатурації. Автори рекомендують використовувати частково сатураційний сік, ступінь сатурації вапна в якому складає 30...40 %, за цих умов досягаються високі показники якості очищеного соку [23].

Недоліком повернення на попереднє вапнування осаду I сатурації є можливість переходу нецукрів з осаду в сік під час основного вапнування, що приводить до погіршення показників якості лужних розчинів сахарози бурякоцукрового виробництва та збільшення витрат вапна, пов'язане з повторним осадженням нецукрів.

Далі процес очищення продовжується у холодному та гарячому дефекаторах. З огляду на високу розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при температурі 40-55°C, основну масу вапняного молока в залежності від якості буряка передбачено подавати на холодний (теплий) дефекатор, що забезпечує високу швидкість хімічних процесів і повноту розкладання редуруючих речовин, отримання термостійкого соку і малозабарвлених продуктів, а також високу швидкість хімічних процесів на I сатурації, утворення карбонату кальцію з великою питомою поверхнею сорбції та високою адсорбційною здатністю. Після апарату холодної дефекації сік насосом подається на підігрівач, підігрівається до температури 85-90°C, потім проходить статичну мішалку, де змішується з заданою кількістю вапняного молока, і надходить в апарат гарячої дефекації. На гарячий дефекатор вапняне молоко може подаватися в разі дуже високого вміст амідів.

Гаряча основна дефекація включає подальше додавання вапняного молока, щоб забезпечити підвищення рН дефекованого соку до рівня від близько 12 до близько 12,5. Це дозволяє відокремити з рідини частину розчинних нецукрів, які не вступили в реакцію при попередньому додаванні вапна. Зокрема, гаряча основна дефекація дає можливість досягти термостійкості при частковому розкладанні інвертованого цукру, амінокислот, амідів та інших розчинених нецукрів.

Після холодної або гарячої основної дефекації дефекованого рідини може бути подана на етап першої сатурації. При цій операції газоподібний діоксид вуглецю вводять в сік. Діоксид вуглецю реагує із залишковим вапном в цій рідині з утворенням осаду карбонату кальцію.

На етапі сатурації видаляється не тільки надмірне вапно (зазвичай близько 95% від маси остатку вапна), але при цьому осад карбонату кальцію може вловлювати значні кількості розчинених нецукрів як адсорбент і таким чином сприяє їх видаленню при фільтруванні дефекованого або сатураційного соку.

Дефекований сік надходить в циркуляційний стакан і змішується з сумішшю газу з соком, що піднімається. У апараті сатурації відбувається інтенсивне перемішування. В процесі I сатурації утворюється карбонат кальцію, що забезпечує адсорбцію до 30% розчинних солей кальцію і забарвлюючих речовин. Після апарату I сатурації сік потрапляє до відстійника соку I сатурації, де відбувається седиментація осаду та відокремлення освітленої частини соку. Для прискорення процесу осідання у відстійниках соку I сатурації використовуються флокулянти.

Освітлений або фільтрований сік I сатурації нагрівається до температури 90-95°C і направляється на дефекацію перед II сатурацією. Сюди подається 0,3-0,4% CaO до маси соку, що забезпечує додаткове розкладання амідів і редукуючих речовин.

Сік II сатурації надходить в дозрівач соку, де постійно перемішується. Як відомо, в процесі II сатурації утворюється карбонат кальцію. Проте, в

присутності сахарози і амінокислот він схильний давати пересичені розчини, процес кристалізації яких протікає дуже повільно навіть при високій температурі. Перед входом соку в апарат II сатурації до нього може додаватися згущена суспензія осаду соку II сатурації, що діє як осередки кристалізації. Це дозволяє осадку CaCO_3 максимально викристалізуватися і запобігти його кристалізації на пізніших етапах. Після дозрівача сік виходить з апарату і надходить до збірника і потрапляє на фільтрацію соку II сатурації.

Покращення седиментаційних і фільтрувальних властивостей осаду в соці після попередньої ступінчастої дефекосатурації досягається за рахунок високої адсорбційної та об'єднуючої здатності карбонату кальцію під час росту часток ВМС. Поетапне оброблення дифузійного соку згущеною суспензією соку II сатурації, суспензією соку I сатурації з вапнокарбонізацією створює найбільш сприятливі умови для агрегації високомолекулярних речовин дифузійного соку з частинками карбонату кальцію [24]. Іони кальцію і частки карбонату кальцію сприяють коагуляції високомолекулярних речовин і входять в склад агрегатів осаду, обумовлюючи їх склад і структуру. Ступінчасте підвищення рН вапнокарбонізованого соку до 11,0 сприяє досягненню максимальної повноти осадження різних груп високомолекулярних сполук, агрегації коагуляту з карбонатом кальцію в крупні, щільні і стійкі частки осаду, що має високі седиментаційні та фільтрувальні властивості.

1.4. Аналіз методів підвищення ефективності очищення дифузійного соку

До теперішнього часу відсутній уніфікований підхід до створення технології очищення дифузійного соку, що свідчить про необхідність подальшого пошуку нових технологічних і технічних рішень з використанням сучасних фізичних і фізико-хімічних методів інтенсифікації.

Вчені та виробничники працюють над теоретичним та експериментальним обґрунтуванням нових способів досягнення більшої ефективності очищення дифузійного соку, які дозволять збільшити вихід цукру та знизити енергетичні та матеріальні витрати.

Л.П. Рева, Г.О. Сімахіна та В.М. Логвін запропонували [23] проводити попереднє вапнування поверненням частково (30...40%) карбонізованим вапном суспензії соку I сатурації. Такий процес попереднього вапнування частково сатурованою суспензією I сатурації покращує показники якості очищеного соку в порівнянні з проведенням попереднього вапнування нормально сатурованою суспензією соку I сатурації та підвищує ефект очистки на 3...5 од, тому цим способом активно користуються при вдосконаленні роботи двокотлової сатурації [25, 26].

Інтенсифікація попереднього вапнування була досягнута [27] створенням зовнішнього контуру циркуляції. При застосуванні цього способу інтенсифікації попереднього вапнування збільшується не лише ефект очистки, а й покращуються фільтраційно-седиментаційні показники соків. Покращення показників якості очищених соків та сиропу досягається не лише завдяки покращенню коагуляції, а пов'язане й з підвищенням ефективності адсорбційної очистки на I сатурації завдяки зменшенню до 20...30 % до м.б. повернень соку на попереднє вапнування.

Додавання в технологічну схему стадії часткової сатурації соку попереднього вапнування [26, 27], може дозволити знизити вміст колоїдних речовин в ньому на 10...18 %, підвищити стійкість осаду до десорбції на основному вапнуванні, покращити фільтраційні показники соку I сатурації на 25...30 %, підвищити загальний ефект очистки соку на 3...4 %.

Збільшити ефект очистки та покращити технологічні показники очищеного соку можливо, використовуючи в процесі попереднього вапнування активованої згущеної суспензії соку II сатурації [28]. Такий підхід проводять за схемою: попереднє вапнування – основне вапнування – I сатурація – відділення осаду – вапнування перед II сатурацією – II сатурація

– відділення осаду – сатурація його до p_{H_2O} 7,5...8,0 – змішування з дифузійним соком до початку попереднього вапнування. Такий спосіб активації (p_{H_2O} 7,5...8,0) згущеної суспензії осаду II сатурації, в порівнянні зі способом активації всією кількістю вапна на попереднє вапнування дифузійного соку, дає можливість підвищити чистоту очищеного соку на 0,6...1,1 %, збільшити ефект очистки дифузійного соку на 4,9...9,0 %.

Випробування показали [29, 30], що подача суспензії соку II сатурації, активованої пересатуруванням в дифузійний сік до початку його лужної обробки, значно покращує фільтраційні та седиментаційні показники осаду соку попереднього вапнування, а саме збільшується вдвічі швидкість відстоювання, знижується в 2,5 рази коефіцієнт фільтрації та майже вдвічі – об'єм осаду. Також при цьому покращуються аналогічні показники соку I сатурації.

В.В. Манк, В.А. Михайлик та інші [31] запропонували спосіб обробки дифузійного соку термічно обробленим при 900 °С фільтраційним осадом, який містить регенований $CaCO_3$, CaO та активний вуглець. При зменшенні загальних витрати вапна на очистку до 0,85...1,0 % CaO до м.б. вдається досягти підвищення ефекту очистки на 4.6 % порівняно до контрольного варіанту очистки з витратою 2,8 % CaO до м.соку. Очищення таким способом дозволяє покращити фільтраційні показники соків та забезпечити відділення колоїдно-дисперсних домішок на типовому фільтраційному обладнанні, скоротивши при цьому витрати CaO на очистку в 2,5...3 рази та підвищити якість очищеного соку.

Авторами запропонований [32, 33, 34] спосіб попередньої очистки дифузійного соку з одночасним впливом відкритої пари та вапняного молока, відповідно до якого дифузійний сік після підігрівачів потрапляє в паросатураційний апарат попереднього вапнування, куди, разом з відкритою парою, додається вапняне молоко в кількості 0,015...0,02 % CaO до маси буряків або згущеної суспензії соку II сатурації. Далі оброблена суміш потрапляє в апарат попереднього вапнування, в який додається також 70...80

% соку I сатурації. При введенні в дифузійний сік осаду у вигляді майже чистого карбонату кальцію та невеликої кількості розчиненого іону кальцію відбувається нейтралізація вільних кислот без місцевого перелуження. Оскільки частинки карбонату кальцію мають позитивний поверхневий заряд, то відбувається активна адсорбція утворених солей на карбонаті кальцію. При цьому встановлено покращення седиментаційних та фільтраційних показників осаду соків та якості очищеного соку: зменшується вміст солей кальцію та кольоровість на 29 % та 21 % відповідно, а приріст чистоти складає 1,5 %.

К.Д. Жура та С.П. Оляньська розробили [35] схему очистки дифузійного соку з відділенням осаду до основного вапнування. Спосіб передбачає, що дифузійний сік нагрівається до 85...90°C та надходить в апарат попереднього вапнування, а після цього направляється в багатосекційний відстійник, а згущена суспензія – на вакуум-фільтри разом зі згущеною суспензією соку I сатурації (5...10 %). Такий спосіб дозволяє підвищити чистоту очищеного соку на 0,7...1,4 %, зменшити вміст солей кальцію в ньому, покращити фільтраційні показники соку I сатурації, збільшити вихід цукру на 0,1...0,2 % та зменшити витрати вапна на очистку на 0,5 % до м.б.

Л.П. Рева, П.П. Загородній, А.О. Чагайда у своїх дослідженнях визначили [36] раціональну зону рН₂₀ прогресивного попереднього вапнування, в якій можна швидко відділити осад нецукрів з соку після нагрівання його до 75°C.

Схема функціонує наступним чином: дифузійний сік надходить в апарат попереднього вапнування першу частину апарату, після чого він нагрівається та направляється в відстійник. Декантат з відстійника надходить в другу частину апарату попереднього вапнування для подальшої обробки (рН₂₀ 11,0...11,2) Далі іде основне вапнування, після чого нагрівання та I сатурація. Суспензія з відстійника та суспензія соку I сатурації після фільтрів ФІЛС направляється на вакуум-фільтри. Застосування цього способу

дозволяє підвищити чистоту соку II сатурації на 1,0...1,2 од., а загальний ефекти очистки підвищується на 6,0, вихід цукру – на 0,2 %. Запропонована технологія та обладнання [37, 38] дозволяють підвищити ефект очищення соку на 8...10 %, знизити кольоровість та вміст солей кальцію, збільшити вихід цукру на 0,3...0,4 % до м.б.

Жеплінська М.М., Лазарів І.Р., Сухенко В.Ю. [39] досліджували вплив гідродинамічної кавітації та відкритої пари на процес видалення нецукрів дифузійного соку та встановлено, що при вдуванні відкритої пари в дифузійний сік виникають кавітаційні ефекти, які призводять до збільшення чистоти очищеного соку. Встановлено, що як наслідок цих перетворень при відповідному режимі оброблення дифузійного соку збільшується швидкість седиментації попередньодефекаційного соку на 20 %, зменшується об'єм осаду на 17 %, підвищується чистота очищеного соку на 1,3 - 1,6 одиниці.

Н.А.Гусятинська та Т.М. Нечипор [40, 41] у своїх експериментах досліджували застосування процесу озонування дифузійного соку та додавання сорбенту цеоліту-клинотилоліту при переробленні цукрових буряків, уражених слизистим бактеріозом з метою покращення якості дифузійного соку. Встановлено, що застосування як додатковими реагентами озону або цеоліту, сприяє зменшенню вмісту декстрану у дифузійному соку, покращенню фільтраційно-седиментаційних властивостей осаду соку I сатурації, а також підвищенню чистоти та зменшенню забарвленості очищеного соку.

1.5. Застосування додаткових реагентів для підвищення ефективності очистки дифузійного соку

Одним з головних критеріїв оцінки ефективності очистки є ступінь видалення високомолекулярних сполук (ВМС) та речовин колоїдної дисперсності (РКД) з дифузійного соку [17]. Лише невелика частина цих речовин гідрофобна і досить легко може коагулювати з утворенням

дрібнодисперсного осаду. Більшість колоїдів дифузійного соку, а саме білки, пектинові речовини, сапонін, арабан, галактан та інші відзначаються великою гідрофільністю. Вони мають сильно розвинену гідратну оболонку, тобто вкриті шаром адсорбованих молекул води, що зумовлює їх агрегативну стійкість [13]. Коагуляція подібних колоїдів відбувається значно важче, а утворений осад має драглисту структуру, займає більший об'єм та досить легко пептизується в умовах основного вапнування. Оскільки більша частина гідрофільних колоїдів в результаті неповної коагуляції все ж залишається в соці, то в наступних стадіях очистки вони зумовлюють підвищення в'язкості та забарвленості продуктів, призводять до піноутворення.

В даний час на цукрових заводах для збільшення ефекту видалення високомолекулярних сполук та речовин колоїдної дисперсії під час попереднього вапнування, покращення седиментаційно-фільтраційних властивостей соку І-ї карбонзації та підвищення якісних показників очищеного соку застосовуються додаткові реагенти коагулюючої та флокулюючої дії. Рева Л.П., Ліпец А.А., Шалатонов В.Н., Гусятиська Н.А., Олянська С.П. та інші досліджували використання в якості додаткових реагентів кремнієвмісних сполук, солей алюмінію, а також реагентів комплексної дії.

В роботі [42] автор пропонує для осадження РКД в дифузійний сік додавати фільтрувальний порошок – перліт. При додаванні до соку фільтрувального порошку перліту на його мікрочастинках затримуються суспендовані в соку нецукри та виступають центрами коагуляції РКД, що призводить до швидкого осідання за рахунок солідарного осадження. Крім того, відомо [14], що при використанні кізельгуру та карборафіну можна досягнути більш повного видалення пектинових речовин.

А.А. Ліпец у своїх роботах пропонував додавати до дифузійного соку бентонітові глини в кількості 0,2...0,5 % до м.с. [43]. Часточки глини адсорбують на своїй поверхні високомолекулярні нецукри, в процесі вапняно-вуглекислотного очищення обгортаються карбонатом кальцію. При

додаванні до дифузійного соку бентонітових глин в очищеному соку спостерігається значно менший вміст ВМС та редукувальних речовин, збільшення чистоти.

В.А. Лосева запропонувала використовувати сірчану кислоту для попередньої коагуляції РКД дифузійного соку в ізоелектричній точці коагуляції білків при pH_{20} 3,5...4,5 з наступним одночасним попереднім вапнуванням та сатурацією невеликою кількістю вапна і додаванням флокулянта поліакриламідом (0,0008...0,0011 % до м.с.)[44]. Спосіб дозволяє підвищити чистоту очищеного соку на 0,5...1,9 од.

В якості реагентів для коагуляції нецукрів запропоновано [45] використовувати мінеральні солі: сульфат амонію, сульфат та сульфід натрію. В дифузійний сік при температурі 45...55°C додають відповідну кількість сульфату амонію – 0,02...0,03 %, сульфату та сульфід натрію – 0,08...0,1 % до м.с., перемішують до розчинення, проводять попереднє вапнування (0,005...0,01 % CaO до м.с.), сатурують до pH_{20} 7,0...7,2 та додають 0,0009...0,0011 % поліакриламідом до м.с. Такий спосіб дозволяє підвищити ефект очистки на 9...10 %, знизити вміст аніонів кислот та кольоровість очищеного соку.

В роботі [46] авторами досліджено вплив застосування під час попереднього вапнування органічних флокулянтів на основі поліакриламідів, поліамінів на процес видалення нецукрів. Найкращі результати за чистотою соку II сатурації та ефектом очистки спостерігаються при витратах флокулянтів 0,001 % до м.с. За цих витрат усі представлені реагенти покращують процес коагуляції нецукрів та видалення їх з сатураційним осадом. Флокулянти додаються до нефільтрованого соку I сатурації за температури 80°C після чого цю суміш подають в ємність перед апаратом попереднього вапнування.

В роботах [42, 45] авторами досліджується інтенсифікація процесу попереднього вапнування за рахунок використання поліакриламідом (ПАА). При введенні ПАА в зону pH_{20} 10,5...11,1 на попереднє вапнування більш

повно видаляються білкові та пектинові речовини, утворюється осад меншої дисперсності, більш стійкий до дії лужності під час основного вапнування.

Літературні джерела вказують на те, що як флокулянти можна використовувати пектинові речовини дифузійного соку, до складу якого входить значна кількість недеструктованого пектину [46, 47].

Н.Н. Пушанко, Л.М. Хомічак та Е.В. Тернавська [48] дослідили, що проведення попереднього вапнування з додатковою обробкою хлорним вапном та «сирим» дифузійним соком дає можливість отримати коагулят, більш стійкий в умовах високої лужності. Спостерігається зменшення приросту забарвленості та вмісту білкових речовин в соку основного вапнування, в порівнянні з контрольним дослідом в середньому на 23 та 1,8 % відповідно.

Висновки та рекомендації з практичного використання результатів.

Виходячи з вище приведеної інформації впливає, що застосування додаткових реагентів під час проведення попереднього вапнування є значним резервом для підвищення ефективності видалення в тверду фазу нецукрів дифузійного соку та покращення фільтраційно-седиментаційних властивостей осаду.

Таким чином, проаналізувавши інформацію, представлену у вітчизняних та іноземних літературних джерелах стосовно процесу очищення дифузійного соку, від результативності якого залежить якість цукру, та шляхів його інтенсифікації можна зробити наступні висновки:

1. Відомо, що від чистоти соку, тобто повноти видалення нецукрів в під час проведення очищення дифузійного соку значно залежить ефективність роботи всього цукрового виробництва. Отже, за рахунок підвищення ефективності та швидкості осадження осаду у відстійниках за допомогою додаткових хімічних реагентів можливо досягти поліпшення показників

загального ефекту очищення дифузійного соку. Тому, необхідні дослідження дії коагулянтів та флокулянтів під час очищення та удосконалення способів очищення дифузійного соку, які мають ґрунтуватися на фундаментальних знаннях фізико-хімічних процесів, що протікають під час очистки дифузійного соку.

2. Одним з варіантів покращення роботи очисного відділення, який відповідає сучасним вимогам, є застосування додаткових хімічних реагентів – коагулянтів та флокулянтів. При виборі флокулянтів необхідно дотримуватися вимогам харчової безпеки, що головним чином стосуються ступенем чистоти сополімера.

3. Використання поліакриламідів в якості флокулянту для пришвидшення процесу осадження нецукрів дифузійного соку під час різних етапів очистки соку має економічний ефект, але не всі відстійники призначені для введення додаткових реагентів. Тому перед виробниками цукру може постати задача проведення модернізації обладнання для очистки дифузійного соку.

Метою даної роботи є дослідження ефективності очищення дифузійного соку шляхом впровадження модернізації відстійників та використання флокулянтів на цукровому заводі, що дозволив підвищити показники якості очищеного соку, покращити фільтраційно-седиментаційні характеристики неочищеного соку I сатурації.

Відповідно до поставленої мети були сформульовані такі завдання дослідження:

- провести дослідження ефективності застосування флокулянтів різних марок при очищенні соку I сатурації в лабораторних та виробничих умовах;
- провести дослідження ефективності роботи модернізованих відстійників соку I сатурації;
- визначити оптимальні витрати флокулянту для очищення соку I сатурації
- проаналізувати економічні показники виробництва цукру при застосуванні флокулянту.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Лабораторні дослідження виконано в виробничій лабораторії ТОВ «Новооржицький цукровий завод».

2.1. Об'єкти та предмет досліджень

Об'єктом дослідження в даній роботі виступає технологія очищення дифузійного соку бурякоцукрового виробництва.

Предметом досліджень є використання додаткових хімічних реагентів – флокулянтів на основі поліакриламідів під час відстоювання соку I сатурації, модернізований відстійник соку I сатурації.

Для досліджень використовували аніонні флокулянти на основі поліакриламідів (ПАА) марок «Магнафлок LT27», «Uniflok LT27» та «Хімфлок 1009».

Флокулянт синтетичний полімерний "Magnafloc LT27" виробництва хімічної компанії BASF, Німеччина, Людвігсхафен – синтетичний сополімер на основі високомолекулярного аніоноактивного поліакриламідів. «Магнафлок LT27» являє собою гранули білого кольору, без запаху, насипною густиною 0,75 г/см³. Вільний акріламід менше 0,025%. Препарат розчиняється у воді, утворюючи однорідний в'язкий розчин. рН 1% розчину – 7,0 при 25 °С. Рекомендовані концентрації маточного розчину: 0,25-0,5% макс. Рекомендовані концентрації робочого розчину: 0,025-0,05%.

Флокулянт синтетичний полімерний «Uniflok LT27» TSh 6.1-00203849-43:1995 зі змінами №4, основі високомолекулярного аніоноактивного поліакриламідів виробництва АО «NAVOIYAZOT». «Uniflok LT27» являє

собою дрібнодисперсний порошок жовтуватого, кремового або рожевого кольору, насипна густина $1,2 \text{ г/см}^3$, рН фільтрату не більше 10.

Флокулянт синтетичний полімерний «Хімфлок 1009» ТУ У 20.1-38596065-008:2016 "Флокулянти серії "Хімфлок". Технічні умови". Фізична форма – білий гранульований порошок. Вироблений на основі поліакриламідів та незначної кількості води, і незначної кількості інших добавок(домішок). використовується для покращення відділення осаду в фільтраційному відділенні. Витрати флокулянту від $0,5$ до 3 г/м^3 соку.

2.2. Методи досліджень

Експериментальні результати роботи отримано за допомогою традиційних та сучасних фізико-хімічних, технологічних та статичних методів, а також типових методик визначення показників якості соків цукрового виробництва.

Вміст сухих речовин (СР, % до маси продукту) визначали за допомогою рефрактометра АВВЕМАТМСР 300. Фільтрований сік І сатурації охолоджуємо до 20°C . Після чого на рефрактометрі визначаємо його вміст СР.

Визначення кольоровості соку І сатурації цукрового виробництва проводили за методикою, описаною нижче.

На підготовленому до роботи спектрофотометрі встановлюють довжину хвилі $\lambda=420\pm 0,5 \text{ нм}$.

Перед вимірюванням кювету ополіскують дистильованою водою, потім фільтрованим розчином, що досліджується, після чого заливають розчин у кювету і фотометром вимірюють його оптичну густина. Виміри проводять три рази.

Кольоровість в одиницях ІСУМСА обчислюють за формулою (2.1):

$$K = \frac{10^5 * D_{420}}{CP * d * b} \quad (2.1)$$

де D_{420} – величина оптичної густини розчину за довжини хвилі 420 нм (середнє арифметичне з трьох вимірів);

CP – масова частка сухих речовин у розчині, %;

d – густина розчину, г/см³;

b – довжина кювети, см.

Визначення каламутності

На підготовленому до роботи спектрофотометрі встановити довжину хвилі $\lambda=420\pm 0,5$ нм

Перед вимірюванням кювету ополіскують не фільтрованим розчином, що досліджується, після чого заливають розчин у кювету і фотометром вимірюють його оптичну густина. Виміри проводять три рази.

Каламутність розчину, в одиницях ICUMSA, визначають порівнянням оптичної густини фільтрованого і не фільтрованого розчинів і обчислюють за формулою (2.2):

$$K = \frac{10^5 * (D^1_{420} - D_{420})}{CP * d * b} \quad (2.2)$$

де D^1_{420} – величина оптичної густини не фільтрованого розчину за довжини хвилі 420 нм (середнє арифметичне з трьох вимірів);

D_{420} – величина оптичної густини фільтрованого розчину за довжини хвилі 420 нм (середнє арифметичне з трьох вимірів);

CP – масова частка сухих речовин у розчині, %;

d – густина розчину, г/см³;

b – довжина кювети, см.

Результат округлюють до цілих чисел.

Вміст сухих речовин (CP, % до маси продукту) визначали за допомогою рефрактометра АВВЕМАТМСР 300. Фільтрований сік I сатурації охолоджуємо до 20°C. Після чого на рефрактометрі визначаємо його вміст CP.

Ефект вапняно-вуглекислотного очищення розраховували за формулою:

$$Ef_{оч} = \left(1 - \frac{(100 - C_2) \cdot C_1}{(100 - C_1) \cdot C_2}\right) \cdot 100, \quad (2.3)$$

де C_1, C_2 – чистота соку відповідно до та після очищення, %.

Температуру визначали за допомогою ртутних скляних термометрів з шкалою від 10 до 100°C.

Визначення вмісту цукру (Цк) у очищеному соці проводиться згідно такої методики. Дві нормальні наважки (52 г) охолодженого до 20°C соку зважують в нейзильберовій чашці, переводять в колбу 100 мл, додають 1-2 краплі фенолфталеїну і декілька крапель розбавленого 1:1 оцтової кислоти до зникнення рожевого забарвлення при повертанні колби між долонями. Потім додають 2-4 мл оцтовокислого свинцю і дистильованої води до помітки. Вміст енергійно збовтують, фільтрують, заливають в кювету довжиною 400 мм, передають у поляриметричну кімнату для визначення обертання площини поляризації. Вміст цукру знаходять діленням показника цукрометра на 4.

При визначенні вмісту цукру на автоматичному поляриметрі: отриманий фільтрат заливають у кювету поляриметра і записують дані з табло приладу або з комп'ютера збору даних до електронного журналу. Чистота розраховується автоматично або за формулою (2.4)

$$Ч = Цк / СР * 100, \% \quad (2.4)$$

Визначення вмісту цукру дифузійного соку: 52 г соку переводять без витрат в колбу ємністю 100 мл, додають 4-5 мл свинцевого оцту, доливають до мітки дистильованою водою, перемішують, фільтрують. Фільтрат заливають у кювету 400 мм і передають в поляриметричну кімнату змінному технологу. Вміст цукру дорівнює показнику цукрометра, поділеному на 4.

При визначенні вмісту цукру на автоматичному поляриметрі : отриманий фільтрат заливають у кювету поляриметра і записують дані з табло приладу або з комп'ютера збору даних до електронного журналу.

2.3. Математична обробка та оцінка точності експериментів

Важливими характеристиками будь-яких експериментальних досліджень є їх точність, тривалість дослідів та їх кількість. Точність одержуваних результатів при визначенні усіх факторів, фіксованих в дослідях, визначається як точністю використовуваних приладів і методик досліджень, так і способами обробки та узагальнення накопичених експериментальних даних.

У більшості приладів і методик, які ми використовували для визначення величин вмісту сухих речовин, цукрози, рН₂₀, забарвленості і т. ін. похибка результатів вимірювання коливалася в межах не більше 4 %.

На повторюваність результатів вимірювань тих чи інших показників в технологічних дослідженнях значний вплив здійснює їх тривалість. В наших дослідженнях тривалість окремих дослідів визначалась з урахуванням тривалості досліджуваного процесу у виробничих умовах. Це давало можливість звести до мінімуму перебіг супутніх фізико-хімічних процесів, які можуть проходити у разі тривалого дослідження.

У магістерській роботі наведено середньостатистичні дані експериментів. При проведенні наукових досліджень використовувався принцип системного підходу, основною метою якого є розкриття механізму технологічного процесу з метою його інтенсифікації шляхом встановлення оптимальних параметрів.

В ході експерименту визначали вихідні дані для розроблення математичної моделі та одержання відповідних рівнянь регресії, що описують процес освітлення соку і сатурації шляхом відстоювання з додаванням флокулянтів.

Метою при вирішенні двопараметричної задачі було визначення оптимальних витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення соку. В якості цільової функції створюється узагальнений критерій оптимальності, який включає локальні критерії оптимальності.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ДИФУЗІЙНОГО СОКУ

У зв'язку зі зниженням технологічної якості цукрової сировини, що надходить у виробництво, для забезпечення одержання цукру білого високої якості згідно з вимогами замовників та ДСТУ [1] актуальним є подальше удосконалення традиційних технологій очищення дифузійного, а також визначення оптимальних, економічно обгрунтованих параметрів процесу переробки. На основі огляду літературних джерел (розділ 1) показано, що Інтенсифікувати ці процеси, збільшити ефективність видалення нецукрів, в тому числі високомолекулярних сполук та речовин колоїдної дисперсності, підвищити седиментаційно-фільтраційні властивості осадів I та II сатурації, а також покращити технологічну якість очищеного соку, можна шляхом модернізації технологічних апаратів, а також використовуючи хімічні реагенти, зокрема – коагулянти та флокулянти. Зростаюче споживання цих реагентів спостерігається завдяки універсальності і надійності цього методу інтенсифікації.

Серед основних завдань наших досліджень є визначення ефективності застосування флокулянтів для покращення фільтраційно-седиментаційних властивостей осаду та інтенсифікації процесу відстоювання соку I сатурації. Крім того, досліджено ефективність модернізації відстійника соку I сатурації.

Дослідження проводили в лабораторних та виробничих умовах на Новооржицькому цукровому заводі у виробничі сезони 2019-2020 рр.

3.1. Обгрунтування механізму дії флокулянту на основі ПАА під час освітлення соку I сатурації

Для покращення фільтраційно-седиментаційних властивостей осаду та інтенсифікації процесу відстоювання соків в цукровій промисловості

використовують високомолекулярні флокулянти. Флокулянти – хімічні реагенти, що сприяють коагуляції. Флокулянти з їхнім зарядом і дуже високою молекулярною масою, адсорбують дестабілізовані частки і об'єднують їх уздовж полімерного ланцюга. В результаті, на етапі флокуляції відбувається практично миттєве утворення більших пластівців, що призводить до ущільнення осаду та прискорення його осідання.

Механізм дії флокулянтів заснований на наступних явищах:

- адсорбції молекул флокулянта на поверхні колоїдних частинок;
- утворення сітчастої структури молекул флокулянта;
- злипання колоїдних частинок за рахунок Ван-дер-Ваальсових сил.

Для флокулянтів характерною є ланцюгова будова молекул. Макромолекули речовин складаються з великої кількості ланок, пов'язаних одна з одною силами хімічної спорідненості. Ланки можуть бути різнорідними (співполімери) і однорідними (гомополімери). Ступінь полімеризації характеризує флокулянт за кількістю цих ланок у молекулах та має величину від 250 до 70000, величина молярної маси при цьому коливається в межах від $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^7$, а інколи до $1 \cdot 10^{10}$ а.о. [49]

Виділяють три основні групи: природні полімери, неорганічні речовини та синтетичні полімери. Всі флокулянти характеризуються зарядом (катионні, аніонні, неіонні та амфотерні, останні містять в ланцюгу аніонні і катионні групи, які нейтралізують в цілому заряд молекули), його величиною, що залежить від кількості мономерних ланок в складі сополімеру, які несуть заряд (низькозаряджені, середньозаряджені, високозаряджені), та молекулярною вагою, за якою оцінюється довжина полімерного ланцюга (низькомолекулярні, середньомолекулярні і високомолекулярні).

У цукровому виробництві розповсюджені та застосовуються синтетичні флокулянти, які мають велику молекулярну масу [50]. При введенні в них різноманітних замісників і функціональних груп легше

варіювати їх хімічний склад, просторову структуру і заряд, а відповідно і флокулюючу здатність до конкретних дисперсій.

Суспензії дрібнодисперсних частинок, основними представниками в цукровому виробництві є сатураційні соки, вапняне молоко і транспортерно-мийні води. Суспензія соку першої сатурації характеризується високою стійкістю розподілу частинок по об'єму завдяки силам електростатичного відштовхування однойменних зарядів між собою, що в свою чергу значно сповільнює (до годин і навіть діб) процес гравітаційного осадження осаду у відстійниках, а подекуди й зовсім запобігає відстоюванню. В залежності від заряду ланцюга та молекулярної ваги флокулянти підбираються для конкретних потреб очищення відповідних розчинів від дисперсних колоїдних забруднень. Заряд ланцюга в більшості підбирається протилежним від заряду колоїдних часточок - це дозволяє нейтралізувати електростатичні сили відштовхування між часточками, дестабілізувати колоїдну систему в об'ємі, та за рахунок процесів коагуляції та флокуляції призводить до утворення флокул. Флокуляція – як процес агрегації колоїдних часточок з наступною седиментацією під дією гравітаційного поля - схематично продемонстрована на рис. 3.1.

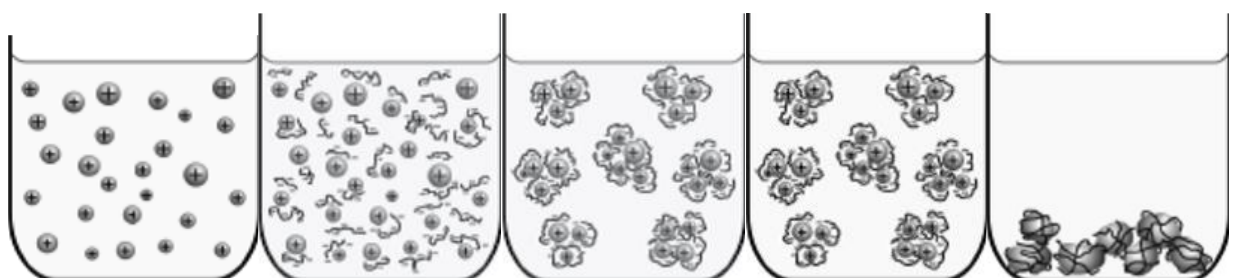


Рис. 3.1 Схематичне представлення процесу флокуляції
 а) дисперсна система, б) дисперсна система + розчин флокулянту,
 в) укрупнення часточок, дестабілізація дисперсної системи, г) формування
 флокул, д) седиментація флокул.

Представлені процеси флокуляції сприяють повному, швидкому або практично миттєвому укрупненню дрібних частинок, їх відокремлення від рідкою фази шляхом відстоювання, центрифугування, а також покращують фільтрування [50].

Нами в дослідженні були використані три флокулянти: «Магнафлок LT27», «UniflokLT27», «Хімфлок 1009Х». Всі ці флокулянти – синтетичні, високомолекулярні сполуки на основі поліакриламідів. Це неіоногенні марки флокулянтів. Їх виробляють шляхом кополімеризації моноакриламідів і солей акрилової кислоти.

3.2. Дослідження ефективності використання флокулянтів на основі ПАА

Дослідження проводили на потужностях виробничої лабораторії Новооржицького цукрового заводу. Методика полягала в наступному. У лабораторних умовах відповідно до інструкції приготували робочий розчин флокулянтів марок «Магнафлок LT27», «UniflokLT27», «Хімфлок 1009Х» і відібрали готовий робочий розчин з працюючої виробничої станції приготування флокулянту марки «Хімфлок 1009Х».

У виробничих умовах з переливного ящика апарату І сатурації відбирали проби соку у кількості 6 штук у циліндри об'ємом 250 мл. Температура соку становила 75 °С. Відповідно до завдання додавали визначену кількість флокулянту у межах від 1,5 г/м³ до 3,5 г/м³. Витрати флокулянту варіювали з кроком у 0,5 г/м³. В якості контрольного, нульового зразка, використовували сік з виробництва без додавання флокулянта.

Середні за період проведення досліджень показники якості цукрових буряків наведені у таблиці 3.1.

Технологічні показники дифузійного соку, очищеного соку наведені в таблиці 3.2. Добова виробнича потужність складала 7840 тон.

Таблиця 3.1 – Якісні показники цукрових буряків за добу на
Новооржицькому ЦЗ

№	Показник	Значення
1.	Дигестія буряків при прийманні, %	17,69
2.	Відсоток забрудненості буряків, %	8,14
3.	Відсоток забрудненості буряків після мийки, %	0,49
4.	Вміст зеленої маси, %	1,82

Таблиця 3.2 – Технологічні показники дифузійного соку за добу на
Новооржицькому ЦЗ

№	Показник	I зміна	II зміна	За добу
1.	Вміст сахарози в стружці, %	-	-	17,72
<i>Дифузійний сік</i>				
2.	Вміст сухих речовин, %	17,66	17,49	17,57
3.	Вміст сахарози, %	15,98	15,81	15,9
4.	Чистота, %	90,46	90,45	90,45
5.	pH	6,2	6,27	6,23
6.	PP, %	-	0,41	0,41
7.	Альфа-амінний азот, %	-	0,057	0,057
8.	Кислотність, %CaO	397	266	331,5
9.	Вміст мезги, г/л дифузійного соку	2,24	1,92	2,08
<i>Очищений сік</i>				
10.	Чистота, %	93,3	93,24	93,27
11.	pH	9,52	9,46	9,49

Відбирали сік першої сатурації після збірника і підігрівання його до температури 85°C з розподільного вузлового збірника. Використовували

лабораторні циліндри, які наповнювали неочищеним соком І сатурації. Куди вносили відповідні дози флокулянтів різних марок.

В досліджуваних пробах соків І сатурації визначали наступні показники:

- висота освітленого шару соку
- швидкість осідання.

Після цього сік фільтрували через паперовий фільтр для визначення наступних показників:

- сухі речовини фільтрованого соку 1 сатурації, % мас
- кольоровість, од ICUMSA
- мутність, од ICUMSA

Результати експериментальних досліджень наведено у таблицях 3.5-3.9.

3.2.1. Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на технологічні показники соку

За результатами експериментальних досліджень ефективності застосування флокулянта «Магнафлок LT27» (табл. 3.3) встановлено, що дозування засобу в межах 1,5...3,5 підвищує швидкість осадження осаду соку І сатурації в 6-8 разів за тривалості процесу 2 хв. При збільшенні тривалості процесу до 5 хв. показник швидкості осадження дещо зменшується порівняно до ефективності в перші 2 хвилини, що свідчить, про досягнення практично повного осадження у перші хвилини процесу за умови додавання флокулянту.

Для оцінки ефективності процесу розраховуємо співвідношення висоти шару освітленого соку за 2 хв та 5 хв. порівняно до максимального освітлення за 15 хв. за формулою:

$$E_{ф. осв.} = (H_1/H_2) \times 100, \% \quad (3.1)$$

Таблиця 3.3 – Технологічні показники якості соку I сатурації при застосуванні флокулянта «Магнафлок LT27»

Показники	Значення					
Висота освітленого шару соку, см	Дозування флокулянта, г/м ³					
	0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2 хв	2,0	13,1	15	15,6	13,7	14,2
5 хв	5,3	14,8	16,3	16,6	14,3	14,8
15 хв	12,7	16	17	17,2	14,8	15,2
Еф. осв. 2 хв	16	82	88,2	90,7	92,6	93,4
Еф. осв. 5 хв	42	93	95,9	96,5	96,6	97,4
Швидкість осідання при 2 хв, см/хв	1	6,55	7,5	7,8	6,85	7,1
Швидкість осідання при 5 хв, см/хв	1,06	2,96	3,26	3,32	2,86	2,96
Швидкість осідання при 15 хв, см/хв	0,85	1,06	1,13	1,15	0,99	1,01
Кольоровість, од ІСУМСА	5070,2	2543	2041,9	1869,3	1768,1	1993,6
Мутність, од ІСУМСА	1967,9	388,1	1246,7	961,3	1324,7	837,8
Вміст СР фільтрованого соку 1 сатурації, %	17,75	17,8	17,4	17,5	17,35	17,2

На рис. 3.2 представлено відповідно зміну висоти освітленого шару протягом 15 хв процесу відстоювання соку першої сатурації в залежності від дозування флокулянта «Магнафлок LT27» від 1,5 г/м³ до 3,5 г/м³.

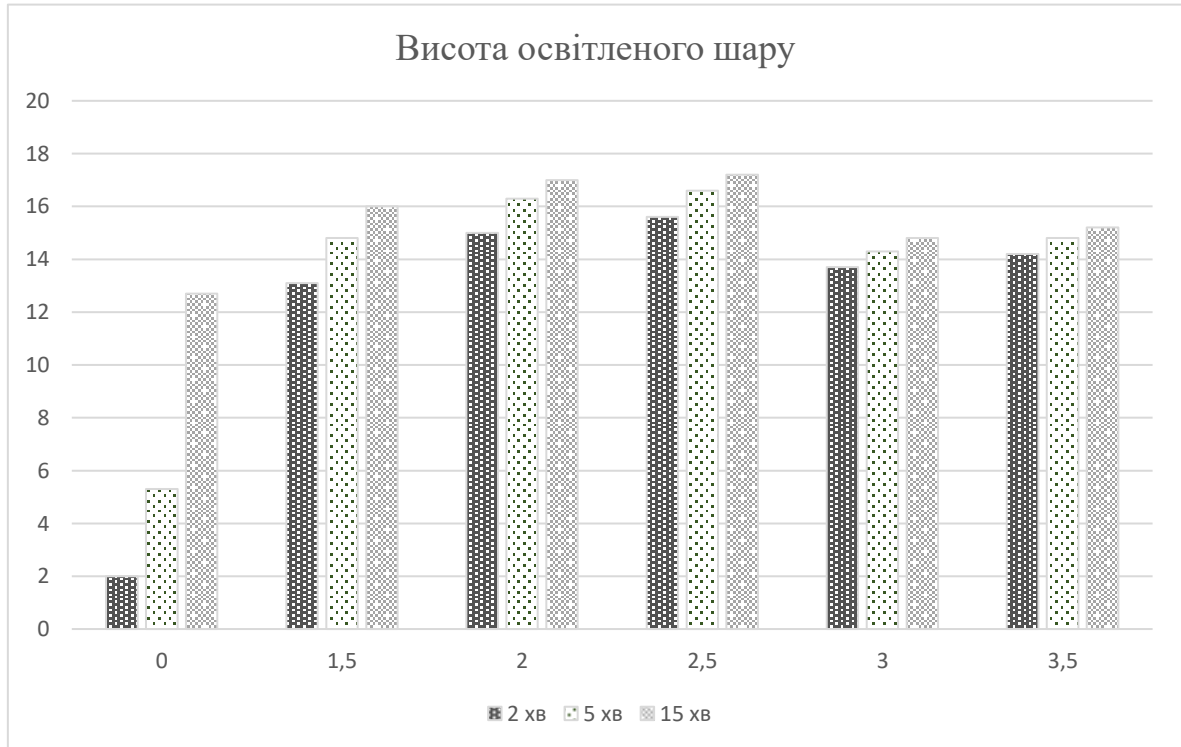


Рис.3.2 Вплив флокулянту на висоту освітленого шару в залежності від дозування

Необхідно відмітити, що у разі введення флокулянту в діапазоні дозування 1,5-3,5 спостерігається практично миттєве осадження осаду і утворення освітленого шару осаду, порівняно з контрольним соком.

На рис 3.3 наведено розрахункові значення ефективності освітлення у разі введення флокулянту.

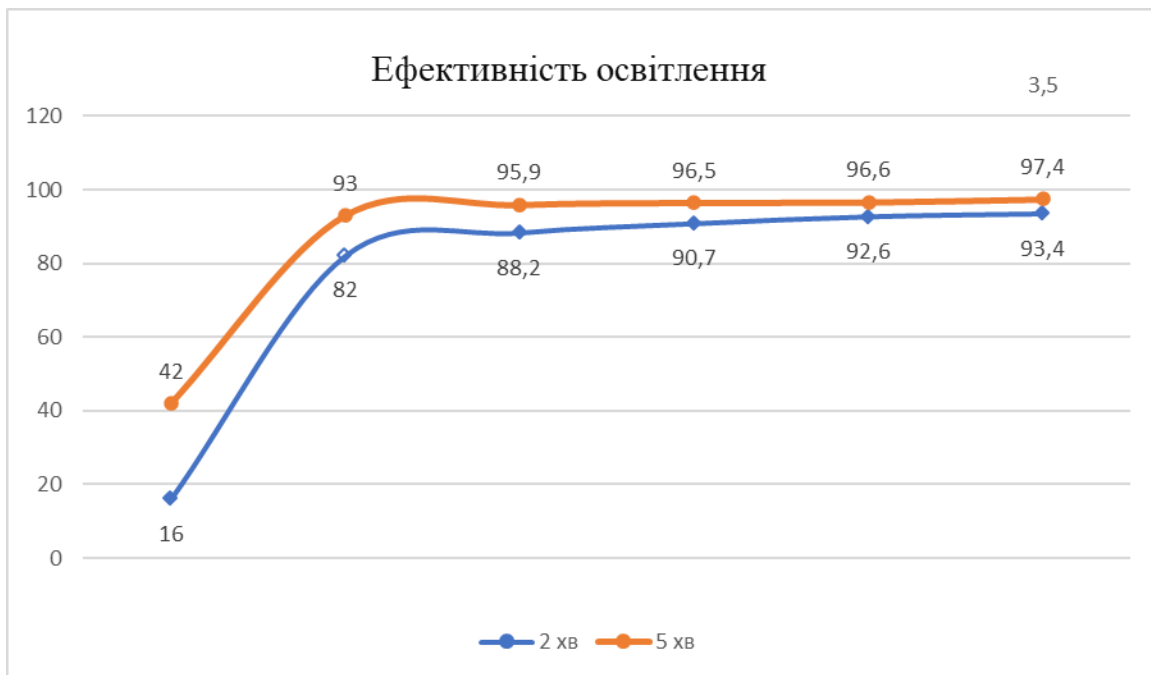


Рис. 3.3 Порівняння ефективності освітлення в залежності від дозування флокулянта «Магнафлок LT27» за тривалості процесу 2 та 5 хв.

Таким чином, у разі введення флокулянту «Магнафлок LT27» досягається практичне повне осадження вже за 5 хв. процесу відстоювання. Так, ефективність освітлення за показником висоти освітленого шару осаду становила за 2 хв. у разі дозування 1,5 г/м³ 82 %. При цьому необхідно відмітити, що у разі подальшого збільшення витрат ефективність процесу підвищувалася незначно, що свідчить про недоцільність їх збільшення.

На рис.3.4 показано залежність швидкості осідання при 2 хвиликах, 5 хвиликах, 15 хвиликах від дозування флокулянта «Магнафлок LT27» при температурі проб соку першої сатурації 85°C. Що стосується показника середньої швидкості осідання осаду (рис. 3.4), то у разі збільшення дозування засобу від 1,5 до 3,5 середня швидкість осадження осаду становить порядку 7 см/хв за 2 хв; і відповідно 3 см/хв за 5 хв та 1,1 см/хв за 15 хв. При дозуванні 2,5 г/м³ досягається найвища швидкість осідання осаду.

Отже, за показниками ефективності освітлення соку та швидкості осадження можна зробити висновок, що дозування понад 1,5-2 незначно

збільшує швидкість процесу, що свідчить про неефективність подальшого збільшення витрат.

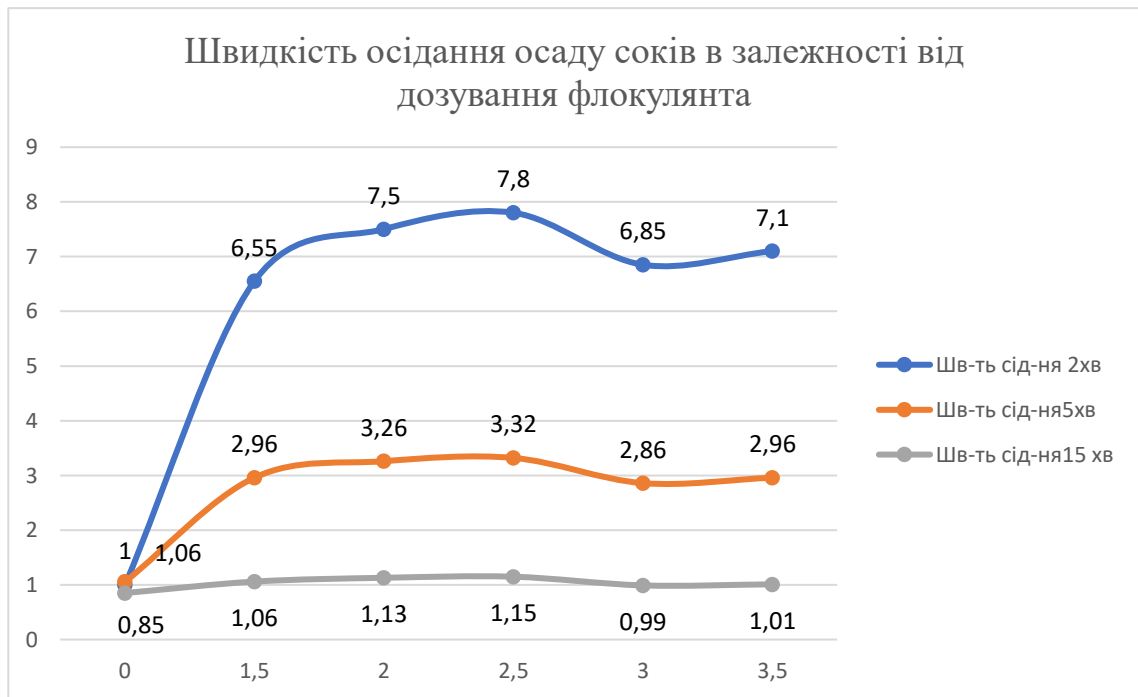


Рис.3.4 Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на швидкість осідання соку 1 сатурації в залежності від дозування

Крім того, в процесі освітлення соку 1 сатурації у відстійниках важливо отримати сік якомога меншої мутності та меншою кількістю забарвлюючих речовин. Нами проаналізовано залежність мутності освітленого соку I сатурації від дозування флокулянту «Магнафлок LT27».

На рис.3.5 зображено порівняння мутності та кольоровості соку першої сатурації розраховану у одиницях ICUMSA в залежності від величини дозування флокулянту марки «Магнафлок LT27». Спостерігається різке зниження до певних показників, а при більших дозах флокулянту зменшення мутності залишається на приблизно тому ж рівні. Кольоровість соку також різко знижується при введенні флокулянту, і спостерігається залежність до зменшення кольоровості при збільшенні дози флокулянту.

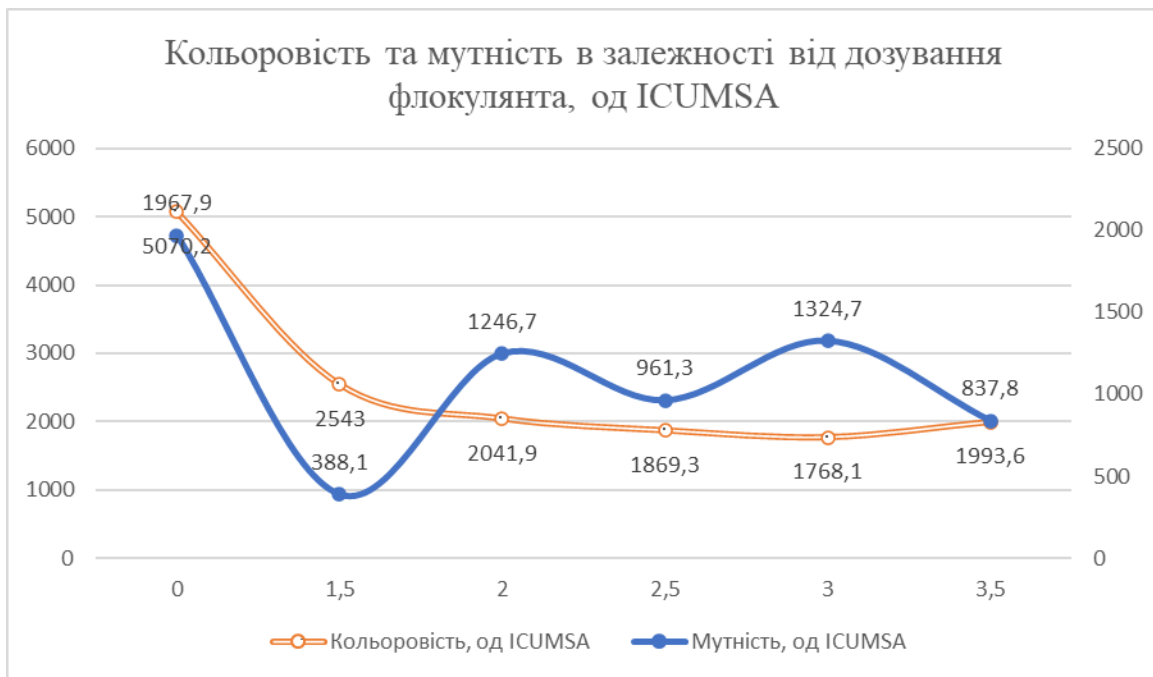


Рис.3.5 Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на показники кольоровості та мутності освітленого соку І сатурації в залежності від дозування флокулянту

Таким чином на основі проведених досліджень встановлено, що дозування додаткового хімічного засобу «Магнафлок LT27» в діапазоні 1,5-2 г/м³ показує найбільше зниження мутності соку, що забезпечує достатньо високу ефективність процесу освітлення соку І сатурації.

3.2.2 Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на технологічні показники соку

В ході проведених дослідів застосування флокулянту «Uniflok LT27» (табл. 3.4) встановлено, що за тривалості процесу 2 хв дозування засобу в межах 1,5...3,5 підвищує швидкість осадження осаду соку І сатурації в 6-7 разів. При збільшенні тривалості процесу до 5 хв. показник швидкості осадження дещо зменшується порівняно до ефективності в перші 2 хвилини, що свідчить, про досягнення практично повного осадження у перші хвилини процесу за умови додавання флокулянту.

Таблиця 3.4 – Технологічні показники якості соку I сатурації при застосуванні флокулянта «UniflokLT27»

Показники	Значення					
Висота освітленого шару соку, см	Дозування флокулянта, г/м ³					
	0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2 хв	2,0	11,3	14,1	13,6	15,2	15,7
5 хв	5,3	13,5	15,6	14,7	16,7	17
15 хв	12,7	14,8	16,5	15,5	17	17,5
Еф. осв. 2 хв, %	16	76	86	88	89	89
Еф. осв. 5 хв, %	42	91	95	95	98	97
Швидкість осідання при 2 хв, см/хв	1	5,65	7,05	6,8	7,6	7,85
Швидкість осідання при 5 хв, см/хв	1,06	2,7	3,12	2,94	3,34	3,4
Швидкість осідання при 15 хв, см/хв	0,85	0,99	1,1	1,03	1,13	1,17
Кольоровість, од ІСУМСА	5070,2	1202,3	1335,7	1322	1795,6	1796
Мутність, од ІСУМСА	1967,9	1588,6	2096,7	2040,2	1833,9	1327,7
Вміст СР фільтрованого соку 1 сатурації, % мас	17,75	17,2	17,1	17,2	17,1	17,0

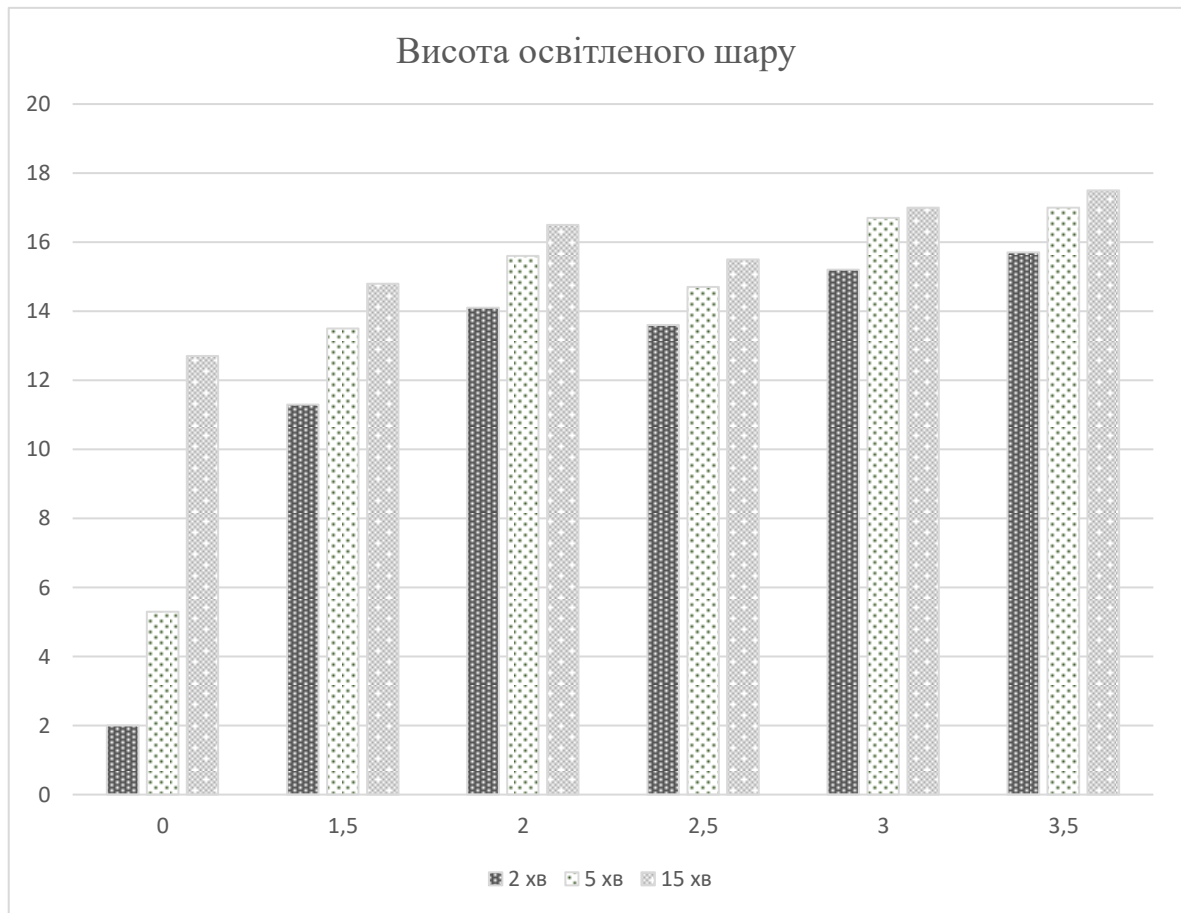


Рис. 3.6 Висота освітленого шару в залежності від дозування флокулянта «UniflokLT27»

Спостереження за дією флокулянту дозволяють бачити прискорення освітлення порівняно з контрольним зразком без флокулянту. Спостерігалось різке збільшення висоти освітленого шару навіть при мінімальних дозах флокулянту. За перші хвилини осідання бачимо досягнення висоти освітленого шару у соках з флокулянтом майже таку як у контрольному зразку, що осідав 15 хвилин.

На рис 3.7 наведено порівняння значень розрахованої ефективності освітлення від введення флокулянту при замірах 2, 5 хвилин відносно освітлення за 15 хвилин. Як видно з графіку, ефективність стрімко зростає і для при двохвилинному відстоюванні соку і сатурації і при п'яти хвилинному за мінімальних доз флокулянту.

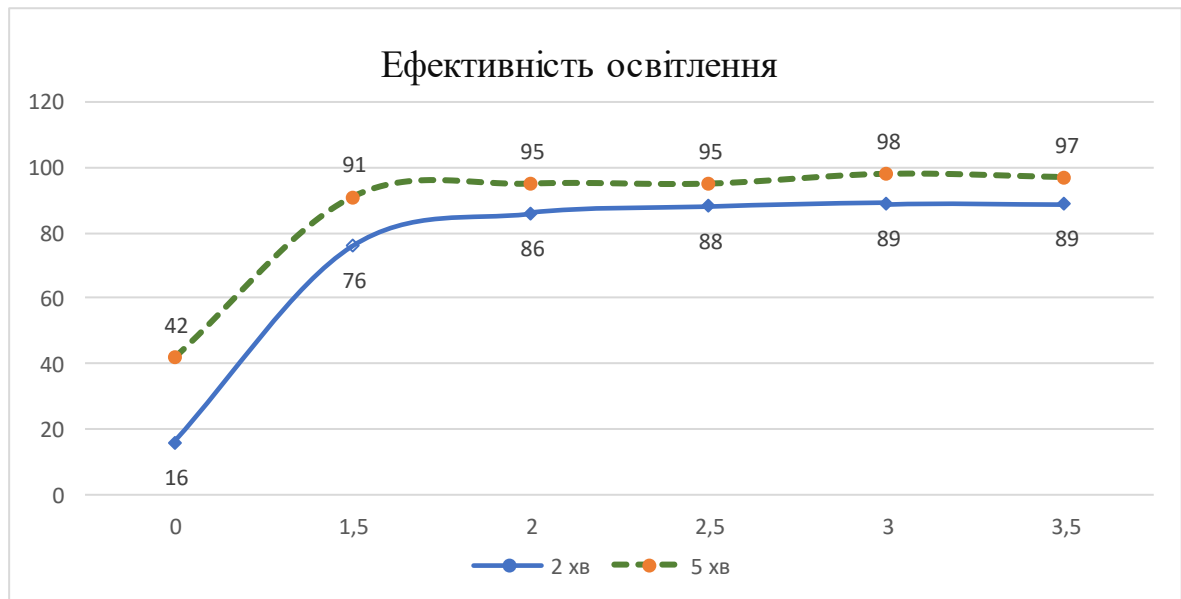


Рис. 3.7 Порівняння ефективності освітлення в залежності від дозування флокуюлянта «UniflokLT27» за тривалості процесу 2 та 5 хв.

Як видно з графіків, при введенні флокуюлянту «Uniflok LT27» досягається майже повне осадження вже за 5 хв. процесу відстоювання. Так, ефективність освітлення за показником висоти освітленого шару осаду становила 86 % за 2 хв. у разі дозування 2 г/м³, а при 5 хв. вже 95%. Відмічаємо, що подальше збільшення витрат флокуюлянту не суттєво збільшує ефективність процесу, тобто є недоцільним.

На рис. 3.8 показано залежність швидкості процесу відстоювання при 2 хв., 5 хв., 15 хв. від дозування флокуюлянта «UniflokLT27» при температурі проб соку першої сатурації 85°C. Що стосується показника середньої швидкості осідання осаду (рис. 3.8), то у разі збільшення дозування засобу від 2,0 до 3,5 середня швидкість осадження осаду становить порядку 7 см/хв за 2 хв; і відповідно 3 см/хв за 5 хв та 1,1 см/хв за 15 хв. При дозуванні 3,5 г/м³ досягається найвища швидкість осідання осаду – 7,8 см/хв, проте при дозуванні 2,0 показник вже є оптимально високим – 7,1 см/хв, і збільшувати його економічно не вигідно.

Отже, за показниками ефективності освітлення соку та швидкості осадження можна зробити висновок, що дозування понад 2,0 незначно

збільшує швидкість процесу, що свідчить про неефективність подальшого збільшення витрат.

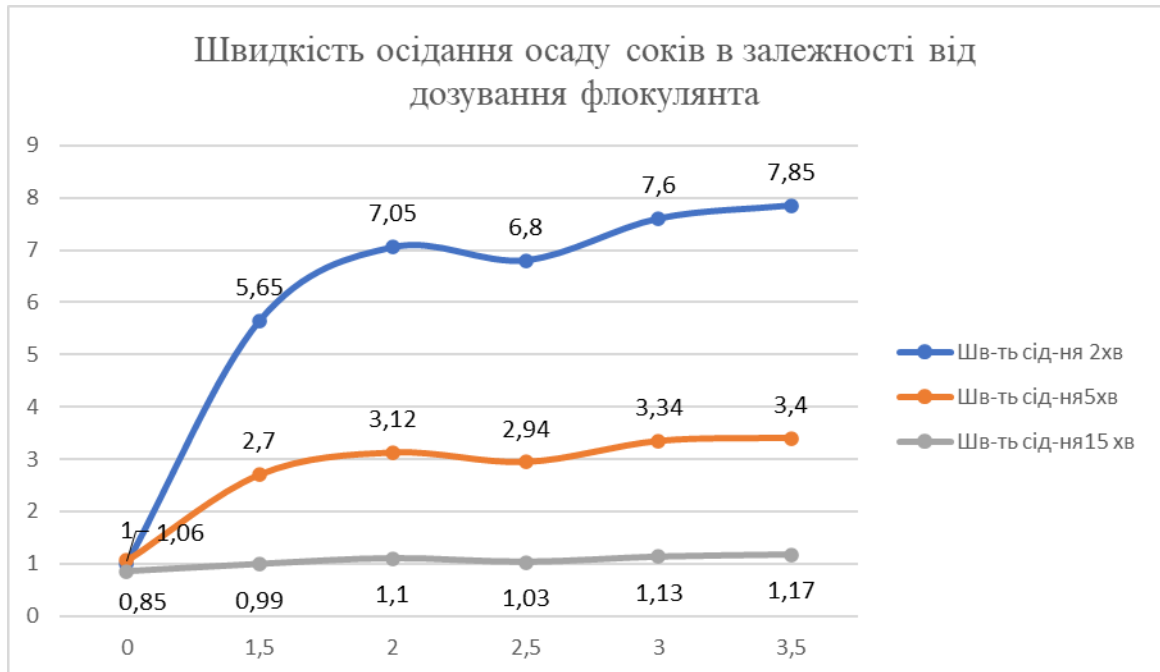


Рис. 3.8 Вплив флокулянту «UniflokLT27» на швидкість осідання соку I сатурації в залежності від дозування

При проведенні аналізування розрахованих показників кольоровості та мутності у одиницях ICUMSA досліджуваного соку першої сатурації при застосуванні різних доз флокулянту «Uniflok LT27» ми побудували графіки залежності на рис. 3.9.

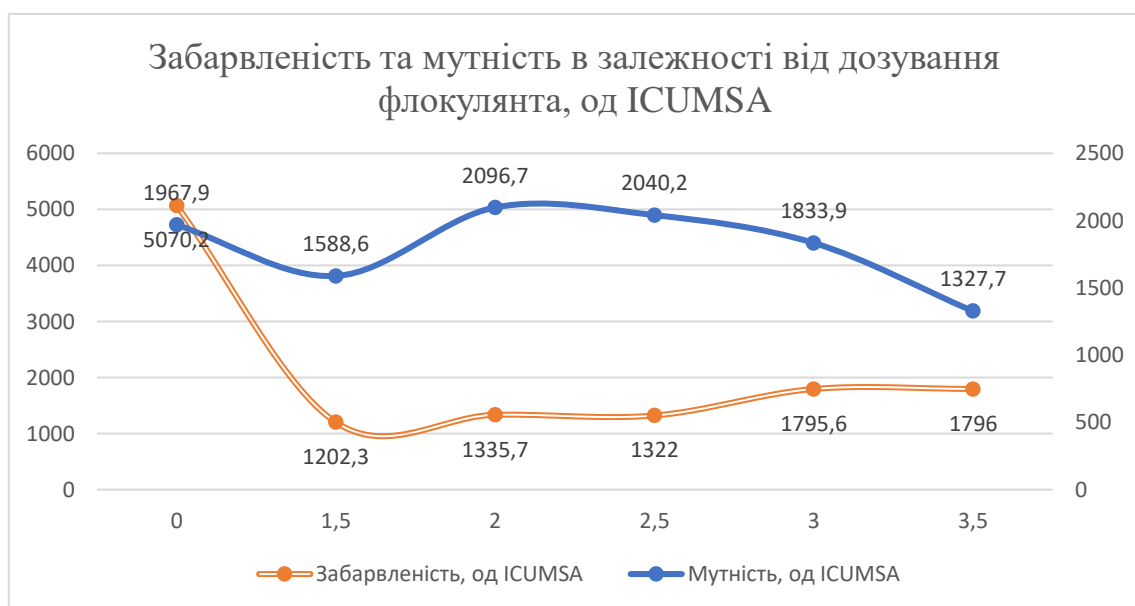


Рис. 3.9 Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на показники кольоровості та мутності освітленого соку I сатурації в залежності від дозування.

Таким чином на основі проведених досліджень можна зробити висновок, що ефективним дозуванням засобу «Uniflok LT27» є 1,5-2,0 г/м³, що забезпечує оптимально високі показники процесу освітлення соку І сатурації.

3.2.3. Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на технологічні показники соку

Третім флокулянтом при проведенні дослідів був «Хімфлок 1009», який використовувався у виробничому сезоні 2020 року. Було зроблено серію дослідів для лабораторно приготовленого розчину цього флокулянту та відібрано для дозування приготвлених розчин з установки заводу. В ході дослідження встановлено, що за тривалості процесу 2 хв дозування засобу в межах 1,5...3,5 підвищує швидкість осадження осаду соку І сатурації в 6-7 разів.

Таблиця 3.5 – Технологічні показники якості соку І сатурації при застосуванні флокулянта «Хімфлок 1009»

Показники	Значення					
	Дозування флокулянта, г/м ³					
Висота освітленого шару соку, см	0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2 хв	1,7	13	13,9	15,5	14,5	16,3
5 хв	5	15,4	15,0	16,2	15,0	17,0
15 хв	12,5	16,3	15,5	16,7	15,2	17,4
Еф. осв. 2 хв, %	14	80	90	93	95	94
Еф. осв. 5 хв, %	40	95	97	97	98	98
Швидкість осідання при 2 хв, см/хв	0,85	6,5	6,95	7,75	7,25	8,15
Швидкість осідання при 5 хв, см/хв	1,0	3,08	3,0	3,24	3,0	3,4
Швидкість осідання при 15 хв, см/хв	0,83	1,09	1,03	1,11	1,01	1,16
Кольоровість, од ІСУМСА	5070,2	1978,9	1303,1	1476,1	1751,7	1735,6
Мутність, од ІСУМСА	1967,9	1303,1	2000,5	1654,5	1751,7	1558,3
Сухі речовини фільтрованого соку 1 сатурації, % мас	17,75	17,3	17,3	17,3	17,6	17,4

При збільшенні тривалості процесу до 5 хв. показник швидкості осадження дещо зменшується порівняно до ефективності в перші 2 хвилини, що свідчить, про досягнення практично повного осадження у перші хвилини процесу за умови додавання флокулянту.

Для оцінки ефективності процесу освітлення використовуємо аналогічну формулу (3.1) співвідношення висоти шару освітленого соку за 2 хв та 5 хв. порівняно до максимального освітлення за 15 хв.

На рис. 3.10 представлено порівняння висоти освітленого шару в залежності від дозування флокулянта «Хімфлок 1009», що додавали до соку першої сатурації з замірами при 2, 5 та 15 хв. відстоювання у колбах.

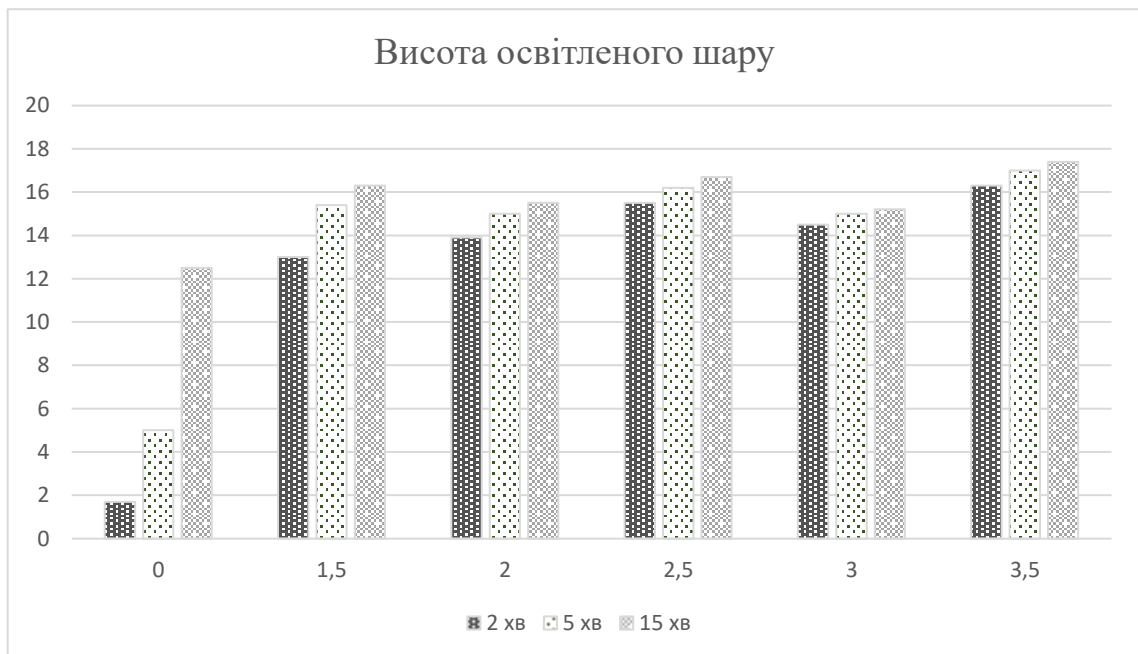


Рис.3.10 Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на висоту освітленого шару в залежності від дозування у сік першої сатурації.

Одразу після додавання флокулянта до соку першої сатурації ми спостерігали практично миттєве осідання осаду та прискорення освітлення порівняно з контрольним зразком без флокулянту.

На рис 3.11 наведено порівняння значень розрахованої ефективності освітлення соку першої сатурації від введення флокулянту при замірах 2, 5 хвилин відносно освітлення за 15 хвилин.

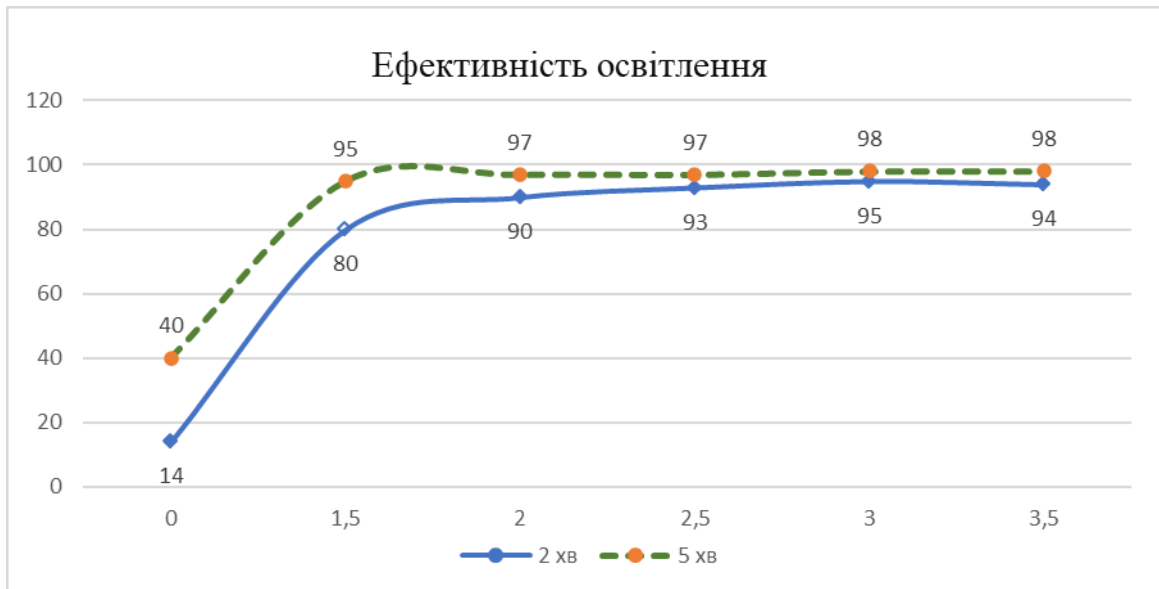


Рис. 3.11 Порівняння ефективності освітлення в залежності від дозування флокулянта «Хімфлок 1009» за тривалості процесу 2 та 5 хв.

Аналізуючи побудовані графіки, ми бачимо, що при введенні $1,5 \text{ г/м}^3$ флокулянту «Хімфлок 1009» досягається майже повне осадження вже за 5 хв. процесу відстоювання. Ефективність освітлення при цій дозі за показником висоти освітленого шару осаду становила за 2 хв. 80 %, а при 5 хв. вже 95%. Також видно, що збільшення витрат флокулянту до $3,5 \text{ г/м}^3$ не збільшує суттєво ефективність процесу, тобто є недоцільним.

На рис.3.12 показано залежність швидкості процесу відстоювання при 2 хв., 5 хв., 15 хв. від дозування флокулянта «Хімфлок 1009» при температурі проб соку першої сатурації 85°C . При збільшенні дозування засобу від 2,0 до $3,5 \text{ г/м}^3$ середня швидкість осадження осаду становить $7,3 \text{ см/хв}$ за 2 хв; і відповідно $3,1 \text{ см/хв}$ за 5 хв та $1,1 \text{ см/хв}$ за 15 хв. При дозуванні $3,5 \text{ г/м}^3$ досягається найвища швидкість осідання осаду – $8,15 \text{ см/хв}$, проте при дозуванні 2,5 показник вже є оптимально високим – $7,75 \text{ см/хв}$, і збільшувати його економічно не вигідно.

Отже, за показниками ефективності освітлення соку та швидкості осадження можна зробити висновок, що дозування понад 2,5 незначно збільшує швидкість процесу, що свідчить про неефективність подальшого збільшення витрат.

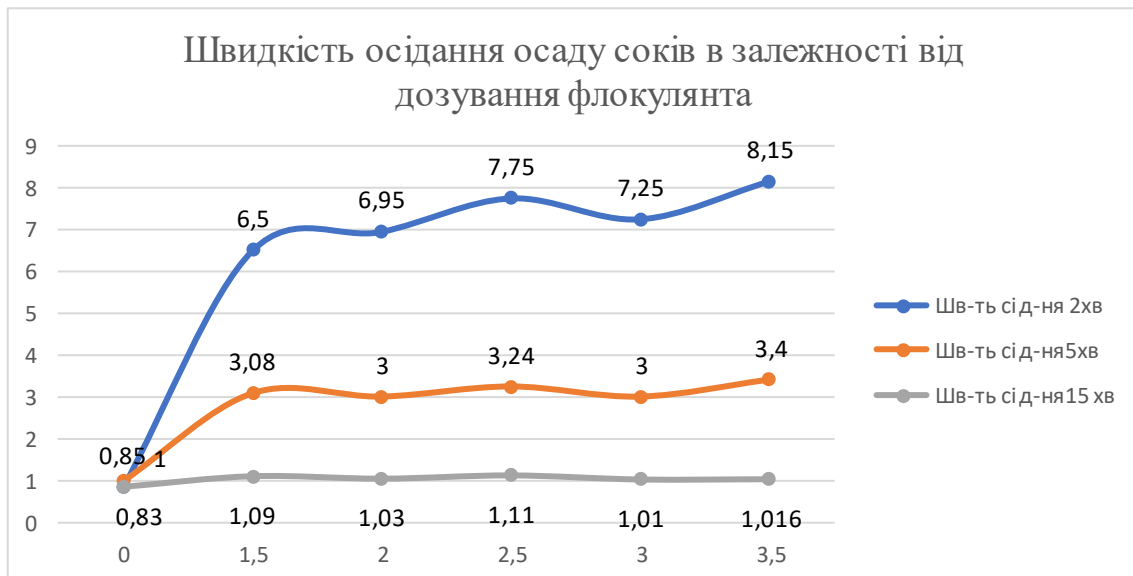


Рис.3.12 Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на швидкість осідання осаду соку I сатурації в залежності від дозування.

На рис. 3.13 побудовані графіки залежності розрахованих показників кольоровості та мутності у одиницях ICUMSA досліджуваного соку першої сатурації при застосуванні різних доз, від 1,5 до 3,5 г/м³, флокулянту «Хімфлок 1009».

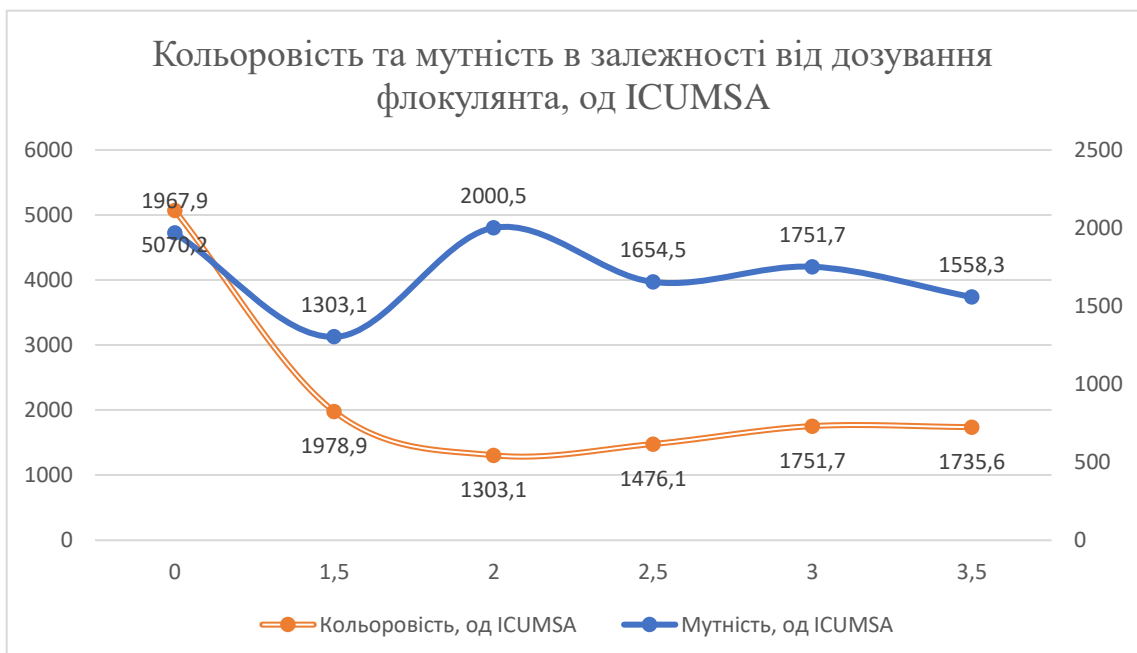


Рис.3.13 Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на кольоровості та мутності освітленого соку I сатурації в залежності від дозування.

Проведені аналізи дають нам змогу зробити висновок, що ефективним дозуванням засобу флокулянту «Хімфлок 1009» буде у межах 1,5-2,0 г/м³, що забезпечує оптимально високі показники процесу освітлення соку І сатурації.

Окремо провели дослідження для промислово приготовленого флокулянту «Хімфлок 1009» зі станції підготовки флокулянту Новооржицького цукрового заводу. Додавали флокулянт у дозах від 1,5 до 3,5 г/м³ до соку І сатурації, розливаючи його у циліндри.

Таблиця 3.6 – Технологічні показники якості соку І сатурації при застосуванні промислово приготовленого флокулянта «Хімфлок 1009»

Показники	Значення					
Висота освітленого шару соку, см	Дозування флокулянта, г/м ³					
	0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
2 хв	2,3	16,7	15,7	16,2	16,7	15,5
5 хв	5,9	17,0	16,2	17,0	17,2	15,8
15 хв	13,4	17,5	16,4	17,7	17,4	16,2
Еф. осв. 2 хв, %	17	95	96	92	96	96
Еф. осв. 5 хв, %	44	97	99	96	99	98
Швидкість осідання при 2 хв, см/хв	1,15	8,35	7,85	8,1	8,35	7,75
Швидкість осідання при 5 хв, см/хв	1,18	3,4	3,24	3,4	3,44	3,16
Швидкість осідання при 15 хв, см/хв	0,89	1,13	1,09	1,18	1,16	1,08
Кольоровість, од ІСУМСА	1860	1809	1728	1821	1815	1886
Мутність, од ІСУМСА	10533	1843	1414	1675	1699	1822

Аналогічно дії флокулянтів, що були приготовлені у лабораторії, після додавання даного флокулянта «Хімфлок 1009» до соку першої сатурації ми спостерігали миттєве осідання осаду та прискорення освітлення порівняно з контрольним зразком без флокулянту.

На рис.3.14 показано порівняння впливу на швидкість процесу відстоювання при 2 хв., 5 хв., 15 хв. в залежності від дозування флокулянта «Хімфлок 1009» лабораторного розчину та промислового розчину. Вже при введенні першої дози $1,5 \text{ г/м}^3$ досягається найвища швидкість осідання осаду – $8,35 \text{ см/хв.}$

Отже, за показниками ефективності освітлення соку та швидкості осадження можна зробити висновок, що вже при дозуванні $1,5 \text{ г/м}^3$ промислово приготовленого флокулянту досягається максимальна швидкість процесу, що може говорити про неефективність подальшого збільшення витрат.

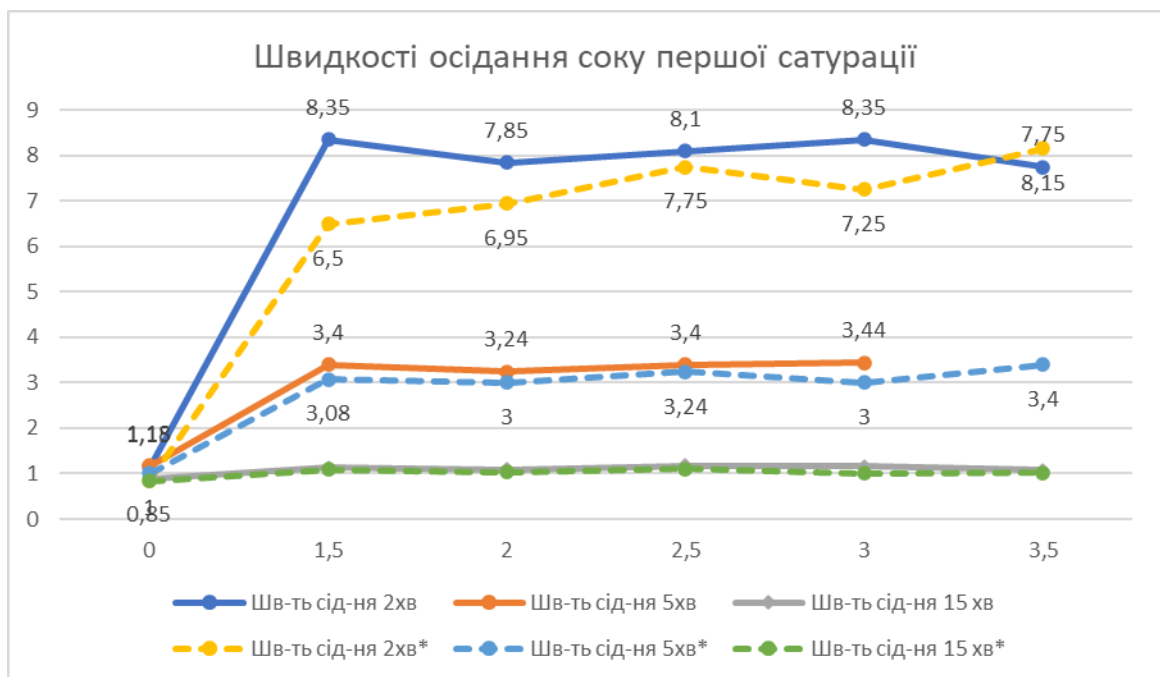


Рис.3.14 Порівняння швидкостей осідання соку 1 сатурації в залежності від дозування розчину лабораторного приготування (*) та промислово приготовленого флокулянта «Хімфлок 1009»

3.2.5. Порівняння ефективності дії флокулянтів

На рис. 3.15 представлено порівняння швидкості осадження осадів соку першої сатурації при 2 хвилинах відстоювання при введенні різних доз трьох флокулянтів. Можна бачити, що дія флокулянта «Магнафлок LT27» є швидшою, порівняно з іншими флокулянтами за дозувань 1,5 – 2,5 що ми визначили як дієвими та економічно обґрунтованими.

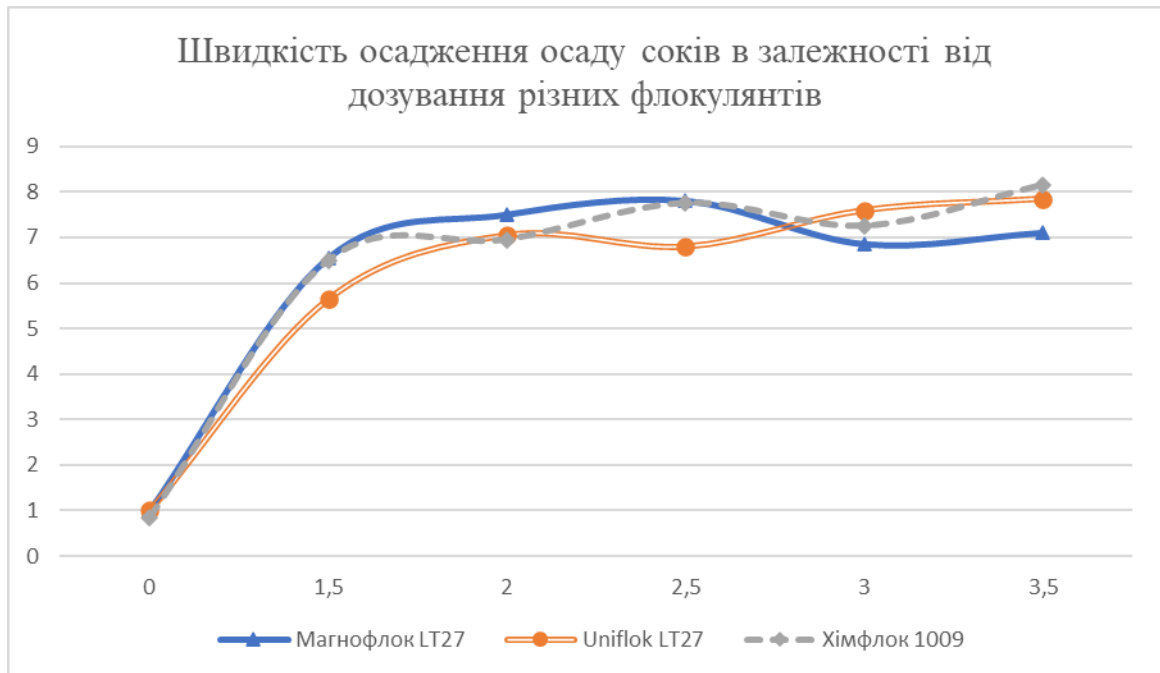


Рис.3.15 Порівняння впливу флокулянтів при 2 хвилинах швидкостей осадження осадів соку I сатурації в залежності від дозування флокулянтів марок «Магнафлок LT27», «Uniflok LT27» та «Хімфлок 1009»

На рисунку 3.16 представлено порівняння мутності соків першої сатурації після застосування трьох різних флокулянтів у різних дозуваннях. З наведених даних ми спостерігаємо найменші показники мутності при застосуванні флокулянту «Магнафлок LT27» за дозування 1,5г/м³ та тенденцію до збільшення при дозуванні до 2 г/м³.

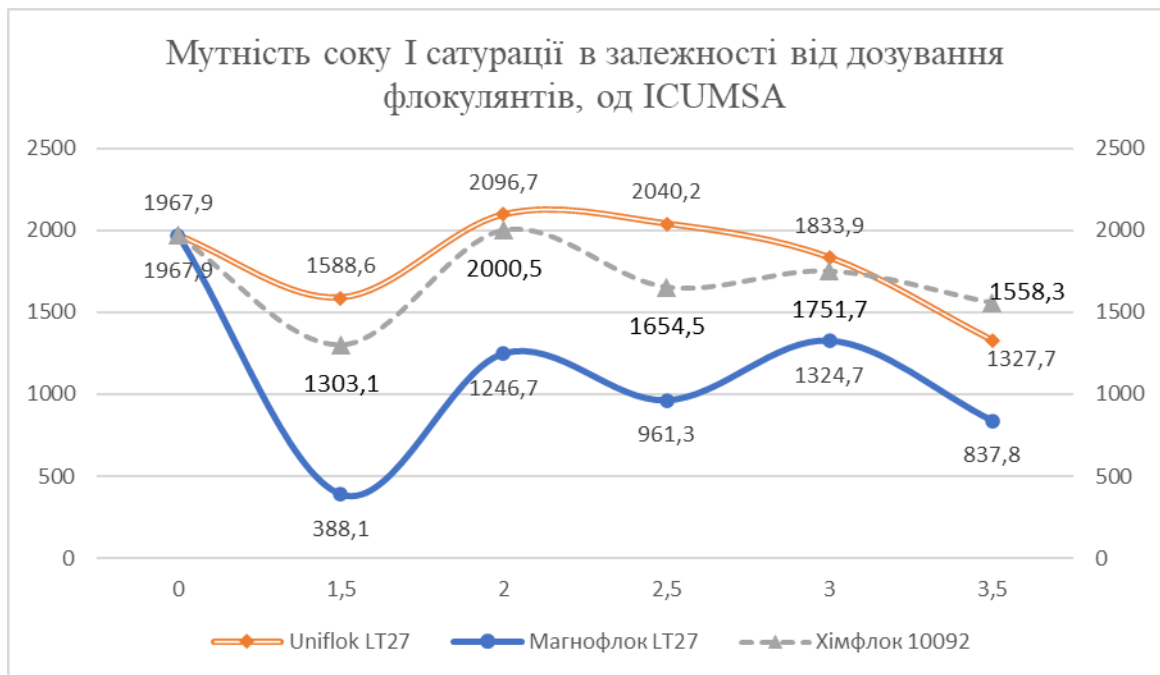


Рис. 3.16 Вплив флокулянтів «МагнофлокLT27», «UnifлокLT27»та «Хімфлок 1009» на мутність соку I сатурації в залежності від їх дозування

Виходячи з результатів експериментальних досліджень (табл. 3.3, табл. 3.6), необхідно відмітити, що введення всіх досліджуваних флокулянтів до соку першої сатурації перед відстійниками сприяло інтенсифікації процесу очищення дифузійного соку, зокрема, збільшенню ефективності освітлення соку та підвищенню швидкості седиментації осаду соку I сатурації.

3.3. Дослідження процесу відділення осаду соку I сатурації у відстійниках

3.3.1. Опис технологічної схеми очищення соку на Новооржицькому цукровому заводі

Фізико-хімічна очистка дифузійного соку на Новооржицькому цукровому заводі відбувається на станції дефекосатурації. Очистка складається з таких етапів:

- попередня дефекація (тепла).
- основна дефекація (холодна).
- основна дефекація (гаряча).
- I сатурація.

- дефекатор перед II сатурацією.
- II сатурація.

У таблиці 3.7 представлені технічні характеристики обладнання станції дефекосатурації.

Таблиця 3.7 – Характеристики обладнання дефекосатурації

Найменування і позначення обладнання	Кількість	Технічна і механічна характеристика
1. Преддефекатор Брігель – Мюллера РЗ- ППД-6,0	1	$V_{\text{повн}} = 127 \text{ м}^3$
2. Основна дефекація (холодна ступінь) Ш 1 ПДХ – 6	1	$V_{\text{повн}} = 500 \text{ м}^3$
3. Основна дефекація (гаряча ступінь) ОД- 6,0	1	$V_{\text{кор}} = 90 \text{ м}^3$
4. I сатурація	1	$V_{\text{повн}} = 72 \text{ м}^3$
5. Дефекатор перед II сатурацією	1	$V_{\text{кор}} = 25 \text{ м}^3$
6. Сатуратор соку II сатурації	1	$V_{\text{кор}} = 63 \text{ м}^3$
7. Відстійники соку I сатурації РЗ – ПОС – 1,5 ПС РЗ – ПОС – 1,5 ПС (швидкісний)	1 3	$V_{\text{соку}} = 107 \text{ м}^3$ висота 4,8 м; вертикальний діаметр – 5,5 м; загальна площа відстоювання – 127 м^2
8. Вакуум – фільтри соку I сатурації БМА – 63 БОУ – 40	4 3	Загальна площа поверхні фільтрування 183 м^2 $S_{\text{фільтр}} = 63 \text{ м}^2$ $S_{\text{фільтр}} = 40 \text{ м}^2$
9. Збірник нефільтрованого соку I сатурації	1	$V_{\text{кор}} = 45 \text{ м}^3$
10. Збірник фільтрованого соку I сатурації	1	$V_{\text{кор}} = 50 \text{ м}^3$
11. Збірник нефільтрованого соку II сатурації	1	$V_{\text{кор}} = 25 \text{ м}^3$
12. Відстійники «Пассоса» соку II сатурації	2	$V_{\text{кор}} = 128 \text{ м}^3$ висота – 6,4 м; вертикальний діаметр – 4,7 м; загальна площа відстоювання – 128 м^2
13. Збірник фільтрованого соку II сатурації	1	$V_{\text{кор}} = 25 \text{ м}^3$
14. Фільтри «Тісер» соку II сатурації	8	Площа поверхні фільтрації $S_{\text{кор}} = 85 \text{ м}^2$
15. Дискові фільтри сиропу ДФ - 150	10	Горизонтальний, корисна площа фільтрування 150 м^2

Схема очищення дифузійного соку наведена у Додатку 1. Дифузійний сік надходить в преддефекатор, потім на холодну ступінь основної дефекації.

Головним показником нормальної роботи прогресивної преддефекації являється плавне наростання лужності по камерах апарату, а також постійне дотримання параметрів оптимального технологічного режиму.

Мета преддефекації – нейтралізація кислотності дифузійного соку, коагуляція колоїдів та одержання крупнозернистого осаду, стійкого до дії високої лужності та температури на основній дефекації.

Преддефекація проводиться в преддефекаторі Брігель–Мюллера. Холодна дефекація призначена для розкладу редукуючих речовин, азотних речовин дифузійного соку на холоді шляхом дефекації соку вапняковим молоком. Сік із попереднього дефекатора через переливний карман самопливом разом з потрібною кількістю вапнякового молока, направляється в холодний дефекатор Ш1-ПДХ – 6,0 (корисний об'єм якого 500 м³, час перебування соку - 10 хвилин), де продовжується процес очистки сок. Процес очистки соку продовжується за рахунок додавання вапняного молока, кількість якого залежить від якості сировини. Преддефекований сік повинен мати рН 10,8-11,2, лужність 0,18 – 0,22 % СаО. На проведення преддефекації впливає кількість повернення осадженої суспензії, кількість вапнякового молока. Контроль ведеться за значенням рН преддефекованого соку і швидкості осідання. Густина вапнякового молока - 1,18-1,19 (за питомою масою). Витрата вапна – 1,5 - 2,2% СаО до маси буряків, в залежності від якості буряків. Лужність дефекованого соку за фенол-фталеїном- 1,1 - 1,3 % СаО, за м/о 2,1 – 2,3 % СаО.

Далі дефекований сік із холодного дефекатора насосами Д630-90 (2шт.) через ряд підігрівачів: секційний теплообмінник I групи, горизонтальний підігрівач II групи, секційний підігрівач III групи, підігрівачі ПДС 4 групи (4шт.) з температурою 86°С подається в котел гарячої дефекації (ОД-6,0 корисним об'ємом 90м³, тривалість перебування соку 10 хвилин).

Мета основної дефекації – проведення реакцій розкладання ряду неорганічних кислот, коагуляції та осадження колоїдних речовин та більшої частини аніонів кислот, створення надлишку вапна для отримання достатньої кількості CaCO_3 на I сатурації. Холодна ступінь проводиться в вертикальному дефекаторі $V=500 \text{ м}^3$, тривалість 10 хв. На проведення основної дефекації впливає кількість вапняного молока і тривалість процесу. Контроль ведеться по лужності дефекованого соку, яка повинна бути 1,0 – 1,3% CaO в залежності від якості буряка. Дефекований сік нагрівається до температури 80-86 °C і поступає на «гарячу» дефекацію, де проходить розклад редуруючих та азотних речовин. Продувку апарату виконують згідно встановленого графіку. рН дефекованого соку - 11,8-12,0.

Мета I сатурації – фізико-хімічне очищення шляхом адсорбції нецукрів на поверхні осаду CaCO_3 . На Новооржицькому цукровому заводі I сатурація двох котлова: котел I-а та I –Б. Котел I сатурації I-А (корисний об'єм 72 м³) обладнаний системою газорозподілення «Трубки Ріхтера» та циркуляційною трубою ТК-СК-1А- 8,0. Дефекований сік через патрубок потрапляє у внутрішню циркуляційну трубу апарату I –А сатурації, де інтенсивно змішується з сатураційним газом. Сік з утвореними зародками осаду переливається з циркуляційної труби в простір між корпусом і трубою. Далі сік опускається до низу продовжуючи реагувати з CO_2 в циркуляційному контурі.

Частково відгазований сік з апарату I-А сатурації регулюється за активною лужністю. Регулювання заданої лужності соку в апараті I-А здійснюється в автоматичному режимі регулюючими засувками, які змонтовані на трубопроводі подачі CO_2 .

Конструктивно апарат I-Б відрізняється від I-А газорозподільним пристроєм. рН сатураційного соку 10,8 – 11,2, лужність 0,09-0,11 % CaO . Котел I сатурації I-Б (корисний об'єм 62 м³) обладнаний системою газорозподілення ТК.СК-1Б.8,0 та циркуляційною трубою ТК-СК-1Б- 8,0.

На проведення I сатурації впливає вміст CO₂ в сатураційному газі і утилізація газу. Контроль ведеться за рН і за лужністю соку.

Далі сік самопливом поступає в збірник не фільтрованого соку I сатурації. Потім сатураційний сік насосами Д630-90 (2шт.) направляється на підігрівачі ПДС I група (2шт.), теплообмінники (2шт.), де гріється до температури 85-88 °С і направляється на розподільчий збірник над відстійниками соку I сатурації РЗ-ПОС-1,5. До 2018 року використовувалися чотири п'ятирусних відстійники (Додаток 2). У 2018-2019 роках модернізували у тонкошарові – однорусні три з чотирьох відстійників (Додаток 3). Перший рік після першого етапу модернізації працювали два п'ятирусних і два тонкошарових, з 2019 року працюють три однорусних. До збірників куди також подається флокулянт типу «Магнофлок ЛТ-27», приготовлений згідно схеми рекомендованої ПрАТ «Лан». Загальна площа відстоювання 370 м². Контрольна фільтрація соку I сатурації відсутня. Швидкість відстоювання соку - 15-20 см за 5 хв. Температура соку I сатурації - 85-87 °С. Декантат повинен бути прозорим, світло – солом'яного кольору, без завислих частинок.

На відстійниках сік розділяється на декантат та суспензію соку I сатурації. Освітлений сік I сатурації надходить у збірник фільтрованого соку I сатурації.

Згущена суспензія із відстійників поступає в мішалку і насосами СВН 80/32 (2шт.) направляється на вакуум-фільтраційну установку, де фільтрується з відбором соку та промию, які поступають в окремі збірники. Сік поступає в збірник не фільтрованого соку I сатурації, а промий через швидкісний підігрівник, площею поверхні нагріву 30м², направляється в вапнякове відділення - для гасіння вапна. Осад з фільтрів поступає на похилий жолоб, яким подається в мішалку, де розбавляється оборотною водою і насосом направляється на поля фільтрації.

Частина суспензії соку I сатурації за допомогою насоса СОР-30 (1ШТ.), СОР-60 (1шт.) повертається в апарат попередньої дефекації.

Фільтрований сік з відстійників самопливом поступає в збірник фільтрованого соку I сатурації, з нього через підігрівачі в дефекатор перед II сатурацією і потім в котел II сатурації.

Далі фільтрований сік I сатурації насосом Д 630-90 (2шт.) через підігрівники ПДС-10-300 (2шт.), де гріється до температури 92-95 °С, направляється в дефекатор перед II сатурацією (мета: поліпшення якості очистки соків перед II сатурацією при переробці некондиційного буряка, або буряка погіршеної якості за рахунок обробки соку вапняковим молоком) і далі сік самопливом направляється в котел II сатурації.

Призначення II сатурації – максимальне видалення з розчину в осад іонів кальцію і додаткова адсорбція розчинних нецукрів на поверхні утворених часток карбонату кальцію, вилучити солі Са, розкласти редуруючі речовини і аміді. II сатурація проводиться в барботерному сатураторі з внутрішнім циркуляційним корпусом. Котел II сатурації обладнаний системою газорозподілу ТК-Ск-2.8,0 М та циркуляційною трубою ТК-СК-2.8,0М. На проведення II сатурації впливає склад CO₂ в сатураційному газі. Контроль ведеться по рН і по лужності. Температура соку перед II сатурацією 95 – 97 °С. Лужність фільтрованого соку по фенолфталеїну, % СаО - 0,015 – 0,025. рН соку II сатурації 9,2 – 9,5.

Потім сік із сатуратора направляється в збірник нефільтрованого соку II сатурації, звідки насосом Д 630-90 (2шт.) подається на фільтрацію - на відстійники Пассоса з площею фільтрації 128 м² кожний. Після відстійників II сатурації сок направляється на контрольну фільтрацію, яка відбувається на фільтрах «Тісер» в кількості 8 шт. Площа фільтрації 680 м².

Фільтрований сік II сатурації направляється в збірник фільтрованого соку, а згущена суспензія разом з дифузійним соком направляється за різними схемами дачі сгущеної суспензії - це:

- в I камеру преддефекатора;
- в дифузійний сік перед преддефекатором;
- в комунікацію нагнітання фільтрованого соку I сатурації;
- в котел I-Б котла I сатурації.

При переробці буряка різної якості технолог приймає рішення за якою схемою доцільно працювати.

Після фільтрації сік поступає на збірник соку перед випаркою. Потім через підігрівачі соку перед випарною станцією на випарну установку, яка складається з 4-х корпусів з концентратом, загальна площа поверхні нагріву – 20700 м². Після уварювання соку утворюється сироп, який поступає на збірник стандарт-сиропу перед вакуум – апаратами, куди подаються клеровки. Сироп з клеровками із збірника стандарт-сиропу поступають через підігрівник на станцію фільтрації, яка відбувається на дискових фільтрах ДФ-150 (10шт.)

Головною умовою якісної обробки соку являється безвідмовна робота автоматичних контурів регулювання співвідношення: «дифузійний сік-повернення», а також «рН преддефекованого соку – вапняне молоко».

Гравітаційні відстійники призначені для поділу соку I сатурації на освітлений сік (декантат) і згущене суспензію осаду соку I сатурації. Сутність модернізації відстійників соку I сатурації полягала у заміні внутрішньої конструкції п'ятишарового відстійнику на тонкошаровий одноярусний відстійник-освітлювач, залишивши тільки корпус. У додатках 2 і 3 приведені креслення конструкції відстійників до модернізації та після.

Конструкція п'ятишарових відстійників марки РЗ-ПОС-1,5 являє собою вертикальний циліндричний корпус діаметром 5,5 м з конічним днищем і кришкою. У середині корпусу встановлено вертикальні перегородки, що розділяють відстійник на п'ять ізольованих робочих ярусів висотою 800 мм і місткістю 18 м³ кожний. Верхній шостий ярус є підготовчим. Труби слугують для відводу осаду з грязьових камер відстійника, а колектори з отворами в нижній частині - для відводу освітленого соку на зовнішні колектори. Перебуваючи певний час в ярусах відстійника (70-80 хвилин), сік відстоюється. Декантат відбирається з верхньої частини кожного ярусу за допомогою колекторів і виводиться з відстійника через патрубки. У свою

чергу, до останніх приєднуються стояки, по яких сік надходить в контрольний ящик, а з нього на подальшу переробку.

Осад опускається на конічні перегородки щільністю 1120 - 1200 кг/м³ та згрібається пристроями в грязьові камери, з яких у вигляді згущеної суспензії через труби і патрубки відводиться в контрольний ящик згущення суспензії, а звідти на вакуум-фільтри.

Таким чином, кожен робочий ярус відстійника є одночасно і камерою освітлення, і камерою ущільнення осаду. Завантаження секцій в такому відстійнику однакова. Декантат в цьому типу відстійнику при переробці кондиційної буряка виходить практично без каламуті, що дозволяє виключити контрольне фільтрування. Для хорошої роботи відстійників необхідно забезпечити рівномірне надходження соку першої сатурації. При наявності декількох відстійників сік між ними необхідно розподіляти рівномірно. Зміною кількості відбирається освітленого соку регулюють його чистоту. Згущену суспензію необхідно відбирати рівномірно.

До переваг відстійників відносяться простота обслуговування і відсутність необхідності в фільтрувальній тканині, якщо порівнювати з фільтрацією на дискових фільтрах.

Недоліки гравітаційних багат шарових відстійників: вони громіздкі і займають багато виробничої площі, сік в них перебуває тривалий час, що обумовлює підвищення кольоровості соку, також освітлений сік при переробці буряка містить багато каламуті, важко фільтруються на контрольних фільтрах.

Модернізований тонкошаровий відстійник-освітлювач з фільтруючим шаром осаду дає інтенсифікацію процесу освітлення соку за рахунок використання флокулянтів, прибирання зони вільної седиментації шляхом вводу соку I сатурації під шар осаду. Така конструкція дозволяє скоротити тривалість відстоювання у 3 - 4 рази у порівнянні з багатоярусним відстійником, виключити контрольне фільтрування освітленого соку та

підвищити якість соку першої сатурації, зменшивши мутність та забарвленість.

Схема роботи модернізованого відстійника: нефільтрований сік зі збірника подається на деаератор. У ньому відбувається перемішування соку, відділення повітря, піни, газів. Далі сік надходить в горизонтальний кільцевий короб відстійника. У нього ж надходить дозована кількість флокулянта, приготованого в установці приготування розчину. В процесі роботи швидкість висхідного потоку підтримується нижче швидкості осадження твердих частинок, за рахунок чого утворюється зона розділу рідкої і твердої фаз і відбувається укрупнення твердих частинок в зоні фільтруючого шару. Крім відстоювання, в зоні гравітаційних сил відбувається також фільтрація суспензії через шар осаду. Освітлений сік надходить в кільцевий жолоб, звідки самопливним надходить до збірки освітленого соку I сатурації і далі насосами подається на II сатурацію, а згущена суспензія безперервно відводиться з накопичувача осаду в мішалку суспензії соку I сатурації.

Для ефективної і надійної роботи освітлювача такого типу необхідно, щоб середня швидкість осадження частинок була близько 8-10 см/хв. Тому для його ефективної роботи в нефільтрований сік безперервно і рівномірно дозують флокулянт в кількості 0,1-4 г/м³ соку. Застосування флокулянту у одноярусному відстійнику дозволяє зменшити час відстоювання до 15 хвилин, порівняно з п'ятиярусним відстійником - 70-80 хвилин, виключити повторне фільтрування освітленого соку і підвищити якісні характеристики соку, а саме зменшити кольоровість соку, відвести більшу кількість солей кальцію, що забезпечує термостійкість соку на випарних установках.

3.3.2. Аналіз якості соків у виробництві

В процесі очищення дифузійного соку при різних показниках технологічної якості цукрових буряків необхідно досягти максимального видалення з розчину нецукрів, високомолекулярних сполук, дикарбонових кислот і забарвлюючих речовин. Під час вапно-вуглекислотного очищення

дифузійного соку ступінь видалення нецукрів на окремих стадіях процесу досягає, %: на преддефекації —21–27, основній дефекації — 3–5, I сатурації — 8–9, II сатурації — 3–4, а сумарний ефект очищення коливається у значеннях 35–40 %.

На Новооржицькому цукровому заводі як і на більшості працюючих в Україні заводах існує дефіцит сировини. Доводиться переробляти сировину різної якості, в тому числі і погіршеної, від складних умов при вирощуванні, тривалому зберіганні на полях та тимчасовому зберіганні на кагатному полі заводу. У табл.3.8 наведені показники цукрових буряків у сезоні 2020 року.

Таблиця 3.8 – Якісні показники цукрових буряків за добу під час проведення дослідження на Новооржицькому ЦЗ

№	Показник	Значення
1.	Дигестія буряків при прийманні,%	17,69
2.	Відсоток забрудненості буряків,%	8,14
3.	Відсоток забрудненості буряків після мийки,%	0,49
4.	Вміст зеленої маси,%	1,82

Характеристики дифузійного соку до та після очищення у виробничому сезоні 2020 року на Новооржицькому цукровому заводі наведені в табл. 3.9

Табл. 3.9 – Якісні характеристики дифузійного соку до очищення і після

№	Показник	Дифузійний сік	Очищений сік
1.	Вміст сухих речовин, %	17,57	17,227
2.	Вміст сахарози, %	15,9	16,07
3.	Чистота, %	90,45	93,27
4.	Вміст нецукрів, % мас. від маси буряку	1,64	1,18
5.	pH	6.16	9,49
6.	PP,%	0.172	0.039
7.	Альфа-амінний азот, %	0.052	0.021
8.	Кислотність, %СаО	341	0,021
9.	Вміст мезги, г/л дифузійного соку	1.755	

Аналізуючи показники переробки цукрових буряків за останні роки на Новооржицькому цукровому заводі спостерігається покращення ефективності очищення соку на станції дефекосатурації. У табл.3.10 наведені середні за сезон показники якості переробки за чотири роки.

На рис.3.17-3.19 наведені порівняння показників переробки, очищення на дефекосатурації буряків на Новооржицькому цукровому заводі, а саме етапу I сатурації і відстоювання після нього.

**Таблиця 3.10 – Показники якості при переробці цукрових буряків
2017-2020 років**

№	Показник	Значення			
		2017	2018	2019	2020
1.	Вміст сахарози у стружці буряка, %	17,73	16,62	17,98	17,99
2.	Чистота дифузійного соку, %	91,6	91,5	91,3	90,47
3.	Чистота очищеного соку, %	93,7	93,3	93,7	92,96
4.	Сухі речовини бурякового соку, %	20,3	20,1	21,06	21,05
5.	Сухі речовини очищеного соку, %	16,6	16	17,01	17,17
6.	Кольоровість дифузійного соку, од. опт. густини, ICUMSA	11200	12671	8845	9300
7.	Кольоровість соку першої сатурації, од. опт. густини, ICUMSA	1484	1742	1474	1307
8.	Кольоровість очищеного соку, од. опт. густини, ICUMSA	1443	1530	1316	1179
9.	Мутність соку першої сатурації після відстійників, од. опт. густини, ICUMSA	516	380	251	144
10.	Мутність очищеного соку, од. опт. густини, ICUMSA	172	132	89	93



Рис.3.17 Порівняння за показником вмісту сахарози у стружці буряка при переробці цукрового буряка 2017-2020 роках

З побудованої діаграми (рис.3.18) видно, що є тенденція до зменшення кольоровості очищених соків. Що свідчить про ефективність проведеної модернізації відстійників та дотримання технології на станціях дефекосатурації.

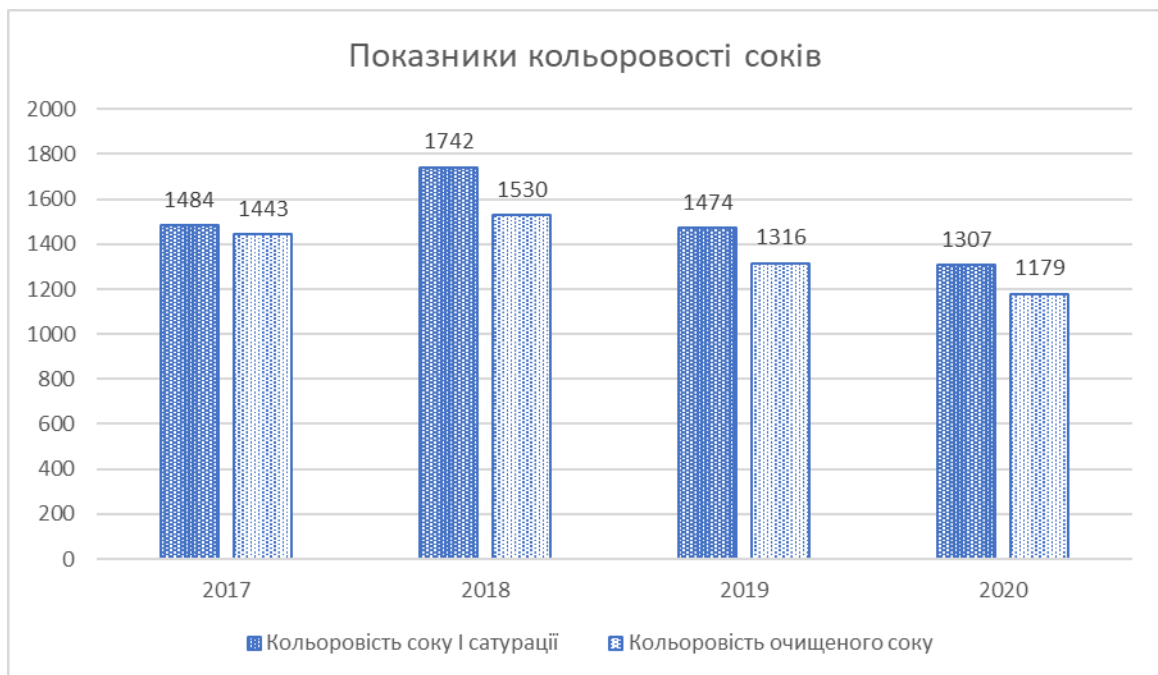


Рис. 3.18 Порівняння показників кольоровості очищеного соку та каламутності соку I сатурації при переробці цукрового буряка 2017-2020 роках.

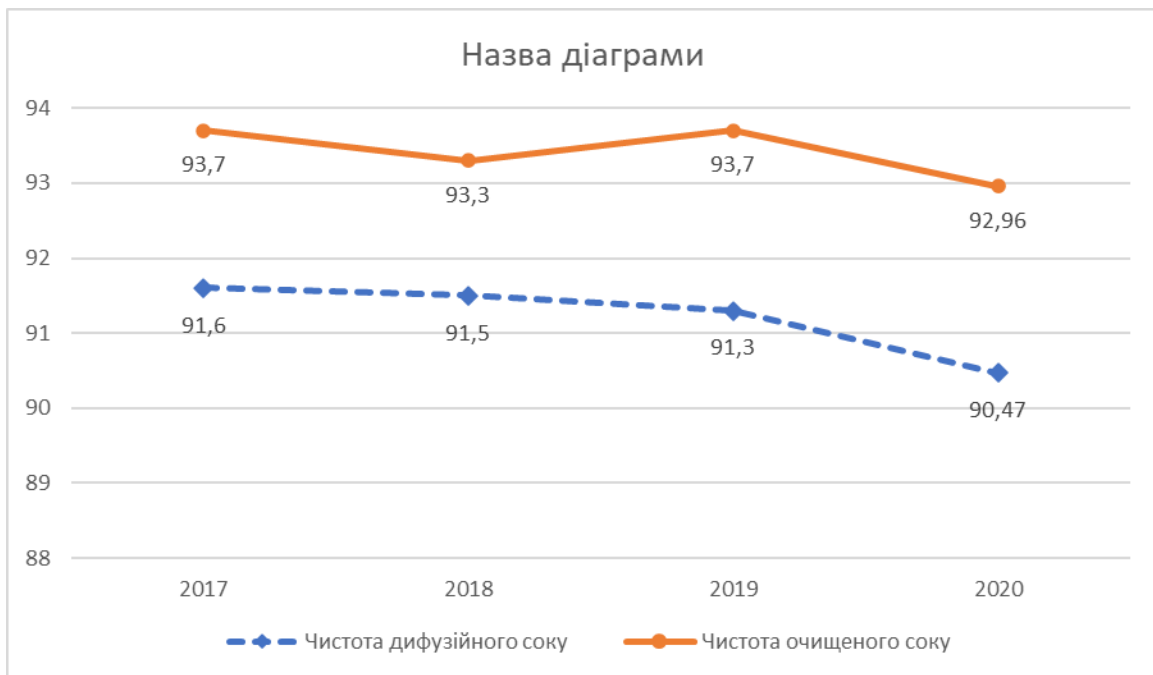


Рис.3.19. Порівняння показників чистоти очищеного соку та чистоти дифузійного соку при переробці цукрового буряка 2017-2020 роках

Кількість вилучених з дифузійного соку нецукрів відносно первісної їх маси, що виражена у відсотках, називається ефектом очищення соку – Еф.Оч. (3.2).

Загальний ефект очищення соку визначають за чистотою дифузійного соку ($Ч_1$) і чистотою фільтрованого соку ($Ч_2$):

$$\text{Еф.Оч.} = \left[1 - \frac{Ч_1(100-Ч_2)}{Ч_2(100-Ч_1)} \right] * 100, \% \quad (3.2)$$

Чистота очищеного соку залежить від якісних показників цукрового буряку та технологічної схеми очищення, від режимів очищення, що застосовувалися при переробці. Показник чистоти коливається у межах 88-93 %. Орієнтовні втрати сахарози в процесі очищення дифузійного соку можуть складати: враховані - 0,1-0,15 % мас. від маси буряку та 0,05-0,1 % мас. від маси буряку – невраховані.

Приведені розрахунки ефективності очищення на станції дефекосатурації Новооржицького цукровому заводі приведені у табл. 3.11.

Табл. 3.11 – **Ефективність очищення на дефекосатурації**

Показник	2017	2018	2019	2020
Ефективність очищення на станції дефекосатурації	26,68	22,7	29,44	28,11

Метою наших досліджень було проведення аналізу якості соків протягом виробничих періодів 2017-2020 рр.

Спостерігається покращення показника ефективності очищення дефекосатурації при порівнянні даних за 2018 і 2019 роки. Що підтверджує доцільність проведеної модернізації відстійників на тонкошарові.

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ДОСЛІДНИХ ДАНИХ

4.1. Постановка задачі оптимізації

В якості змінного (вхідного) параметру оптимізації процесу обрано дозування флокулянту та тривалість процесу освітлення соку 1 сатурації.

В якості функцій відгуку, що визначають ефективність освітлення соку 1 сатурації за допомогою флокулянту «Хімфлок 1009».

Для вирішення задачі оптимізації необхідно визначити рівняння регресії, що описують залежності значень відповідних функції відгуку від змінних параметрів процесу освітлення соку.

4.2. Визначення рівнянь регресії

4.2.1. Визначення залежності швидкості осадження осаду

Визначення залежності швидкості осадження осаду соку 1 сатурації від витрат флокулянту на основі ПАА і часу седиментації

$$\begin{aligned}
 N &:= 19 & i &:= 0..N \\
 C &:= (2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15)^T \\
 \tau &:= (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5)^T \\
 G &:= (5.5 \ 2.9 \ 1.9 \ 1.03 \ 6.5 \ 3.08 \ 2 \ 1.09 \ 6.95 \ 3 \ 1.97 \ 1.03 \ 7.75 \ 3.24 \ 1.99 \ 1.1 \ 8.15 \ 3.45 \ 2.05 \ 1.16)^T
 \end{aligned}$$

Для обробки експериментальних даних використовуємо квадратичний поліном виду:

$$F1(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

Розрахунок та уточнення коефіцієнтів рівнянь здійснюється за допомогою пакету прикладних програм Mathcad, які включають розрахунок середньоквадратичної похибки шляхом порівняння розрахункових даних з експериментальними (Додаток 4).

$$SKP1 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(G_i - F1(C_i, \tau_i))^2}{N}} \quad SKP1 = 0.606$$

$$a = \begin{pmatrix} 6.67439 \\ -1.08748 \\ 1.23639 \\ -0.06613 \\ 0.04803 \\ -0.0813 \end{pmatrix}$$

Таким чином, враховуючи значення розрахункових коефіцієнтів рівняння (матриця а), одержуємо рівняння регресії, що описує залежність швидкості осадження осаду соку І сатурації від дозування флокулянту (x_1) та тривалості процесу (x_2):

$$F1(x_1, x_2) := 6.67 - 1.09 \cdot x_1 + 1.24 \cdot x_2 - 0.07 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.045 \cdot x_1^2 - 0.081 \cdot x_2^2$$

Графічна залежність швидкості осадження осаду соку І сатурації від дозування флокулянту «Хімфлок 1009» (x_1) та тривалості процесу (x_2) наведено на рисунках 4.1-4.2.

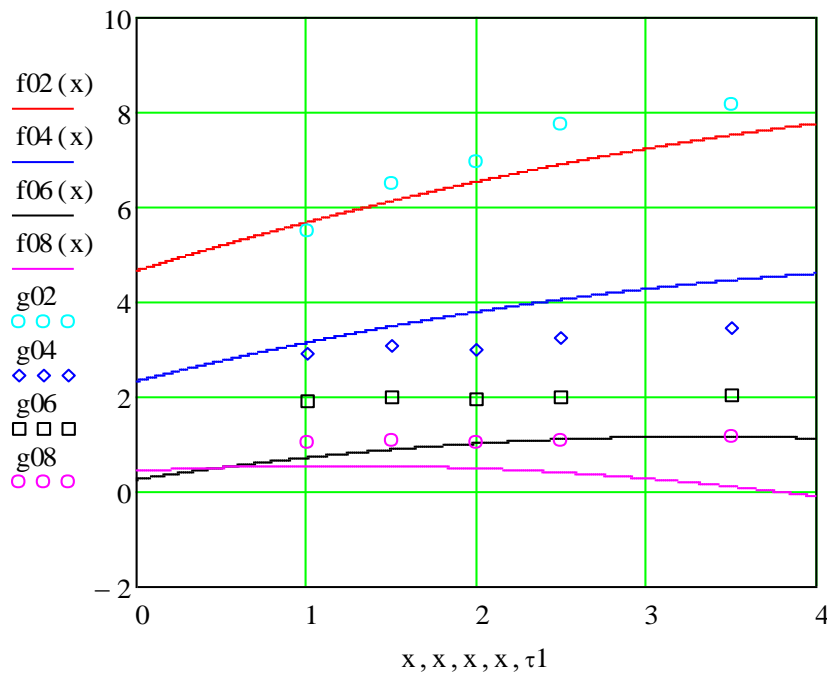


Рис. 4.1 Графічна залежність швидкості осадження від витрат флокулянту «Хімфлок 1009» за тривалості процесу 2, 5, 10, 15 хв.

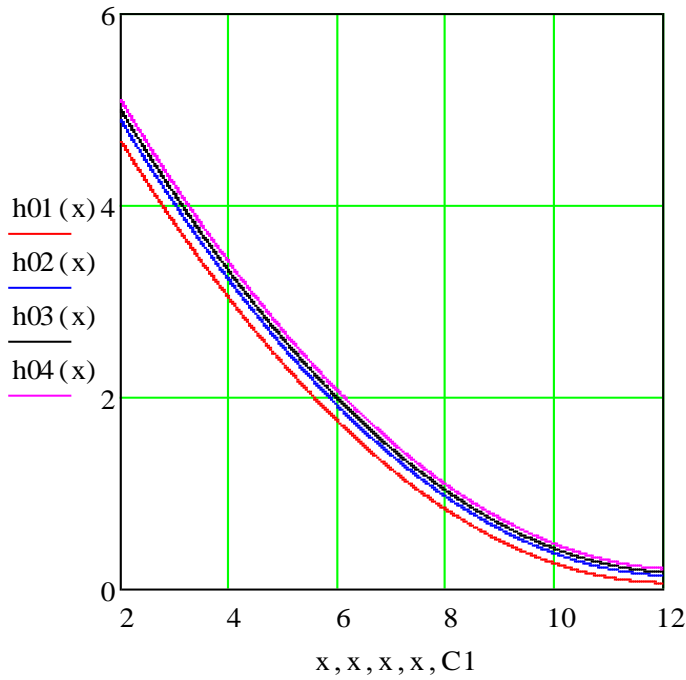


Рис. 4.2 Графічна залежність швидкості осадження осаду соку І сатурації від тривалості процесу, хв

4.2.2. Визначення залежності ефективності освітлення соку

Визначення залежності ефективності освітлення соку І сатурації від витрат флокулянту «Хімфлок 1009» та тривалості процесу освітлення

$$N := 19 \quad i := 0..N$$

$$C := (2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15)^T$$

$$\tau := (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5)^T$$

$$E := (65.5 \ 72.9 \ 81.9 \ 98.03 \ 80 \ 95 \ 98 \ 100 \ 90 \ 97 \ 99 \ 100 \ 93 \ 97 \ 99 \ 100 \ 95 \ 98 \ 100 \ 100)^T$$

Для обробки експериментальних даних використовуємо квадратичний поліном виду:

$$F2(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

Проводимо розрахунок та уточнення коефіцієнтів рівнянь, які включають розрахунок середньоквадратичної похибки шляхом порівняння розрахункових даних з експериментальними.

$$SKP2 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(E_i - F2(C_i, \tau_i))^2}{N}} \quad SKP2 = 3.388$$

$$a = \begin{pmatrix} 30.36226 \\ 3.81959 \\ 38.06179 \\ -0.76514 \\ -0.06718 \\ -5.64709 \end{pmatrix}$$

Таким чином, враховуючи значення розрахункових коефіцієнтів рівняння (матриця a), одержуємо рівняння регресії, що описує залежність ефективності освітлення соку І сатурації від дозування флокулянту (x_1) та тривалості процесу (x_2):

$$F1(x_1, x_2) := 6.67 - 1.09 \cdot x_1 + 1.24 \cdot x_2 - 0.07 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0.045 \cdot x_1^2 - 0.081 \cdot x_2^2$$

Графічна залежність ефективності освітлення соку І сатурації від дозування флокулянту «Хімфлок 1009» (x_1) та тривалості процесу (x_2) наведено на рисунках 4.3.

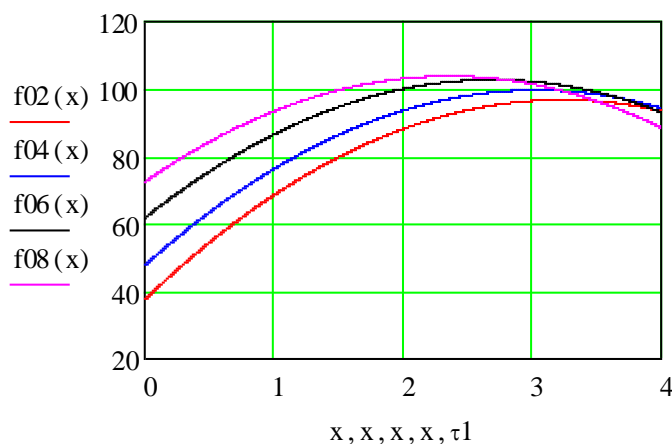


Рис.4.3 Графічна залежність ефективності освітлення соку І сатурації від витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення

Визначення оптимальних параметрів витрат флокулянту тривалості процесу освітлення соку І сатурації

Узагальнений критерій оптимізації враховує відповідні залежності функцій відгуку (локальні критерії оптимальності процесу) у вигляді рівняння у безрозмірній формі:

$$Ff_{i1,j1} := (ff1_{i1,j1})^{0.1} \cdot (ff2_{i1,j1})^{0.1} \cdot (ff3_{i1,j1})^{0.1} \cdot (ff4_{i1,j1})^{0.7},$$

де відповідно локальні критерії оптимальності

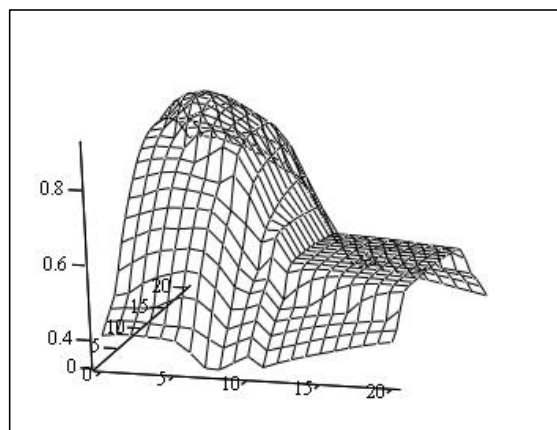
ff1 - функція швидкості осадження осаду від витрат флокулянту та тривалості процесу;

ff2 - Функція мінімізації тривалості процесу

ff3 -Функція мінімізації витрат флокулянту

ff4 -Функція ефективності освітлення соку від витрат флокулянту та тривалості процесу.

Для переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму використали метод Харрінгтона. На рис. 4.4 наведено графічну модель узагальненого критерію оптимізації.



Ff

Рис. 4.4 Узагальнений критерій оптимізації

Оптимальні параметри процесу при значенні цільової функції 0,946 становлять: витрати флокулянту 2,95. г/м³, тривалість процесу 3,95 хв.

Проведені обчислення дозволяють обґрунтувати запропоновану оптимальну дозу флокулянту марки «Хімфлок 1009» у сік I сатурації та дозволить керувати швидкістю подачі соку I сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу.

РОЗДІЛ 5.

ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОЧИЩЕННЯ СОКУ І САТУРАЦІЇ ДОДАТКОВИМИ РЕАГЕНТАМИ

5.1. Екологічне обґрунтування застосування флокулянту на основі ПАА

Поліакриламід в навколишньому середовищі може потрапляти у водойми або у підземні води, але з огляду на мізерні дози його використання в процесах очищення і дотримання рекомендацій виробника реагенту, небезпека для навколишнього середовища зведена до мінімуму.

Поліакриламід у ґрунті піддається біологічному розкладу і знезаражується, тобто при відведенні дефекату з заводу вигляді добрива поліакриламід не становить загрози навколишньому середовищу.

Головний небезпечний чинник флокулянтів – це залишковий вміст мономерів, що не полімеризувались, у їхньому складі. Чистота флокулянту за цією характеристикою є основним фактором при отриманні дозволу на застосування у харчовій промисловості. Це пояснюється тим, що непрореаговані мономері та реагенти, що використовуються при синтезі, мають значну токсичність. Тому при закупівлі флокулянтів для потреб цукрового заводу необхідно контролювати у наявність дозвілу на застосування у харчовому виробництві у процесах сокоочистки для даної марки, рекомендованих виробником доз та доказів чистоти речовини від мономірних сполук.

У європейських директивах та американських законодавчих нормативних документах [5] прописані вимоги до застосування ПАА у харчовій промисловості щодо вмісту залишкового (неполімеризованого) акриламиду не більше 0,05 відсотків. А для використання як флокулянт для освітлення дифузійного соку у виробництві цукру в кількості, що не перевищує 5 частин на мільйон за масою соку, відповідає 5 г на 1 тону соку.

В Україні використання поліакриламідних флокулянтів для очистки соків допускається Правилами ведення технологічного процесу виробництва цукру з цукрових буряків ПУП 15.83-37-106-2007. Також законодавство з харчової безпеки вимагає при проведенні аналізу небезпечних чинників мати паспорт безпеки або MSDS на хімічну речовину, свідоцтво про санітарно-епідеміологічну експертизу на застосування у харчовому виробництві з сферою застосування та протоколи аналізів від виробника.

Узагальнюючи наведені вимоги можна зазначити, що підібраний флокулянт при використанні його з дотриманням рекомендацій виробника і при дотриманні правил техніки безпеки і виробничої санітарії не робить негативного впливу і не має суттєвих обмежень у використанні на цукрових заводах. Використовуючи методологію оцінки безпеки флокулянта і ґрунтуючись на супровідних документах можна оцінювати і порівнювати флокулянти з позицій безпеки їх застосування.

5.2. Економічні розрахунки впровадження технології очищення дифузійного соку аніонним флокулянтом

Сьогодні ефективність роботи цукрового заводу визначається енергозбереженням і екологічною безпекою виробництва при високому коефіцієнті вилучення цукру з сировини, а також якістю і собівартістю готової продукції.

Флокулянти дозволяють:

- збільшити швидкість захоплення зважених часток;
- прискорити процес утворення макрополук і збільшити їх щільність;
- зменшити оптимальну дозу коагулянту;
- збільшити продуктивність, ефективність очищення соків
- мінімізувати витрати і трудомісткість, пов'язані з видаленням осадів.

Впровадження проводиться без будівельних робіт, тому що передбачає переобладнання існуючих відстійників у сокоочисному відділенні ТОВ «Новооржицький цукровий завод».

Вартість всього устаткування з урахуванням витрат на трубопроводи і КВП 700 тис. грн. для кожного відстійника.

До суми капітальних витрат входить, грн.:

$$K = K_{\text{пер}} + Д + З - В_p,$$

де K – сума капітальних витрат;

$K_{\text{пер}}$ – первісна вартість нового устаткування;

$Д$ – витрати на демонтаж старого устаткування;

$З$ – залишкова вартість замінюваного устаткування;

$В_p$ – виручка від реалізації замінюваного устаткування;

Виробнича програма заводу

Добова переробка 8080 т/добу

Коефіцієнт використання потужності 1,013

Середня кількість буряків, що переробляються заводом 325000 т

Добова переробка $8080 \cdot 1,013 = 8185$ т

Тривалість сокодобування $325000 / 8185 = 39,7$ доби

Тривалість виробництва 42 доби

середній вміст цукрози в буряках 17,0 %

втрати цукру при транспортуванні і зберіганні 0,12 %

втрати цукру у виробництві 0,69%

вміст цукрози в мелясі 1,72 %

Вихід цукру до впровадження $17,0 - 0,12 - 0,69 - 1,72 = 14,47$ %

Кількість продукції до впровадження

Цукру $325000 \cdot 14,47 / 100 = 47028$ т

меляси $325000 \cdot (1,72 \cdot 2) \cdot 1,013 / 100 = 11325$ т

Кількість продукції після впровадження.

В результаті впровадження вихід цукру збільшився на 0,5 %

Після реконструкції вихід цукру $14,47 + 0,5 = 14,97$ %

Цукру $325000 * 14,97 / 100 = 48653$ т

меляси $325000 * (1,75 * 2) * 1,013 / 100 = 11523$ т

Вироблено цукру 48653 т на суму:

$$48653 * 15000 / 1000 = 729795 \text{ тис. грн.}$$

Вироблено меляси 11523 т на суму:

$$11523 * 5000 / 1000 = 57\ 615 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок витрат по змінних статтях

Витрати зростуть:

1) Допоміжні матеріали.

Впровадженням передбачено витрати на придбання необхідного реагенту. Витрати реагенту - аніонного флокулянту на основі ПАА згідно даного впровадження – $0,3 \cdot 10^{-4}$ % до маси перероблених коренеплодів, що відповідає:

$$325000 * 0,3 * 10^{-4} : 100 = 0,975 \text{ т.}$$

Вартість однієї тони аніонного флокулянту складає 115 тис грн.

Затрати на придбання реагенту складуть $115000 * 0,975 = 112125$ грн.

2) Електроенергія на технологічні цілі.

В запропонованій схемі передбачено додатковий насос, який потребуватиме додаткового споживання електроенергії, а саме:

$$3 \text{ кВт} * 24 \text{ год} * 42 \text{ діб} = 3024 \text{ кВт-год.},$$

на суму:

$$3024 * 1,68 = 5080 \text{ грн,}$$

де 1,68 грн. – ціна 1 кВт-год.

3) Витрати на утримання і експлуатацію додаткового устаткування.

Вартість схеми, що передбачає модернізацію трьох відстійників п'ятишарового типу РЗ-ПОС-1,5 у тонкошарові становить 700 000 грн.

Приймаємо амортизаційні відрахування 8%, а витрати на поточний ремонт 5%.

Отже витрати на утримання і експлуатацію складуть:

$$700\,000 * (8+5)/100 = 91\,000 \text{ грн.}$$

Витрати знизяться:

1) Витрати на вапняковий камінь:

Економія CaO за рахунок підвищення чистоти дифузійного соку складає 0,2 % до маси буряків. Витрати вапняку знизяться на:

$$13\,000 * (0,25 * 2) / 100 = 500 \text{ т}$$

на суму: $500 * 280 = 141\,000 \text{ грн.}$,

де 280 грн. – ціна 1 тони вапняку із врахуванням витрат на доставку.

2) Витрати палива на випал вапнякового каменю:

Економія палива на випал вапняку складає:

$$65 * 0,75 / 100 = 48,75 \text{ т ум. палива}$$

що в перерахунку на газ складає: $48,75 / 1,17 = 41,67 \text{ м}^3$

на суму: $41,67 * 8850 = 368\,780 \text{ грн.}$,

де 8850 грн. – ціна 1 тис.м³ газу.

Після впровадження повні витрати на продукцію складуть

$$700\,000 + 121\,125 + 5080 + 91\,000 - 141\,000 - 368\,780 = 407\,425 \text{ грн.}$$

Повні витрати на 1т. цукру складуть: $407\,425 / 48\,653 = 8,37 \text{ грн.}$

Після впровадження прибуток складе

$$(15000 - 8,37) * 48\,653 = 729\,388 \text{ тис. грн.}$$

Додатковий прибуток складе: $729\,795 \text{ тис.} - 729\,388 \text{ тис.} = 407 \text{ тис.}$
грн.

Чистий прибуток (враховуючи 25 % податок на прибуток) складатиме

$$\Delta \text{ЧП} = 407 - (407 * 25 / 100) = 305,25 \text{ тис грн.}$$

Термін окупності капіталовкладень: $T = 700\,000 / 305\,250 = 2,3 \text{ роки.}$

Рентабельність продукції:

після впровадження $305,25 * 100 / 48653 = 0,63\%$

Висновки:

1. Флокулянт на основі поліакриламідю відповідає екологічним вимогам та вимогам харчової безпеки за умови дотримання інструкцій виробника та перевірки його за показниками якості та безпеки.

2. При застосуванні запропонованих методів очистки дифузійного соку показник рентабельності становить 0,63%.

3. Термін окупності, при розрахунках, становить 2,3 роки, тобто даний проект є доцільним для введення на виробництві.

ВИСНОВКИ

Базуючись на узагальнення теоретичних та експериментальних даних було досліджено удосконалення технологію очищення дифузійного соку шляхом модернізації відстійників та застосування додаткових реагентів на стадії очистки соку I сатурації і отримано наступні висновки:

1. В лабораторних умовах експериментально встановлено, що при застосуванні додаткових реагентів – флокулянтів різних марок на основі поліакриламід у спостерігається збільшення ефективності освітлення соку та підвищення швидкості седиментації осаду соку I сатурації.

2. Визначено, що модернізація відстійників соку I сатурації, шляхом переобладнання з п'ятирусних тонкошарових на однорусні дозволила підвищити ефект очищення дифузійного соку з 22,7 в 2018 році до 29,44 у 2019 році після модернізації.

3. За допомогою методів математичного моделювання запропоновано раціоналізувати витрати флокулянту під час очищення дифузійного соку та керувати швидкістю подачі соку I сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу. Оптимальна доза флокулянту марки «Хімфлок 1009» у сік I сатурації становить $2,95 \text{ г/м}^3$, а тривалість процесу відстоювання 3,95 хв.

4. Рентабельність від впровадження модернізації відстійників гравітаційного типу для очищення соку I сатурації із застосуванням ПАА становить буде становить 0,63%, а термін окупності становить 2,3 роки, тобто даний проект є доцільним для введення на виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

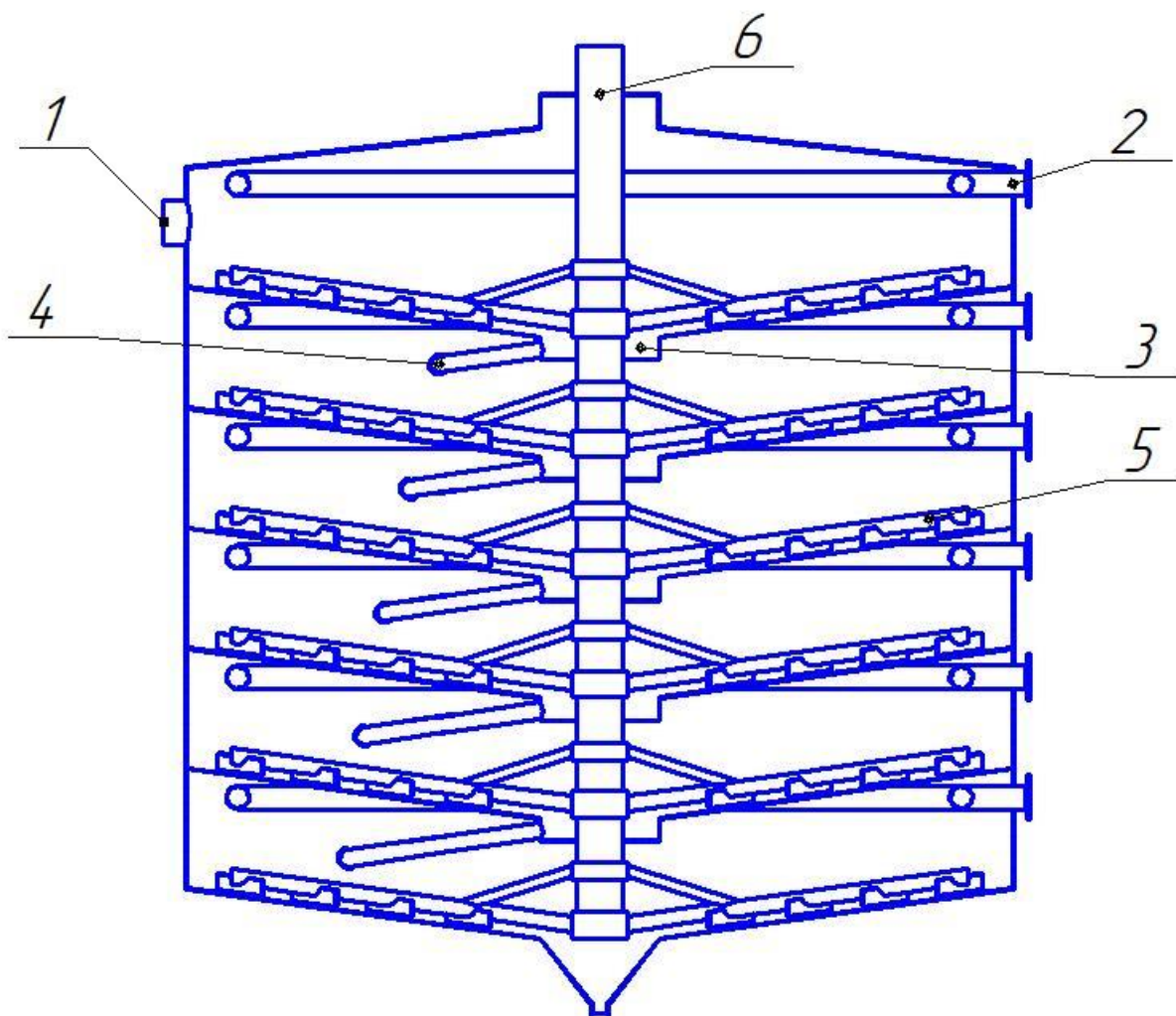
1. ДСТУ 4623:2006 "Цукор білий. Технічні умови"
2. Директива Ради Європи 2001/111/ЄС від 20 грудня 2001 року [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32001L0111>.
3. The Specified Sugar Products (England) Regulations 2003 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2003/1563/schedule/1/made?view=plain>
4. Вимоги до якості цукру в країнах Європейського союзу / Скорик, К. Д. // Цукор України. - 2004. - № 1-2.- с. 33-35.
5. Бобровник Л.Д. Физико-химические основы очистки в сахарном производстве. – Киев : Вища школа, 1994. – 255 с.
6. Гігієнічні норми і регламенти безпечного застосування пестицидів і агрохімікатів №207/28337 від 10.02.2016 Затвержені Наказом МОЗ України № 55 від 02.02.2016 р.
7. Очистка диффузионного сока: пути совершенствования / Л.П. Рева, Е.В. Ковдий // Сахар. – 2005. – №5. – С. 30 – 37.
8. Нагорна В.О. Якість буряків, оптимальні режими переробки буряків різної якості : навчальний посібник. – Київ : ППК Держхарчпрому України, 1998. – 98с.
9. Логвін В.М. Наукові основи та розроблення високоефективних технологічних процесів очищення дифузійного соку. – Автореф. дис. док. техн. наук. – Київ. – 2006. 47с.
10. Рева Л.П. Влияние ионов кальция на денатурацию белкового осадка / Л.П. Рева, Г.А. Симахина, В.М. Логвин // Сахарная промышленность. – 1979. – №11. –С. 20-22.
11. Нагорна В.О. Якість буряків, оптимальні режими переробки буряків різної якості. – К.: Видавнича дільниця Наукметодцентру Мінагропрому України, 1998. – 67с.

12. Коагуляция белков и продуктов их деструкции на предварительной дефекации / Л.П. Рева, Г.А. Симахина, В.М. Логвин // Сахарная промышленность. – 1985. – №3. – С. 25-27.
13. Рева Л.П. Поведение белковых веществ при известковой очистке диффузионного сока / Л.П. Рева, Г.А. Симахина, В.М. Логвин // Сахарная промышленность. – 1983. – №11. – С. 24-25.
14. Рева Л.П. Осаждение свекловичного пектина в щелочной среде / Л.П.Рева, Г.О. Симахина, В.М. Логвин //Сах. промышленность. – 1979. – №3. – С. 14-15.
15. Олянская С.П. Высокоэффективная технология очистки сока и получения белково-витаминных концентратов: Монография. – Киев: НУПТ, 2005 – 373 с.
16. Сапронов А.Р., Колчева В.А. Красящие вещества и их влияние на качество сахара. – М.: Пищ. пром-сть, 1975. – 346с.
17. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1998. – 495 с.
18. Сучасні погляди на перетворення нецукрів дифузійного соку під час очищення / Жеплінська М.М., Сухенко В.Ю. // SWorld – 11-18 October 2016– С. 14-15.
19. Логвін В.М. Наукові основи та розроблення високоефективних технологічних процесів очищення дифузійного соку. – Автореф. дис. док. техн. наук. – Київ. – 2006. 47с.
20. Озеров Д.В., Сапронов А.Р., Гаврилов А.М. Коагуляция и агрегатирование веществ коллоидной дисперсности на преддефекации // Сахарная промышленность. – 1985. – № 8. – С. 24-27.
21. Физико-химические процессы сахарного производства / И.С. Гульй, В.М. Лысянский, Л.П. Рева и др. – М.: Агропромиздат, 1987. – 264 с.
22. Очистка диффузионного сока с отделением осадка до основной дефекации с усовершенствованием прогрессивной предварительной

- дефекации / С.А. Авдиенко, В.М. Логвин, Л.М. Хомичак, В.Ю. Выговский // Сахар. – 2007. – №6. – С. 25 – 26.
23. Рева Л.П. Преддефекация возвратом частично отсатурированного дефекованного сока / Л.П. Рева, Г.А. Симахина, В.М. Логвин // Сахарная промышленность. – 1980. – № 7. – С. 13 – 15.
24. Резніченко Ю.М. Удосконалення попередньої вапнокарбонізації дифузійного соку – Автореф. дис. док. техн. наук. – Київ. – 2010. 45с.
25. Модернізація станції дефекозатурації Пальмірського цукрового заводу / Л.І. Панкін, Л.М. Хомічак, І.Б. Петриченко та ін. // Цукор України. – 1996. – № 3. – С. 19 – 20.
26. Панкін Л.І., Хомічак Л.М., Петриченко І.Б. Ведення двоступеневої першої сатурації // Цукор України. – 1996. – № 4. – С. 23 – 24.
27. Визначення оптимальних умов проведення прогресивного попереднього вапнування з вапнокарбонізацією в циркуляційному контурі. / В.М. Логвін, С.О. Авдієнко // Цукор України – 2011. – №15. – С. 40-44.
28. Даишев М.И. Активация осадка карбоната кальция при возврате на преддефекацию / Даишев М.И., Решетова Р.С., Молотилин Ю.И. и др. // Сахарная промышленность. – 1994. – № 4. – С. 17-18.
29. Озеров Д.В., Кирута Э.А. Повышение эффективности очистки сока на преддефекации // Сахарная промышленность. – 1996. – №5. – С.10 – 11.
30. Комплексное использование осадка второй сатурации / В.И. Молотилин, Н.В. Орлова, В.О. Городецкий и др. // Сахарная промышленность. – 1994. – № 4. – С. 19 – 20.
31. Очистка диффузионного сока и использование обожженного фильтрационного осадка / В.В. Манк, Т.А. Михайлик, Л.Г. Ворона и др. // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 1989. – № 4. – С. 19 – 21.
32. Спосіб очистки дифузійного соку / Л.Д. Бобрівник, М.М. Жеплінська, Л.М. Хомічак та ін. // Патент України. 1997, Бюлетень.

33. Жеплінська М.М. Розроблення ефективного способу очищення дифузійного соку із зменшенням витрат вапна: Автореферат дис. канд. техн. наук. – К.: УДУХТ, 1998. – 26 с.
34. Інтенсифікація процесу очищення дифузійного соку з використанням пари на Шепетівському цукровому комбінаті / Л.М. Хомічак, М.М. Жеплінська, А.М. Матіяшук та ін. // Цукор України. – 2001. – № 1 – 2. – С. 24 – 25.
35. Жура К.Д., Олянская С.П. Схема очистки диффузионного сока с отделением осадка после преддефекации //Сахарная промышленность. – 1967. – № 8. – С. 29 – 31.
36. Рева Л.П. Промислові випробування способу очистки дифузійного соку з проміжним відділенням осаду нецукрів у раціональній зоні рН прогресивної переддефекації / Л.П. Рева, П.П. Загородній, А.О. Чагада // Цукор України. – 1997. – № 1. – С. 33 – 37.
37. Рева Л.П. Удосконалення технологічної схеми очищення дифузійного соку // Матеріали семінару «Шляхи підвищення ефективності бурякоцукрового виробництва». – К.: – 2001. – С. 86 – 88.
38. Рева Л.П. Сучасні технологічні розробки по підвищенню ефективності очищення соків і зниженню витрат вапна // Матеріали семінару «Шляхи підвищення ефективності бурякоцукрового виробництва». – К.: – 1999. – С. 68 – 69.
39. Порівняння дії гідродинамічної кавітації та відкритої пари на соки при їх очищенні. / Жеплінська М.М., Лазарів І.Р., Сухенко В.Ю. // Матеріали конференції SWorld – 2016.
40. Технологічні аспекти перероблення буряків, уражених слизистим бактеріозом / Н.А. Гусятинська, Т.М. Нечипор // Цукор України Науково-практичний галузевий журнал. – К. – 2016. – №11-12 (131-132). – С.41-47.
41. Ефективність застосування методів озонування та адсорбційного очищення цеолітом при переробленні цукрових буряків, уражених

- слизистим бактеріозом/ Н.А. Гусятинська, Т.М. Нечипор // Цукор України Науково-практичний галузевий журнал. – К. – 2017. –№2 (134) С. 42-46.
42. Лосева В.А. Интенсификация очистки соков и сиропов в сахарном производстве. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1990. – 173 с.
43. Очистка диффузионного сока бентонитами / Липец А.А., Михайлюк Р.В., Костенко А.С. // Сах. пром-сть. – 1976. – № 12. – С. 14 – 18.
44. А.с. 912757. СССР, МКИ³ С 13 D 3/06. Способ очистки сахаросодержащего раствора / А.Р. Сапронов, Е.Б. Ищенко, В.А. Лосева, В.И. Романенко, Н.Г. Кульнева, Н.Н. Писеукова (СССР). – № 2956994/28 – 13; Заявлено 16.07.80; Опубл. 15.03.82, Бюл. № 10.
45. А.с. 1113412 СССР, МКИ³ С 13 D 3/02. Способ очистки сахаросодержащего раствора / В.А. Лосева, Р.П. Лисицкая (СССР). – № 3474897/28 – 13; Заявлено 22.07.82; Опубл. 15.09.84, № 34.
46. Лихицкий М.Х. Исследование процесса отстаивания сока I сатурации с применением природных флокулянтов: Автореф. дис. ...канд. техн. наук: 361/ Киев. технол. ин-т пищ. пром-сти. – К., 1968. – 24 с.
47. Флокулююча дія компонентів дифузійного соку / Алексеев О.Л., Лихицкий М.Х. // Харчова промисловість: Респ. міжвід. наук.-техн. зб., 1973. – С. 23 – 27.
48. Повышение эффективности предварительной дефекации / Хомичак Л.М., Пушанко Н.Н., Тернавская Е.М. // Сахарная промышленность. – 1977. –№ 2. – С. 13 – 16.
49. Вейцер Ю. И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц // М.: Стройиздат, 1984. - 200 с.
50. Теоретичні і практичні аспекти застосування флокулянтів у технологічних процесах виробництва цукру / Л.Черноус, Л.М.Хомічак // Цукор України Науково-практичний галузевий журнал. – К. – 2017. – №6 (12) С. 4-13.
51. Modified polyacrylamide resin. Sec. 173.10. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ecfr.gov/>.



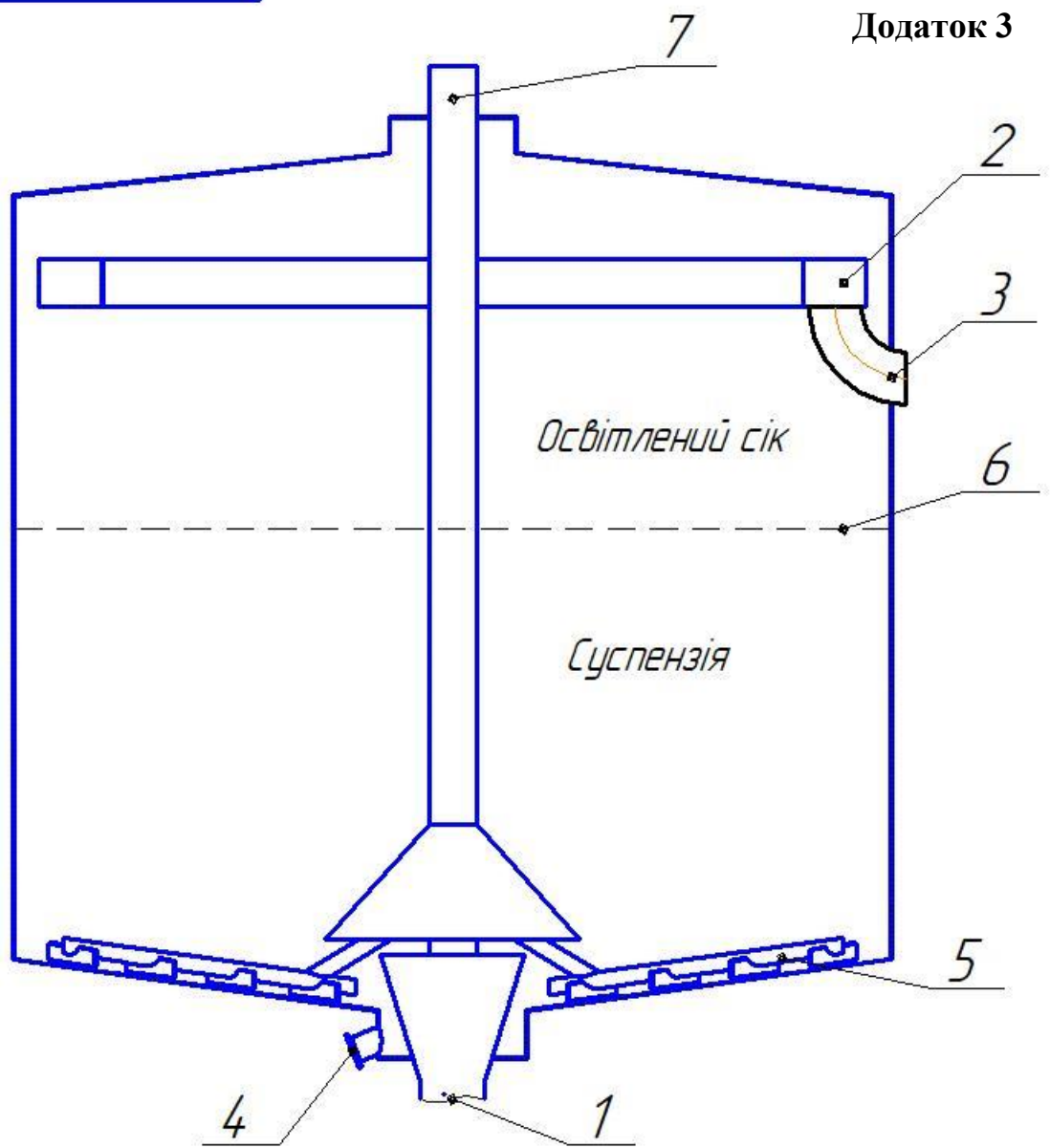
1. Підвід нефільтрованого соку
2. Колектор виходу освітленого соку з яруса
3. Грязева камера
4. Труба відводу суспензії з яруса
5. Зачисник гязі
6. Трубовал

Перв. примен. / Справ. № / Подп. и дата / Инв. № дубл. / Взам. инв. № / Подп. и дата / Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Пров.				
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	1

Відстійник Р-ПОС-1,5



1. підвід нефільтрованого соку
2. Забірний короб освітленого соку
3. Відвід освітленого соку
4. Відвід суспензії
5. Зачисник гязі
6. Рівень розподілу фаз
7. Трубовал

Инв. № подл.	Подп. и дата
Взам. инв. №	Инв. № дубл.
Подп. и дата	Подп. и дата
Инв. № подл.	Инв. № дубл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Лист

Визначення оптимальних параметрів освітлення соку І сатурації при виористанні флокулянту Хімфлок 1009

1. Встановлення рівнянь регресії, що описують процес освітлення

1.1. Залежність швидкості осадження осаду соку І сатурації від витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення

$$N := 19$$

$$i := 0..N$$

$$C := (2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15)^T$$

$$\tau := (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5)^T$$

$$G := (5.5 \ 2.9 \ 1.9 \ 1.03 \ 6.5 \ 3.08 \ 2 \ 1.09 \ 6.95 \ 3 \ 1.97 \ 1.03 \ 7.75 \ 3.24 \ 1.99 \ 1.1 \ 8.15 \ 3.45 \ 2.05 \ 1.16)^T$$

$$A := \begin{bmatrix} N+1 & \sum C & \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum C^2 & \sum \tau^2 \\ \sum C & \sum C^2 & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum C^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum \tau^3 \\ \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] \\ \sum C^2 & \sum C^3 & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum C^4 & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^4 \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot C1$$

$$F1(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

$$SKP1 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(G_i - F1(C_i, \tau_i))^2}{N}}$$

$$SKP1 = 0.606$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum G \\ \sum (G_i \cdot C_i) \\ \sum (G_i \cdot \tau_i) \\ \sum (G_i \cdot C_i \cdot \tau_i) \\ \sum [G_i \cdot (C_i)^2] \\ \sum [G_i \cdot (\tau_i)^2] \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{pmatrix} 6.67439 \\ -1.08748 \\ 1.23639 \\ -0.06613 \\ 0.04803 \\ -0.0813 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} f02(x) &:= F1(2, x) & f04(x) &:= F1(5, x) \\ f06(x) &:= F1(10, x) & f08(x) &:= F1(15, x) \end{aligned}$$

$$j := 0..4 \quad \tau1_j := \tau_{0+4j}$$

$$g02_j := G_{0+4j} \quad g04_j := G_{1+4j} \quad g06_j := G_{2+4j} \quad g08_j := G_{3+4j}$$

$$\begin{aligned} h02(x) &:= F1(x, 0.2) & h03(x) &:= F1(x, 0.3) & h04(x) &:= F1(x, 0.4) & h01(x) &:= F1(x, 0) \end{aligned}$$

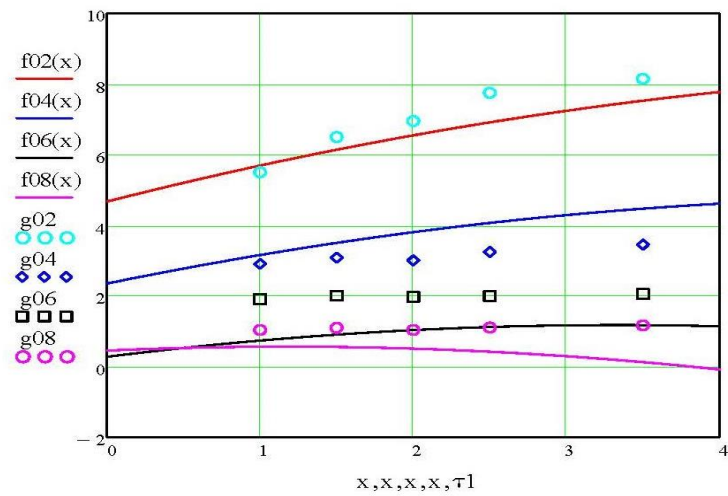


Рис. 1 Залежність швидкості осадження від витрат флокулянту за тривалості процесу 2, 5, 10, 15 хв.

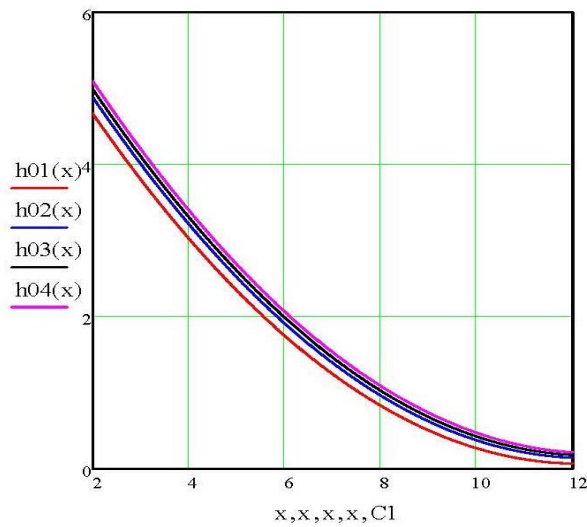


Рис.2 Залежність швидкості осадження від тривалості процесу, хв

1.2. Залежність ефективності освітлення соку І сатурації від витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення

$$N := 19$$

$$i := 0..N$$

$$C := (2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15 \ 2 \ 5 \ 10 \ 15)^T$$

$$\tau := (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 1.5 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 2.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5 \ 3.5)^T$$

$$E := (65.5 \ 72.9 \ 81.9 \ 98.03 \ 80 \ 95 \ 98 \ 100 \ 90 \ 97 \ 99 \ 100 \ 93 \ 97 \ 99 \ 100 \ 95 \ 98 \ 100 \ 100)^T$$

$$A := \begin{bmatrix} N+1 & \sum C & \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum C^2 & \sum \tau^2 \\ \sum C & \sum C^2 & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum C^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau & \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum \tau^3 \\ \sum (C_i \cdot \tau_i) & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] \\ \sum C^2 & \sum C^3 & \sum [(C_i)^2 \cdot \tau_i] & \sum [(C_i)^3 \cdot \tau_i] & \sum C^4 & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] \\ \sum \tau^2 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^3 & \sum [C_i \cdot (\tau_i)^3] & \sum [(C_i)^2 \cdot (\tau_i)^2] & \sum \tau^4 \end{bmatrix}$$

$$a := A^{-1} \cdot C1$$

$$F2(x1, x2) := a_0 + a_1 \cdot x1 + a_2 \cdot x2 + a_3 \cdot x1 \cdot x2 + a_4 \cdot x1^2 + a_5 \cdot x2^2$$

$$SKP2 := \sqrt{\sum_{i=0}^N \frac{(E_i - F2(C_i, \tau_i))^2}{N}}$$

$$SKP2 = 3.388$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum E \\ \sum (E_i \cdot C_i) \\ \sum (E_i \cdot \tau_i) \\ \sum (E_i \cdot C_i \cdot \tau_i) \\ \sum [E_i \cdot (C_i)^2] \\ \sum [E_i \cdot (\tau_i)^2] \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{pmatrix} 30.36226 \\ 3.81959 \\ 38.06179 \\ -0.76514 \\ -0.06718 \\ -5.64709 \end{pmatrix}$$

$$\underline{f02}(x) := F2(2, x)$$

$$\underline{f04}(x) := F2(5, x)$$

$$\underline{f06}(x) := F2(10, x)$$

$$\underline{f08}(x) := F2(15, x)$$

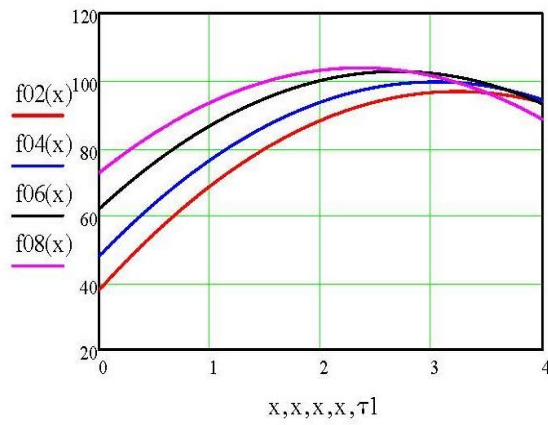


Рис. 3 Графічна залежність ефективності освітлення соку і сатурації від витрат флокулянту та тривалості процесу освітлення

2. Визначення оптимальних параметрів витрат флокулянту тривалості процесу освітлення соку і сатурації

Програма Харрінгтона для переведення значень з натуральної у безрозмірну форму:

```

HAR (FN, D, fn, z) :=
  FP ← -ln(-ln(D))
  if z = 16
    if fn < FN0
      fb ← D0
      break
    if fn > FN5
      fb ← D5
      break
    for i ∈ 0, 1..5
      if fn = FNi
        fb ← Di
        break
      if fn < FNi+1
        fp ← FPi +  $\frac{(fn - FN_i) \cdot (FP_{i+1} - FP_i)}{FN_{i+1} - FN_i}$ 
        fb ← e-e-fp
        break
  otherwise
    if fn > FN0
      fb ← D0
      break
    if fn < FN5
      fb ← D5
      break
    for i ∈ 0, 1..5
      if fn = FNi
        fb ← Di
        break
      if fn > FNi+1

```

$$\begin{array}{l} \text{fb} \\ \text{fb} \\ \text{fb} \\ \text{fb} \end{array} \left| \begin{array}{l} \text{fp} \leftarrow \text{FP}_i + \frac{(\text{fn} - \text{FN}_i) \cdot (\text{FP}_{i+1} - \text{FP}_i)}{\text{FN}_{i+1} - \text{FN}_i} \\ \text{fb} \leftarrow e^{-e^{-\text{fp}}} \\ \text{break} \end{array} \right.$$

Визначення інтервалів бажаностей локальних критеріїв оптимальності:

$$\text{IBG} := (2 \ 3 \ 4 \ 5 \ 6 \ 7)^T$$

$$\text{IBC} := (30 \ 20 \ 1 \ 11 \ 10 \ 9)^T$$

$$\text{IB}\tau := (5 \ 4.5 \ 4 \ 3.5 \ 3 \ 2)^T$$

$$\text{D} := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$\text{IBE} := (40 \ 55 \ 80 \ 90 \ 97 \ 100)^T$$

$$a1 := 2 \quad b1 := 15 \quad a2 := 1 \quad b2 := 4 \quad nn := 20 \quad i1 := 0..nn \quad j1 := 0..nn$$

$$h1 := \frac{b1 - a1}{nn} \quad h2 := \frac{b2 - a2}{nn}$$

$$p1_{i1} := a1 + h1 \cdot i1 \quad p2_{j1} := a2 + h2 \cdot j1$$

$$Y1_{i1,j1} := F1(p1_{i1}, p2_{j1})$$

$$Y2_{i1,j1} := F2(p1_{i1}, p2_{j1})$$

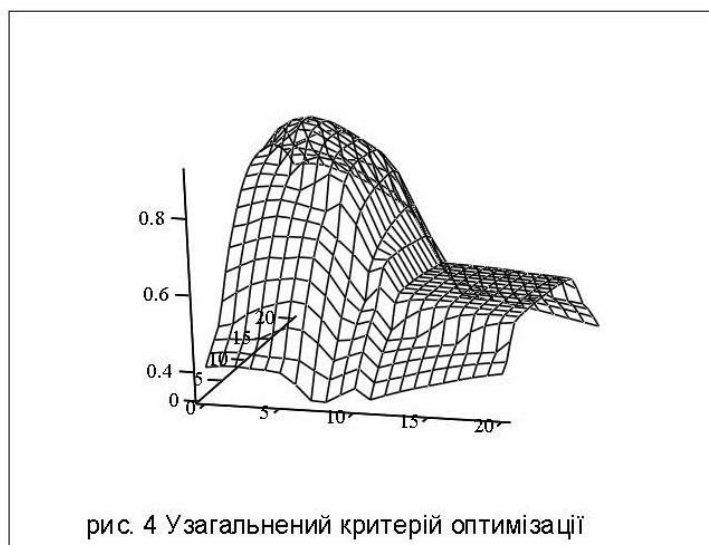
$$ff2_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IBC}, \text{D}, p1_{i1}, 0)$$

$$ff1_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IBG}, \text{D}, Y1_{i1,j1}, 1)$$

$$ff3_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IB}\tau, \text{D}, p2_{j1}, 0)$$

$$ff4_{i1,j1} := \text{HAR}(\text{IBE}, \text{D}, Y2_{i1,j1}, 1)$$

$$\text{Ff}_{i1,j1} := (\text{ff1}_{i1,j1})^{0.1} \cdot (\text{ff2}_{i1,j1})^{0.1} \cdot (\text{ff3}_{i1,j1})^{0.1} \cdot (\text{ff4}_{i1,j1})^{0.7}$$



Ff

OPT2(F, n, a1, a2, h1, h2) :=

$MA \leftarrow F_{0,0}$ $im \leftarrow 0$ $jm \leftarrow 0$ for $i1 \in 0..n-1$ for $j1 \in 0..n-1$ if $F_{i1,j1} > MA$ $MA \leftarrow F_{i1,j1}$ $im \leftarrow i1$ $jm \leftarrow j1$ $x1m \leftarrow a1 + h1 \cdot (im)$ $x2m \leftarrow a2 + h2 \cdot (jm)$ $z_0 \leftarrow MA$ $z_1 \leftarrow x1m$ $z_2 \leftarrow x2m$ z	Програма пошуку оптимальних значень параметрів
---	--

$$\text{OPT2}(Ff, N, a1, a2, h1, h2) = \begin{pmatrix} 0.04 \\ 7.2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Висновок

Оптимальні параметри процесу при значенні цільової функції 0,946 становлять: витрати флокулянту 2,95.... , тривалість процесу 3,95 хв.

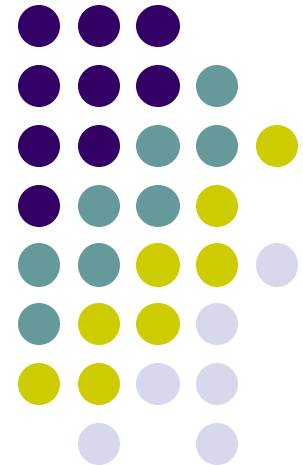


КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
зі спеціальності 181 «Харчові технології»
освітньо-професійної програми «Технології цукру та полісахаридів»

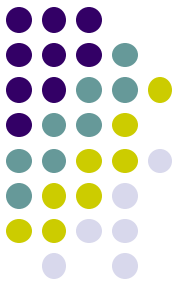


Виконала: здобувачка 2 курсу, групи ЗТЦ-2-1М
Волосковець Марія Вікторівна
на тему: Дослідження ефективності очищення дифузійного соку з
використанням модернізації відстійників та сучасних флокулянтів на ТОВ
«Новооржицький цукровий завод»

Керівник: Гусятинська Наталія Альфредівна



Мета роботи

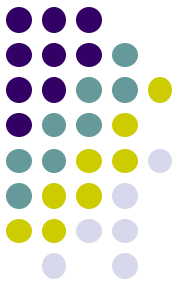


на основі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтувати та удосконалити технологію очищення дифузійного соку з використанням модернізованих відстійників та додаткових реагентів.

Завдання досліджень:

- дослідження способів очищення соку дифузійного соку;
- дослідження технологічних показників дифузійного соку до очищення та після в різні сезони переробки;
- дослідження ефекту очищення при застосуванні флокулянтів різних марок в залежності від дозування та часу відстоювання;
- встановлення оптимальних параметрів дозування флокулянту та тривалості перебування соку і сатурації у відстійнику;
- розробити удосконалену технологічну схему очищення дифузійного соку з використанням модернізованих відстійників та флокулянту;
- провести еколого-економічне обґрунтування використання флокулянтів та модернізації відстійників.

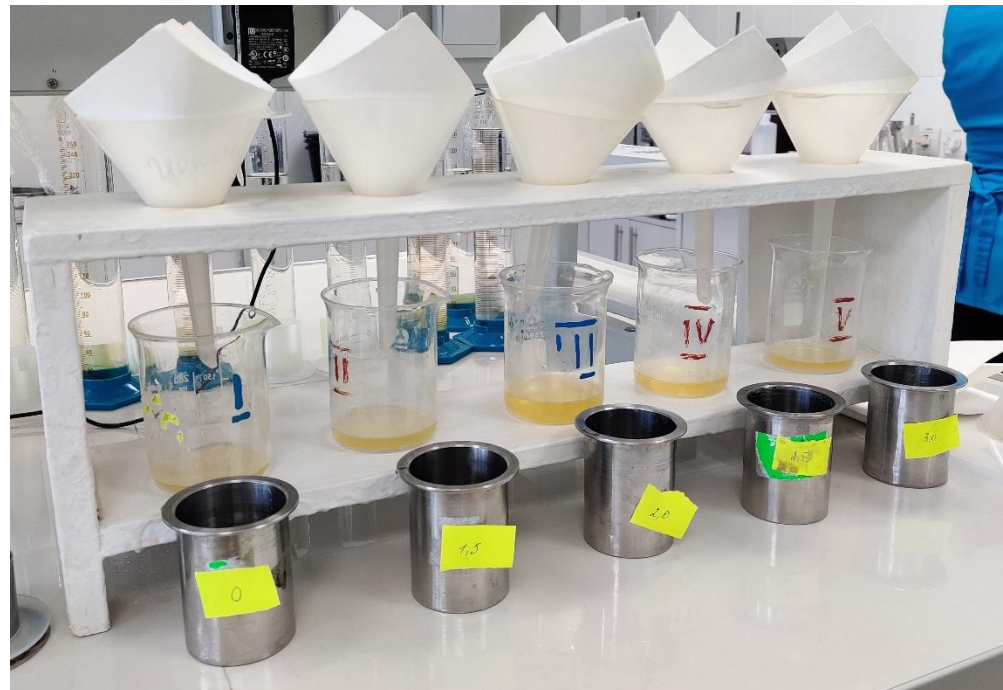
Наукова новизна отриманих результатів



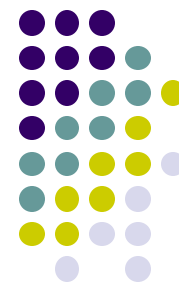
На основі отриманих теоретичних та експериментальних досліджень закономірностей процесів очищення дифузійного соку встановлено нові відомості щодо застосування флокулянтів на основі поліакриламідів.

Визначено, що раціональними параметрами застосування флокулянту марки «Хімфлок 1009» є витрати флокулянту 2,95 г/м³, тривалість процесу 3,95 хв. (з оптимізацією).

При цьому досягається збільшення ефективності освітлення соку та підвищення швидкості седиментації осаду соку і сатурації



Практичне значення отриманих результатів.

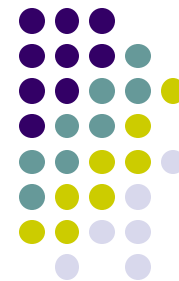


На основі експериментальних досліджень запропоновано удосконалити технологію очищення соку і сатурації шляхом переобладнання гравітаційних відстійників з тонкошарових п'ятиярусних на одноярусні з застосуванням додаткового реагенту – флокулянту, що дозволить керувати швидкістю подачі соку і сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу.

Реалізація запропонованої технології очищення дозволяє підвищити ефект очищення дифузійного соку через покращення седиментаційних властивостей соку і сатурації при переробці цукрових буряків різної якості

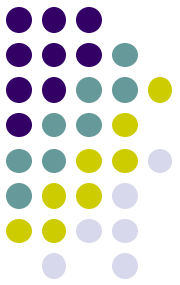


Вимоги замовників-виробників харчових продуктів до цукру



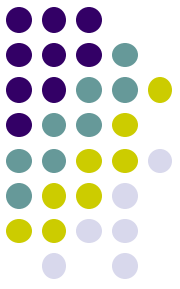
Параметри	Значення
Чистота (концентрація основного речовини)	Не менше 99,9 % за вагою, що рахується формулою: 100% сахарози мінус % золи, мінус % вологи, мінус % інвертної сахарози
Зола	0,015 % за вагою
Кольоровість	Не більше 35 од ICUMSA
Мутність	Не більше 20 од ICUMSA
Здатність до флокуляції	Відсутність флокул
Вологість	Не більше 0,04 % за вагою або не більше 0,06 % при умові зкомкування
Четвертинні амонійні сполуки	2 мг/кг максимально для цукру
Осад	Максимально 7 мг/кг нерозчинних речовин, які визначені гравіметричним методом
Двоокис сірки	Максимально 6,0 мг/кг
Інвертований цукор або редукуючи речовини	0,04 % по масі максимально
Залізо	1,0 мг/кг максимально

Європейські вимоги до цукру



Показники	Екстра білий цукор	Білий цукор	Напівбілий цукор
Кольоровість у розчині, максимально	3 бала (22,5 ICUMSA)	-	-
Зольність, максимально	6 балів = 0,0108%		
Кольоровість, максимально	4 бала (45,0 ICUMSA)	9 балів	-
Поляризація, хв., мінімум	99,7	99,7	99,5
вологість (втрати шляхом висушування), максимально	0,1 % до кількості продукту.	0,1 % до кількості продукту.	0,1 % до кількості продукту.
Редукуючи речовини, максимально	0,04 % до кількості продукту	0,04 % до кількості продукту	0,1 % до кількості продукту.
Вміст SO ₂ , мг/кг, не більше	15	15	15

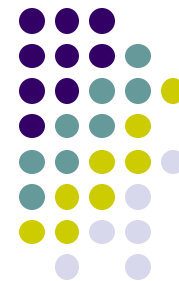
Огляд літературних джерел



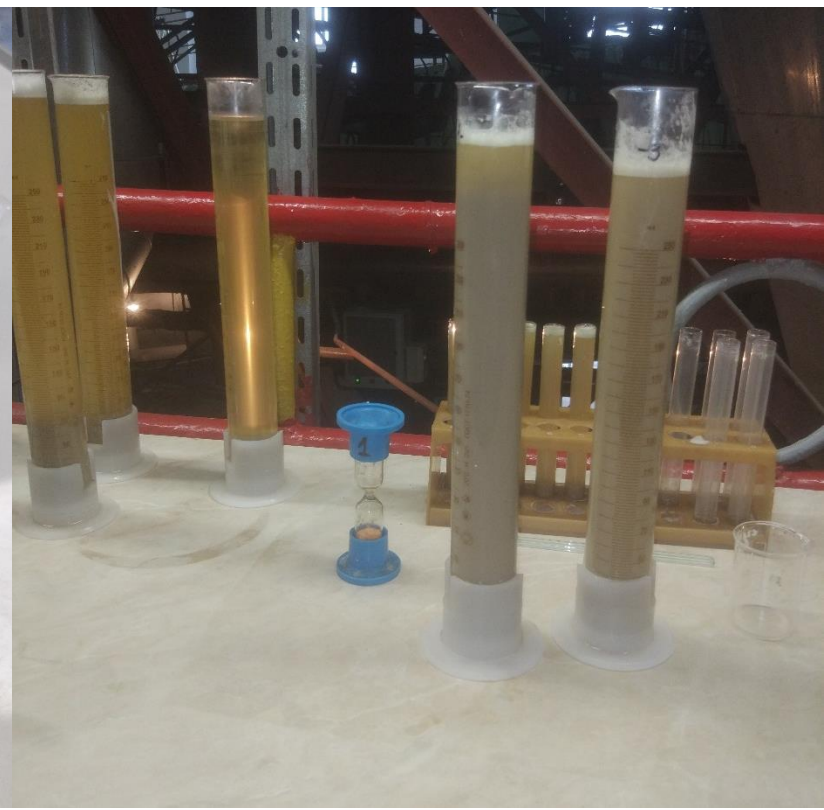
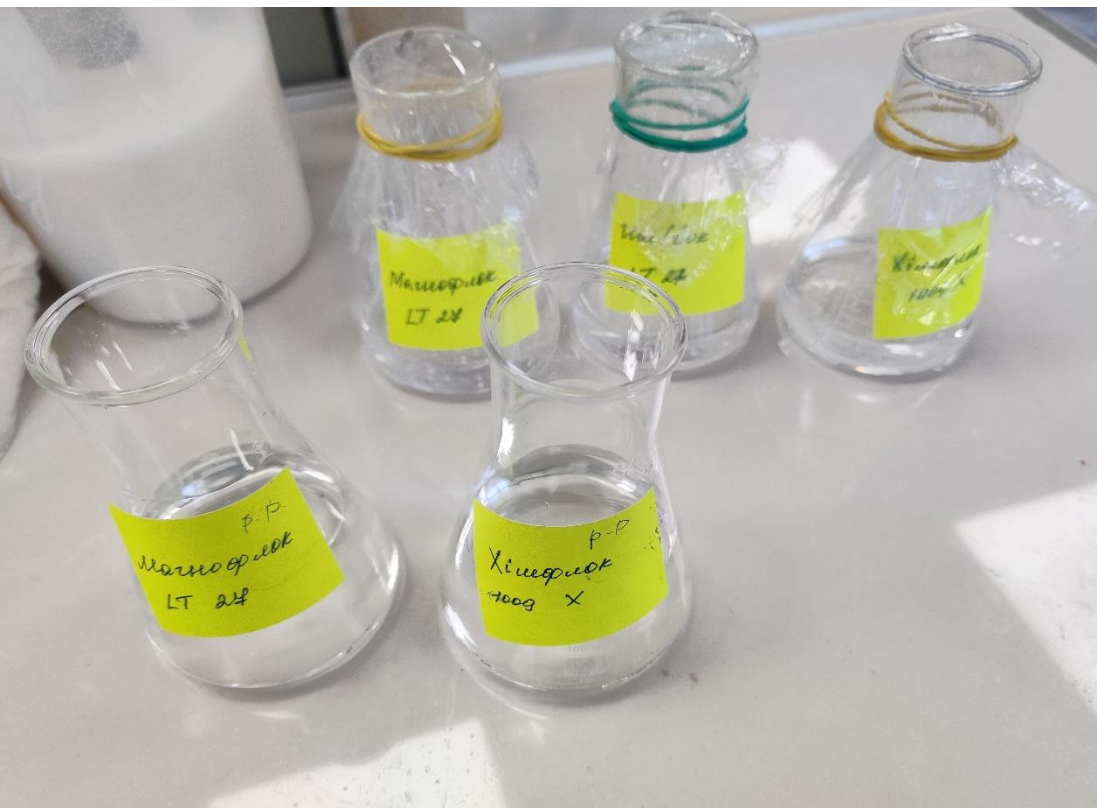
Проаналізувавши інформацію, представлену у вітчизняних та іноземних літературних джерелах стосовно процесу очищення дифузійного соку, від результативності якого залежить якість цукру, та шляхів його інтенсифікації можна зробити наступні висновки:

- Відомо, що від чистоти соку, тобто повноти видалення нецукрів в під час проведення очищення дифузійного соку значно залежить ефективність роботи всього цукрового виробництва. Отже, за рахунок підвищення ефективності та швидкості осадження осаду у відстійниках за допомогою додаткових хімічних реагентів можливо досягти поліпшення показників загального ефекту очищення дифузійного соку. Тому, необхідні дослідження дії коагулянтів та флокулянтів під час очищення та удосконалення способів очищення дифузійного соку, які мають ґрунтуватися на фундаментальних знаннях фізико-хімічних процесів, що протікають під час очистки дифузійного соку.
- Одним з варіантів покращення роботи очисного відділення, який відповідає сучасним вимогам, є застосування додаткових хімічних реагентів – коагулянтів та флокулянтів. При виборі флокулянтів необхідно дотримуватися вимогам харчової безпеки, що головним чином стосуються ступенем чистоти сополімера.
- Використання поліакриламідів в якості флокулянтів для пришвидшення процесу осадження нецукрів дифузійного соку під час різних етапів очистки соку має економічний ефект, але не всі відстійники призначені для введення додаткових реагентів. Тому перед виробниками цукру може постати задача проведення модернізації обладнання для очистки дифузійного соку.

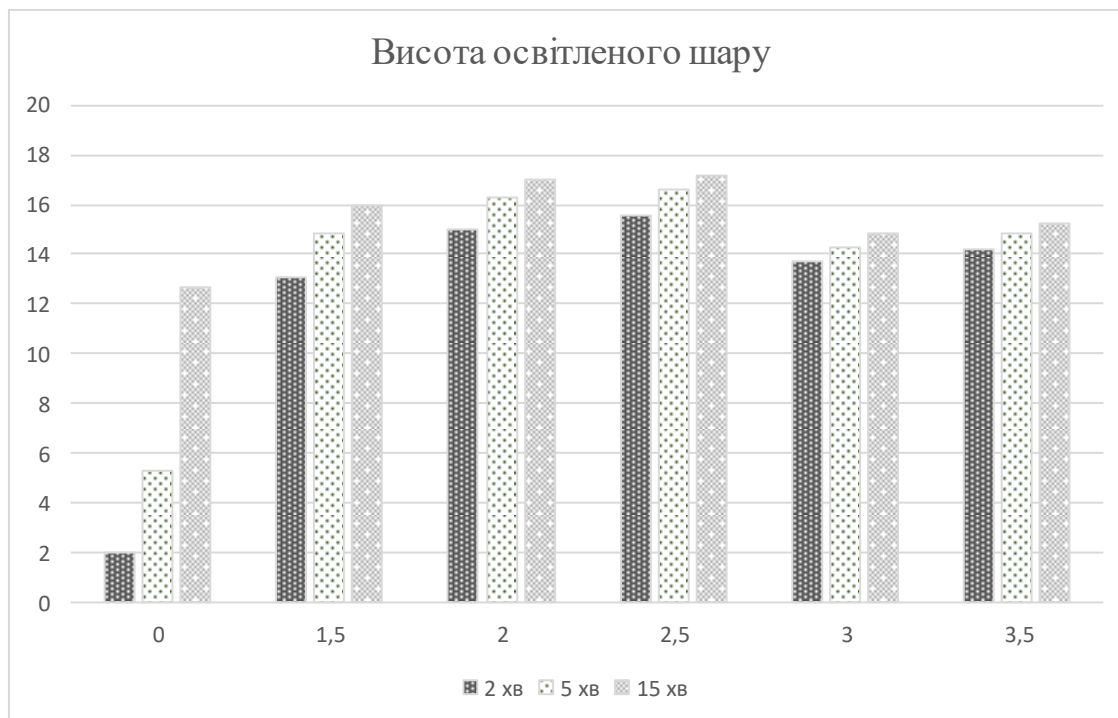
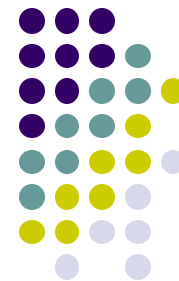
Дослідження ефективності використання флокулянтів на основі ПАА



Дослідження проводили на потужностях виробничої лабораторії Новооржицького цукрового заводу. Досліджували ефективність флокулянтів марок «Магнафлок LT27», «UniflokLT27», «Хімфлок 1009Х».

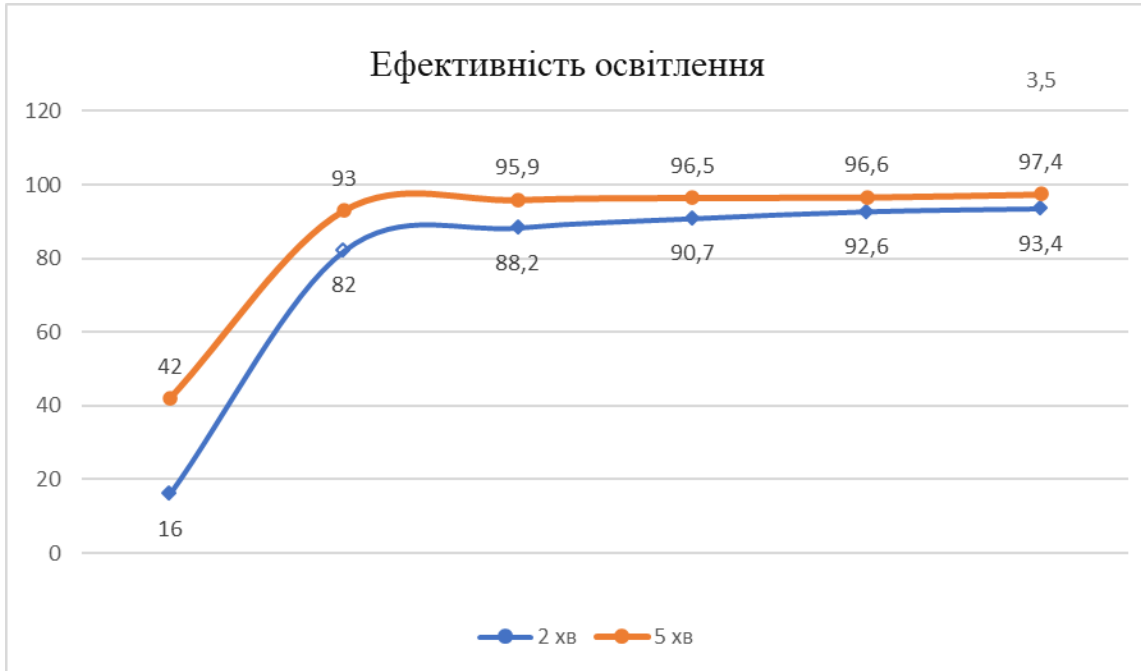
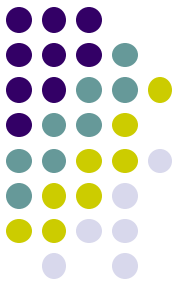


Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на технологічні показники соку



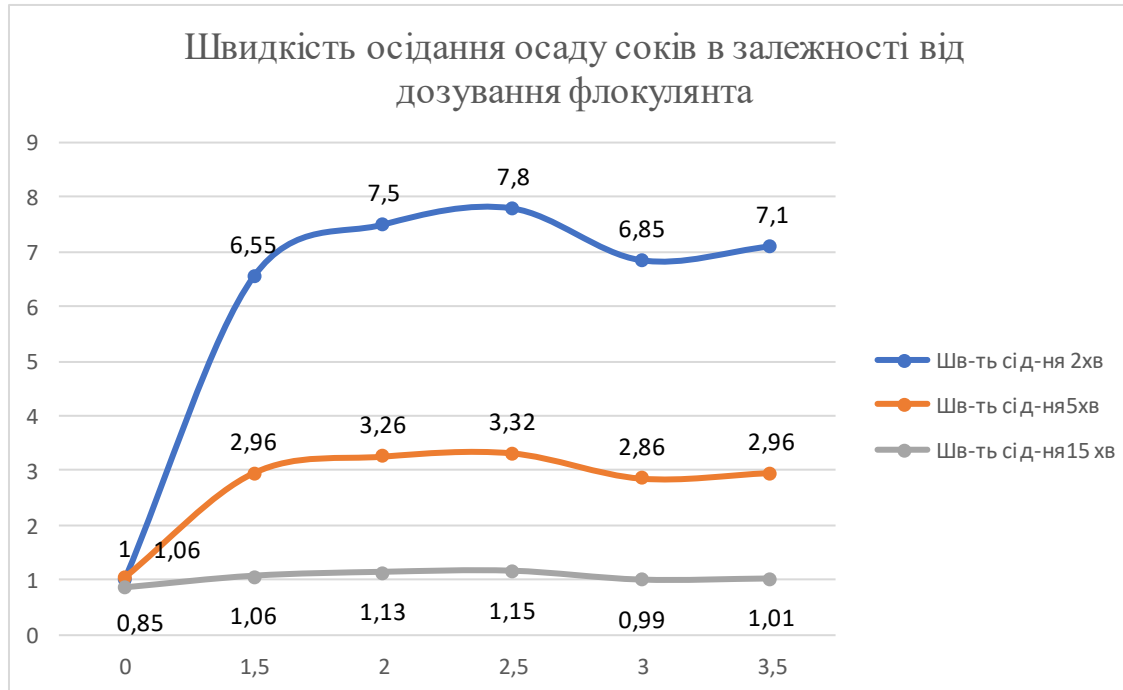
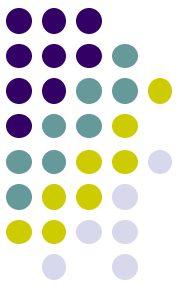
- Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на висоту освітленого шару в залежності від дозування від 1,5 г/м³ до 3,5 г/м³

Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на технологічні показники соку



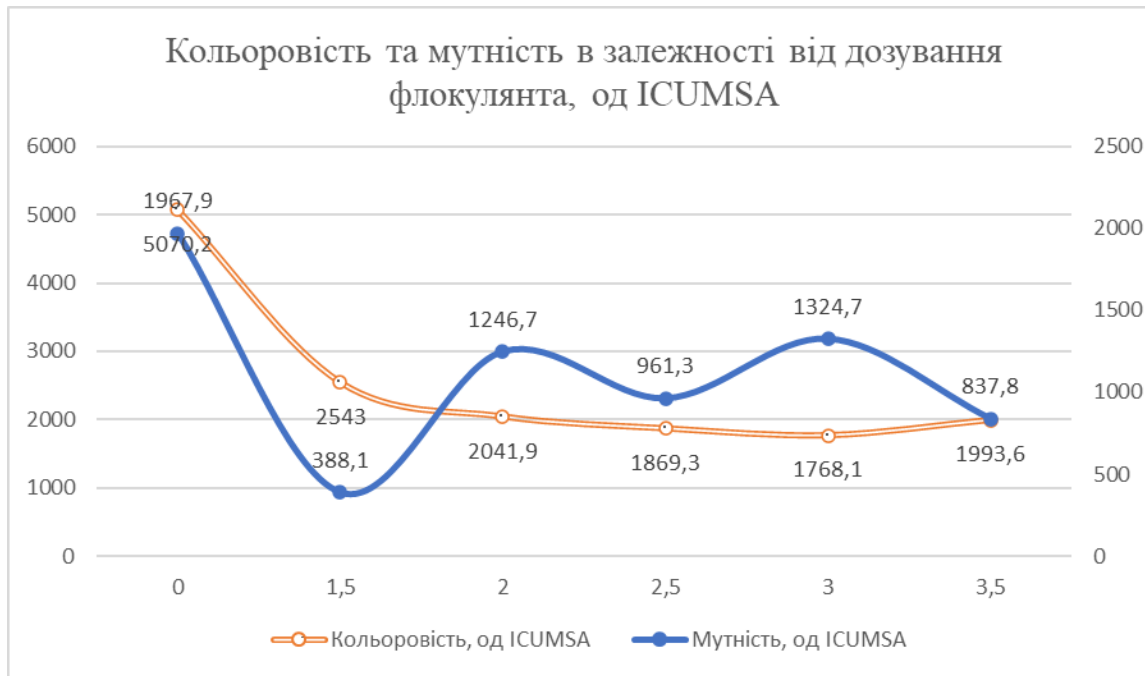
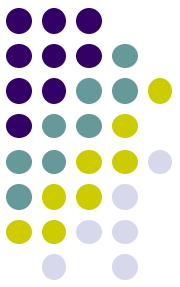
- Порівняння ефективності освітлення в залежності від дозування флокулянту «Магнафлок LT27» за тривалості процесу 2 та 5 хв.

Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на технологічні показники соку



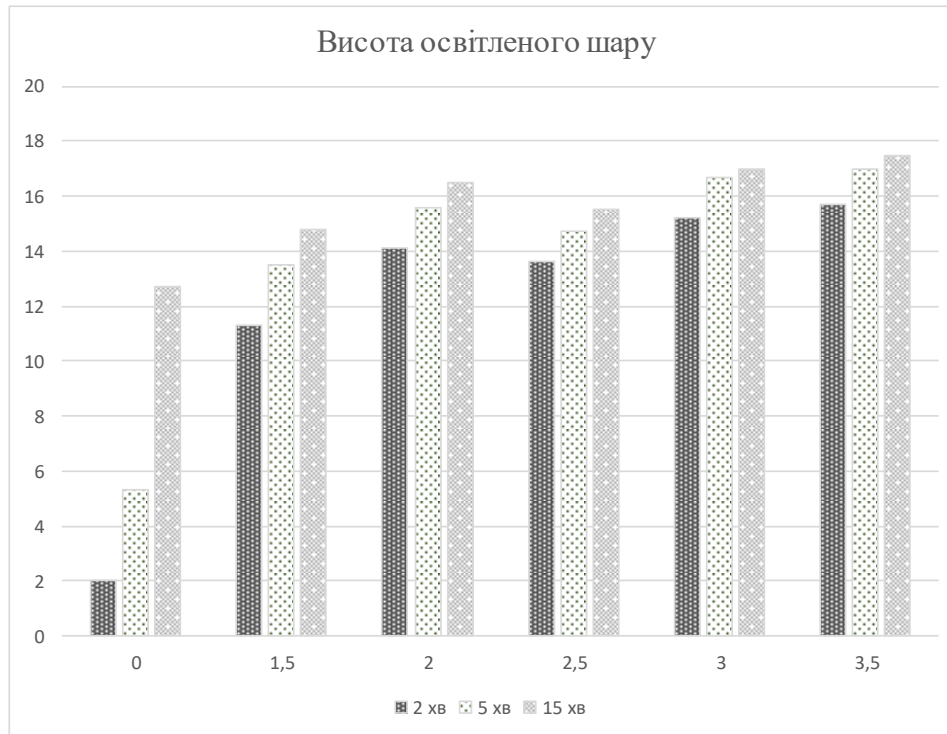
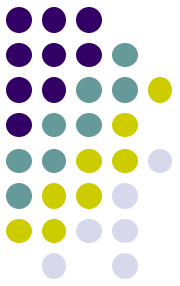
- Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на швидкість осідання соку 1 сатурації в залежності від дозування

Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на технологічні показники соку



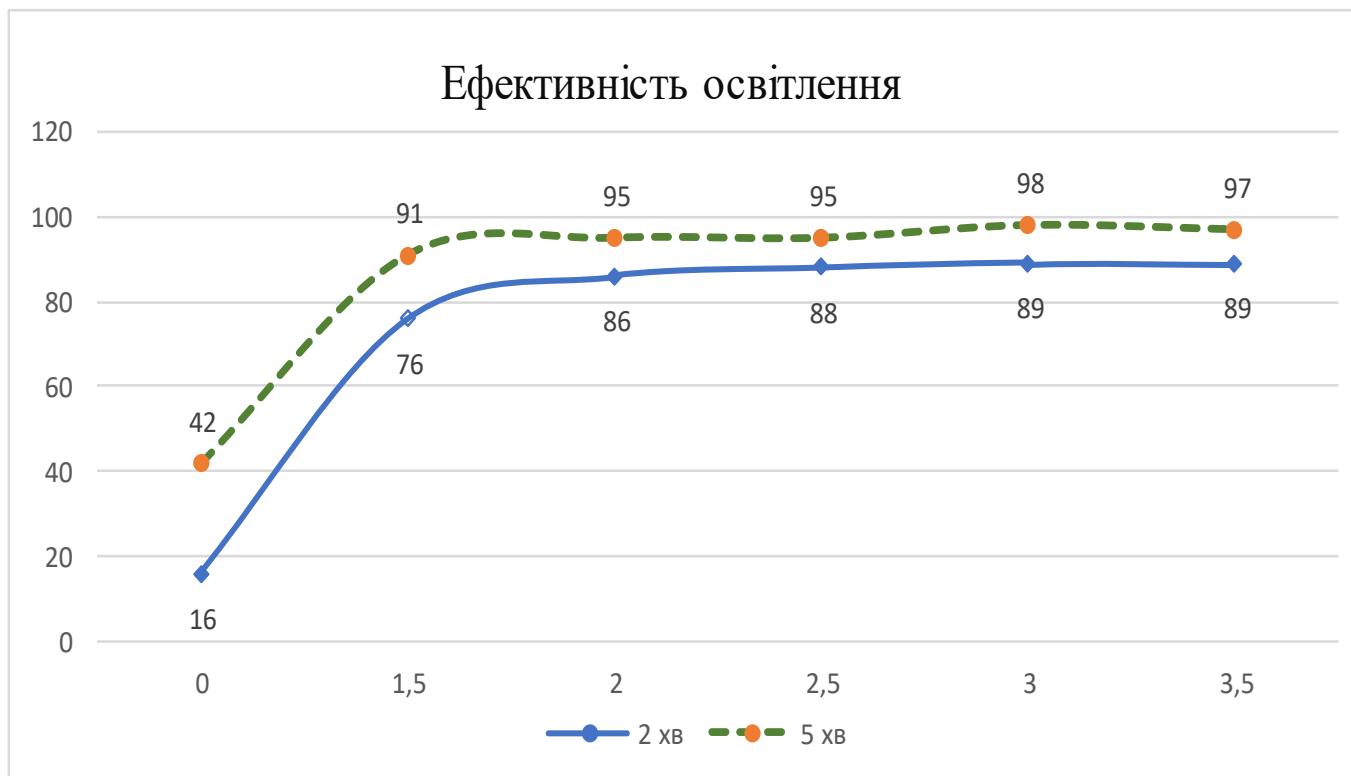
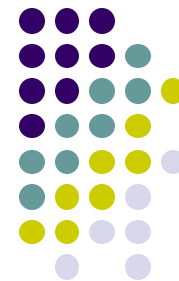
- Вплив флокулянту «Магнафлок LT27» на показники кольоровості та мутності освітленого соку і сатурації в залежності від дозування флокулянту

Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на технологічні показники соку



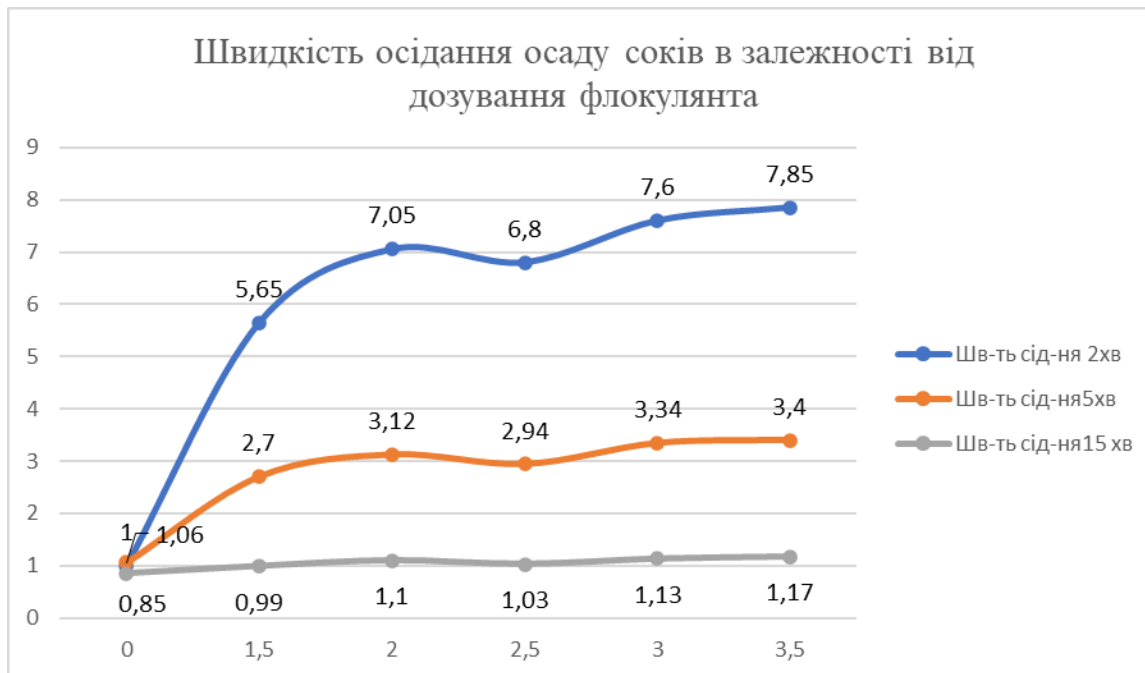
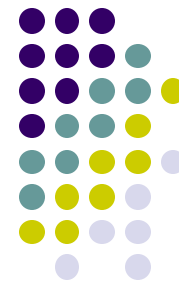
- Висота освітленого шару в залежності від дозування флокулянту «UniflokLT27» в залежності від дозування від 1,5 г/м³ до 3,5 г/м³

Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на технологічні показники соку



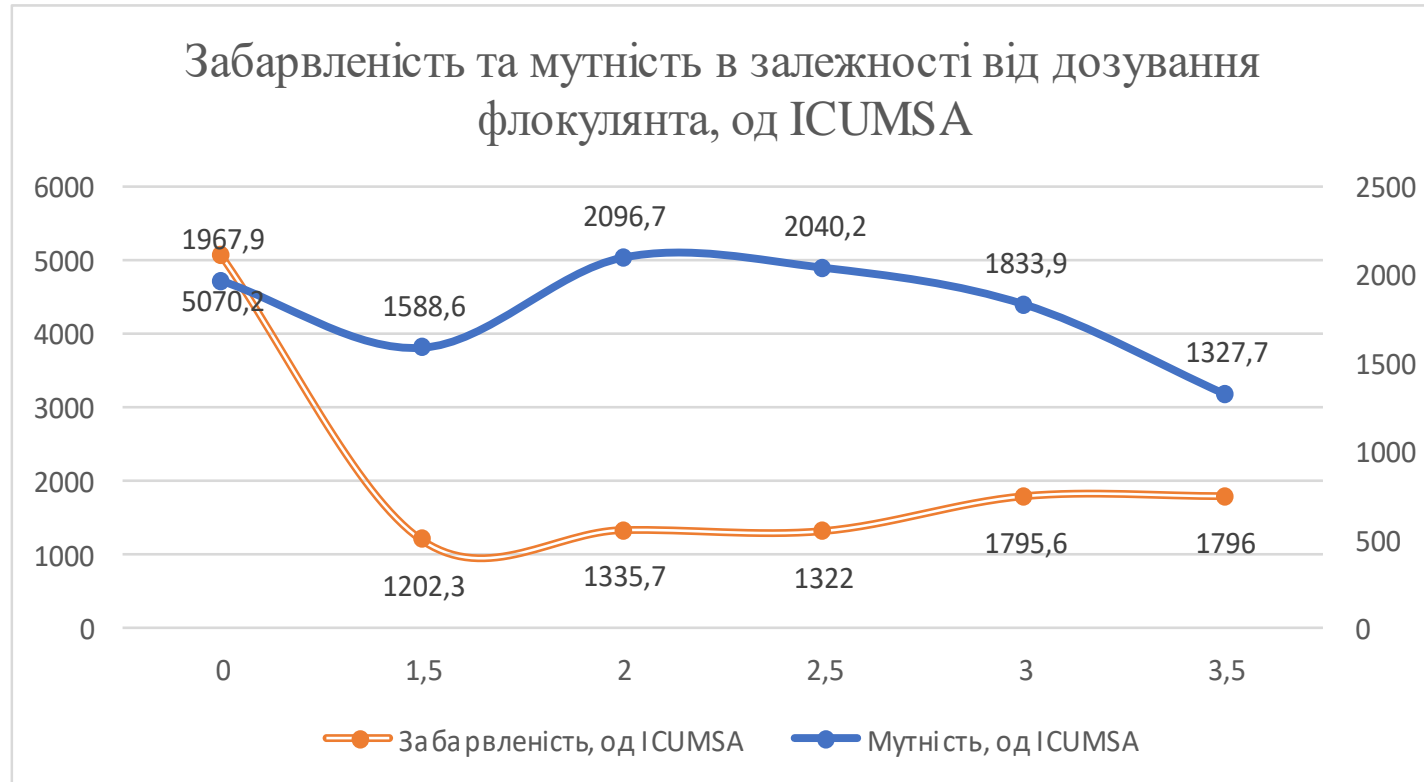
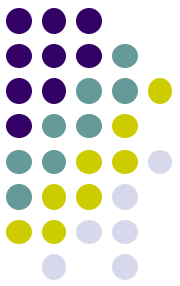
- Порівняння значень розрахованої ефективності освітлення від введення флокулянту «UniflokLT27» при замірах 2, 5 хвилин відносно освітлення за 15 хвилин

Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на технологічні показники соку



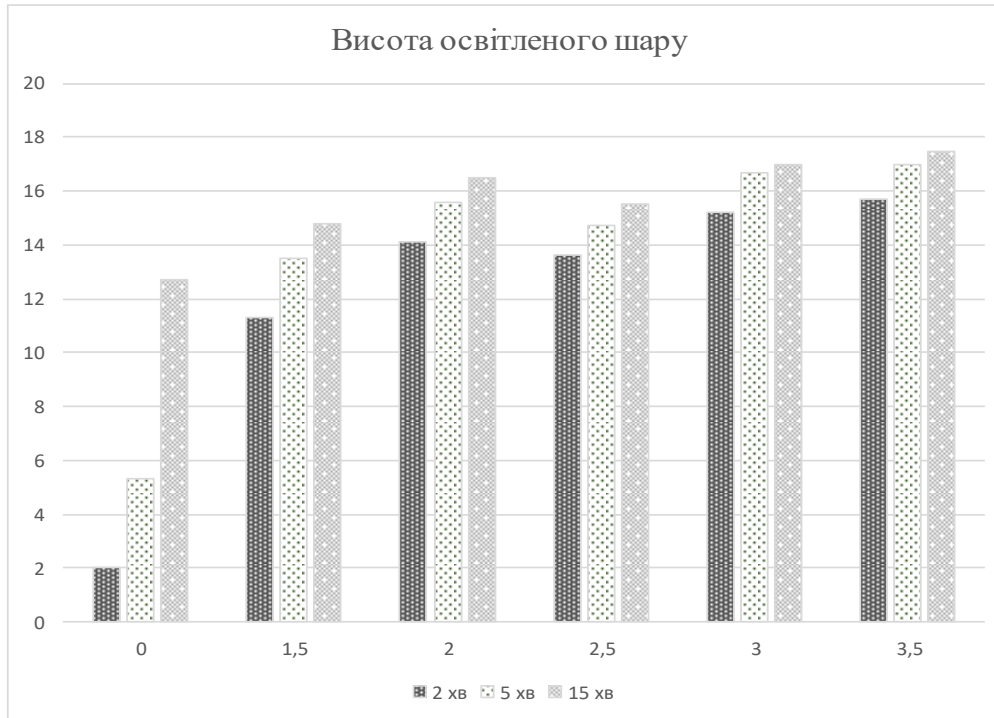
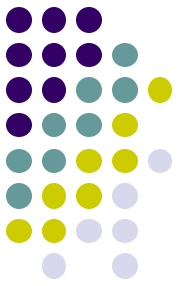
- Вплив флокулянту «UniflokLT27» на швидкість осідання соку 1 сатурації в залежності від дозування

Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на технологічні показники соку



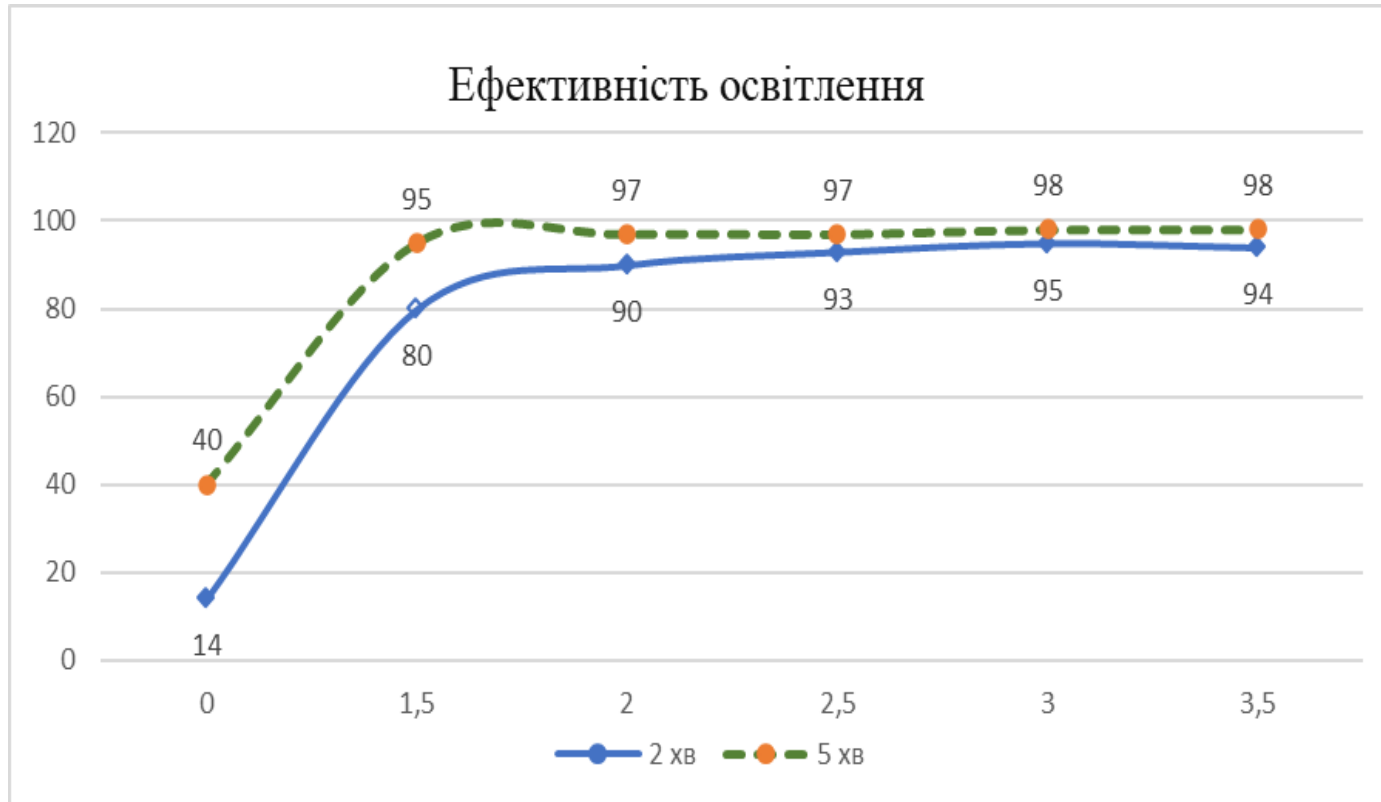
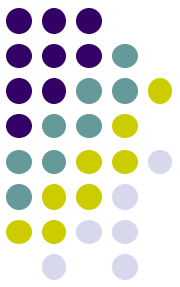
● Вплив флокулянту «Uniflok LT27» на показники кольоровості та мутності освітленого соку і сатурації в залежності від дозування

Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на технологічні показники соку



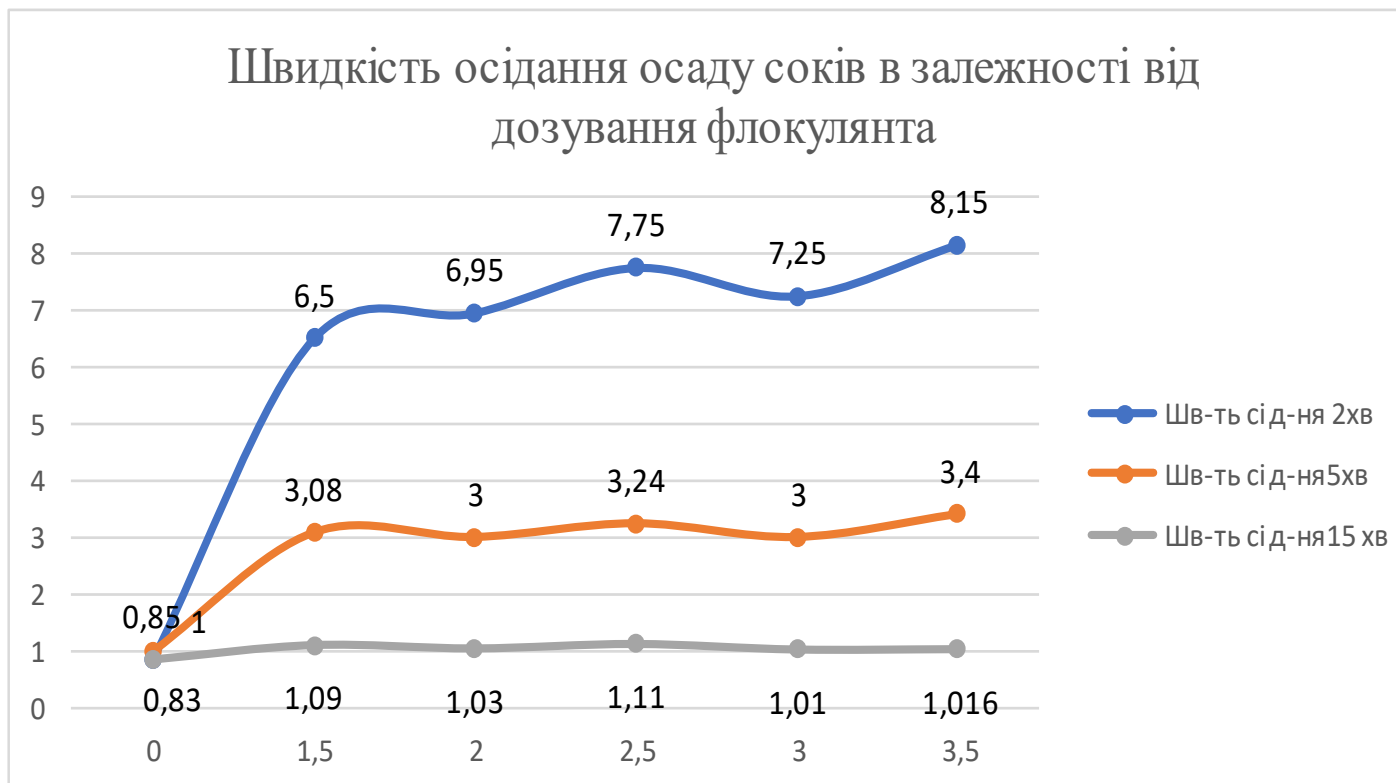
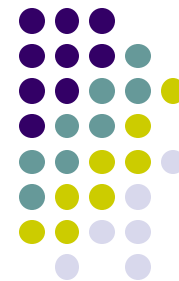
- Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на висоту освітленого шару в залежності від дозування у сік першої сатурації

Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на технологічні показники соку



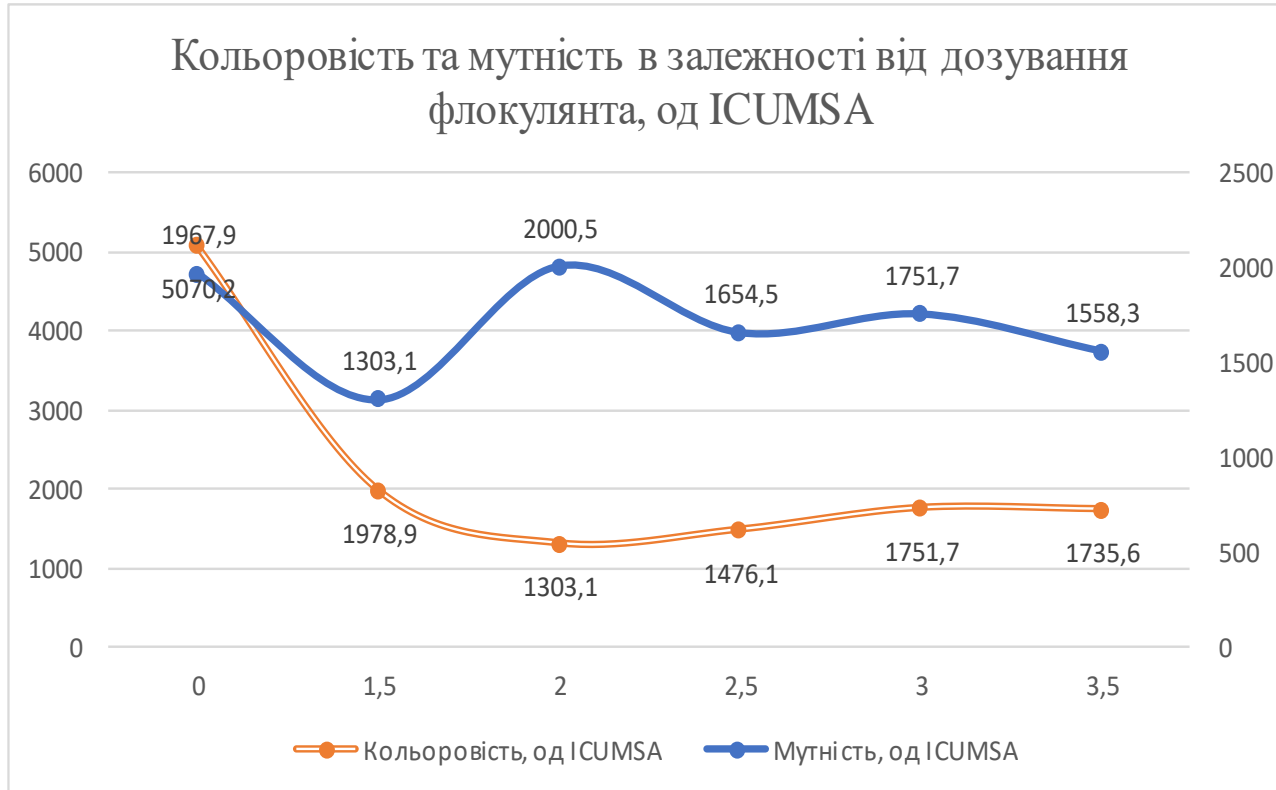
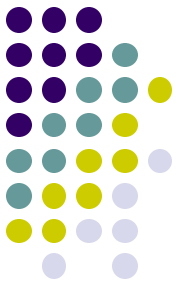
- Порівняння значень розрахованої ефективності освітлення від введення флокулянту «UniflokLT27» при замірах 2, 5 хвилин відносно освітлення за 15 хвилин

Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на технологічні показники соку

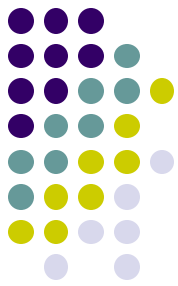


● Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на швидкість осідання соку 1 сатурації в залежності від дозування

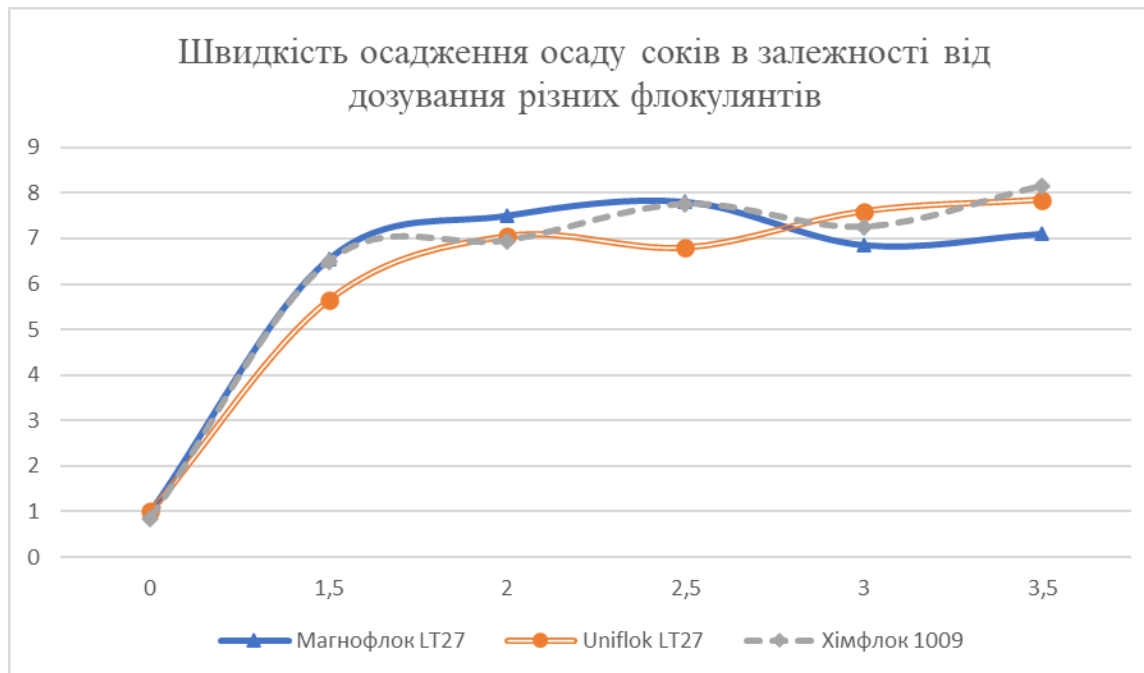
Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на технологічні показники соку



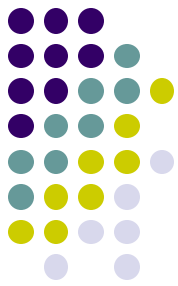
- Вплив флокулянту «Хімфлок 1009» на показники кольоровості та мутності освітленого соку і сатурації в залежності від дозування



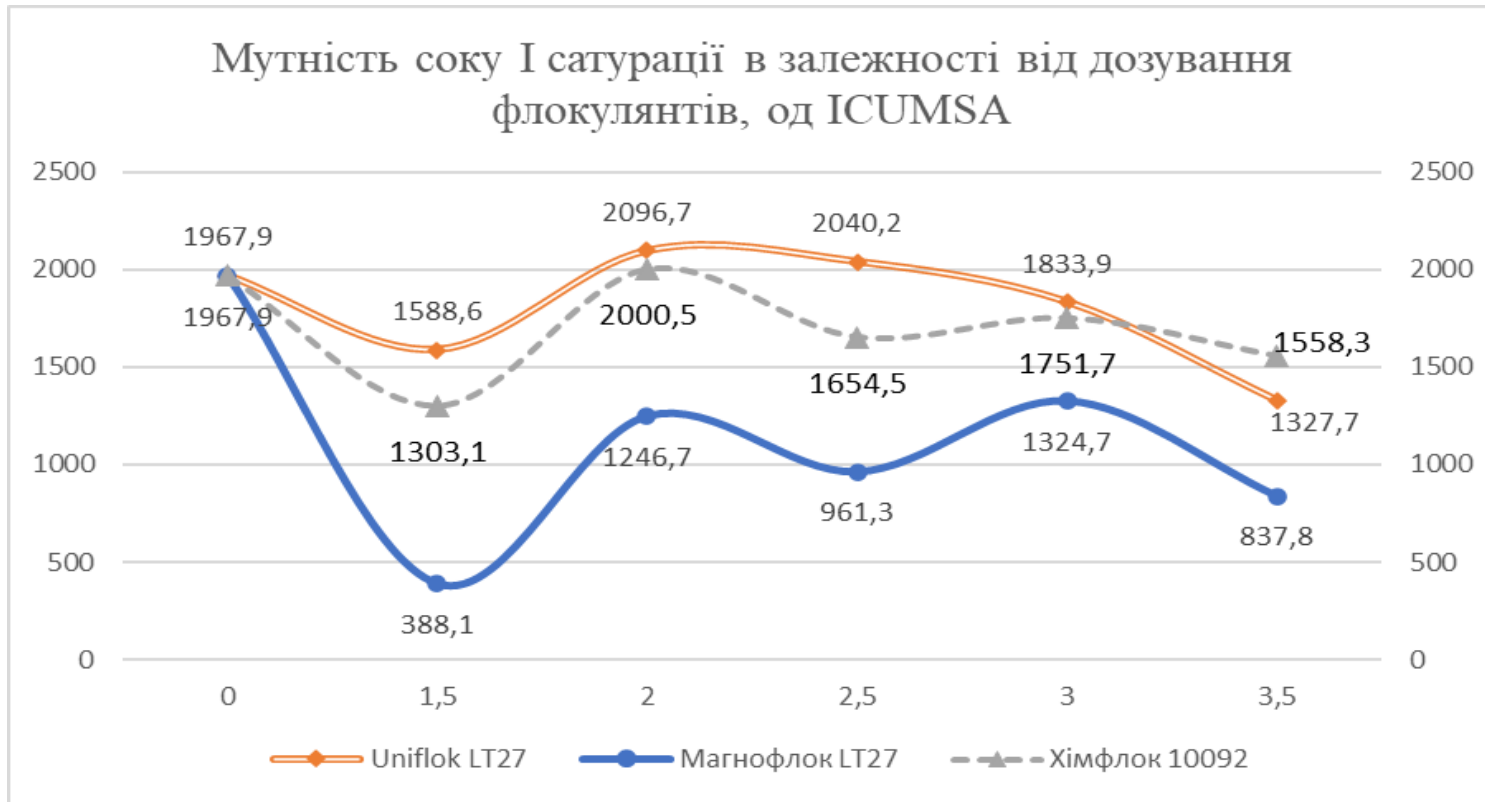
Порівняння ефективності дії флокулянтів



- Порівняння впливу флокулянтів при 2 хвилині швидкостей осідання осадів соку і сатурації в залежності від дозування флокулянтів марок «Магнафлок LT27», «Unifлок LT27» та «Хімфлок 1009»

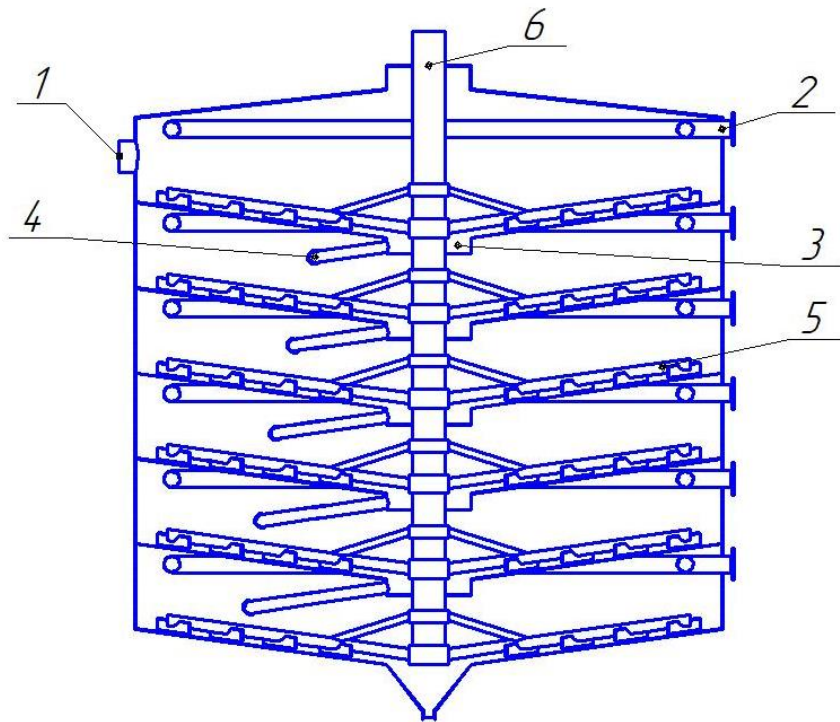
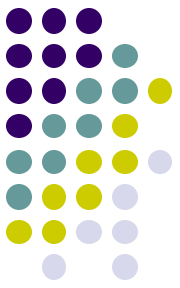


Порівняння ефективності дії флокулянтів

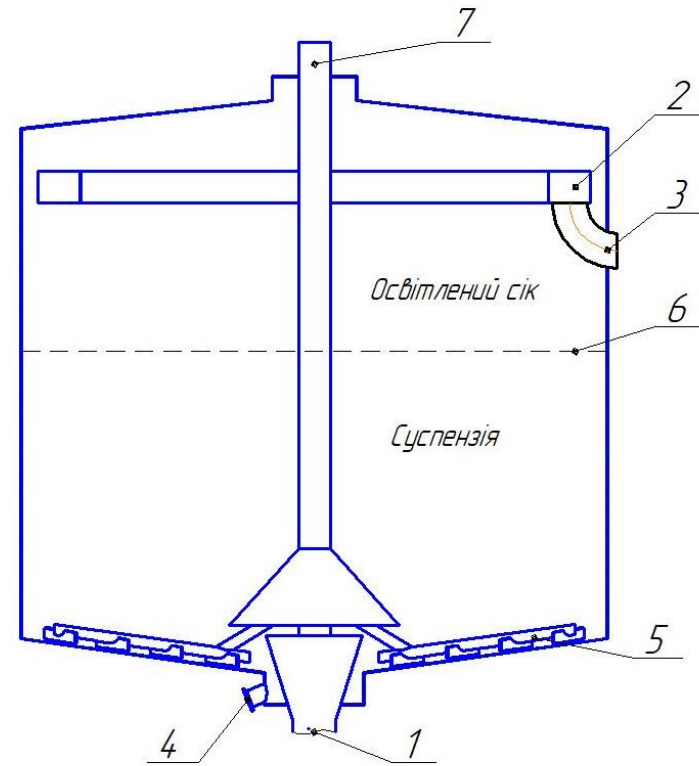


- Порівняння впливу на мутність соку І сатурації в залежності від дозування флокулянтів марок «Магнафлок LT27», «Uniflok LT27» та «Хімфлок 1009»

Дослідження процесу відділення осаду соку і сатурації у відстійниках

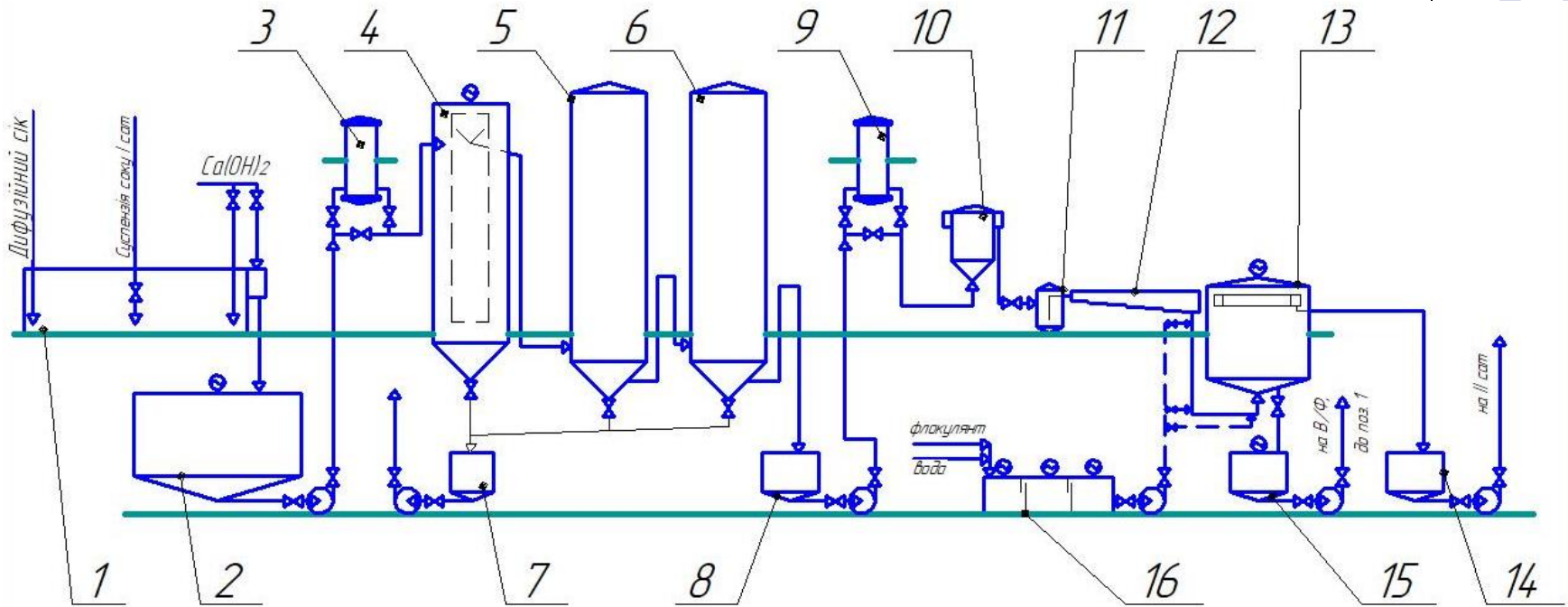
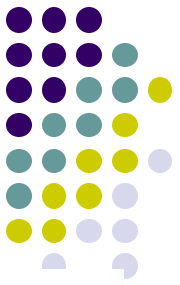


● Відстійник п'ятишаровий марки РЗ-ПОС-1,5



● Модернізований відстійник

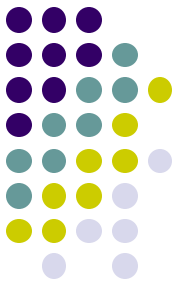
Дослідження процесу відділення осаду соку I сатурації у відстійниках



- | | |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Преддефектор | 10. Розподільвач соку |
| 2. Апарат холодної defeкації | 11. Піноловлювач |
| 3. Підігрівач | 12. Дегазатор |
| 4. Апарат гарячої defeкації | 13. Відстійник соку I сат. |
| 5. Апарат I сат. I-A | 14. Збірник освітленого соку |
| 6. Апарат I сат. I-B | 15. Збірник суспензії |
| 7. Збірник продуктів | 16. Станція приготування флокулянту |
| 8. Збірник неф. соку I сат. | |
| 9. Підігрівач | |

● Схема роботи сокоочисного відділення

Аналіз якості соків у виробництві



Таблиця 3.8 – Якісні показники цукрових буряків за добу під час проведення дослідження на Новооржицькому ЦЗ

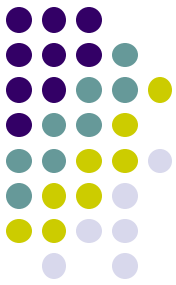
Показник	Значення
Дигестія буряків при прийманні, %	17,69
Відсоток забрудненості буряків, %	8,14
Відсоток забрудненості буряків після мийки, %	0,49
Вміст зеленої маси, %	1,82

Табл. 3.9 – Якісні характеристики дифузійного соку до очищення і після

Показник	Дифузійний сік	Очищений сік
Вміст сухих речовин, %	17,57	17,227
Вміст сахарози, %	15,9	16,07
Чистота, %	90,45	93,27
Вміст нецукрів, % мас. від маси буряку	1,64	1,18
pH	6.16	9,49
PP, %	0.172	0.039
Альфа-амінний азот, %	0.052	0.021
Кислотність, %СаО	341	0,021
Вміст мезги, г/л дифузійного соку	1.755	

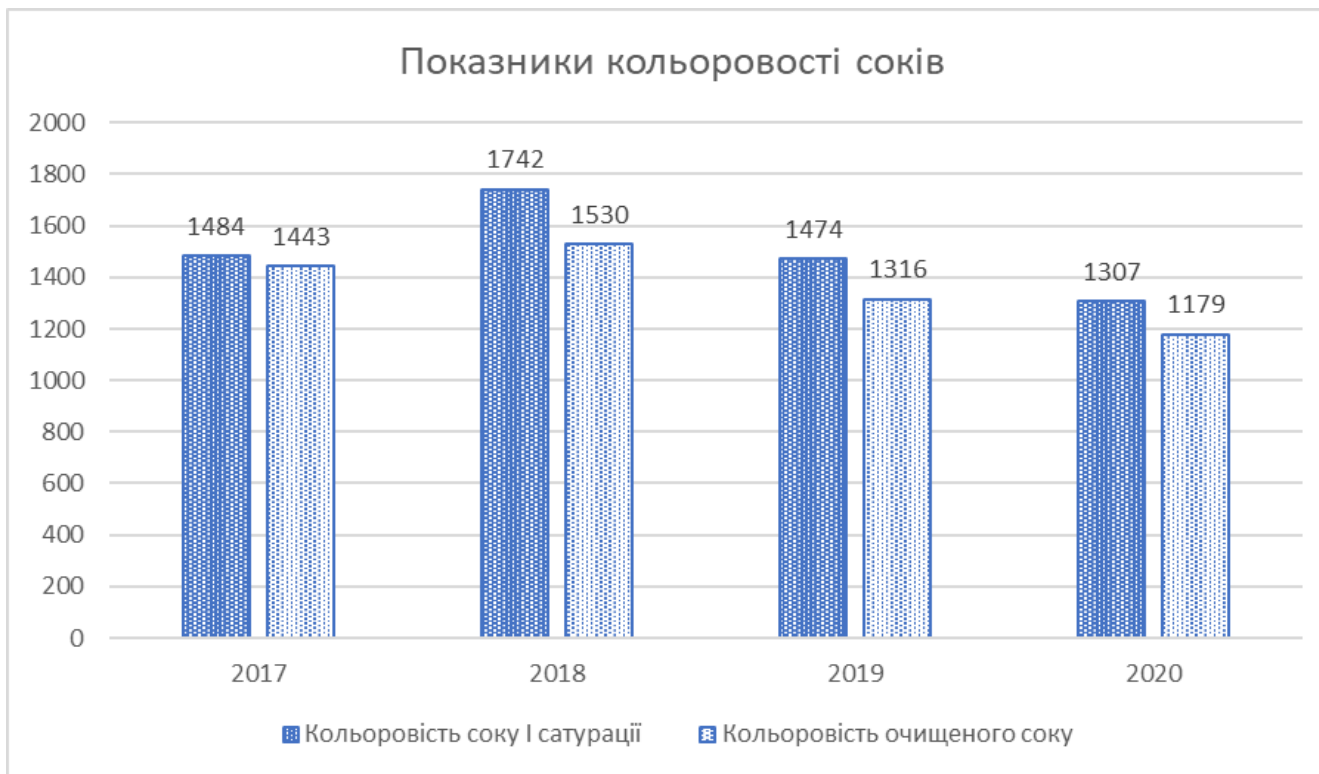
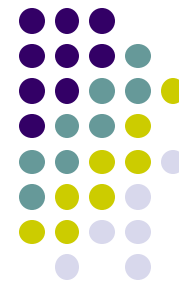
Аналіз якості соків у виробництві

Табл. 3.9 -- Показники якості при переробці цукрових буряків
2017-2020 років



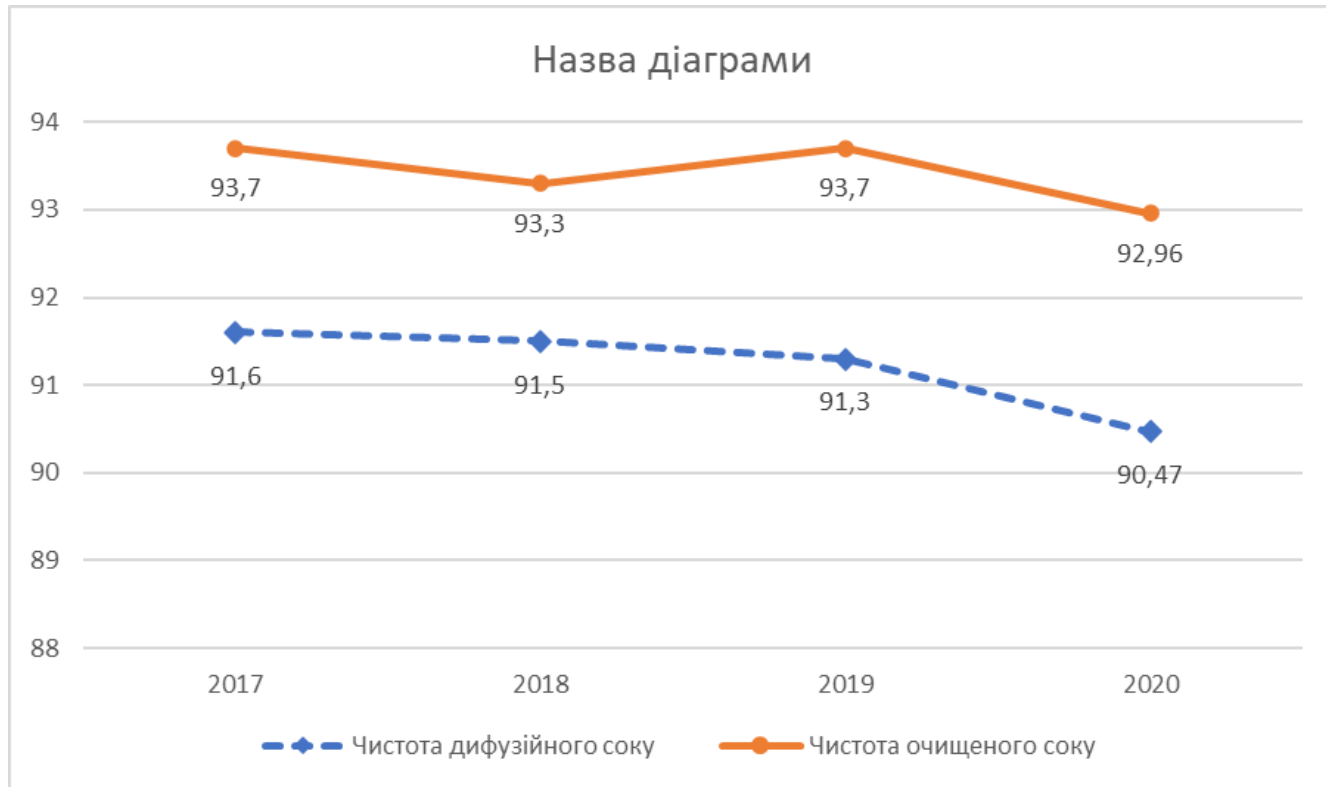
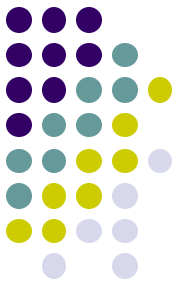
Показник	Значення			
	2017	2018	2019	2020
Вміст сахарози у стружці буряка, %	17,73	16,62	17,98	17,99
Чистота дифузійного соку, %	91,6	91,5	91,3	90,47
Чистота очищеного соку, %	93,7	93,3	93,7	92,96
Сухі речовини бурякового соку, %	20,3	20,1	21,06	21,05
Сухі речовини очищеного соку, %	16,6	16	17,01	17,17
Кольоровість дифузійного соку, од. опт. густини, ICUMSA	11200	12671	8845	9300
Кольоровість соку першої сатурації, од. опт. густини, ICUMSA	1484	1742	1474	1307
Кольоровість очищеного соку, од. опт. густини, ICUMSA	1443	1530	1316	1179
Мутність соку першої сатурації після відстійників, од. опт. густини, ICUMSA	516	380	251	144
Мутність очищеного соку, од. опт. густини, ICUMSA	172	132	89	93

Аналіз якості соків у виробництві



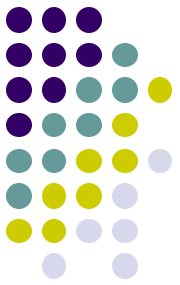
Порівняння показників кольоровості очищеного соку та каламутності соку I сатурації при переробці цукрового буряка 2017-2020 роках

Аналіз якості соків у виробництві



Порівняння показників чистоти очищеного соку та чистоти дифузійного соку при переробці цукрового буряка 2017-2020 роках

Аналіз якості соків у виробництві



Приведені розрахунки ефективності очищення на станції дефекосатурації Новооржицького цукровому заводі

Показник	2017	2018	2019	2020
Ефективність очищення на станції дефекосатурації	26,68	22,7	29,44	28,11

Спостерігається покращення показника ефективності очищення дефекосатурації при порівнянні даних за 2018 і 2019 роки. Що підтверджує доцільність проведеної модернізації відстійників на тонкошарові.

Оптимізація дослідних даних



В якості змінного (вхідного) параметру оптимізації процесу обрано дозування флокулянту та тривалість процесу освітлення соку 1 сатурації.

В якості функцій відгуку, що визначають ефективність освітлення соку I сатурації за допомогою флокулянту «Хімфлок 1009».

Для вирішення задачі оптимізації необхідно визначити рівняння регресії, що описують залежності значень відповідних функції відгуку від змінних параметрів процесу освітлення соку.

Для переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму використали метод Харрінгтона.

Висновки

- Оптимальні параметри процесу при значенні цільової функції 0,946 становлять: витрати флокулянту 2,95 г/м³, тривалість процесу 3,95 хв.
- Проведені обчислення дозволяють обґрунтувати запропоновану оптимальну дозу флокулянту марки «Хімфлок 1009» у сік I сатурації та дозволить керувати швидкістю подачі соку I сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу.

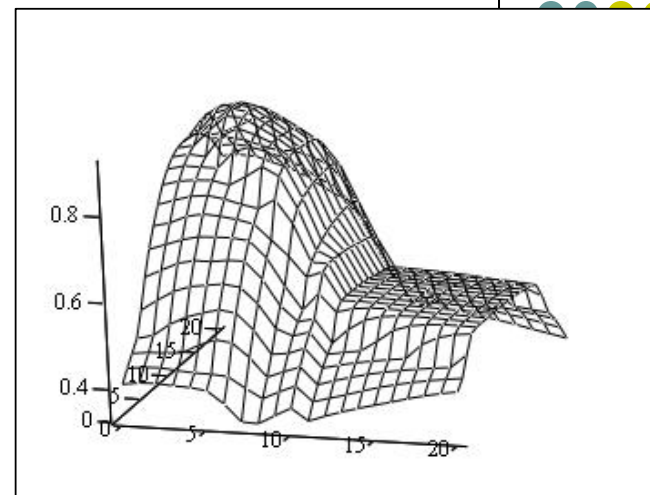
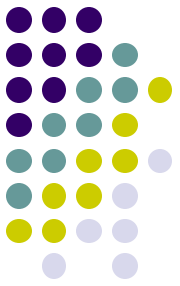


Рис. 4.4 Узагальнений критерій оптимізації

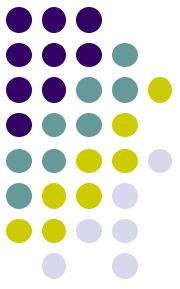
Екологічне обґрунтування застосування флокулянту на основі ПАА



Головний небезпечний чинник флокулянтів – це залишковий вміст мономерів, що не полімеризувались, у їхньому складі. Чистота флокулянту за цією характеристикою є основним фактором при отриманні дозволу на застосування у харчовій промисловості. Це пояснюється тим, що непрореаговані мономери та реагенти, що використовуються при синтезі, мають значну токсичність. Тому при закупівлі флокулянтів для потреб цукрового заводу необхідно контролювати у наявність дозвілу на застосування у харчовому виробництві у процесах сокоочистки для даної марки, рекомендованих виробником доз та доказів чистоти речовини від мономерних сполук.

У європейських директивах та американських законодавчих нормативних документах [5] прописані вимоги до застосування ПАА у харчовій промисловості щодо вмісту залишкового (неполімеризованого) акриламідю не більше 0,05 відсотків. А для використання як флокулянт для освітлення дифузійного соку у виробництві цукру в кількості, що не перевищує 5 частин на мільйон за масою соку, відповідає 5 г на 1 тону соку.

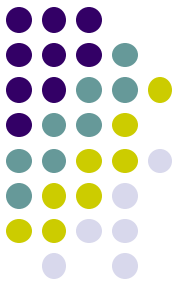
Економічні розрахунки впровадження технології очищення дифузійного соку аніонним флокулянтом



Сьогодні ефективність роботи цукрового заводу визначається енергозбереженням і екологічною безпекою виробництва при високому коефіцієнті вилучення цукру з сировини, а також якістю і собівартістю готової продукції.

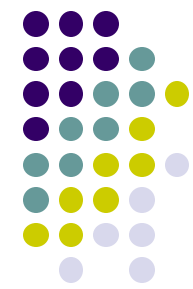
Флокулянти дозволяють:

- збільшити швидкість захоплення зважених часток;
 - прискорити процес утворення макросполук і збільшити їх щільність;
 - зменшити оптимальну дозу коагулянту;
 - збільшити продуктивність, ефективність очищення соків
 - мінімізувати витрати і трудомісткість, пов'язані з видаленням осадів.
-
- При застосуванні запропонованих методів очистки дифузійного соку показник рентабельності становить 0,63%.
 - Термін окупності, при розрахунках, становить 2,3 роки, тобто даний проект є доцільним для введення на виробництві.



Базуючись на узагальнення теоретичних та експериментальних даних було досліджено удосконалення технологію очищення дифузійного соку шляхом **модернізації відстійників та застосування додаткових реагентів** на стадії **очистки соку I сатурації** і отримано наступні висновки:

- В лабораторних умовах експериментально встановлено, що при застосуванні додаткових реагентів – флокулянтів різних марок на основі поліакриламід у спостерігається **збільшення ефективності освітлення соку та підвищення швидкості седиментації осаду соку I сатурації**.
- Визначено, що модернізація відстійників соку I сатурації, шляхом переобладнання з п'ятиярусних тонкошарових на одноярусні дозволила **підвищити ефект очищення дифузійного соку з 22,7 в 2018 році до 29,44 у 2019 році після модернізації**.
- За допомогою методів математичного моделювання запропоновано **раціоналізувати витрати флокулянту** під час очищення дифузійного соку та керувати швидкістю подачі соку I сатурації на очищення у відстійники гравітаційного типу. **Оптимальна доза флокулянту** марки «Хімфлок 1009» у сік I сатурації становить $2,95 \text{ г/м}^3$, а тривалість процесу відстоювання 3,95 хв.
- **Рентабельність** від впровадження модернізації відстійників гравітаційного типу для очищення соку I сатурації із застосуванням ПАА становить **буде становить 0,63%, а термін окупності становить 2,3 роки**, тобто даний проект є **доцільним для введення на виробництві**.



Досконалість – це коли немає зайвого

