

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій**

**Кафедра \_\_\_\_\_ Технології цукру і підготовки води \_\_\_\_\_**

**«До захисту в ЕК» \_\_\_\_\_ «До захисту допущено» \_\_\_\_\_**

Директор інституту(декан факультету) \_\_\_\_\_ Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_ Кочубей-Литвиненко О.В. \_\_\_\_\_ Гусятинська Н.А.  
 (підпис) (прізвище та ініціали) (підпис) (прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р. « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 181 «Харчові технології» та інженерія»

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми \_\_\_\_\_ «Технології цукру та полісахаридів»  
 на тему: Дослідження технології очищення сиропу із затосуванням природних сорбентів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ТЦ-2-10М

Тарасенко Аліна Едуардівна

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Виговський Валерій Юрійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Мирончук В. Г.

(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 та інженерія»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології цукру та полісахаридів»

(назва)

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ТЦ і ПВ

Гусятинська Н.А.

“     ”     2021 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Тарасенко Аліни Едуардівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технології очищення сиропу із застосуванням природних сорбентів

керівник роботи Виговський Валерій Юрійович, професор, кандидат технічних наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 26 ” 10 2020 року № 872кс

2. Строк подання здобувачем роботи 08.02.21

3. Вихідні дані до роботи Вихідні дані сиропу : СР = 64, рН = 8,1; Чистота = 81,2; солі кальцію = 0,095; забарвленість = 1286,6. Кліноптилоліт ; перліт ВАТ Калинівський групи А; перліт IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>2</sup>; перліт  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>2</sup>.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ. Аналіз сучасних способів очищення сиропу бурякоцукрового виробництва. Об'єкти і методи досліджень. Дослідження очищення сиропу з застосуванням природних сорбентів. Оптимізація процесу очищення сиропу природними сорбентами. Еколого – економічне обґрунтування очищення сиропу із застосуванням природних сорбентів. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу Презентація – 27 слайдів.



## АНОТАЦІЯ

Дана магістерська робота складається з шести розділів, виконана на 74 сторінках, ілюстрована 17 таблицями і 44 рисунками, списку бібліографічних джерел з 23 найменувань.

Мета роботи – на основі теоретичних і експериментальних досліджень впливу адсорбенту – клиноптилоліту та перліту на чистоту сиропу, солі кальцію, зокрема забарвленість, обґрунтувати і розробити нові способи очищення сиропу із застосуванням зазначеного реагенту, які б забезпечили високі показники його якості.

Об'єкти досліджень - технологія очищення сиропу.

Предмет дослідження – сироп, адсорбент – клиноптилоліт, перліт різних груп.

*Ключові слова:* сироп, клиноптилоліт, перліт, дефекосатурація, адсорбер, вакуум – фільтраційна установка, забарвленість, солі кальцію, чистота.

## АННОТАЦИЯ

Данная магистерская работа состоит из шести разделов, выполненная на 74 страницах, иллюстрирована 17 таблицами и 44 рисунками, список библиографических источников с 23 наименований. Цель работы - на основе теоретических и экспериментальных исследований влияния адсорбента - клиноптилолита и перлита на чистоту сиропа, соли кальция, в частности окрашенность, обосновать и разработать новые способы очистки сиропа с применением указанного реагента, которые бы обеспечили высокие показатели его качества.

Объекты исследований - технология очистки сиропа.

Предмет исследования - сироп, адсорбент - клиноптилолит, перлит различных групп.

*Ключевые слова:* сироп, клиноптилолит, перлит, дефекосатурации, адсорбер, вакуум - фильтрационная установка, окрашенность, соли кальция, чистота.

### **ABSTRACT**

This master's thesis consists of six sections, performed on 74 pages, illustrated with 17 tables and 44 figures, a list of bibliographic sources of 23 items.

The purpose of the work - on the basis of theoretical and experimental studies of the effect of adsorbent - clinoptilolite and perlite on the purity of syrup, calcium salts, including color, to justify and develop new methods of purification of syrup using this reagent, which would ensure high quality.

The objects of research are the technology of syrup purification.

The subject of research - syrup, adsorbent - clinoptilolite, perlite of different groups.

*Key words:* syrup, clinoptilolite, perlite, defecosaturation, adsorber, vacuum filtration unit, color, calcium salts, purity.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 7  |
| 1. Аналіз сучасних способів очищення сиропу бурякоцукрового виробництва  |    |
| 1.1.Процес очищення цукрового сиропу.....  | 14 |
| 1.2.Застосування природніх сорбентів для очищення сиропу.....  | 15 |
| 1.3.Способи додаткового очищення соку і сиропу для підвищення якості виробленого цукру з використанням: кліноптилоліту, глауконіту, палигорськїту та фільтроперліту..... | 21 |
| 1.4.Дослідження з неорганічними сорбентами.....  | 26 |
| 2. Об'єкти і методи досліджень.....  | 29 |
| 2.1 Об'єкт, предмет дослідження.....   | 29 |
| 2.2Методидосліджень.....   | 30 |
| 3. Дослідження очищення сиропу з застосуванням природніх сорбентів.....  | 33 |
| 3.1 Впровадження способу очищення сиропу природніми адсорбентами в лабораторних умовах.....  | 35 |
| 3.2 Дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесомдефекосатурації сиропу.....   | 36 |
| 3.3 Впровадження способу очищення сиропу природніми адсорбентами в технологічну схему.....   | 55 |
| 4. Оптимізація процесу очищення сиропу природніми сорбентами.....  | 57 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1. Знаходження оптимальної кількості кліноптилоліту для очищення сиропу .....                                     | 58 |
| 4.2. Знаходження оптимальної кількості перліту ВАТ Калинівський групи А для очищення сиропу .....                   | 61 |
| 4.3. Знаходження оптимальної кількості перліту IV ступеня $\gamma$ - 101 кг/м <sup>3</sup> для очищення сиропу..... | 65 |
| 4.4. Знаходження оптимальної кількості перліту $\gamma$ - 90 кг/м <sup>3</sup> для очищення сиропу.....             | 68 |
| 5. Еколого – економічне обґрунтування очищення сиропу із застосуванням природніх сорбентів.....                     | 72 |
| Висновки.....   | 78 |
| Список використаних джерел  |    |
| Додатки   |    |

## ВСТУП

На сьогодні для розвитку цукробурякового комплексу України, крім необхідності впровадження сучасних технологій вирощування цукрових буряків, достатнього забезпечення бурякосіючих господарств високоякісним насінням, мінеральними добривами й засобами хімічного захисту рослин, підвищення якості машинного парку, дедалі актуальнішого значення набуває якнайшвидша реконструкція та модернізація цукрових заводів, розширення їхніх виробничих потужностей до економічно оптимальних меж. Ряд європейських країн – виробників бурякового цукру технічно перебудовують галузь шляхом поступового виведення з експлуатації малопотужних неперспективних цукрових заводів, нарощування потужностей тих підприємств, які забезпечують ефективне виготовлення продукції. Середній цукровий завод в Україні може переробляти 2,67 тис. тонн цукрових буряків на день, що майже втричі менше, ніж у середньому в країнах ЄС, де переробляється 7,5 тис. тонн на день. Лише 19 із 192 заводів в Україні мають потужність понад 5,0 тис. тонн на день. Багато українських цукрових заводів надзвичайно старі. Із 192 цукроварень 58 було збудовано ще до 1860 року, ще 66 – до початку століття, а в 2011 році до роботи приступило тільки 77 заводів. [1]

У середньому українські цукрові заводи споживають на виробництво тонни цукру вдвічі більше енергії, ніж у країнах ЄС, а екстрагують лише 80% того цукру, що міститься в цукровому буряку (в Німеччині екстрагуються 85%, а на найсучасніших заводах – 90%). Якщо додати, що в буряку, який вирощується в Україні, знижений вміст цукру, то виходить, що лише 12% маси цукрового буряку екстрагується у вигляді цукру, що на 10-12% нижче від рівня ЄС. Білий цукор, що виробляється в Україні, як правило, не відповідає міжнародним стандартам (вміст золи, колір, зернистість), тому на міжнародному ринку його можна продати лише зі знижкою. [2]

Вагомий внесок розроблення технології очищення цукрового сиропу зробили вчені: Рева Л.П.; Виговський В.Ю.; Гусятинська Н. А.; Ліпец А.А.; Штангеєв В.О.; Купчик Л.А..

Розроблена методика очищення густих напівпродуктів цукрового виробництва з застосуванням нетоксичних реагентів. Даним дослідженням займалися наступні вчені : В.О. Штангеєв, О.М. Молодницька, Н.А. Гусятинська, Л.С. Клименко, Л.А. Купчик. В роботі наведено способи очищення сиропу бурякоцукрового виробництва. Досліджено дію полігексаметиленгуанідину гідрохлориду (ПГМГХ) на ефективність очищення сиропу після III корпусу випарної установки. Розроблений спосіб очищення сиропу бурякоцукрового виробництва з використанням ПГМГХ та активного вугілля СКН-3, виготовленого на дослідницькому виробництві інституту сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України, дозволяє підвищити ефект знебарвлення сиропу на 23-33 % та його чистоту на 0,9-2 од. Проведені дослідження показали, що для досягнення найкращих якісних показників сиропу раціональними витратами «Гембару» - полігексаметиленгуанідину гідрохлориду є 0,003–0,0075 % до маси сухих речовин сиропу та 2,0–2,5 % активного вугілля марки СКН-3. Підвищення чистоти сиропу на 0,9–2,0 од. зумовлено додатковим вилученням нецукрів, особливо високомолекулярних сполук, в тому числі барвних речовин. Загальний ефект знебарвлення сиропу склав 23–33 %. Технічний результат полягає в підвищенні якісних показників сиропу, що дає змогу отримати білий цукор високої якості. [3]

Також були отримані позитивні результати в розробленні способів додаткового очищення соку і сиропу для підвищення якості виробленого цукру з використанням: клиноптилоліту, глауконіту, палигорськіту та фільтроперліту. Даним дослідженням займалися видатні вчені і зробили значний внесок при дослідженні даної проблеми.

В результаті порівняльних досліджень природних мінеральних сорбентів глауконіт та клиноптилоліт по приросту чистоти сиропу, зменшенню вмісту солей кальцію та забарвленості. Найефективніше проявив свої властивості клиноптилоліт. По соку II сатурації приріст чистоти склав 0,6%, по сиропу чистота збільшилася на 0,8%, при уварюванні сиропу разом з клиноптилолітом спостерігався також приріст чистоти на 0,7%. При впровадженні технології оброблення мінеральними сорбентами сиропу та напівпродуктів цукрового виробництва вихід цукру збільшився на 0,37%-0,42%. [4]

Проведені дослідження з неорганічними сорбентами. В своїй роботі Л. Бобрівник, Т. Микал, А. Фельдман, Т. Митченко зробили певні дослідження в технології процесу зм'якшення соку II сатурації бурякоцукрового виробництва за допомогою природнього сорбенту, клиноптилоліту. Також вчені провели результативні роботи, а саме сорбцію кальцію клиноптилолітом. Мета даної роботи полягала у вивченні механізму сорбції кальцію з цукрових розчинів клиноптилолітом і визначенні кінетичних і рівноважних характеристик процесу, необхідних для розрахунку технологічних параметрів. Аналіз отриманих результатів свідчить про можливість застосування клиноптилоліту як сорбенту для пом'якшення соку II сатурації перед випарюванням. [5]

Спосіб очищення сиропу з використанням найкращого вуглецевого сорбенту (активованого вугілля марки СКН-3. Винахідниками даного способу є наступні вчені: Рева Леонід Павлович, Береза Юрій Григорович, Шульга Світлана Анатоліївна, Головіна Олена Валеріївна. Спосіб очищення сиропу включає сульфитацію, введення в сироп адсорбенту, перемішування, фільтрування. Як адсорбент використовується природний мінеральний сорбент - палигорськіт у кількості 2,5...3 % до маси сиропу з перемішуванням протягом 15...20 хв. Таким чином, згідно з запропонованим способом

(очищення сиропу палигорськітом) можна досягти додаткового підвищення якісних показників сиропу, а саме: підвищення чистоти, зниження вмісту нецукрів: ВМС, солей кальцію, барвних речовин та ін., що суттєво не відрізняються від показників, отриманих при очищенні сиропу активованим вугіллям у відомому способі з використанням марки СКН-3, яка вважається найкращою в порівнянні з іншими марками. Технічний результат полягає в підвищенні якісних показників сиропу, який надходить на уварювання утфелю першої кристалізації, що досягається завдяки додатковому вилученню 15 нецукрів (ВМС, солей кальцію, барвних речовин та ін.). Це дає змогу підвищити якість сиропу і отримати цукор-пісок високої якості. Також, за рахунок підвищення чистоти сиропу на 1,15% можна досягти збільшення виходу цукру приблизно на 0,35 % до сиропу. [6]

Проведені дослідження зі застосуванням кліноптилоліту при очищенні питної води від стронцію фільтраційним методом. Даним дослідженням займалися наступні вчені: В.І. Щербаков, Зарубина С.А. Аль-Амрі, А.В. Михайлин. Результати досліджень показали, що для забезпечення ГДК в фільтраті по стронцію (7 мг / дм<sup>3</sup>) можна пропустити через завантаження з кліноптилоліта 260 відносних обсягів води на обсяг завантаження, а для забезпечення в усередненій пробі фільтрату концентрації  $3,5 \text{ мг / дм}^3 \text{Sr}^{2+}$  і в межах допустимої для питної води жорсткості 7 мг-екв / дм<sup>3</sup> - 330 відносних обсягів.

В ході дослідження було вивчено альтернативний метод видалення фосфатів шляхом фільтрування розчину фосфат аніонів через цеоліт, попередньо насичений іонами кальцію. Механізмом видалення фосфатів є хімічне осадження важкорозчинних з'єднань, в основному ортофосфата кальцію, утворюють при взаємодії фосфатних аніонів з катіонами кальцію. Регулювання швидкості фільтрування модельного розчину через колонку з цеолітом від 0,7 до 25 мл / хв дозволило підібрати найбільш оптимальні

умови для видалення фосфатів: при швидкості фільтрування 0,7 мл / хв ефективність видалення фосфат аніонів склала 78%. [7]

*Актуальність теми.* Бурякоцукрова галузь вітчизняного агропромислового комплексу відіграє стратегічну роль у процесі розвитку української економіки. З огляду на вступ України до світової організації торгівлі й стратегічну доцільність освоєння європейського та світового ринків цукру, стає досить актуальним питання покращення якості цукру білого, приведення її у відповідність з вимогами світових стандартів. Необхідність виробництва конкурентоспроможного на світовому ринку вітчизняного цукру білого ставить завдання перед цукровими заводами України виготовляти цукор високої якості. Враховуючи погіршення технологічної якості сировини – цукрових буряків, і як наслідок, збільшення кількості нецукрів (Нц) по всьому технологічному верстату, особливо актуальним є питання додаткового очищення продуктів бурякоцукрового виробництва взагалі й продуктів кристалізаційного відділення зокрема – розроблення способів зниження забарвленості сиропу. Для забезпечення високої якості білого цукру необхідно приділяти велику увагу ефективності очищення сиропу, особливо у разі погіршення технологічних показників цукрових буряків. Дослідження проб білого кристалічного цукру з різних заводів України показали, що його якісь не відповідає європейським стандартам, зокрема за показниками кольоровості та зольності.

*Наукова значимість результатів.* Одержані результати поглиблюють загальні відомості щодо способів очищення сиропу:

- науково обґрунтовано та доведено експериментальними дослідженнями ефективність застосування для очищення сиропу в якості природнього адсорбенту, кліноптилоліту 0,2-0,05м;
- проведено ряд досліджень зі застосуванням різних видів перліту а саме: ВАТ Калинівського перліту групи А; перліту IV ступеня - для

$\gamma=101$  кг/м<sup>3</sup>; перліт  $\gamma=90$  ( $\gamma=105$ ) додаткового очищення сиропу та покращення якості кінцевого продукту;

*Практична значимість результатів.* Проведено ряд експериментів, під час яких досліджували вплив природніх адсорбентів на показники якості сиропу, з метою їх покращення, а саме підвищення вмісту цукру в сиропі, зменшення кількості солей кальцію, зменшення забарвленості сиропу, підвищення чистоти.

Доцільність даної роботи полягає в основі розробленого способу очищення сиропу природніми адсорбентами, запропонована технологічна схема, яка передбачає відбір сиропу після сульфатації, що надходить в мішалку, в яку дозується адсорбент, після чого направляється в адсорбер, для подальшого очищення. Проведений захід значно підвищить якість продуктів, із яких уварюють цукор білий. Впровадження розроблених заходів значно покращить якість цукру білого й призведе до зростання його виходу.

*Об'єкт дослідження* – технологія очищення сиропу.

*Предмет дослідження* – сироп, адсорбент –клинотилоліт, перліт різних груп.

*Мета роботи* – на основі теоретичних і експериментальних досліджень впливу адсорбенту – клинотилоліту та перліту на чистоту сиропу, солі кальцію, зокрема забарвленість, обґрунтувати і розробити нові способи очищення сиропу із застосуванням зазначеного реагенту, які б забезпечили високі показники його якості.

*Завдання* - науково обґрунтувати та експериментально довести доцільність застосування клинотилоліту та перліту для очищення сиропу у бурякоцукровому виробництві.

*Методи досліджень* - під час виконання магістерської роботи використовувались стандартні та загальновідомі методи досліджень, що

забезпечують виконання поставлених задач, а саме традиційні та спеціальні фізико-хімічні, технологічні методи.

*Наукова новизна одержаних результатів.* В роботі удосконалено технологічну схему очищення сиропу, тому слід підкреслити відмінність цієї схеми від тієї, що є типовою. Також в даній роботі проводили дослідження щодо дії адсорбентів на показники сиропу, а саме чистота сиропу, вміст солей кальцію та забарвлення сиропу.

*Апробація результатів магістерської роботи.* Результати досліджень обговорювалися на Міжнародній науковій конференції молодих вчених, аспірантів і студентів.

*Публікації.* По темі магістерської роботи було опубліковано 2 роботи. Дані роботи – тези на 86 Міжнародну наукову конференцію молодих учених, аспірантів і студентів.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ БУРЯКОЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

#### **1.1 Процес очищення цукрового сиропу**

Цукор – важливе джерело енергії для забезпечення життєдіяльності людини, а також сировина для багатьох галузей харчової і біофармацевтичної промисловості. В залежності від перероблюваної сировини білий цукор, отриманий із цукрових буряків, ідентифікують за наявністю в ньому сапоніну.

Головними критеріями якості цукру як харчового продукту є вміст сахарози, забарвленість, вологість, товарний вигляд (блиск і гранулометричний склад).

Для цукру, що призначений для промислової переробки, крім того, важливими показниками є: каламутність розчинів, кольоровість кристалів цукру, вміст нерозчинних речовин та мікроорганізмів. [8]

Сучасна технологія виробництва цукру-піску з цукрових буряків та іншої цукросировини включає ряд хімічних, фізико-хімічних та фізичних способів переробки. За енергоємністю та вартістю паливно-енергетичного комплексу цукрове виробництво займає одне з перших місць у харчовій промисловості.

На найважливіших етапах технологічного процесу цукрового виробництва існують певні резерви: зменшення втрат цукрових буряків при збиранні та зберіганні; зниження середнього показника споживання палива на переробку буряків; збільшення коефіцієнта одержання цукру; поліпшення науково-технічного забезпечення галузі (створення нових технологічних прийомів та більш досконалого обладнання) і т. д. [9]

Очищення сиропу. При згущенні соку випаровуванням частина нецукрів випадає в осад, збільшується кольоровість та концентрація редукуючих

речовин, що викликає необхідність сульфитації та фільтрації сиропу перед уварюванням.

За типовою схемою очищення сиропу здійснюють головним чином до часткового знебарвлення його сульфитацією, тобто обробкою сірчастим газом ( $\text{SO}_2$ ). Сироп разом з клеровкою жовтого цукру нагрівають до температури  $85^\circ\text{C}$ , сульфитують до рН 7,5—8,0 та фільтрують.

Практично на всіх цукрових заводах фільтрацію сиропу з клеровкою проводять на механічних (мішкових) фільтрах. Застосування мішкових фільтрів викликане тим, що в сиропі з клеровкою знаходиться значно менша кількість осаду, ніж у соці після сатурації, та немає ніякої необхідності проводити фільтрацію при великому тиску, тобто із застосуванням насосів.

За типовою схемою сироп з клеровкою після сульфитації фільтрують через фільтр-преси, в які заздалегідь наносять шар кізельгура (мінерального порошку, що складається головним чином з аморфного кремнезему). Витрати кізельгуру на очищення сиропу становлять 20 кг на 100 т буряків, що переробляють.

Відпрацьований кізельгур промивають через фільтр нагрітою (аміачною) водою та виводять із заводу. Застосування кізельгуру забезпечує отримання прозорого сиропу високої якості.

Сироп, який надходить на кристалізацію, повинен мати приблизно такий склад: сухих речовини 62—65 %, цукру 58—59 %, доброякісність 91—93 од., лужність 0,005 %, кольоровість 15—20 од. [10]

## **1.2. Застосування природніх сорбентів для очищення сиропу**

За особливостями будови, хімічним складом, фізико-хімічними властивостями природні сорбенти поділяють на три великих групи: дисперсні кремнеземи шаруваті й шарувато-стрічкові силікати та каркасні

силікати. Дані сорбенти мають негативно заряджений алюмосилікатний каркас. У проміжках і порожнинах розміщені негідратовані катіони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , котрі нейтралізують негативний заряд каркасу вони можуть вступати в реакцію обміну з іншими катіонами придатних розмірів. Крім іонів-компенсаторів надлишкового негативного заряду, цеоліти містять у мікропорожнинах адсорбовані молекули води.

Цеоліти це тверді зернисті матеріали, які мають вельми пористу структуру і володіють великою питомою поглинаючою поверхнею. Перевагою цеолітів є висока адсорбційна ємність при низьких концентраціях адсорбованих компонентів в суміші, що дозволяє здійснювати додаткове очищення. [11]

Клиноптилоліт – висококремнієвий цеоліт зі співвідношенням кремнезему та глинозему від 3.5 до 10.5, який містить у середньому 60 % двоокису кремнію. Адсорбційні властивостями цеоліту-клиноптилоліту обумовлюються його структурою, яка складається з кремнистих тетраедрів та алюмокислих октаедрів. Поєднуючись одна з одною, такі елементарні структури утворюють відповідні шари, стрічки чи об'ємні утворення. Особливістю природних цеолітів є наявність системи пустот і каналів в структурі, об'єм яких може сягати 50 % загального обсягу мінералу, що зумовлює сорбційні властивості цеоліту. Висока іонообмінна активність клиноптилоліту пов'язана з вмістом іону  $\text{Al}^{3+}$ . Адсорбовані цеолітом катіони компенсують надлишкову від'ємну напругу та нейтралізують від'ємний заряд. Тобто, така активність адсорбції спричинена нестачею катіонів в структурі самого сорбенту та прагненням системи "цеоліт-оточуюче середовище" до рівноваги. [12]

Клиноптилоліт відносять до групи гайлендиту (HEU). Він є одним з найбільш поширених та найбільш вивчених природних цеолітів. Але його склад та структура, ще і сьогодні, є предметом наукових досліджень. Клиноптилоліт відносять до 7 групи за Бреком (T10–O20). Мольне

співвідношення  $14 \text{ SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  може сягати 10. Типовий склад елементарної комірки клиноптилоліту –  $\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ . Кількість води в структурі клиноптилоліту в різних джерелах є різною і часто загальну формулу представляють  $\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$  або вказують наявні обмінні іони  $(\text{K},\text{Na})_4\text{Ca}[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}] 24\text{H}_2\text{O}$ . [13]

Кристалічна ґратка клиноптилоліту утворена з пластин, що з'єднані атомами Оксигену, які розташовані в дзеркальних площинах та відмежовують пластини одну від одної. Товщина пластин 0.9 нм, а ґратка має три відкриті канали. Канал А є десятичленним та має еліпсоподібну форму розміром  $0.44 \times 0.72$  нм. Канал В є восьмичленним розміром  $0.41 \times 0.47$  нм. Канали А і В є паралельними, їх під кутом  $50^\circ$  перетинає восьмичленний канал С розміром  $0.40 \times 0.55$  нм. Даний опис вважається класичним і наводиться у багатьох публікаціях, в яких приведено опис структури клиноптилоліту. [14]

Використання перліту, який має високі дренажні характеристики і деякі адсорбційні здатності, дозволить покращити фільтрування і якість.

Перліт – порошок вулканічного походження. Україна має унікальні природні запаси перлітової сировини а Закарпатті, які складають біля 120 млн. тонн. Головні компоненти перліту: діоксид кремнію  $\text{SiO}_2$  – 65...75%, оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11...16%, оксид натрію  $\text{Na}_2\text{O}$  + оксид калію  $\text{K}_2\text{O}$  – 3...10%, 0,5–0,6% оксиду заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , зв'язана вода – 1,0...10,0%. Крім високих дренажних характеристик перліт має адсорбційні властивості. [15]

Перліт отримують із вузькофракціонованої перлітової сировини, або шляхом відсівання найбільш легких фракцій із рядового спученого перліту з наступним подрібненням в спеціальних млинах. Внаслідок такого оброблення часточки отримують пористу структуру і розмір біля 10...45 мкм. Питома поверхня перлітового порошку становить  $24000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Об'ємна

насипна маса для фільтроперліту групи А від 80 до 120 кг/м<sup>2</sup>, фільтраційна проникність – 750 л (м<sup>2</sup>/хв).

Використання перліту сприяє зняттю пересичення карбонату кальцію, який утворюється на II карбонізації, внаслідок кристалізації CaCO<sub>3</sub> на розвинутій поверхні часточок перліту (24000 см<sup>2</sup>/г), що призводить до зменшення вмісту солей кальцію, видалення дрібнодисперсної каламуті, дозволяє отримати «прозорий іскристий» розчин.

Перліт, володіє унікальними сорбуючими властивостями. Це обумовлено значною поверхнею поглинання і високими адгезійними властивостями матеріалу. Досить сказати, що цей сорбент в змозі поглинути кількість матеріалу, що перевершує його за обсягом від 4 до 20 разів.

При цьому високий показник пористості (від 70 до 80%) обумовлює рекордну швидкість поглинання, а малий відносно малий діаметр пір дозволяє затримувати найдрібніші частинки суспензій і потребують зборі рідин.

Саме ці властивості зумовили широке застосування перліту в якості сорбуючого матеріалу при зборі різних рідин і як фільтр. [16]

Як сорбент перліт застосовується, при зборі з поверхні води різних плівок, таких як нафта, бензини, масла та інші. Слід зазначити, що застосування перлітових сорбентів має низку незаперечних переваг, у порівнянні з іншими сорбуючими речовинами:

- Простота і зручність використання і збору;
- Низький коефіцієнт змочуваності водою і легкість оберігас сорбент від затоплення
- Простота регенерації використаного перлітового сорбенту
- Можливість використання відпрацьованого сорбенту в будівництві

- Унікальна екологічна безпека матеріалу (не виділяє в зовнішнє середовище шкідливих речовин).

Однак унікальні екологічні властивості матеріалу дозволяють застосовувати його не тільки в системах промислової очистки води. Не меншу популярність придбали фільтри на основі перліту в харчовій, хімічній і фармацевтичній промисловості. [17]

Авторами [7] досліджено спосіб очищення питної води від стронцію фільтраційним методом з застосуванням кліноптилоліту.

Для досліджень в якості сорбенту обраний кліноптилоліт Холинського родовища, призначений для очищення підземних вод від стронцію.

Для експерименту в динамічних умовах на кліноптилоліту використовувалася реальна підземна вода. Імітацію змісту бікарбонату кальцію для забезпечення необхідної жорсткості насиченням підземної води діоксиду вуглецю з подальшою добавкою розрахункової кількості розчину оксиду кальцію.

Необхідну концентрацію стронцію забезпечували розчиненням в імітаті нітрату стронцію. Як впливає зниження жорсткості до регламенту СанПіН 2.1.4.1074-01 досягається при пропуску 105 відносних обсягів на обсяг загрузки, а вихідних значень - при пропуску 180 відносних обсягів. При цих значеннях концентрація кальцію також досягає вихідних величин. Однак для такої кількості (180 відносних обсягів на обсяг завантаження) пропущеної води концентрація стронцію в фільтраті залишається нижче допустимого рівня.

За результатами даного дослідження було визначено загальну кліноптилоліту по катіонів жорсткості і стабільному стронцію, яка склала 1076,3 мг-екв /  $\text{дм}^3$  завантаження і 176,4 мг-екв /  $\text{дм}^3$  завантаження відповідно. Часткова частина загальної обмінної ємності кліноптилоліту по

стронцію становить 16,4%, що вказує на достатню селективність кліноптилоліту по  $\text{Sr}^{2+}$  при відношенні концентрації Sr: Жоб = 0,73: 10,25 мг-екв /  $\text{дм}^3$ . Ефективність видалення стронцію до норм ГДК в три рази вище в порівнянні з катіонами жорсткості ( $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ ), а ефект повного з потягу вище в шість разів. [7]

Патент № 113481 «Спосіб очищення сиропу» (Рева Леонід Павлович, Береза Юрій Григорович, Шульга Світлана Анатоліївна, Головіна Олена Валеріївна) включає в себе сульфитацію, введення в сироп активованого вугілля у співвідношенні 100:1, перемішування протягом 30 хвилин при температурі 80°C та фільтрування. Недоліком даного способу є те, що багаторазове використання вуглецевих адсорбентів в цукровій промисловості вимагає високотемпературної регенерації їх розвинутої поверхні перегрітою парою при температурі 800°C протягом 15хв., а також те, що активоване вугілля має відносно високу вартість на ринку. Також гранулометричний склад (0,2...0,6мм) активованого вугілля марки СКН-3 може створювати певні складнощі при фільтрування сиропу. Для вирішення даного недоліка, авторами розроблено спосіб очищення сиропу, який включає сульфитацію, введення в сироп необхідної кількості адсорбенту, перемішування, фільтрування. Як адсорбент використовується природній мінеральний сорбент - палигорськіт у кількості 2,5...3% до маси сиропу з перемішуванням протягом 15..20 хв. З отриманих даних можна зробити висновок, що раціональними витратами палигорськіту для досягнення найкращих показників сиропу можна вважати 2,5...3,0% до маси сиропу. Підвищення якості сиропу( зростання його чистоти та зниження вмісту нецукрів на 1,09...1,14%) обумовлено перш за все додатковими вилученнями солей кальцію ( на 17,0...18,3%), барвних речовин (на 27,9...31,0%) та інших розчинених нецукрів, які найбільшою мірою впливають на ефективність одержання готового цукру-піску високої якості. За рахунок підвищення

чистоти сиропу на 1,15 % можна досягти збільшення виходу цукру приблизно на 0,35% до сиропу. [6]

### **1.3 Способи додаткового очищення соку і сиропу для підвищення якості виробленого цукру з використанням: клиноптилоліту, глауконіту, палигорськїту та фільтроперліту.**

В даній роботі авторами [4] проводились дослідження по визначенню ефективності сорбційного очищення соків та сиропу таких ПМС: як клиноптилоліт, глауконіт, палигорськїт, а також фільтроперліт.

Додаткове очищення соку та сиропу зі застосуванням кліноптилоліту та глауконіту. У ході роботи в першому варіанті брали сік II сатурації та згущували до сиропу до сухих речовин 60% та визначали його якісні показники. В другому варіанті проводили згущування соку II сатурації з додаванням в одному аналізі клиноптилоліт 2,5% до маси СР в іншому глауконіт 2,5% до маси СР, концентрації сухих речовин склала 60% потім фільтрували і визначали якісні показники ( чистоту, забарвленість, солі кальцію). В третьому варіанті до звареного сиропу в одному аналізі додавали 2,5% клиноптилоліту до маси СР, а в іншому аналізі 2,5% глауконіту до маси СР, інтенсивно перемішували напротязі 25 хвилин та фільтрували на вакуум-фільтраційній установці. В пробі фільтрату досліджували якісні показники. Результати даного дослідження представлено на рисунку 1.3.

Виходячи даного з графіку можна зробити наступний висновок, що оптимальний час контакту клиноптилоліту з сиропом є 25 хв. Оскільки при даному значенні різко підвищується чистота сиропу, та відповідно знижується забарвленість та солі кальцію.

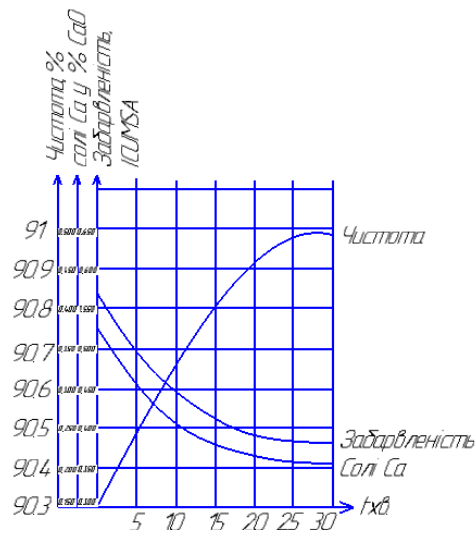


Рис.1.3. - Визначення оптимального часу контакту кліноптилоліту з сиропом(Ч=90,3; Зб=570; солі  $\text{Ca}^{2+}$ =0,389)

Крива залежності чистот сиропу від витрат кліноптилоліту зображено на рис.1.4, з якого видно, що збільшення кількості веденого кліноптилоліту в сироп 2,5% призводить до значного підвищення чистоти, але подальше підвищення кількості сорбенту є технологічно недоцільним, оскільки не дає практичного підвищення якості сиропу. Ступінь видалення нецукрів при обробленні сиропу кліноптилолітом та глауконітом за рахунок дії адсорбції нецукрів на поверхні реагенту дає додатковий ефект очищення сиропу, що сприятиме підвищенню виходу цукру та його якості.

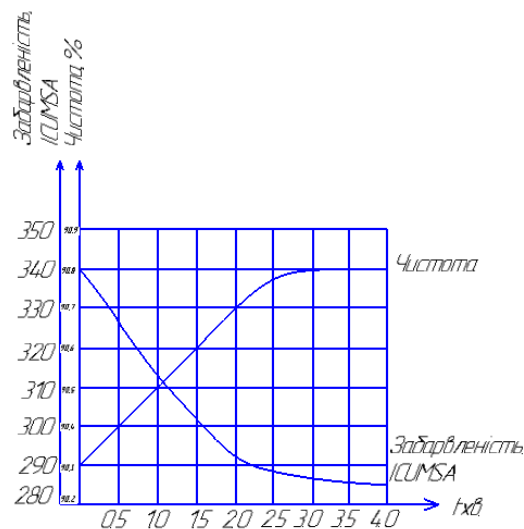


Рис.1.4 - Визначення оптимальних витрат кліноптилоліту, % до маси сиропу.

З рис.1.5 по приросту чистоти можна стверджувати, що оптимальним часом його контакту з глауконітом є 25 хвилин.

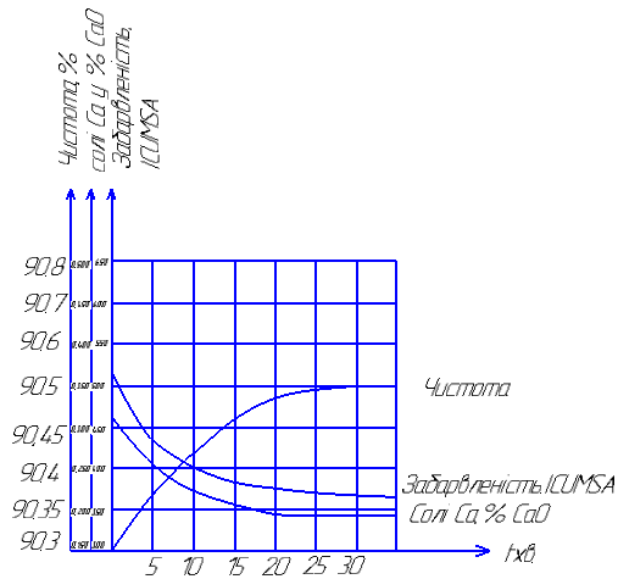


Рис.1.5 - Оптимальний час контакту глауконіту з сиропом

Порівняльні дані зображені у табл. 1.1. В результаті порівняльних досліджень обраних нами природних мінеральних сорбентів глауконіт та кліноптилоліт по приросту чистоти сиропу, зменшенню вмісту солей кальцію та забарвленості.

Таблиця 1.1 – Порівняння природніх мінеральних сорбентів на показники сиропу

| № Дослідду | Показник                            | Чистота, % | Соли кальцію % CaO до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|-------------------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сік II сат(котроль)                 | 90,3       | 0,253                       | 340,2                             |
| 2          | Сік II сат. Кліноптилоліту до м. СР | 90,9       | 0,208                       | 289,4                             |

Продовження таблиці 1.1

|   |  |      |       |        |
|---|--|------|-------|--------|
| 3 | Сік II сат. +2,5%<br>Глауконіту до м.<br>СР          | 90,5 | 0,239 | 338,7  |
| 4 | Сироп<br>(контроль)                                  | 90,1 | 0,261 | 387,4  |
| 5 | Сироп+2,5%<br>клиноптилоліту<br>до м. СР             | 90,9 | 0,204 | 297,0  |
| 6 | Сироп+2,5%<br>глауконіту дом.<br>СР                  | 90,7 | 0,236 | 322,0  |
| 7 | До соку II<br>сат.+2,5%<br>клиноптилоліту<br>до маси | 90,8 | 0,221 | 310,9  |
| 8 | До соку II<br>сат.+2,5%<br>глауконіту до СР          | 90,6 | 0,224 | 334,12 |

Також авторами проведено додаткове очищення соку та сиропу зі застосуванням палигорськиту. За результатами можна зробити висновок, що при оптимальними витратами ПМС є 3 % до маси сиропу. При даних витратах покращуються якісні показники, збільшується чистота на 2,47 %, зменшується забарвленість на 568 одиниць, а також зменшується вміст солей кальцію на 0,127 % СаО. Дані результати зображено на рисунку 1.6

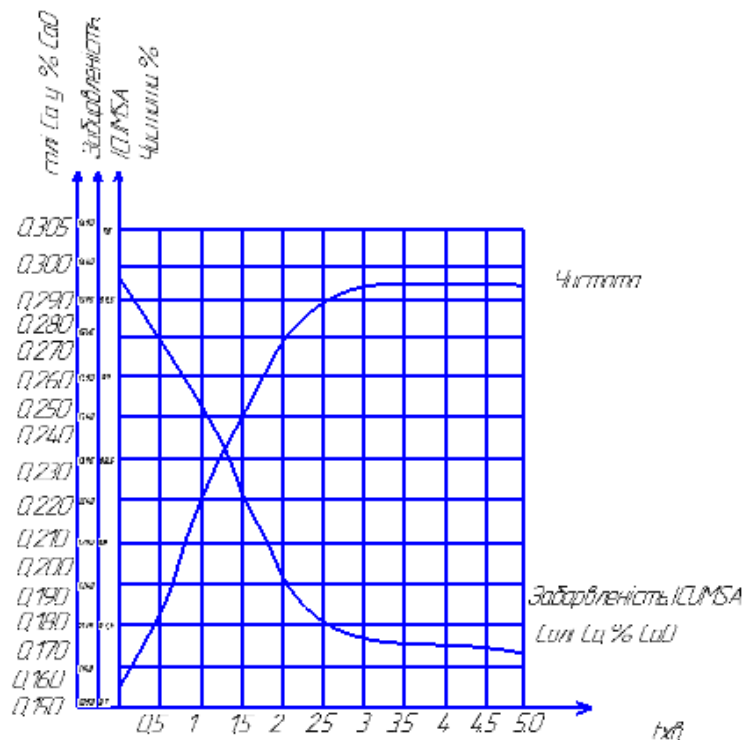


Рис.1.6 - Визначення оптимальних умов витрат палигорськиту при очищенні сиропу ( $CP=60,2$ ;  $Cx=52,4$ ;  $Ч=87,13\%$ )

З рис 1.7 можна зробити висновок, що адсорбційна здатність рівновага встановлюється за 25хв., контакту ПМС з сиропом, при цьому значно підвищується чистота, зменшується забарвленість та солі кальцію. Подальше збільшення часу контакту є недоцільним так як не призводить до суттєвого покращення якісних показників. Враховуючи те, що досліді проводились з сиропом низької якості ( $Ч=87,13\%$ ), тому на даних графіках і спостерігався такий значний приріст чистоти, відомо, що чим більше в розчині нецукрів тим більше вони адсорбують на одиниці маси сорбенту. Тому в подальшому були проведені досліді по зміні якісних показників сиропу в залежності від чистоти досліджуваного розчину. [4]

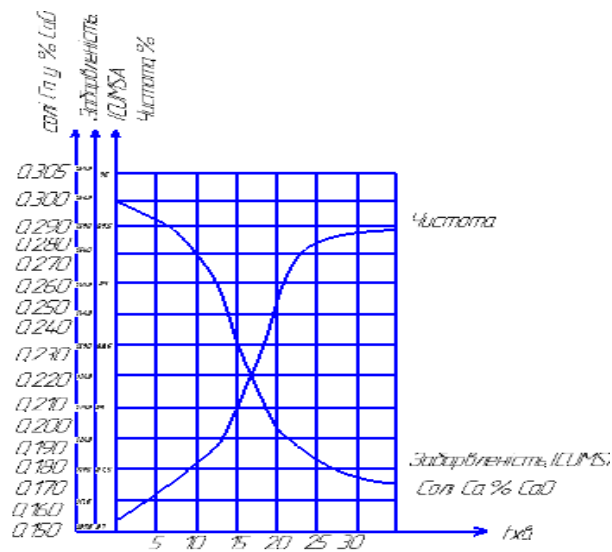


Рис.1.7 - Визначення оптимального часу контакту палигорського кіту при очищенні сиропу (  $CP=60,2$ ;  $Cx=52,4$ ;  $Ч=87,13$  )

#### 1.4 Дослідження з неорганічними сорбентами

Автори [5] досліджували ряд природних і синтетичних неорганічних сорбентів у контакті з розчином який за складом імітує сік II сатурації при температурі 20 і 90 градусів. Як критерій порівняння сорбційних властивостей іонів з іонами кальцію вибрали коефіцієнт розподілу ( $K_d$ ). Експерименти проводились в статичних умовах при співвідношенні твердої й рідкої фаз 1:100. Кращі сорбційні властивості при температурі 90 градусів мають цеоліт NaA і грузинський кліноптилоліт.

Далі процес сорбції кальцію з соку II сатурації вивчали в динамічних умовах із застосуванням термостатованої колонки, заповненої кліноптилолітом з цільовою фракцією 2,5-5 міліметрів при температурі 90 °C з модельного розчину й заводського соку з такими властивостями. Модельний розчин. Вміст цукру-12-12,5%;  $Ca^{2+}$ -200-250мг/л; pH-8,5. Заводський сік II сатурації. Вміст цукру-13%;  $Ca^{2+}$ -170-180мг/л;  $Na^{+}$ -230-250 мг-л;  $K^{+}$ -1000-1100мг/л. Під час експерименту фіксували швидкість пропускання розчину через колонку, загальний об'єм його і концентрацію основних компонентів на виході з колонки. Концентрація кальцію в очищеному модельному розчині знижувалась з 250 до 0,4 мг/л. Результати

експерименту свідчать про високий ступінь очищення соку II сатурації від іонів кальцію клиноптилолітом грузинського родовища в  $\text{Na}^+$ - формі.

Авторами [11] проведено дослідження сорбції кальцію клиноптилолітом

Мета роботи авторів полягала у вивченні механізму сорбції кальцію з цукрових розчинів клиноптилолітом і визначенні кінетичних і рівноважних характеристик процесу, необхідних для розрахунку технологічних параметрів. Для дослідження використали клиноптилоліт родовища Тедзамі в  $\text{Na}^+$ -формі з цільовою фракцією 0,25-0,5см і величиною питомої поверхні 55  $\text{m}^2/\text{г}$ , а також цукровий розчин, що містить іони кальцію, калію й натрію у кількостях, відповідно до складу соку II сатурації. Кінетику сорбції вивчали в інтервалі 20-25 °С. Порівняння їх свідчить, що на ефективність сорбції кальцію істотно впливає лише наявність іонів калію, тимчасом як присутність інших компонентів ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , органічних домішок) практично не впливає на процес. В результаті дослідження при пропусканні розчину сахарози, що містить лише кальцій, за описаних вище умов вдається очистити ( до концентрації кальцію в розчині 50 мг/л) одним об'ємом сорбенту 32 об'ємів розчину, а при пропусканні заводського соку і розчину сахарози, який містить калій і кальцій, один об'єм сорбенту очищає від кальцію 14 і 13 об'ємів розчину відповідно. Аналіз наведених результатів свідчить про можливість застосування клиноптилоліту як сорбенту для пом'якшення соку II сатурації перед випарюванням. [5]

Авторами [3] досліджено очищення густих напівпродуктів цукрового виробництва з застосуванням нетоксичних реагентів. Розроблений спосіб очищення сиропу бурякоцукрового виробництва з використанням нового хімічного реагента «Гембар» та активного вугілля нової марки СКН-3.

Додаткове знебарвлення густого сиропу цукрового виробництва проводили активним вугіллям СКН-3, виготовленим дослідним виробництвом Інституту сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України (ІСПЕ

НАНУ). В лабораторних умовах проведені дослідження очищення вищевказаними препаратами сиропу бурякоцукрового виробництва.

Сироп після III корпусу випарної установки з чистотою 91,8 % з вмістом сухих речовин 50 % обробляли препаратом «Гембар» (ПГМГХ) протягом 15 хв при перемішуванні за температури 80°C. Витрати препарату «Гембар» склали 0,002–0,01% до маси сиропу по діючій речовині. Проби сиропу центрифугували, відокремлювали осад і у фільтраті визначали вміст сахарози, сухих речовин, кольоровість. Потім додавали активне вугілля СКН-3 ІСПЕ НАНУ у кількості 1,5–3 % до маси сухих речовин сиропу. Після оброблення сиропу активним вугіллям протягом 25–30 хв. при постійному перемішуванні, сироп фільтрували і визначали його чистоту (Ч), % та кольоровість, од. ICUMSA. Одержані результати показали, що при обробленні сиропу препаратом «Гембар» відбувається зв'язування, осадження та видалення частини високомолекулярних сполук, що забезпечує підвищення чистоти сиропу та його знебарвлення на 18–29 %. ПГМГХ здійснює комплексний вплив на сироп: попередня коагуляційна і флокуляційна дія щодо високомолекулярних сполук сиропу забезпечує підвищення його подальшого адсорбційного очищення активним вугіллям СКН-3 та покращання фільтраційних властивостей. Проведені дослідження показали, що для досягнення найкращих якісних показників сиропу раціональними витратами «Гембару» - полігексаметиленгуанідину гідрохлориду є 0,003–0,0075 % до маси сухих речовин сиропу та 2,0–2,5 % активного вугілля марки СКН-3. Підвищення чистоти сиропу на 0,9–2,0 од. зумовлено додатковим вилученням нецукрів, особливо високомолекулярних сполук, в тому числі барвних речовин. Загальний ефект знебарвлення сиропу склав 23–33 %. [3].

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 2.1. Об'єкт, предмет дослідження.

*Об'єкт дослідження* – технологія очищення сиропу.

*Предмет дослідження* – сироп, адсорбент –клинотилоліт.

За особливостями будови, хімічним складом, фізико-хімічними властивостями природні сорбенти поділяють на три великих групи: дисперсні кремнеземи шаруваті й шарувато-стрічкові силікати та каркасні силікати (цеоліти). Клиноптилоліт має негативно заряджений алюмосилікатний каркас. У його проміжках і порожнинах розміщені негідратовані катіони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , котрі нейтралізують негативний заряд каркасу вони можуть вступати в реакцію обміну з іншими катіонами придатних розмірів. Крім іонів-компенсаторів надлишкового негативного заряду, цеоліти містять у мікропорожнинах адсорбовані молекули води.

У структурі клиноптилоліту є чотири типи каналів еліптичного перерізу, утворених 10,8,6,4- членними кисневими кільцями. Клиноптилоліт проявляє селективність стосовно іонів  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{C}_2^{2+}$ ,  $\text{Sr}_2^+$ ,  $\text{Ca}^+$ . Що дає змогу ефективно використовувати його при очищенні стічних вод від аміачного азоту, видалення амонію і калію із стічних вод тваринницьких комплексів, очищення води від радіоактивного забруднення видалення цінних компонентів з морської води. В Україні великі родовища клиноптилолітових порід Сокирницьке й Крайнековське, які розробляють відкритим способом.

У роботі використані загальноприйняті й удосконалені спеціальні фізичні та хімічні методи досліджень відповідно до діючих стандартів. Масову частку сахарози (Цк) в продуктах визначали інструментальним методом за допомогою сахариметра СУ-4. Концентрацію сухих речовин (СР) у продуктах визначали за допомогою рефрактометра РПЛ-3. Забарвленість

продуктів в одиницях оптичної густини визначали за допомогою колориметру фотоелектричного концентраційного КФК-3.

Планування експерименту, постановку та розв'язання задач оптимізації проводили за допомогою сучасних методів математичного оброблення даних. Статистичне оброблення результатів експериментальних досліджень, побудову графіків виконано з використанням пакету прикладних програм Mathcad Professional 13 та Microsoft Office Excel 2003.

## 2.2. Методи досліджень.

### 2.2.1. Визначення вмісту цукру в сиропі

Беруть наважку сиропу (26,0), кількісно переводять її в колбу на 100 мл, розводячи дистильованою водою, додають 1 краплю 1-5 розчину фенолфталеїну і розведену (1:1) оцтову кислоту – обережно по краплям, до обезбарвлення, після чого додають 1-2 мл свинцевого оцту і дистильованої води до мітки, перемішують і фільтрують, фільтрат заливають у поляриметричну трубу довжиною 200мм, попередньо ополіскуючи 2-3 рази, і вимірюють показники на сахариметрі СУ-4.

2.2.2. Визначення сухих речовин визначають лабораторним рефрактометром без розведення.

За показниками вмісту цукру та СР, визначаємо чистоту сиропу.

$$Ч = \frac{Цк}{СР} * 100,$$

Де Цк- вміст цукрози в сиропі;

СР- вміст сухих речовин, %.

### 2.2.3. Визначення забарвленості сиропу

Сироп розводять гарячою дистильованою водою до вмісту сухих речовин 15 % по рефрактиметру, фільтрують, налаштовують КФК-3. проводять вимірювання, знімають показники, ведуть розрахунок за формулою:

$$Зб = \frac{100000 * Д560}{СР * d * l},$$

De 3б- забарвленість сиропу, одиниць оптичної густини;

D<sub>560</sub>-оптична густина сиропу при довжині хвилі 560 нм;

CP- вміст сухих речовин,%;

d- густина сиропу, г/см<sup>3</sup>;

l- довжина кювети, см.

#### 2.2.4. Визначення солей кальцію

Наважку сиропу 3-5 г переводять у колбу 250 мл, додають 10 мл дистильованої води, 5 мл аміачного буферного розчину, 1 мл 2-% розчину сульфїду натрія і 7-8 крапель індикатора, і титрують 0,0357 н. розчином трилона Б до переходу забарвлення від винно- червоного до синього.

Вміст солей кальцію розраховують за формулою:

$$X = \frac{0.1K(a - a_1)}{c},$$

Де X – вміст кальцію і магнію в сиропі, % до його маси;

a- кількість 0,0357 н. розчину трилона Б, який використаний на титрування наважки сиропу, мл;

a<sub>1</sub>- кількість 0,0357 н. розчину трилона Б, який використаний на титрування 100 мл дистильованої води, мл;

C- наважка сиропу, г. [18]

#### Алгоритм проведення дослідження

1. Попередньо готуємо водяну баню;

2. Наважку сиропу, в кількості 50 грамів, зважуємо на лабораторних вагах в конічній колбі на 250 мл;

3. Проводимо розведення сиропу дистильованою водою в співвідношенні 50:50 грамів, для забезпечення процесу фільтрування ( при оформленні результатів та розрахунків, дане розведення враховане ).

3. Досліджувальний зразок ставимо на водяну баню та за допомогою термометра контролюємо температуру до 85°C;

4. Паралельно готуємо наважку сорбенту в кількості 0,25; 0,5; 0,75 грамів послідовно;
5. Сироп з температурою 85°C, дістаємо з водяної бані;
6. В наважку сиропу додаємо сорбент в послідовній кількості, перемішуємо;
7. Залишаємо зразок з сорбентом на 30 хв, періодично помішуючи;
8. Проводимо фільтрування сиропу з сорбентом, застосовуючи вакуум-фільтраційну установку. При проведенні дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесом дефекосатурації сиропу. Проводимо всі послідовні процеси раніше розробленої схеми, після яких дослідження проводили в наступній послідовності:

1. обробка сиропу ( після реакції з перлітом ) 0,25 гр. СаО. рН = 11,0;
2. підігрів проби сиропу до температури 85 °С;
3. процес сатурації до рН = 9,0;
4. фільтрування сиропу на вакуум – фільтраційній установці;
5. визначення показників розчину.

Після фільтрування ведуть наступні дослідження сиропу та фіксують показники.

1. Визначення рН сиропу;
2. Визначення сухих речовин сиропу;
3. Визначення вмісту цукрози в сиропі;
4. Розрахунок чистоти сиропу;
5. Визначення забарвленості сиропу;
6. Розрахунок забарвленості сиропу;
7. Визначення вмісту солей кальцію в сиропі;
8. Розрахунок вмісту солей кальцію в сиропі.

В такому порядку досліджують сироп, змінюючи кількість сорбенту : 0,25; 0,5; 0,75 грамів і т.д. та проміжок часу контакту сиропу з сорбентом, за потреби.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ З ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ

Враховуючи погіршення технологічної якості сировини – цукрових буряків, і як наслідок, збільшення кількості нецукрів (Нц) по всьому технологічному верстату, особливо актуальним є питання додаткового очищення продуктів бурякоцукрового виробництва взагалі й продуктів кристалізаційного відділення зокрема – розроблення способів зниження забарвленості сиропу. Для забезпечення високої якості білого цукру необхідно приділяти велику увагу ефективності очищення сиропу, особливо у разі погіршення технологічних показників цукрових буряків.

Виходячи з даної ситуації були проведені порівняльні дослідження щодо обробки сиропу кліноптилолітом та перлітом різних видів, а саме визначення оптимальної ваги адсорбенту для покращення кінцевих показників таких як цукристість, забарвленість, солі кальцію та чистоти сиропу. Ці сорбенти характеризуються високою ємністю, селективністю дії, підвищеною термостабільністю та відносною дешевизною. Тож ми вирішили вивчити можливість використання неорганічних сорбентів для покращення показників. [19]

Оскільки за особливостями будови, хімічним складом, фізико-хімічними властивостями природні сорбенти поділяють на три великих групи: дисперсні кремнеземи шаруваті й шарувато-стрічкові силікати та каркасні силікати (цеоліти). Дані сорбенти мають негативно заряджений алюмосилікатний каркас. У проміжках і порожнинах розміщені негідратовані катіони  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , котрі нейтралізують негативний заряд каркасу вони можуть вступати в реакцію обміну з іншими катіонами придатних розмірів. Крім іонів-компенсаторів надлишкового негативного заряду, цеоліти містять у мікропорожнинах адсорбовані молекули води.

Перліт, володіє унікальними сорбуючими властивостями. Це обумовлено значною поверхнею поглинання і високими адгезійними властивостями матеріалу. Досить сказати, що цей сорбент в змозі поглинути кількість матеріалу, що перевершує його за обсягом від 4 до 20 разів.

При цьому високий показник пористості (від 70 до 80%) обумовлює рекордну швидкість поглинання, а малий відносно малий діаметр пір дозволяє затримувати найдрібніші частинки суспензій і потребують зборі рідин.

Саме ці властивості зумовили широке застосування перліту в якості сорбуючого матеріалу при зборі різних рідин і як фільтр.

Як сорбент перліт застосовується, при зборі з поверхні води різних плівок, таких як нафта, бензини, масла та інші. Слід зазначити, що застосування перлітових сорбентів має низку незаперечних переваг, у порівнянні з іншими сорбуючими речовинами:

- Простота і зручність використання і збору;
- Низький коефіцієнт змочуваності водою і легкість оберігає сорбент від затоплення
- Простота регенерації використаного перлітового сорбенту
- Можливість використання відпрацьованого сорбенту в будівництві
- Унікальна екологічна безпека матеріалу (не виділяє в зовнішнє середовище шкідливих речовин).

Однак унікальні екологічні властивості матеріалу дозволяють застосовувати його не тільки в системах промислової очистки води. Не меншу популярність придбали фільтри на основі перліту в харчовій, хімічній і фармацевтичній промисловості. Використання перліту, який має високі дренажні характеристики і деякі адсорбційні здатності, дозволить покращити фільтрування і якість.

Перліт – порошок вулканічного походження. Головні компоненти перліту: діоксид кремнію  $\text{SiO}_2$  – 65...75%, оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11...16%, оксид натрію  $\text{Na}_2\text{O}$  + оксид калію  $\text{K}_2\text{O}$  – 3...10%, 0,5–0,6% оксиду заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , зв'язана вода – 1,0...10,0%. Крім високих дренажних характеристик перліт має адсорбційні властивості. [20]

### **3.1 Впровадження способу очищення сиропу природними адсорбентами в лабораторних умовах**

Для даного дослідження було підготовлено сироп який розводили з дистильованою водою в співвідношенні 50:50, для проведення процесу фільтрування на вакуум-фільтраційній установці. Далі до цих об'ємів додано по 0,25; 0,5; 0,75 кліноптилоліту та перліту, де перша проба є контролем. Вихідні дані сиропу були наступними:  $\text{CP}=64$ ;  $\text{pH}=8,1$ ; Чистота=81,2;  $\text{Ca}^{2+}=0,095$ ; Забарвленість=1286,6. Зразок вихідного сиропу зображено на рис.3.1. Далі проводився процес адсорбування на поверхні сорбентів, час якого складає 30 хв та температура становить 85 °С.

Після проведення реакції між сиропом та адсорбентом, проводили фільтрування сиропу, за допомогою вакуум-фільтраційної установки. Після проведення досліду було визначено вміст  $\text{CP}$ ,  $\text{Цк}$ , солей кальцію, а також визначено чистоту та забарвленість сиропу. За новою технологічною схемою після сульфатації основна частина сиропу подається в адсорбер менша частина надходить в мішалку суспензії, куди дозується адсорбент. З мішалки суспензії, надходить суміш в адсорбер. Температура сиропу 85°C, час перебування сиропу з адсорбентом 30 хвилин, частота обертання мішалки 10об/хвилину. Сироп з адсорбентом подається на дискові фільтри.

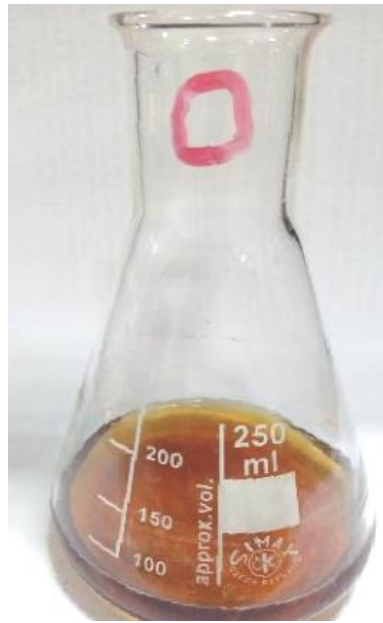


Рис. 3.1 - Зразок контрольної проби сиропу

### 3.1.1 Дослідження очищення сиропу з застосуванням кліноптилоліту

Досліджували взаємодію природнього сорбенту з заводським сиропом, який розводили з дистильованою водою для проведення процесу фільтрації в співвідношенні 1:1.

Для проведення дослідження використовували кліноптилоліт з фракцією 0,2-0,05 м. В проби сиропу додавали кліноптилоліт в кількості 0,25; 0,5; 0,75 %. Під час проведення дослідження фіксували наступні показники : СР, рН, Зб, солі кальцію, чистоту.

Кращим результатом підвищення чистоти в порівнянні між трьома зразками при температурі 85 градусів має проба номер 3. В дану пробу додавали кліноптилоліт в кількості 0,75 %.

Ступінь видалення нецукрів при обробленні сиропу кліноптилолітом за рахунок адсорбції нецукрів на поверхні реагенту дає додатковий ефект очищення сиропу, що сприятиме підвищенню виходу цукру та його якості. ( табл.3.2.).

З рис. 3.2. можна зробити висновок щодо витрат кліноптилоліту до маси сиропу, а також вплив кліноптилоліту на вміст солей кальцію в сиропі. Розроблений спосіб обробки сиропу кліноптилолітом показав, що чистота сиропу покращується, але показники якості сиропу такі як солі кальцію та забарвленість не дають практичного підвищення якості сиропу, тому даний спосіб підлягає подальшому вивченню дії сорбенту.

Таблиця 3.1 – Показники очищеного сиропу з застосуванням кліноптилоліту

| № Дослідів | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25 %           | 81,3       | 0,086                       | 1011,1                            |
| 3          | 0,5 %            | 82,1       | 0,090                       | 1013,3                            |
| 4          | 0,75 %           | 82,6       | 0,095                       | 1282,2                            |

З використанням кліноптилоліту в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % на 100 грам розчину, солі кальцію в другому та третьому досліді зменшились на 0,009; 0,005 % відповідно; Використання кліноптилоліту в кількості 0,75 % недоцільно, оскільки покази солей кальцію є незмінними. (рис.3.2.)

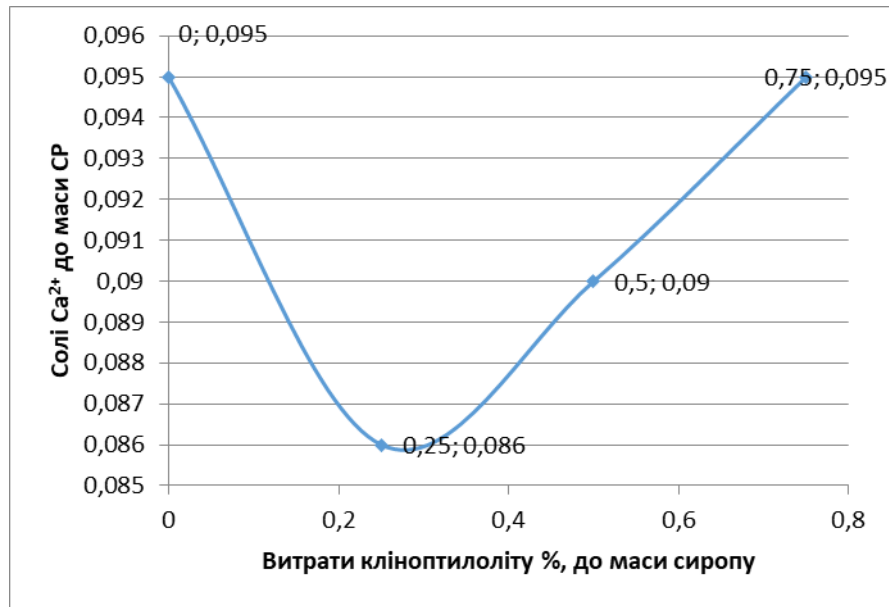


Рис.3.2. - Вплив кількості кліноптилоліту на вміст солей кальцію в сиропі

Проведено дослідження впливу сорбенту на забарвленість сиропу. (Рис 3.2.) Результати даного дослідження показали, що забарвленість сиропу зменшується на 275,5; 273,3; 4,4 одиниць відповідно. Оптимальна кількість сорбенту для покращення якості сиропу становить 0,25 %.



Рис.3.3 - Вплив кількості кліноптилоліту на забарвленість сиропу

Враховуючи те, що досліди проводились з сиропом низької якості ( $\text{Ч}=81,25$ ), тому на даному графіку спостерігається приріст чистоти, відомо

що чим більше в розчині нецукрів тим більше вони адсорбуються на одиниці до маси сорбенту. (Рис.3.4.)

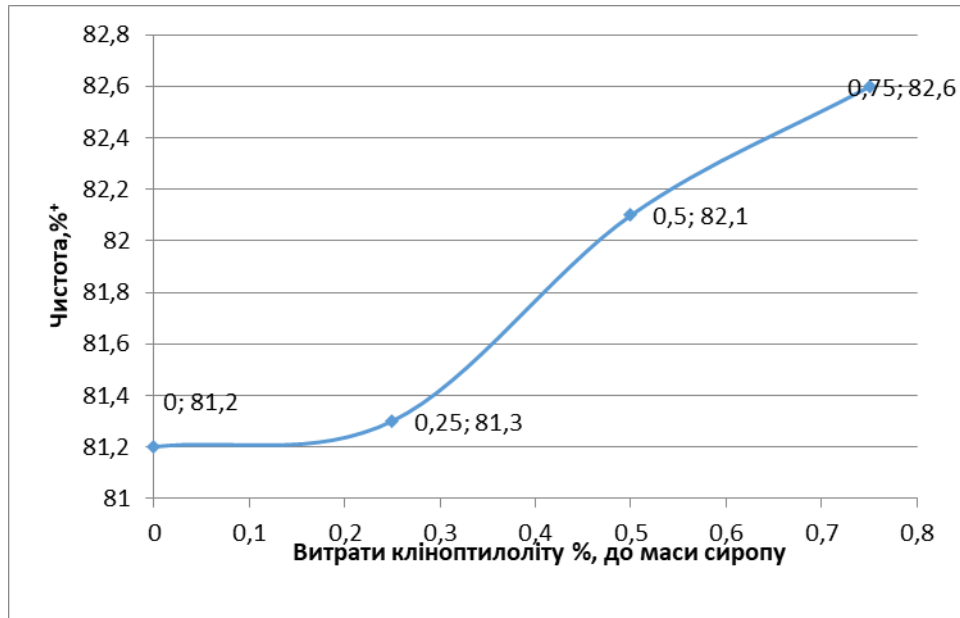


Рис.3.4. – Вплив кількості кліноптилоліту на чистоту сиропу

Перевагою використання кліноптилоліту, є збільшення чистоти сиропу на 0,1; 0,8; 0,5 одиниць. Зразки очищеного сиропу з застосуванням кліноптилоліту ( 30 хвилин взаємодії), після фільтрації, зображені на рис.3.5.

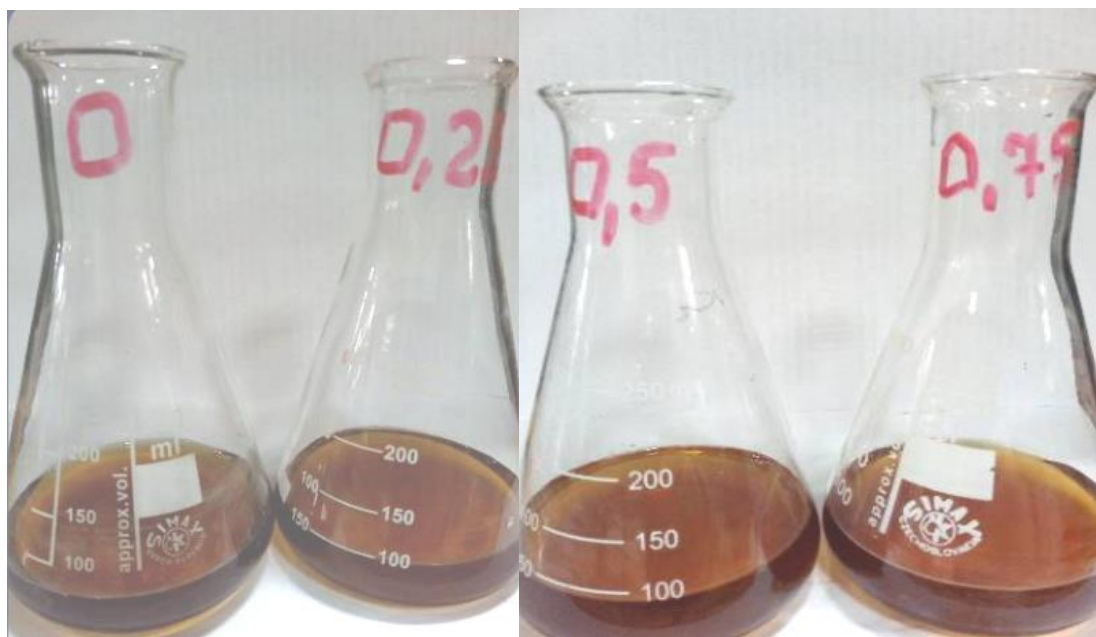


Рис.3.5. - Зразки сиропу після фільтрації на вакуум-фільтраційній установці

### 3.1.2. Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту ВАТ Калинівський групи А

В даному дослідженні використовували ВАТ Калинівський перліт групи А 0,1м.куб.

Дослідження проводили в трьох пробах. Проби готували в співвідношенні 1:1, тобто сироп : дистильована вода, для забезпечення процесу фільтрування сиропу. Далі вводили перліт в кількості 0,25; 0,5; 0,75 %, відповідно.

На водяній бані доводили температуру сиропу до 85°C, потім вносили сорбент, перемішували, та продовжували взаємодію сиропу та перліту протягом 30 хвилин, при температурі 85 °С. Після закінчення процесу, пробу сиропу фільтрували, застосовуючи вакуум – фільтраційну установку, після закінчення фільтрування фіксували наступні показники: сухі речовини; цукристість; чистота; забарвленість; рН; солі кальцію.

Проба номер 1 перлітом в кількості 0,25% . З даних результатів дослідження можна побачити, що чистота сиропу в порівнянні з вихідним розчином покращилась на 3,5 одиниці, солі кальцію зменшились на 0,005 %, а також має місце значне зниження забарвленості розчину на 308,9 одиниць.(табл.3.2.).

Табл.3.2. – Показники очищеного сиропу з застосуванням ВАТ  
Калинівський перліт групи А, 0,25%

| № Дослідду | Показник            | Чистота,<br>% | Солі кальцію<br>% СаО до м. СР | Забарвленість<br>Од.опт.густ.<br>ICUMSA |
|------------|---------------------|---------------|--------------------------------|---|
| 1          | Сироп<br>(контроль) | 81,2          | 0,095                          | 1286,6                                  |
| 2          | 0,25 %              | 84,7          | 0,09                           | 977,7                                   |

На рисунку 3.6. - а зображено пробу сиропу після взаємодії з перлітом, на рисунку 3.6. - б, зображено пробу сиропу вже після процесу фільтрування.

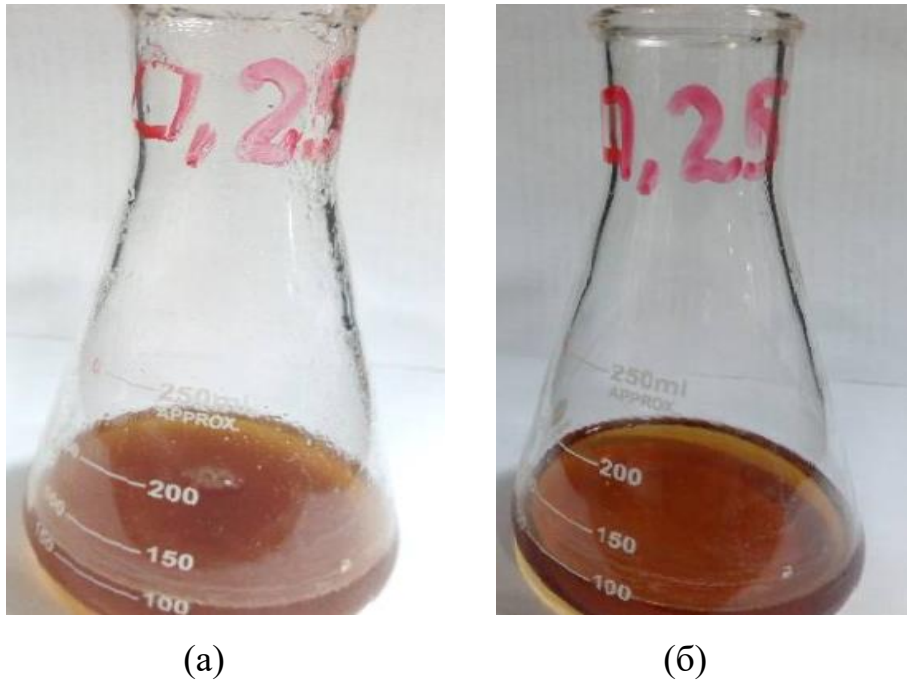


Рис.3.6.а – проба сиропу після взаємодії 0,25% перліту з сиропом; б – проба сиропу після процесу фільтрації

Наступним дослідження є вплив перліту на розчин в кількості 0,5 грамів. Результати даного дослідження зображені в таблиці 3.3.

Табл.3.3. – Показники очищеного сиропу з застосуванням ВАТ Калинівський перліт групи А, 0,5%

| № Досліджу | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,5 %            | 84,9       | 0,095                       | 982,2                             |

Виходячи з даної таблиці можна бачити, що чистота розчину покращилась на 3,7 одиниці; солі кальцію є незмінними, а забарвленість зменшилась на 304,4 одиниці.

З таблиці 3.4. ми можемо зробити висновки щодо внесення в пробу сиропу 0,75% перліту. Чистота покращилась в порівнянні з вихідним розчином, показники солей кальцію не змінилися та забарвленість зменшилась на 500 одиниць.

Табл.3.4. - Показники очищеного сиропу з застосуванням ВАТ Калинівський перліт групи А, 0,75%

| № Дослідів | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,75 %           | 81,8       | 0,095                       | 786,6                             |

На рисунку 3.8. – представлено пробу сиропу після фільтрації на вакуум – фільтраційній установці.

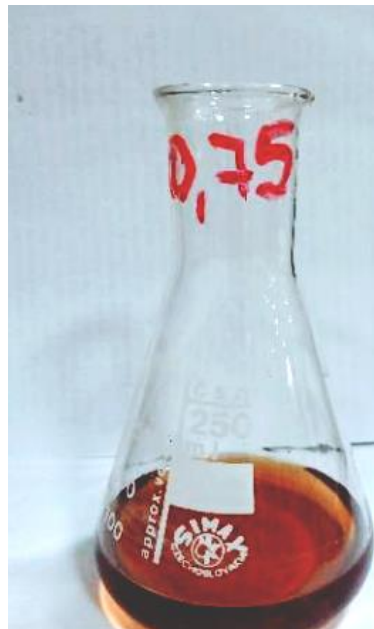


Рис.3.8. - проба сиропу після взаємодії з перлітом 0,75 грамів, та після процесу фільтрації

З графіку можна зробити висновок, що оптимальною кількістю сорбенту для покращення якості сиропу становить 0,25 %. Введення в сироп перліту в кількості 0,5; 0,75%, солі кальцію є незмінними. На рисунку 3.9 представлено результати досліджень у вигляді графіку. На даному графіку ми можемо бачити вплив перліту на вміст солей кальцію в сиропі.

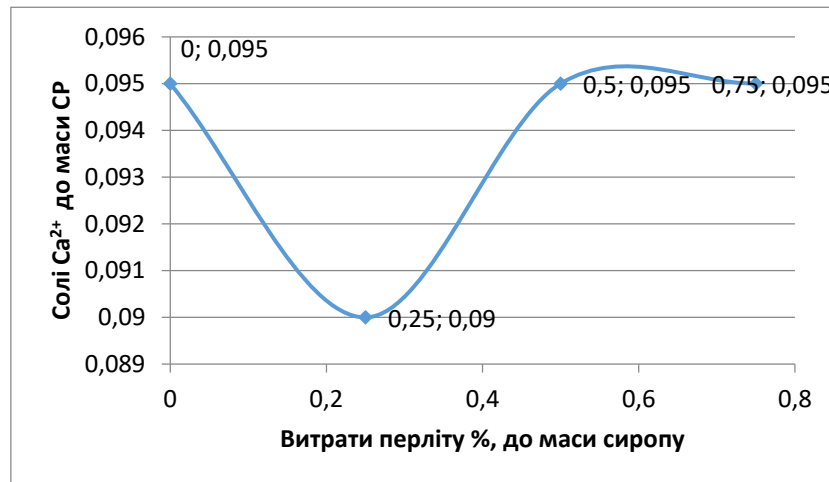


Рис 3.9 - Вплив кількості перліту на вміст солей кальцію в сиропі

На рисунку 3.10. представлено результати впливу перліту на чистоту сиропу. На графіку, оптимальним значенням для покращення чистоти сиропу є внесення перліту в кількості 0,5 %. Дозування сорбенту в кількості 0,75 % є недоцільним, так як показник чистоти погіршується на 3,03 одиниці.

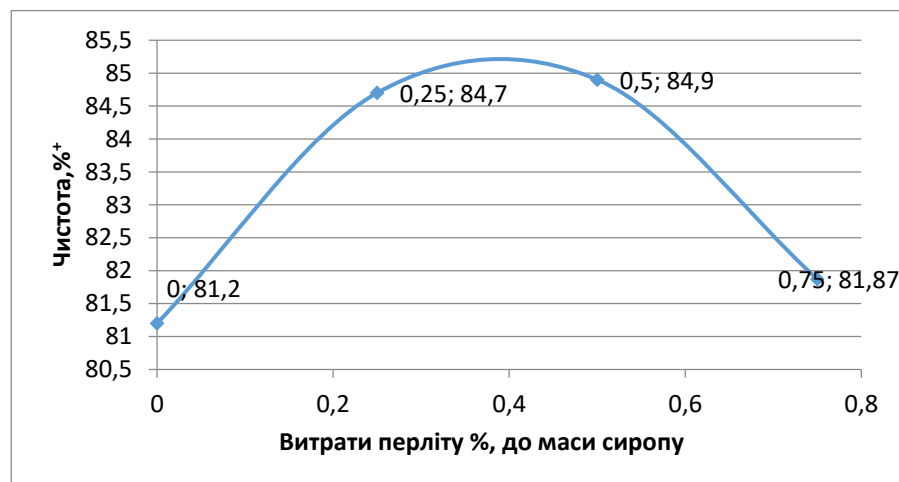


Рис.3.10 - Вплив кількості перліту на чистоту сиропу

Вплив перліту на забарвленість сиропу представлено на графіку рис.3.11.

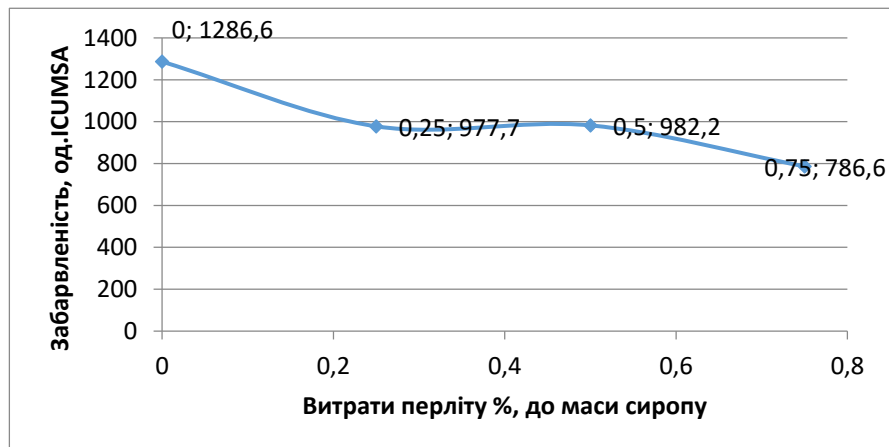


Рис.3.11 - Вплив кількості перліту на забарвленість сиропу.

### 3.1.3. Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту IV ступеня $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$

Метою наших наступних досліджень було виявити доцільність застосування перліту IV ступеня  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$  для додаткового очищення сиропу.

До проб сиропу додавали перліт IV ступеня  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$  в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % до маси сиропу. Сухі речовини = 67,6; рН розчину – 8,2.

Результати дослідження впливу перліту на розчин наведені в таблиці 3.5.

Табл.3.5. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту IV ступеня  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3, 0,25\%$

| № Дослідду | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25 %           | 82,8       | 0,09                        | 955,5                             |

Приріст чистоти сиропу в даному дослідженні становить 1,6 одиниць. Солі кальцію зменшились на 0,005%; Забарвленість знизилась на 331,1 од.

Результати дослідження впливу перліту на розчин наведені в таблиці 3.6.

Табл.3.6. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту IV ступеня

 $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup>, 0,5%

| № Дослід | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,5 %            | 83,8       | 0,093                       | 966,6                             |

СР = 68,2, рН розчину – 8,2, що є незмінним. Чистота розчину підвищилась на 2,6 одиниці, солі кальцію та забарвленість зменшились на 0,002 % і 320 одиниць. З таблиці 3.7, можна зробити висновки, що чистота сиропу зросла на 1,4 одиниці; сухі речовини збільшились; сухі речовини = 72,6, рН розчину 8,2. Солі кальцію та забарвленість сиропу зменшились на 0,004 % та 297,8 од. Реакція з сиропом, перліту в кількості 0,75 % (а), а також проба сиропу після фільтрування на вакуум – фільтраційній установці (б) зображена на рис.3.13.

Табл.3.7 - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту IV ступеня

 $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup>, 0,75%

| № Дослід | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,75 %           | 82,6       | 0,091                       | 988,8                             |

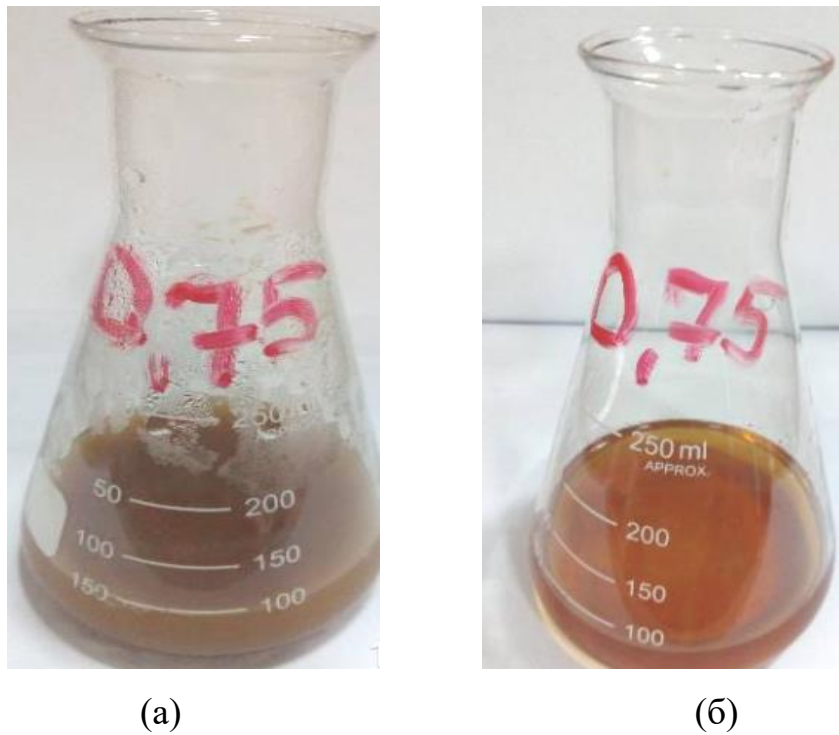


Рис.3.13. Взаємодія кількості перліту с сиропом (а), проба сиропу після фільтрації (б)

Результати дослідження з застосуванням природнього сорбенту – перліту, а саме вплив перліту на солі кальцію сиропу, наведено на графіку. (рис. 3.14.)

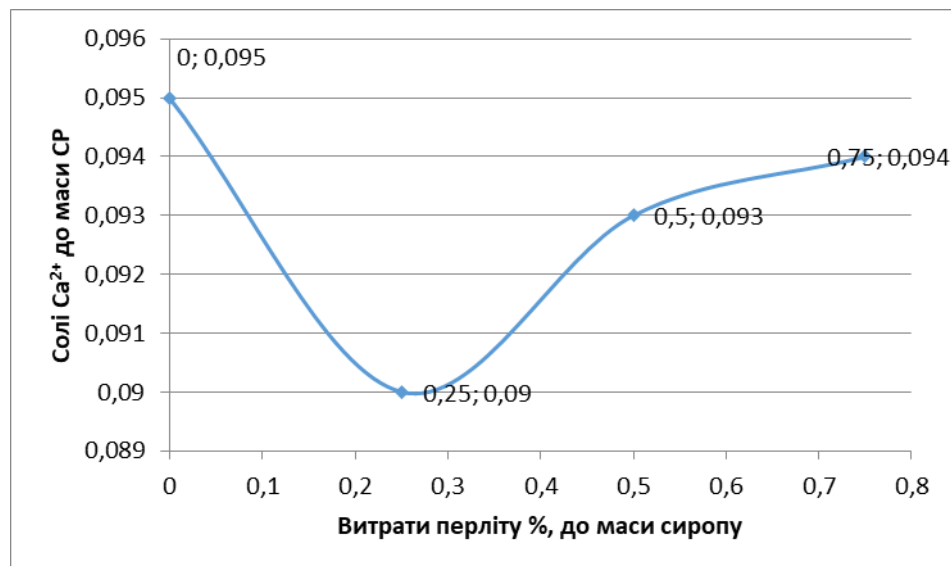


Рис. 3.14. – Вплив кількості перліту на солі кальцію сиропу  
Солі Ca<sup>2+</sup>, з додавання перліту в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % зменшуються відповідно на 0,001; 0,002; 0,001 одиницю.

На рис.3.15. наведено вплив перліту на чистоту сиропу. З даного графіку можна зробити висновок, що оптимальною кількістю сорбенту для підвищення чистоти сиропу є 0,5 %. В даній кількості сорбенту чистота сиропу зростає на 2,6 одиниці. Застосування сорбенту в кількості 0,75 % є недоцільним тому, що чистота сиропу зменшується на 1,4 одиниці.

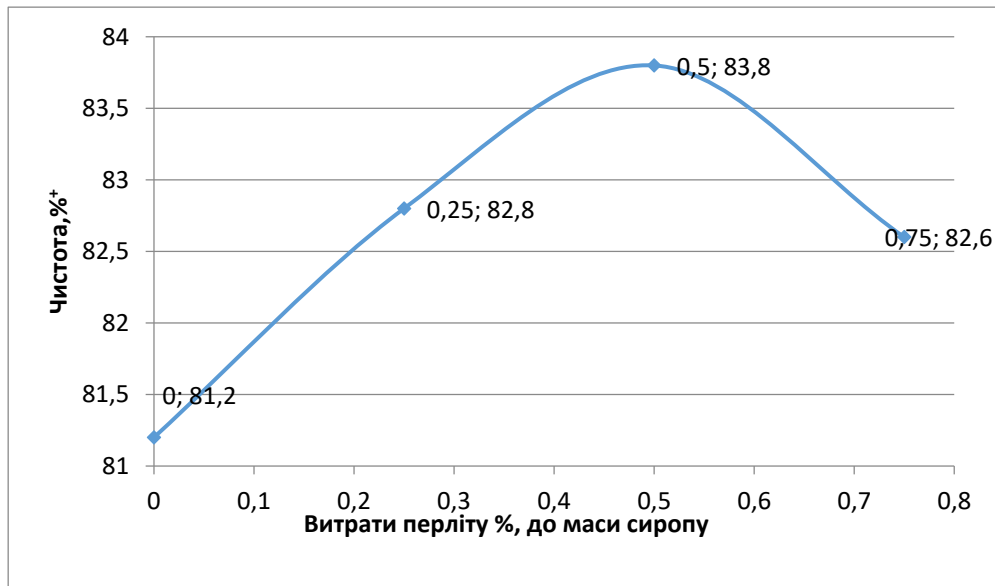


Рис.3.15. - Вплив кількості перліту на чистоту сиропу

Вплив перліту на забарвленість сиропу представлено на рис.3.16.

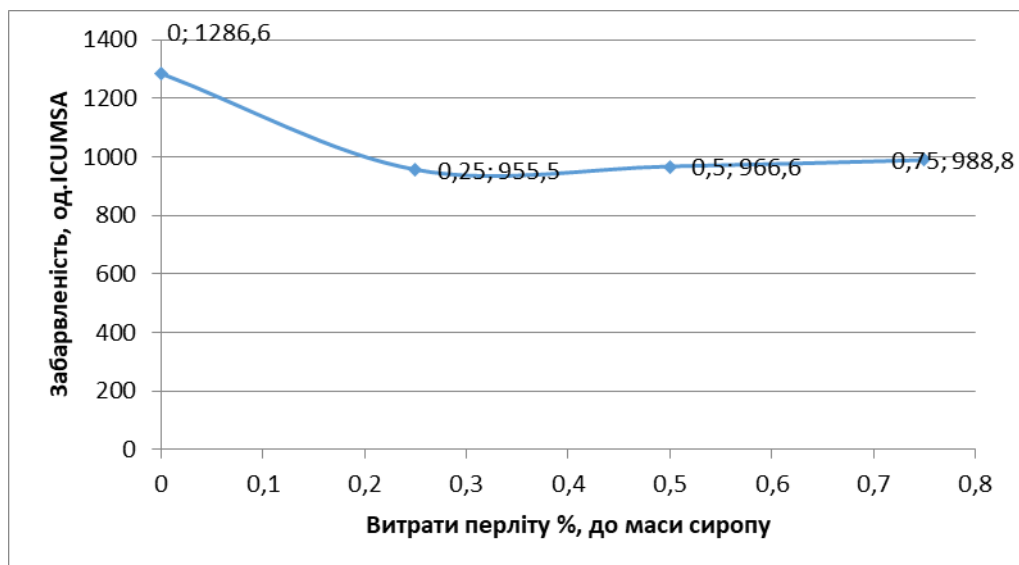


Рис.3.16 – Вплив кількості перліту на забарвленість сиропу

З даного графіку можна зробити висновок, що при додаванні перліту в кількості 0,5; 0,75% забарвленість сиропу значно не змінюється, а при додаванні в кількості 0,25 % покращується на 331,1 одиниць.

### 3.1.4. Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту $\gamma$ - 90 кг/м<sup>3</sup>

Поставлена задача досягається тим, що спосіб очищення сиропу передбачає сульфитацію, введення необхідної кількості адсорбенту, перемішування, фільтрування. Перемішування проводиться 30хв. Причинно – наслідковий зв'язок між запропонованими ознаками та технічним результатом буде в наступному. Проведення обробки сиропу перлітом веде до додаткового видалення високомолекулярних сполук, аніонів кислот та барвних речовин, що сприяє підвищенню чистоти сиропу. З теорії адсорбції відомо, що при адсорбції розчинних домішок із одного і того ж розчину ступінь адсорбції повинен зростати з підвищенням концентрації домішок.

До проб сиропу додавали перліт  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>, в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % до маси сиропу. Результати дослідження взаємодії перліту в кількості 0,25% , наведено в таблиці 3.8.

Табл.3.8. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

| № Дослідду | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25%            | 85,6       | 0,066                       | 897,7                             |

За даними показниками, можна бачити, що сухі речовини = 69,2 ( на 5,2 одиниці більше ніж контрольної проби сиропу ); рН = 8,2 – незмінний; При даних витратах перліту суттєво покращуються якісні показники, збільшення чистоти на 4,4 %; солі кальцію зменшились 0,029 %.

Забарвленість покращилась на 388,9 одиниць. З даної таблиці 3.9. можна побачити, що чистота сиропу зросла на 3,2 %, солі кальцію зменшилися на 0,026 %, а забарвленість покращилась на 375,5 одиниці.

Табл. 3.9. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

| № Дослідів | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,5 %            | 84,4       | 0,069                       | 911,1                             |

Згідно розрахунків, робимо висновки, що чистота зросла на 3,7 %. Солі кальцію зменшилися на 0,02 % ; забарвленість сиропу зменшилась на 362,2 од.( табл.3.10.) Ступінь видалення нецукрів при обробленні сиропу перлітом за рахунок адсорбції нецукрів на поверхні реагенту дає ефект очищення сиропу, що сприятиме підвищенню виходу цукру та його якості. Порівняння проб сиропу під час реакції з перлітом (а) та після фільтрації (б) зображено на рис.3.19.

Табл.3.10. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

| № Дослідів | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,75 %           | 84,3       | 0,075                       | 924,4                             |

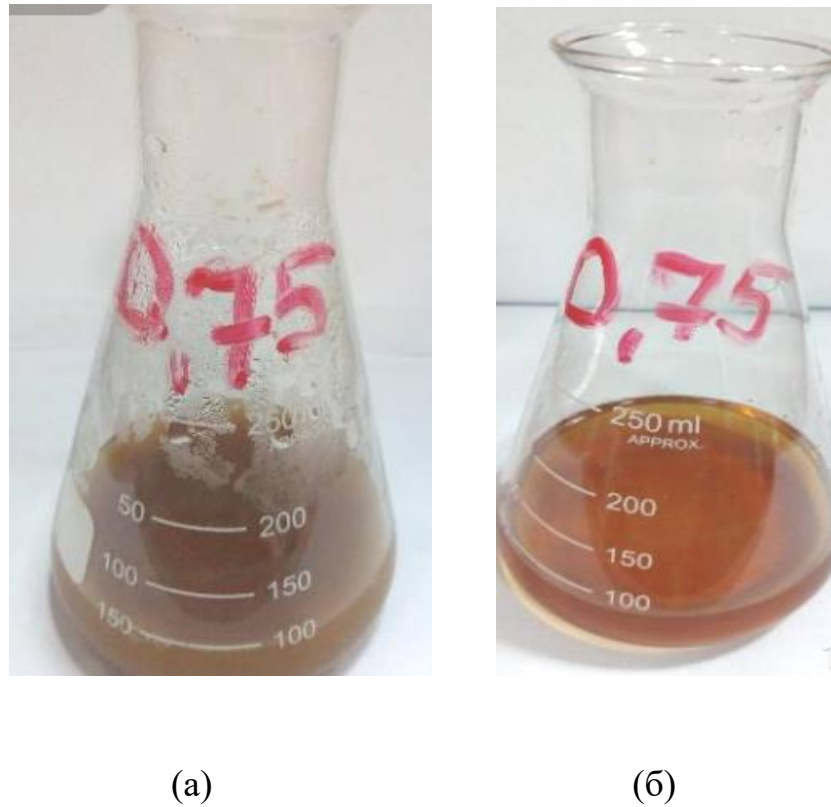


Рис. 3.19. - Проби сиропу під час реакції з перлітом (а) та після фільтрації (б)

Вплив перліту на солі кальцію в сиропі представлено на рис.3.20. Дослідженнями визначено, що найбільш раціональним є використання перліту в кількості 0,25 % в якості адсорбенту для додаткового зниження солей кальцію сиропу. Результати експерименту свідчать про високий ступінь додаткового очищення сиропу перлітом .

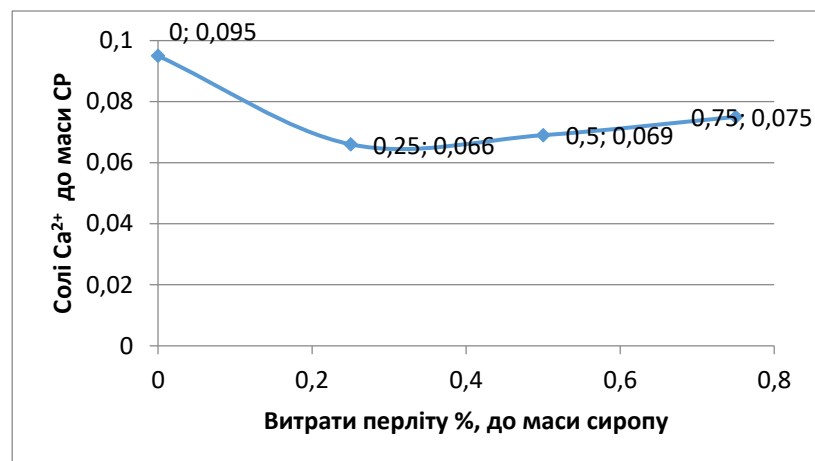


Рис.3.20. - Вплив кількості перліту на солі кальцію сиропу

На рисунку 3.21. зображено графік впливу перліту на чистоту сиропу. Найкращим результатом, виходячи з графіку є додавання перліту в кількості 0,5 %. Вносити реагент в кількості 0,75 % є недоцільним так як чистота сиропу, зменшується.

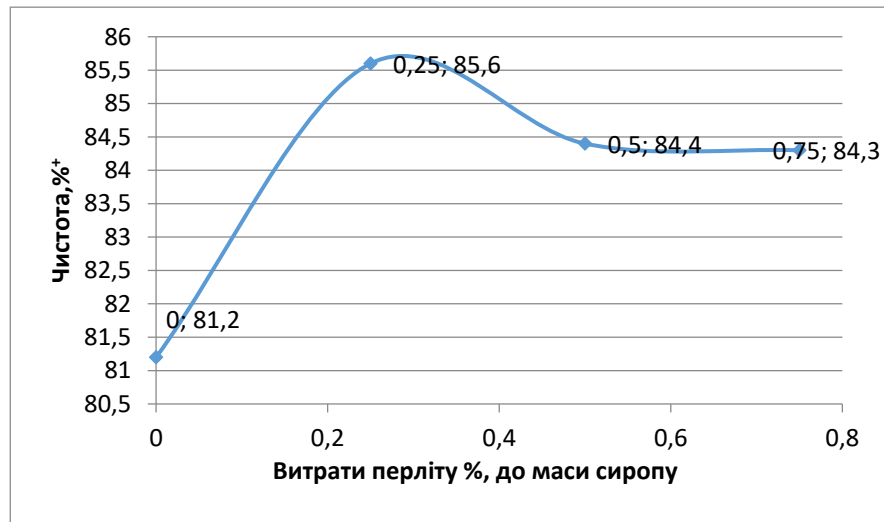


Рис.3.21. - Вплив кількості перліту на чистоту сиропу

На рис. 3.22. зображено вплив перліту на забарвленість сиропу, де можна зробити висновок : найкращим впливом на якість сиропу є додавання сорбенту в кількості 0,25 %. Сорбент в кількості 0,5; 0,75%, додавати недоцільно, це призводить до погіршення якості сиропу.

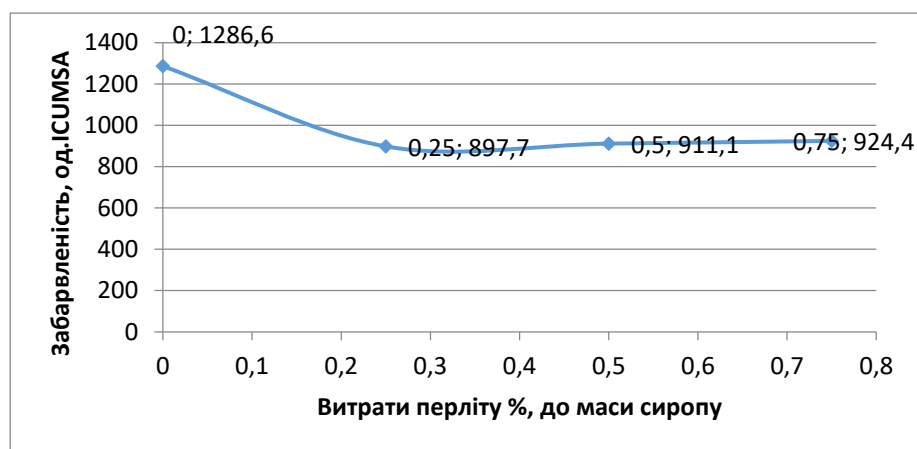


Рис.3.22. - Вплив кількості перліту на забарвленість сиропу

### 3.2 Дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесом дефекосатурації сиропу

Для даного дослідження проводили повторне дослідження впливу перліту ( $\gamma$  - 90) за розробленою раніше схемою, а саме : до 100 грамів розчину додавали перліт в кількості 0,25 грамів, підігрівали пробу сиропу до 85°C, вносили наважку сорбенту. Час процесу 30 хвилин, далі проводили процес фільтрування на вакуум – фільтраційній установці. Отримали наступні результати : рН сиропу – 8,2, СР = 66,2, чистота сиропу = 87,6; Забарвленість 897,7. Дослідження проводили в наступній послідовності: обробка сиропу ( після реакції з перлітом ) 0,25 гр. СаО. рН = 11,0; підігрів проби сиропу до температури 85 °С; процес сатурації до рН = 9,0; фільтрування сиропу на вакуум – фільтраційній установці; визначення показників розчину.

Результати дослідження : СР = 66,0; рН сиропу. ( табл. 3.11. )

Табл.3.11. - Показники очищеного сиропу з застосуванням перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>, з подальшим процесом дефекосатурації сиропу

| № Дослідду | Показник                  | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|---------------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль)          | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25 гр                   | 87,6       | 0,066                       | 897,7                             |
| 3          | 0,25гр +<br>0,25гр<br>СаО | 90,9       | 0,061                       | 837,7                             |

За результатами даного дослідження можна зробити наступні висновки: чистота сиропу після процесу дефекосатурації підвищилась на 3,3 %; солі кальцію зменшились на 0,005%; забарвленість розчину зменшилась на 60 од.,

що говорить про ефективність даного методу. На рис.3.23. зображено (а) – проба сиропу після процесу дефекосатурації; (б) – проба сиропу після процесу фільтрації.



Рис.3.23. - Проба сиропу після процесу дефекосатурації (а), та після процесу фільтрації (б)

На рисунку 3.24. зображено графік, впливу сорбенту та процесу дефекосатурації на чистоту сиропу.

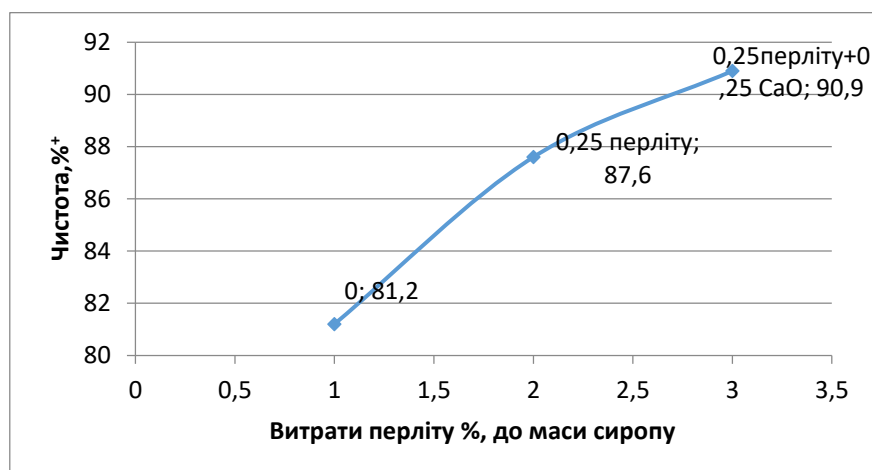


Рис.3.24. - Вплив процесу дефекосатурації на чистоту сиропу

Чистота сиропу має значне підвищення на 3,3% від проби з очищенням перліту та 9,7% від вихідної проби.

На рис. 3.25. зображено графік на якому представлено результати даного дослідження, а саме вплив на солі кальцію сиропу.

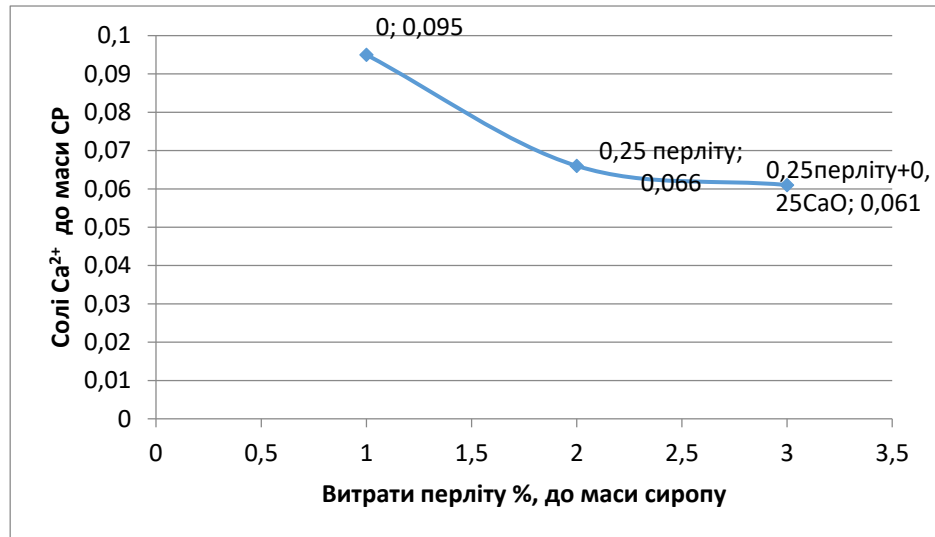


Рис.3.25. - Вплив процесу дефекосатурації на солі кальцію сиропу

Солі кальцію в сиропі зменшились на 0,005% (від проби сиропу з додаванням 0,25 %. перліту), та на 0,034% від вихідної проби.

На рисунку 3.26. представлено вплив дефекосатурації на забарвленість сиропу.

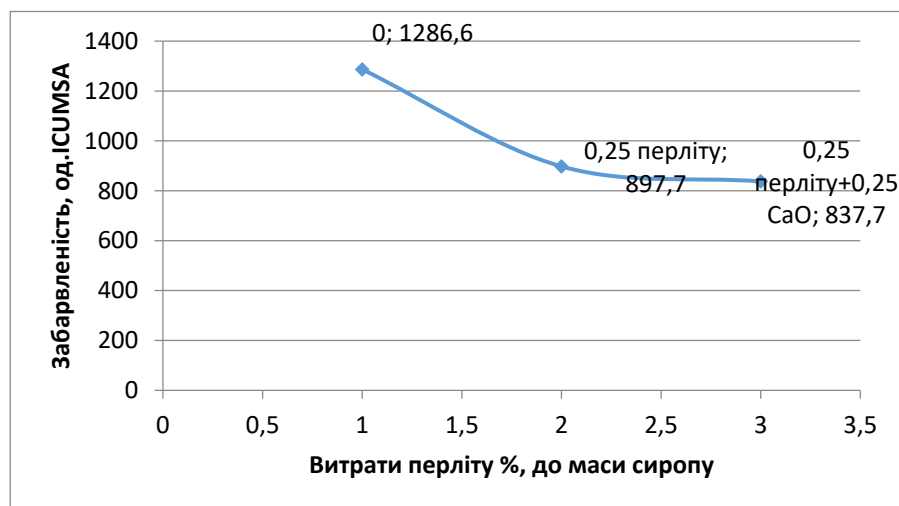


Рис.3.26. - Вплив процесу дефекосатурації на забарвленість сиропу

Забарвленість в сиропі зменшились на 60 од. (від проби сиропу з додаванням 0,25 %. перліту), та на 448,9 од. від вихідної проби.

### 3.3 Впровадження способу очищення сиропу природними адсорбентами в технологічну схему.

Застосування природніх сорбентів в технологічну схему зображено на рис. 3.27.

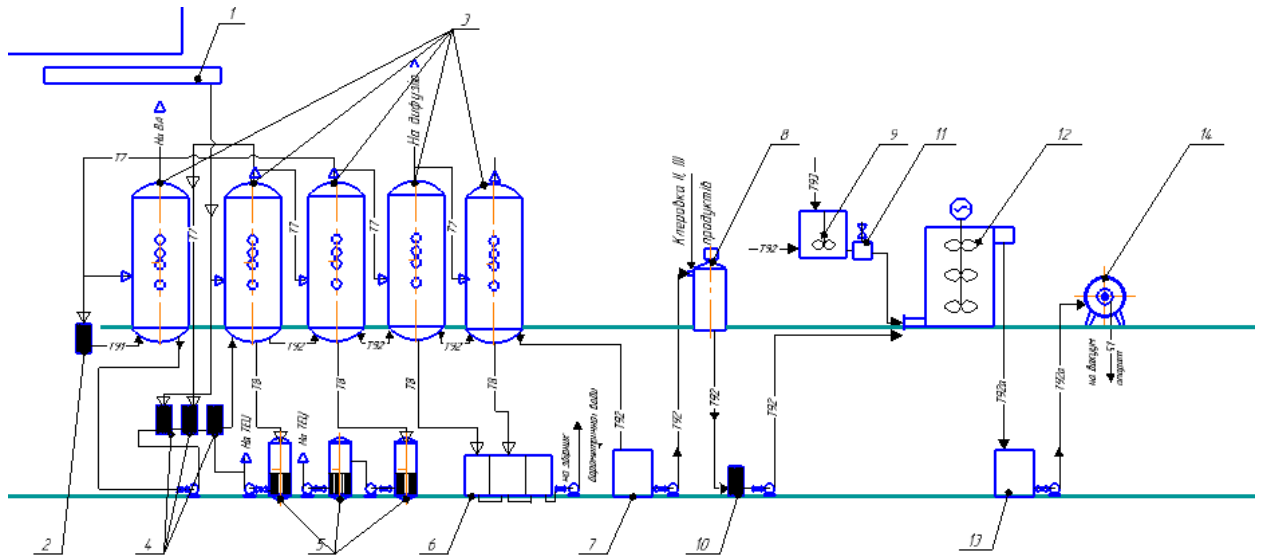


Рис.3.27 - Впровадження природніх сорбентів в типову технологічну схему. Фільтрований сік II сатурації через підігрівник –**поз.2-** надходить в I корпус випарної станції –**поз.3-**. СР соку 12-14%. Проходить послідовне випарювання соку на випарній станції до СР=65%. Сироп з 5 корпусу(концентратора) надходить самопливом у збірник нефільтрованого сиропу–**поз.7-**, далі насосом подається на сульфитацію –**поз.8-**, де проходить обробка сиропу сульфитаційним газом з вмістом діоксиду сірки 13..15%, а також до якого надходить клеровка II,III продукту. З випарних апаратів відводиться конденсат у конденсатори –**поз.5-**, з яких використовується вода на технічні потреби. Частина пари, що виходить з випарних апаратів подається на обігрів вакуум апаратів, а частина на обігрів дифузії. Після сульфитації основна частина сиропу через підігрівник –**поз.10-**, насосом подається в адсорбер –**поз.12-**, менша частина надходить в мішалку суспензії –**поз.9-**, куди дозується кліноптилоліт. З мішалки суспензії через колектор – **поз.11-**, надходить суміш в адсорбер. Температура сиропу 85°C, час

перебування сиропу з адсорбентом 30 хвилин, частота обертання мішалки 10об/хвилину. Сироп з кліноптилолітом самопливом надходить в збірник суспензії –**поз.13-**, звідки насосом подається на дискові фільтри ДФ-150, в кількості 8 шт –**поз.14-**.

## ВИСНОВКИ

- 1) Застосування кліноптилоліту, як природнього сорбенту економічно вигідно в ході роботи були отримані задовільні результати щодо зменшення солей кальцію та зниження забарвленості сиропу. З використанням кліноптилоліту в кількості 0,5% на 100 грам розчину, солі кальцію зменшились на 0,005; чистота підвищилась на 0,9 одиниць; забарвленість зменшилась на 273,3 одиниць.
- 2) Досліджено використання для підвищення чистоти сиропу природнього адсорбенту перліту Калинівського. Найкращі показники зафіксовано при внесенні 0,5 % сорбенту. Встановлено підвищення чистоти сиропу на 3,5 одиниць; забарвленість зменшилась на 308,9 одиниць; солі кальцію зменшились на 0,005%.
- 3) Рекомендована та розроблена схема впровадження адсорберу в класичну технологічну схему, що покращує апаратурне забезпечення процесу.
- 4) Запропоновано оптимальні параметри раціонального використання кліноптилоліту та перліту для підвищення чистоти сиропу: витрати адсорбенту в кількості 0,5 % на 100 грам продукту, тривалість процесу 30 хвилин, температура 85°C.

## РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ

Методи оптимізації широко застосовуються для розв'язання задач теорії оптимальних процесів, оптимального регулювання, вироблення керувальних збурень на об'єкти. Без розробки та застосування методів оптимізації неможливе керування ректифікаційними колонами в спиртовій промисловості, установками крекінгу нафти, конверторами при виробництві сталі та ін. До транспортних задач та задачі комівояжера зводяться багато задач економічної кібернетики (мережне планування, управління запасами, перевезеннями та ін.), керування організацією виробництва (розподіл завдань, обробка деталей, конвеєрне виробництво) та задачі оптимального програмування. Окрема група задач теорії оптимізації - це задачі оптимального проектування [21].

Параметрами оптимальності обрано кількість сорбенту. Параметрами оптимізації (X) є:  $x_1$  – кількість сорбенту. Діапазон зміни зазначених параметрів для кількості сорбенту становить 0.25-0.75. Обмеження на параметри оптимізації наступні:  $0.025 \leq p \leq 0.075$ .

Цільовою функцією є узагальнений критерій оптимізації  $F(p)$ , який враховує зміну кольоровості соку  $f_1$ , вміст солей кальцію  $f_2$  та чистоту  $f_3$ . Вагові коефіцієнти наступні:

$$F(p) = f_1^{0.4} f_2^{0.4} f_3^{0.2} \rightarrow \max \quad (4.1)$$

Рівняння регресії залежності забарвленості, вмісту солей кальцію та чистоти від кількості сорбенту має вигляд квадратного однопараметричного поліному:

$$F_1(p) := a_0 + a_1 * p + a_2 * p^2 + a_3 * p^3 \quad (4.2)$$

В Додатку наведено програму розрахунку коефіцієнтів рівнянь регресії та програму визначення оптимального значення однопараметричної задачі з узагальненим критерієм оптимальності.

#### 4.1. Знаходження оптимальної кількості кліноптилоліту для очищення сиропу

В таблиці 4.1 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

Таблиця 4.1 – Показники сиропу після додавання кліноптилоліту

| № Дослідду | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25     | 81,3       | 0,086                       | 1011,1                            |
| 3          | 0,5      | 82,1       | 0,090                       | 1013,3                            |
| 4          | 0,75     | 82,6       | 0,095                       | 1282,2                            |

1) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміну забарвленості від кількості кліноптилоліту:

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -1.672 \times 10^3 \\ 2.31 \times 10^3 \\ -117.333 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни забарвленості від кількості кліноптилоліту має наступний вигляд:

$$Z = 1.287 \cdot 10^3 - 1.672 \cdot 10^3 \cdot p_1 + 2.31 \cdot 10^3 \cdot p_2 - 117.3 \cdot p_3, \quad (4.3)$$

За розрахованим рівнянням регресії будемо графік, зображений на рис. 4.1, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

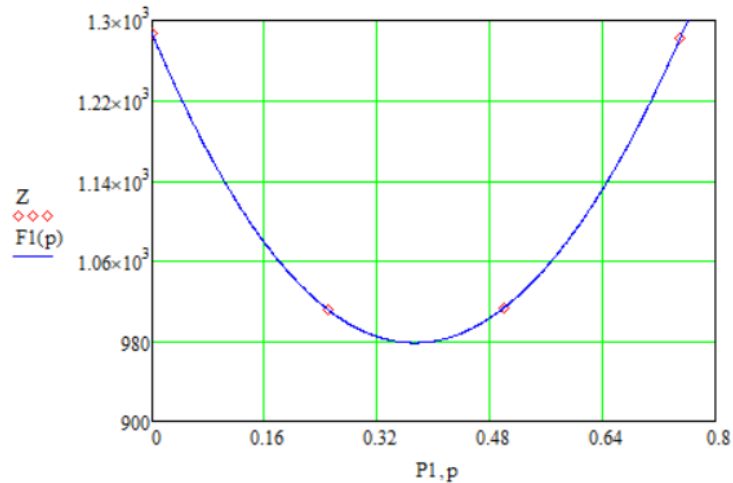


Рисунок 4.1– Зміна забарвленості сиропу від кількості клиноптилоліту

2) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a1) одержуємо рівняння регресії, що описує вміст солей кальцію від кількості клиноптилоліту:

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.078 \\ 0.2 \\ -0.128 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни солей кальцію від кількості клиноптилоліту:

$$Ca = 0.095 - 0.078 \cdot p_1 + 0.2 \cdot p_1^2 - 128 \cdot p_1^3, \quad (4.4).$$

За розрахованим рівнянням регресії будемо графік, зображений на рис. 4.2, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

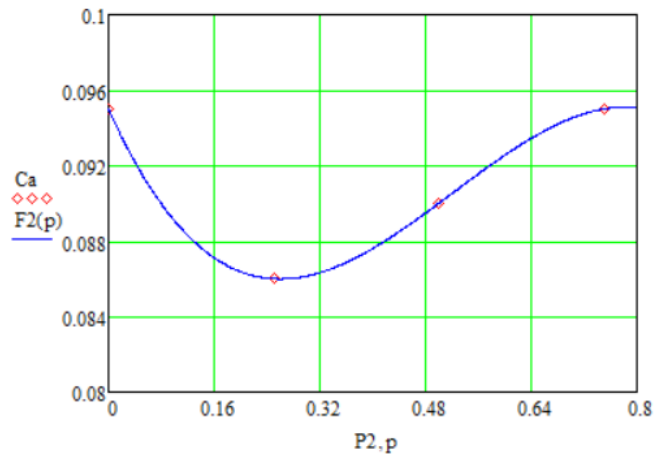


Рисунок 4.2– Залежність вмісту солей кальцію від кількості клиноптилоліту

3) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а2) одержуємо рівняння регресії, що описує зміну чистоти від кількості клиноптилоліту:

$$a3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ -2.333 \\ 13.6 \\ -10.667 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни чистоти від кількості клиноптилоліту:

$$P = 81.2 - 2.33 \cdot p_1 + 13.6 \cdot p_1^2 - 10.66 \cdot p_1^3, \quad (4.5).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.3, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

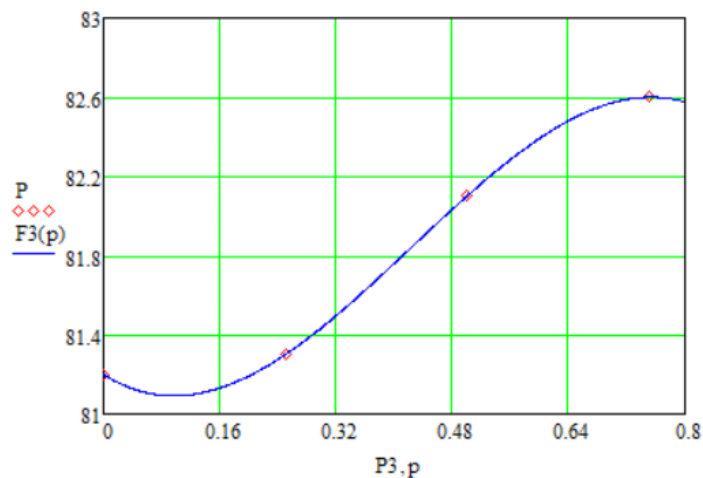


Рисунок 4.3– Залежність зміни чистоти від кількості клиноптилоліту

Оптимальну кількість клиноптилоліту визначали по узагальненому критерію оптимальності. Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона. Задавши інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності маємо наступний графік, зображений на рис. 4.4.

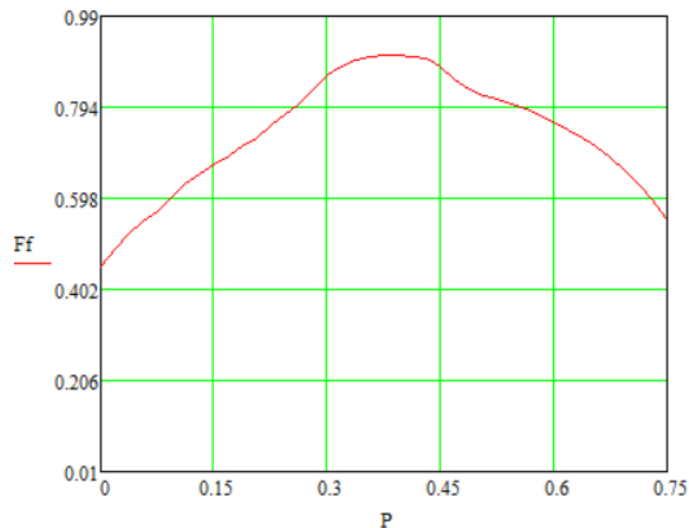


Рисунок 4.4– Залежність узагальненого критерію оптимальності від кількості клиноптилоліту

Оптимальна кількість клиноптилоліту для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.906$  будуть 0.394.

#### **4.2. Знаходження оптимальної кількості перліту ВАТ Калинівський групи А для очищення сиропу**

В таблиці 4.2 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

Таблиця 4.2 – Показники сиропу після додавання перліту групи А

| № Дослід | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,25     | 84,7       | 0,09                        | 977,7                             |
| 3        | 0,5      | 84,9       | 0,095                       | 982,2                             |
| 4        | 0,75     | 81,8       | 0,095                       | 786,6                             |

1) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміну забарвленості від кількості перліту групи А:

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.547 \times 10^3 \\ 6.615 \times 10^3 \\ -5.477 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни забарвленості від кількості перліту групи А має наступний вигляд:

$$Z = 1.287 \cdot 10^3 - 2.54 \cdot 10^3 \cdot p_1 + 6.615 \cdot 10^3 \cdot p_1^2 - 5.477 \cdot p_1^3, \quad (4.6)$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.5, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

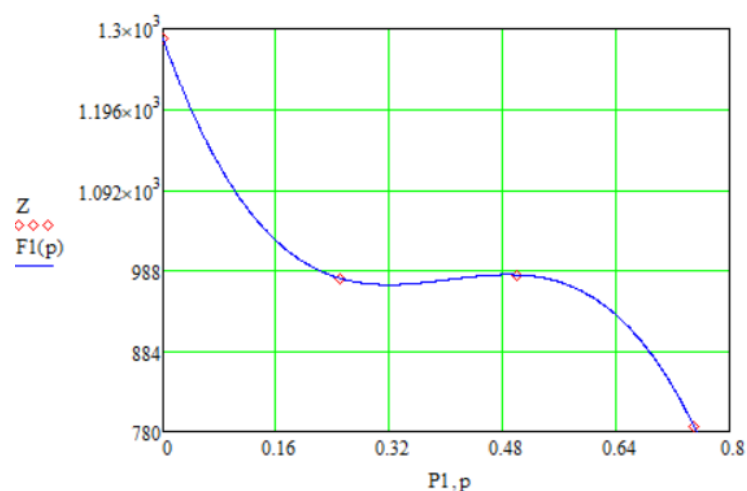


Рисунок 4.5– Зміна забарвленості сиропу від кількості перліту групи А

2) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a1) одержуємо рівняння регресії, що описує вміст солей кальцію від кількості перліту групи А:

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.06 \\ 0.2 \\ -0.16 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни солей кальцію від кількості перліту групи А:

$$Ca = 0.095 - 0.06 * p_1 + 0.2 * p^2 - 0.16 * p^3, (4.7).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.6, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

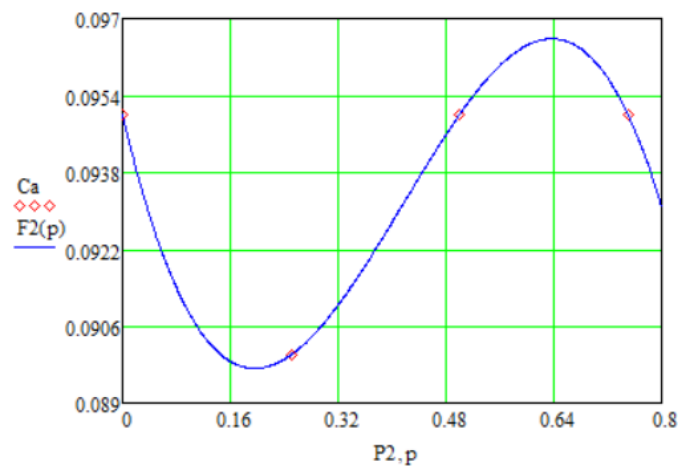


Рисунок 4.6– Залежність вмісту солей кальцію від кількості перліту групи А

3) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a2) одержуємо рівняння регресії, що описує зміну чистоти від кількості перліту групи А:

$$a3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 20.6 \\ -26.4 \\ -2.91 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

Залежність зміни чистоти від кількості перліту групи А:

$$P = 81.2 + 20.6 * p_1 - 26.4 * p^2 - 2.91 * 10^{-11} * p^3, (4.8).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуюмо графік, зображений на рис. 4.7, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

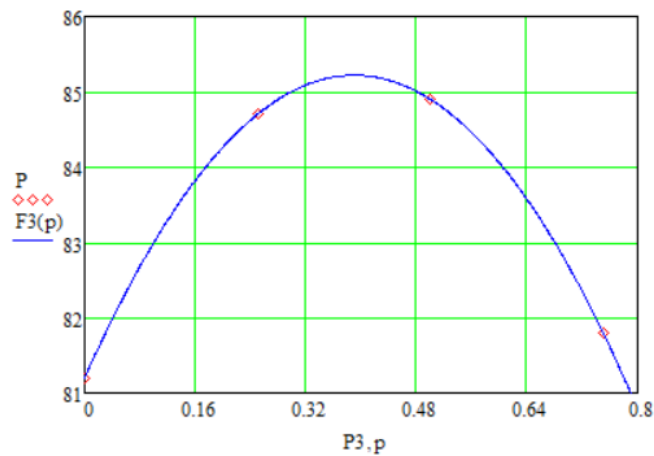


Рисунок 4.7– Залежність зміни чистоти від кількості перліту групи А

Оптимальну кількість перліту групи А визначали по узагальненому критерію оптимальності. Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона. Задавши інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності маємо наступний графік, зображений на рис. 4.8.

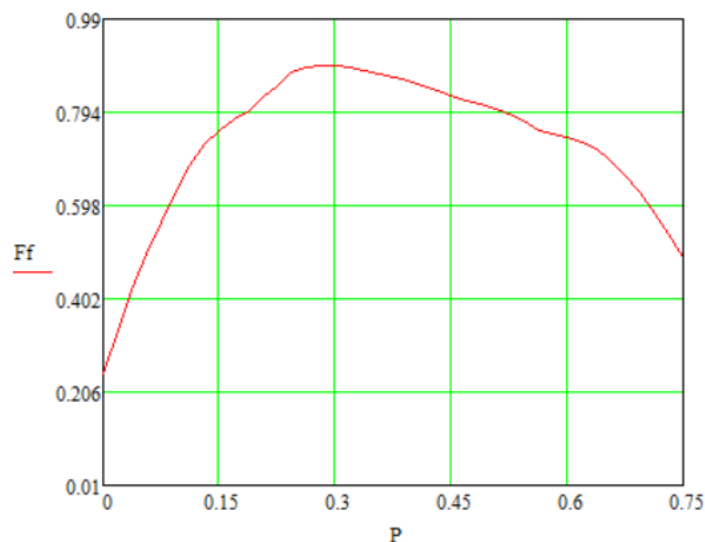


Рисунок 4.8– Залежність узагальненого критерію оптимальності від кількості перліту групи А

Оптимальна кількість перліту ВАТ Калинівський групи А для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей

кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.893$  будуть 0.281.

#### 4.3. Знаходження оптимальної кількості перліту IV ступеня $\gamma$ - 101 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу

В таблиці 4.3 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

Таблиця 4.3 – Показники сиропу після додавання перліту IV ступеня

| № Дослід | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,25     | 82,8       | 0,09                        | 955,5                             |
| 3        | 0,5      | 83,8       | 0,093                       | 966,6                             |
| 4        | 0,75     | 88,6       | 0,094                       | 988,8                             |

1) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміну забарвленості від кількості перліту IV ступеня:

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.45 \times 10^3 \\ 5.386 \times 10^3 \\ -3.532 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни забарвленості від кількості перліту IV ступеня має наступний вигляд:

$$Z = 1.287 \cdot 10^3 - 2.45 \cdot 10^3 \cdot p_1 + 5.38 \cdot 10^3 \cdot p_2 - 3.53 \cdot 10^3 \cdot p_3, \quad (4.9)$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.9, а також з наводимо експериментальні точок дослідних даних.

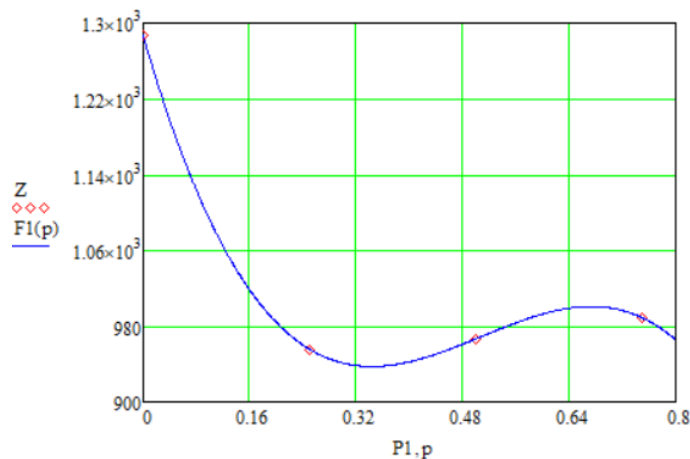


Рисунок 4.9– Зміна забарвленості сиропу від кількості перліту IV ступеня

2) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a1) одержуємо рівняння регресії, що описує вміст солей кальцію від кількості перліту IV ступеня:

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.049 \\ 0.144 \\ -0.107 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни солей кальцію від кількості IV ступеня:

$$Ca = 0.095 - 0.049 \cdot p_1 + 0.144 \cdot p_1^2 - 0.107 \cdot p_1^3, \quad (4.10).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.10, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

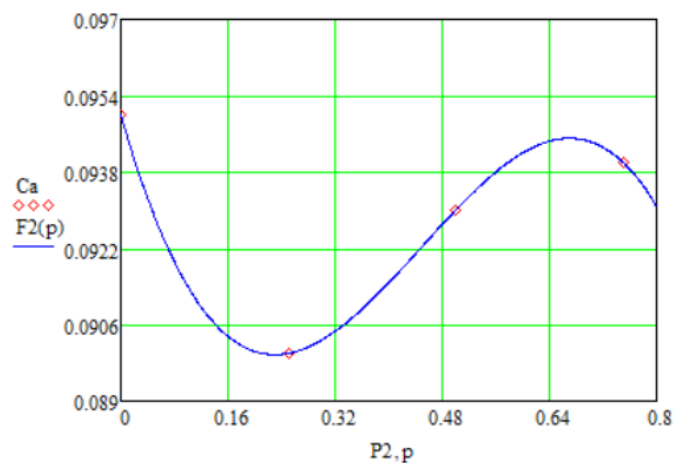


Рисунок 4.10– Залежність вмісту солей кальцію від кількості перліту IV ступеня

3) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a2) одержуємо рівняння регресії, що описує зміну чистоти від кількості перліту IV ступеня:

$$a3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 13.467 \\ -40 \\ 46.933 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни чистоти від кількості перліту IV ступеня:

$$P = 81.2 + 13.46 * p_1 - 40 * p^2 + 46.93 * p^3, (4.11).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.11, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

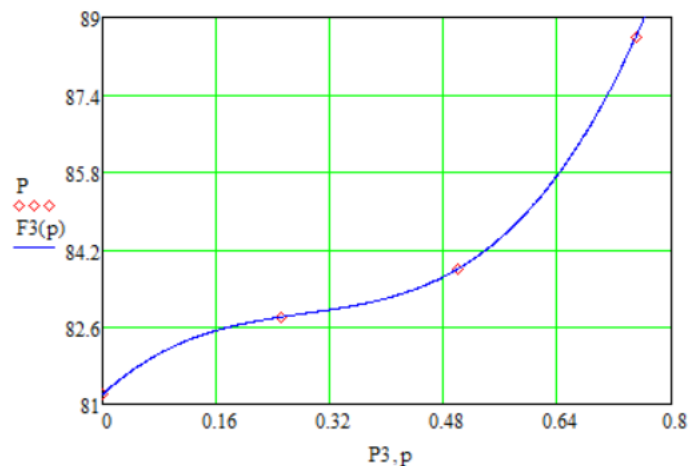


Рисунок 4.11– Залежність зміни чистоти від кількості перліту IV ступеня

Оптимальну кількість перліту IV ступеня визначали по узагальненому критерію оптимальності. Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона. Задавши інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності маємо наступний графік, зображений на рис. 4.12.

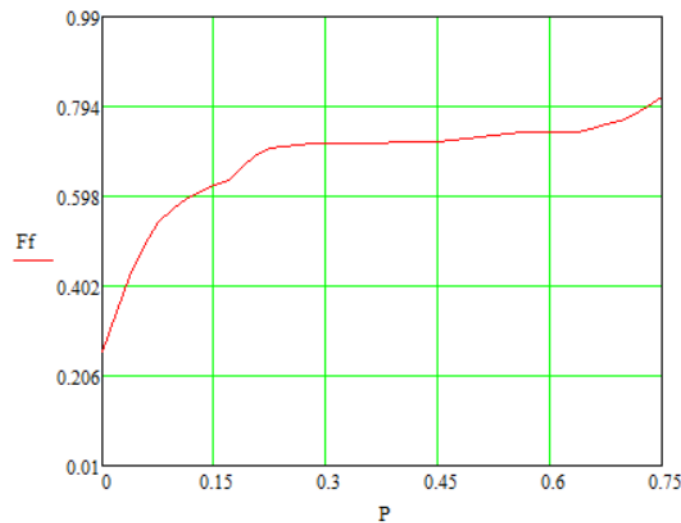


Рисунок 4.12– Залежність узагальненого критерію оптимальності від кількості перліту IV ступеня

Оптимальна кількість перліту IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.795$  будуть 0.731.

#### 4.4. Знаходження оптимальної кількості перліту $\gamma$ - 90 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу

В таблиці 4.4 представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

Таблиця 4.4 – Показники сиропу після додавання перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

| № Дослід | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,25     | 87,6       | 0,066                       | 897,7                             |
| 3        | 0,5      | 88,4       | 0,069                       | 911,1                             |
| 4        | 0,75     | 86,7       | 0,075                       | 924,4                             |

1) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a) одержуємо рівняння регресії, що описує залежність зміну забарвленості від кількості перліту  $\gamma - 90$  кг/м<sup>3</sup>:

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.897 \times 10^3 \\ 6.438 \times 10^3 \\ -4.292 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни забарвленості від кількості перліту  $\gamma - 90$  кг/м<sup>3</sup> має наступний вигляд:

$$Z = 1.287 \cdot 10^3 - 2.89 \cdot 10^3 \cdot p_1 + 6.43 \cdot 10^3 \cdot p_1^2 - 4.29 \cdot p_1^3, \quad (4.12)$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.13, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

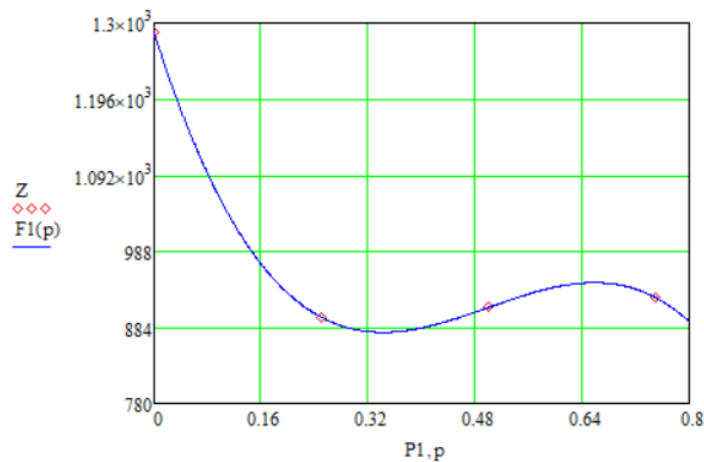


Рисунок 4.13– Зміна забарвленості сиropу від кількості перліту  $\gamma - 90$  кг/м<sup>3</sup>

2) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (a1) одержуємо рівняння регресії, що описує вміст солей кальцію від кількості перліту  $\gamma - 90$  кг/м<sup>3</sup>:

$$a_2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.219 \\ 0.488 \\ -0.309 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни солей кальцію від кількості  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>:

$$Ca = 0.095 - 0.219 \cdot p_1 + 0.48 \cdot p^2 - 0.3 \cdot p^3, \quad (4.13).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.14, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

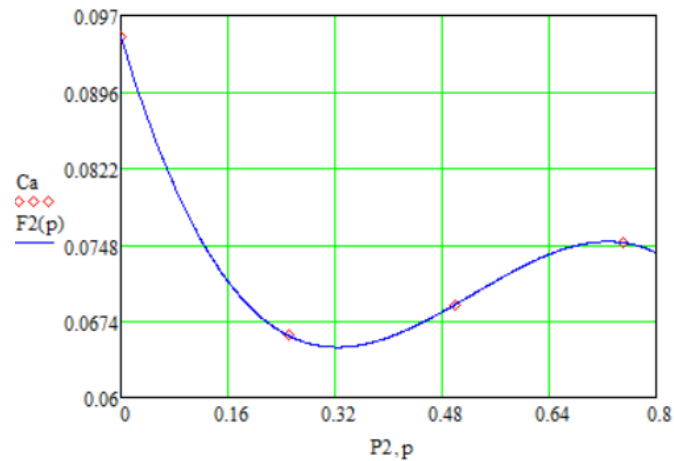


Рисунок 4.14– Залежність вмісту солей кальцію від кількості перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

3) Відповідно за розрахованими коефіцієнтами (а2) одержуємо рівняння регресії, що описує зміну чистоти від кількості перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>:

$$a3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 40.933 \\ -69.6 \\ 33.067 \end{pmatrix}$$

Залежність зміни чистоти від кількості перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>:

$$P = 81.2 + 40.9 \cdot p_1 - 69.6 \cdot p^2 - 33.06 \cdot p^3, \quad (4.14).$$

За розрахованим рівнянням регресії будуємо графік, зображений на рис. 4.15, а також з наводимо експериментальні точки дослідних даних.

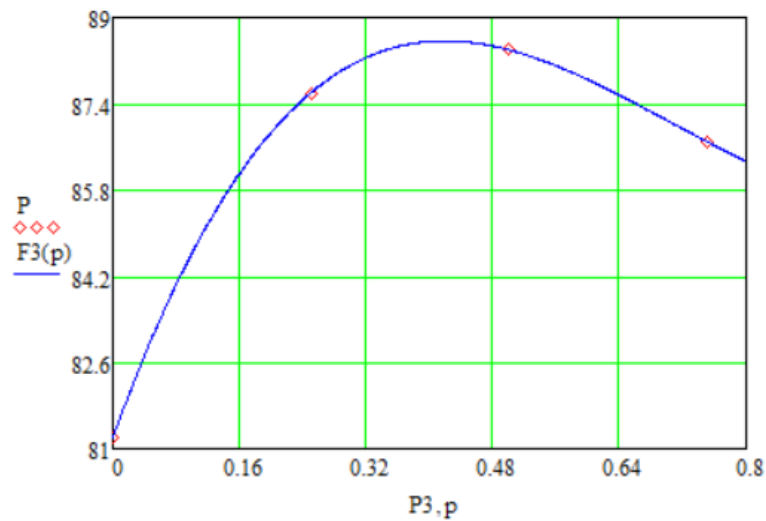


Рисунок 4.15– Залежність зміни чистоти від кількості перліту  $\gamma - 90 \text{ кг/м}^3$

Оптимальну кількість перліту  $\gamma - 90 \text{ кг/м}^3$  визначали по узагальненому критерію оптимальності. Програма переведення натуральних значень локальних критеріїв оптимальності в безрозмірну форму методом Харрінгтона. Задавши інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності маємо наступний графік, зображений на рис. 4.16.

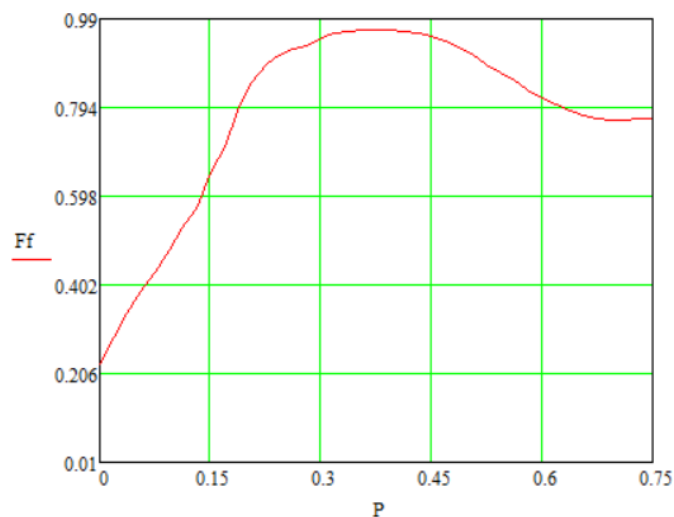


Рисунок 4.16– Залежність узагальненого критерію оптимальності від кількості перліту  $\gamma - 90 \text{ кг/м}^3$

Оптимальна кількість перліту  $\gamma - 90 \text{ кг/м}^3$  для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.966$  будуть  $0.375$ .

## **5. ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИРОДНИХ СОРБЕНТІВ**

Відповідно до постанови Кабінету Міністрів – харчові заводи України належать до екологічно небезпечних. Майже всі технологічні процеси, що відбуваються на підприємстві негативно діють на навколишнє середовище.

Більшість цукрових підприємств забруднюють навколишнє середовище. Тому необхідно охороняти навколишнє середовище шляхом введення заходів, дія яких спрямована на підтримання показників навколишнього середовища, що будуть забезпечувати нормальну життєдіяльність людини та забезпечувати перероблення продукції шляхом використання безреагентних технологій. Технологія очищення сиропу із застосуванням природних сорбентів таких як кліноптилоліт, перліт не має негативного впливу на навколишнє середовище так як, цеоліти це природні мінерали групи алюмосилікатів лужних та лужноземельних металів з характерною кристалічною будовою. Цеоліти відносяться до екологічно чистих, нетоксичних та інертних матеріалів придатних до промислового використання.

Кліноптилоліт відноситься до одного з найбільш поширених природних цеолітних мінералів, входить до складу осадових порід вулканогенного походження.

Перліт – порошок вулканічного походження. Перліт отримують із вузькофракціонованої перлітової сировини, або шляхом відсівання найбільш легких фракцій із рядового спученого перліту з наступним подрібненням в спеціальних млинах.

Для відновлення ємнісних властивостей цеолітів потрібно проводити регенерацію сорбенту.

Процес регенерації доцільно організовувати в дві стадії - спочатку обробляти сорбент цукровмісним розчином, а потім розчином NaCl для досягнення потрібного ступеня регенерації.

Впровадження додаткового очищення сиропу із застосуванням природніх сорбентів планується на ПАТ«Линовицький цукрокомбінат «Красний. Додаткові будівельні роботи не плануються, тому що на даному підприємстві є вільна площадка для розміщення нового обладнання.

### Капітальні вкладення

Так, як технологію додаткового очищення сиропу із застосуванням природніх сорбентів можна ввести на будь-якому цукровому заводі, то розрахунок витрат на обладнання для заводу по введенні сорбенту в сироп наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Капітальні витрати на придбання технологічного обладнання

| Назва обладнання                                 | К-ть, од. | Ціна за од., грн. | Витрати на придбання, грн. | Витрати на транспортування (2%), грн. | Витрати на монтаж (10%), грн. | Первісна вартість, грн. |
|--|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Збірники адсорбер мішалка адсорбенту підігрівник | 4         | 18 000            | 72 000                     | 1 440                                 | 7 200                         | 80 640                  |
| Насос  | 2         | 2 000             | 4 000                      | 80                                    | 400                           | 4480                    |
| Разом  |           |                   |                            |                                       |                               | 85 120                  |

Вартість всього устаткування з урахуванням витрат на трубопроводи і КВП. 97 888 грн.

До суми капітальних витрат входить, грн.:

$$K = K_{\text{пер}} + Д + З - В_{\text{р}},$$

де  $K$  – сума капітальних витрат;

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

$Д$  – витрати на демонтаж старого устаткування;

$З$  – залишкова вартість замінюваного устаткування;

$В_{\text{р}}$  – виручка від реалізації замінюваного устаткування;

### Вихідні дані

|  |                              |
|--|------------------------------|
| Потужність заводу                                    | 2500 т/добу                  |
| Коефіцієнт використання потужності                   | 1,055                        |
| Середня кількість буряків, що переробляються заводом | 195128 т                     |
| Добова переробка                                     | $2500 \cdot 1,055 = 2638$ т  |
| Тривалість сокодобування                             | $195128 / 2638 = 73,96$ доби |
| Вихід соку від переробки буряків заводом             | 97564 т до маси буряку.      |

Вихід сиропу – 19512 т до маси соку.

Кількість діб переробки з урахуванням часу:

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| - заповнення верстату             | 1 доби                                  |
| - виварка випарки                 | 1 доби                                  |
| - час попередньо запобіжних робіт | $0,5 \cdot 71 / 100 = 0,35$ доби        |
| - час фуговки наприкінці сезону   | 2 доби                                  |
|                                   | $73,96 + 2 + 1 + 0,35 + 1 = 78,31$ доби |

|   |  |
|---|--|
| середній вміст цукрози в буряках                | 17,08 %                                |
| втрати цукрози при транспортуванні і зберіганні | 0,39 %                                 |
| втрати цукрози у виробництві                    | 0,69%                                  |
| вміст цукрози в мелясі                          | 1,68 %                                 |
| Вихід цукру до впровадження                     | $17,08 - 0,39 - 0,69 - 1,68 = 14,32$ % |

### Кількість продукції до впровадження

|   |   |
|---|---|
| Цукру   | $195128 \cdot 14,32 / 100 = 27942,3$ т                    |
| меляси  | $195128 \cdot (1,68 \cdot 2) \cdot 1,08 / 100 = 7080,8$ т |
| жому  | $195128 \cdot 80 / 100 = 156102,4$ т                      |
| В результаті впровадження вихід цукру збільшився на | 0,14 %  |
| Після реконструкції вихід цукру                     | $14,32 + 0,14 = 14,46$ %                                  |
| Цукру   | $195128 \cdot 14,46 / 100 = 28215,5$ т                    |
| меляси  | $195128 \cdot (1,7 \cdot 2) \cdot 1,08 / 100 = 7195,1$ т  |
| жому  | $195128 \cdot 80 / 100 = 156102,8$ т                      |

### Ціна за допоміжні матеріали

Кліноптилоліт – 82 грн за 1 кг;

Перліт – 87 грн за 1кг.

### Витрати допоміжних матеріалів.

Розрахунок витрат реагенту на Линовицький цукровий завод потужністю 2500 т/добу розраховується за наступною пропорцією:

100 кг – 18,85кг

2500 - х, де

2500– потужність Линовицького цукрового заводу; 100 кг –кількість сиропу; 18,85 кг перерахунок сорбенту з відсотків на кг.

Звідси :  $X=471$  кг сорбенту до маси буряків за добу.

В перерахунку, витрати сорбенту до маси сиропу становлять :

100 кг – 18,85 кг

1000 кг – х,

Звідси :  $X = 188,5$  кг.

Отже, 188,5 кг сорбенту потрібно на 1 т сиропу.

Вартість однієї тони кліноптилоліту складає 82000 грн. [22]

Затрати на придбання реагенту складуть  $82000 \cdot 188,5 = 15\,457\,000$ грн.

Вартість однієї тони перліту складає 87000 грн.[23]

Затрати на придбання реагенту складуть  $87000 \cdot 188,5 = 16\,399\,500$  грн.

### **Витрати електроенергії**

В новій схемі встановлено 2 додаткових насоси, які потребуватимуть споживання електроенергії :

$3\text{кВт} \cdot 24\text{год} \cdot 73,96\text{діб} = 5325\text{кВт-год.}$ , що в перерахунку на витрати палива(газу) складе:

$$5325 \cdot 860/8000 = 572 \text{ м}^3,$$

де 860 – кал., що витрачаються на 1кВт-год електроенергії, на суму:

$$8820 \cdot 0,572 = 5042 \text{ грн,}$$

де 8820 грн. – ціна 1тис.м<sup>3</sup> газу.

Відповідно для двох насосів становить 10 084 грн.

### **Витрати на утримання і експлуатацію додаткового устаткування.**

Впровадження технологічної схеми вартістю 180 500 тис. грн. За амортизаційні відрахування приймаємо 17 %, а витрати на поточний ремонт складуть 8 %.

Отже витрати на утримання і експлуатацію складуть:

$$180500 \cdot (17+8)/100 = 45 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на збут.

$$213020 : 19272 \cdot (83730 - 19300):1000 = 7,1 \text{ тис. грн.}$$

Зменшення виходу меляси:

$$6085 \cdot 1000 / 1000 - 7819,0 \cdot 1000/100 = 72105 \text{ тис. грн.}$$

Після впровадження повні витрати на продукцію складуть

$$180500+45+7,1+72105 = 252\,657 \text{ тис. грн.}$$

Повні витрати на 1т. цукру складуть:  $252657/10 : 24890 = 1015$  грн.

Після впровадження прибуток складе

$$(10000 - 2830) \cdot 24890 : 1000 = 178\,461 \text{ тис. грн.}$$

Додатковий прибуток складе:  $178\,461 - 170\,426 = 8035$  тис. грн.

Чистий прибуток (враховуючи 25 % податок на прибуток) складатиме  $\Delta\text{ЧП} = 8035 - (8035 \cdot 25 / 100) = 6026,25$  тис. грн.

Термін окупності капіталовкладень:  $T = 500000 / 6026250 = 0,91$  рік.

Витрати на 1 грн. обсягу продукції, коп.:

до впровадження  $2163 / 100 = 21,63$

після впровадження  $2124 / 100 = 21,24$

Рентабельність продукції:

до впровадження  $3377,9 \cdot 100 / 39931,5 = 8,45\%$

після впровадження  $4285,55 \cdot 100 / 39931,5 = 10,73\%$

### **Висновки:**

1. Завдяки впровадженню даного методу додаткового очищення сиропу, показник рентабельності збільшився на 2,28 %, і становить 10,73.

2. При розрахунках визначили, що термін окупності становить 0,91 рік, що доводить доцільність впровадження даного проекту на виробництві.

## ВИСНОВКИ

Враховуючи погіршення технологічної якості сировини – цукрових буряків, і як наслідок, збільшення кількості нецукрів (Нц) по всьому технологічному верстату, особливо актуальним є питання додаткового очищення продуктів бурякоцукрового виробництва взагалі й продуктів кристалізаційного відділення зокрема – розроблення способів зниження забарвленості сиропу. На сьогодні існує безліч способів додаткового очищення сиропу, найпоширенішими можна вважати, очищення сиропу за допомогою вуглецевого сорбенту. Недоліком даного способу є те, що багаторазове використання вуглецевих сорбентів в цукровій промисловості вимагає високотемпературної регенерації їх розвинутої поверхні, а також те, що у нього висока вартість на ринку. Також до відомих способів можна віднести очищення сиропу за допомогою палигорьскіту, що є досить вигідним та менш затратним. Оброблення сиропу препаратом «Гембар» забезпечує підвищення чистоти сиропу та його знебарвлення на 18–29 %. Його антимікробна дія сприяє попередженню розвитку мікроорганізмів та зменшенню втрат сахарози від розкладання.

У даній магістерській роботі досліджувався вплив кліноптилоліту та перліту на вміст солей кальцію, забарвленість та чистоту сиропу.

Проаналізувавши кожен із вище описаних методів можна зробити наступні висновки.

1. Вихідний сироп містить 64 % сухих речовин, чистота становить 81,2, солі кальцію - 0,095, забарвленість - 1286,6, та має чистоту 81,2 %.

2. Ефективність використання кліноптилоліту для покращення показників якості сиропу. Сироп мав задовільні показники по досліджуваним параметрам. З використанням кліноптилоліту в ході роботи були отримані задовільні результати щодо зменшення солей кальцію та зниження забарвленості сиропу. З використанням кліноптилоліту в кількості 0,5% на

100 грам розчину, солі кальцію зменшились на 0,005; чистота підвищилась на 0,9 одиниць; забарвленість зменшилась на 273,3 одиниць.

3. Досліджено використання для підвищення чистоти сиропу природнього адсорбенту перліту Калинівського. Найкращі показники зафіксовано при внесенні 0,5 % сорбенту. Встановлено підвищення чистоти сиропу на 3,5 одиниць; забарвленість зменшилась на 308,9 одиниць; солі кальцію зменшились на 0,005%. Даний спосіб є хімічно безпечним та відносно дешевим. Перліт IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup>. Найкращі показники зафіксовано при внесенні сорбенту в кількості 0,5% - чистота розчину підвищилась на 2,6 одиниці, солі кальцію та забарвленість зменшились на 0,002 % і 320 одиниць; перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup> – найкращі показники зафіксовано при внесенні 0,25% сорбенту - збільшення чистоти на 4,4 %; солі кальцію зменшились 0,029 %; забарвленість покращилась на 388,9 одиниць.

4. Проведено дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесом дефекосатурації сиропу. За результатами даного дослідження маємо: чистота сиропу після процесу дефекосатурації підвищилась на 3,3 %; солі кальцію зменшились на 0,005%; забарвленість розчину зменшилась на 60 одиниць. Дані результати підтверджують доцільність впровадження даного способу.

5. Розроблено технологічну схему внесення сорбенту в сироп, за допомогою якої можна виконати додаткове очищення сиропу, для підвищення його якості та збільшення виходу готової продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Анализ украинского рынка сахара [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.apn-ua.com>.
2. Сахар & Цены. Ежедневный электронный информационный бюллетень [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.agroperspectiva.com>.
3. В.О. Штангеев, О.М. Молодницька, Н.А. Гусятинська, Л.С. Клименко, Л.А. Купчик. Очищення густих напівпродуктів цукрового виробництва з застосуванням нетоксичних реагентів. Цукор України 3/2011.
4. Береза Ю.Г. Рева Л.П. Способи додаткового очищення соку і сиропу для підвищення якості виробленого цукру з використанням: клиноптилоліту, глауконіту, палигорськиту та фільтроперліту.
5. Л. Бобрівник., Т.Микал., А.Фельдман,Т. Митченко. Харчова переробна промисловість, 1993, № 2. Дослідження з неорганічними сорбентами. Технологія зм'якшення соку II сатурації бурякоцукрового виробництва клиноптилолітом.
6. Патент на корисну модель № 113481 Спосіб очищення сиропу/ Рева Л.П., Береза Ю.Г., Шульга С.А., Головіна О.В.
7. В.И. Щербаков, З.С.А. Аль-Амри, А.В. Михайлин УДК 628.196 Очистка питьевой воды от стронция фильтрационным методом с применением клиноптилолита
8. Вимоги до якості цукру [Електронний ресурс]. Режим доступу: [cozyhomestead.ru](http://cozyhomestead.ru) > Zhivotnie.
9. Підвищення якості цукру – стратегічне завдання галузі [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.irbis-nbuv.gov.ua](http://www.irbis-nbuv.gov.ua) > irbis\_nbuv > cgiirbis\_64 .
10. Технологія виробництва цукру [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.dnu.dp.ua](http://www.dnu.dp.ua) > Technologia\_khartchuvania > lekciі.

11. Класифікація природніх мінеральних сорбентів [Електронний ресурс]. Режим доступу: [dspace.udpu.edu.ua](http://dspace.udpu.edu.ua).
12. Дисертація - Ужгородський національний університет [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.uzhnu.edu.ua](http://www.uzhnu.edu.ua) › infocentre › get.
13. Перспективи застосування мінералів природного походження університет [Електронний ресурс]. Режим доступу: [irbis-nbuv.gov.ua](http://irbis-nbuv.gov.ua) › cgi-bin › irbis\_nbuv › cgiirbis\_64.
14. Національний технічний університет України «Київський». [Електронний ресурс]. Режим доступу: [nau.edu.ua](http://nau.edu.ua) › site › variables › news.
15. Що таке перліт? Властивості перліту. Застосування перліту. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [arhdecor.ru](http://arhdecor.ru) › the-ceiling › cht..
16. Перліт і агроперліт: властивості та застосування [Електронний ресурс]. Режим доступу: [usadochku.blogspot.com](http://usadochku.blogspot.com) › бло.
17. Перлит (порода) — Википедія [Електронний ресурс]. Режим доступу: [ru.wikipedia.org](http://ru.wikipedia.org) › wiki › Перлит.
18. П. В. Полторак Инструкция по химико-технологическому контролю и учёту сахарного производства. Киев, 1983.
19. Бібік Д. В. Розроблення способів очищення сиропу, жовтого цукру та його клеровок у бурякоцукровому виробництві. Автореферат, Київ 2009.
20. Базові терміни і поняття економічної геології – Інститут. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [www.geol.univ.kiev.ua](http://www.geol.univ.kiev.ua).
21. Комп'ютерне моделювання системи та процесів / Кветний Р.Н., Богач І.В., Бойко О.Р. та інші // [Електронний ресурс]. –Режим доступу: [https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj\\_komp%27yuterne\\_modelyuvannya\\_system\\_procesiv/t2/5..htm](https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/2kvetnyj_komp%27yuterne_modelyuvannya_system_procesiv/t2/5..htm)

22. Купить цеолит. Клиноптилолит, фракция 0,7-1,5 мм, 1кг . [Электронный ресурс]. Режим доступа: [shopfilters.ru](http://shopfilters.ru) › [magazin](#) › [filtruyushhie-materialy-i-sredy](#).

23. Перлит – сравнить цены, выбрать, купить перлит. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [ibud.ua](http://ibud.ua) [ibud.ua](#) › .

24. Тези на 86 Міжнародну наукову конференцію молодих учених, аспірантів і студентів.

## ДОДАТОК А

## 1. Знаходження залежності зміни забарвленості від витрат кліноптилоліту

$$P1 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N1 := 3$$

$$Z := (1286.6 \ 1011.1 \ 1013.3 \ 1282.2)^T$$

$$i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum_{i1} (Z_{i1} \cdot P1_{i1}) \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$a := A1^{-1} \cdot C1$$

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -1.672 \times 10^3 \\ 2.31 \times 10^3 \\ -117.333 \end{pmatrix}$$

$$F1(p) := a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3$$

$$\delta 1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (Z_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$F1(P1) = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ 1.011 \times 10^3 \\ 1.013 \times 10^3 \\ 1.282 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\delta 1 = 1.074 \times 10^{-10}$$

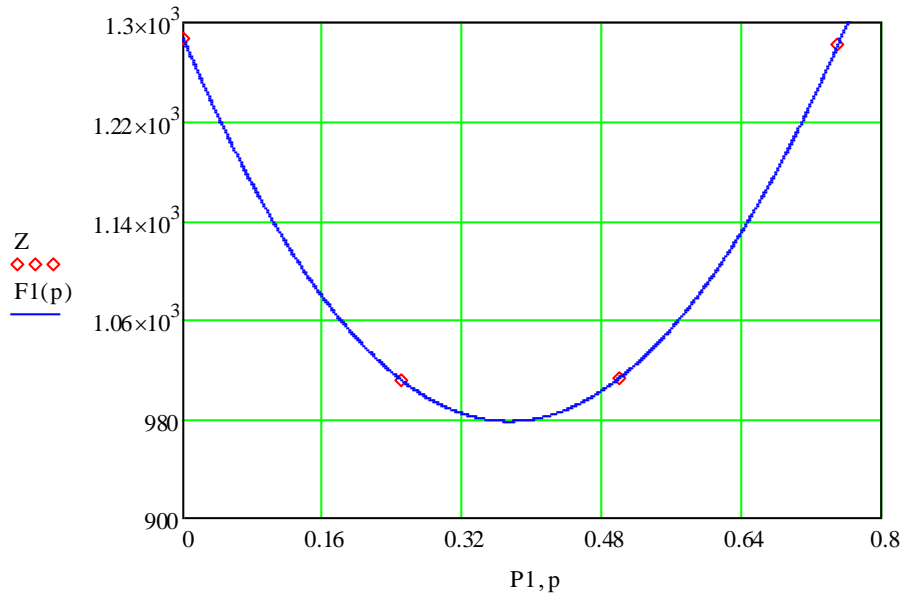


Рис. 1 Залежність зміни забарвленості в залежності від витрат кліноптилоліту

## 2. Знаходження залежності вмісту солей кальцію від витрат кліноптилоліту

$$P2 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N2 := 3$$

$$Ca := (0.095 \ 0.086 \ 0.09 \ 0.095)^T$$

$$i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{bmatrix} \sum Ca \\ \sum_{i2} (Ca_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$a2 := A2^{-1} \cdot C2$$

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.078 \\ 0.2 \\ -0.128 \end{pmatrix}$$

$$\delta2 := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (Ca_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$F2(p) := a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3$$

$$\delta2 = 5.263 \times 10^{-15}$$

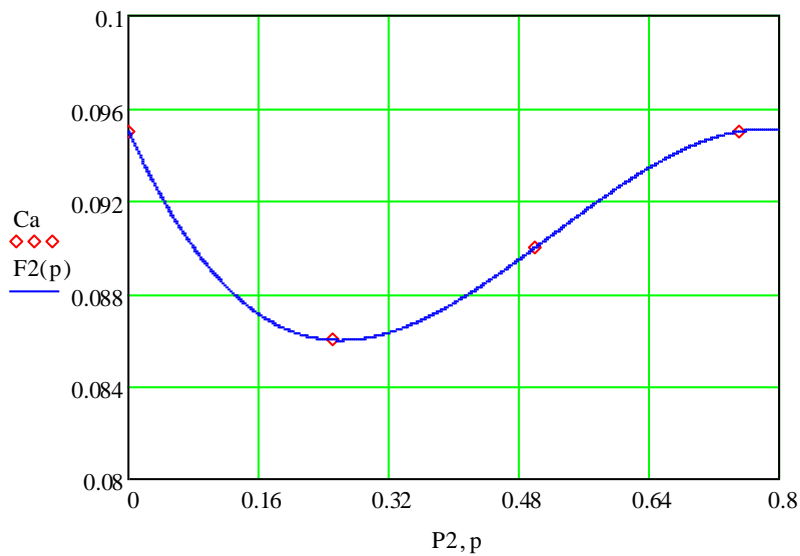


Рис.2. Залежність вмісту солей кальцію від витрат кліноптилоліту

### 3. Знаходження зміни чистоти від витрат кліноптилоліту

$$P3 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N3 := 3$$

$$P := (81.2 \ 81.3 \ 82.1 \ 82.6)^T$$

$$i3 := 0..N3$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{pmatrix} \sum P \\ \sum [P_{i3} \cdot P_{i3}^3] \\ \sum [P_{i3} \cdot (P_{i3})^2] \\ \sum [P_{i3} \cdot (P_{i3})^3] \end{pmatrix}$$

$$a_3 := A_3^{-1} \cdot C_3$$

$$a_3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ -2.333 \\ 13.6 \\ -10.667 \end{pmatrix}$$

$$F_3(p) := a_{3_0} + a_{3_1} \cdot p + a_{3_2} \cdot p^2 + a_{3_3} \cdot p^3$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (P_{i_3} - F_3(P_{i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 3.721 \times 10^{-12}$$

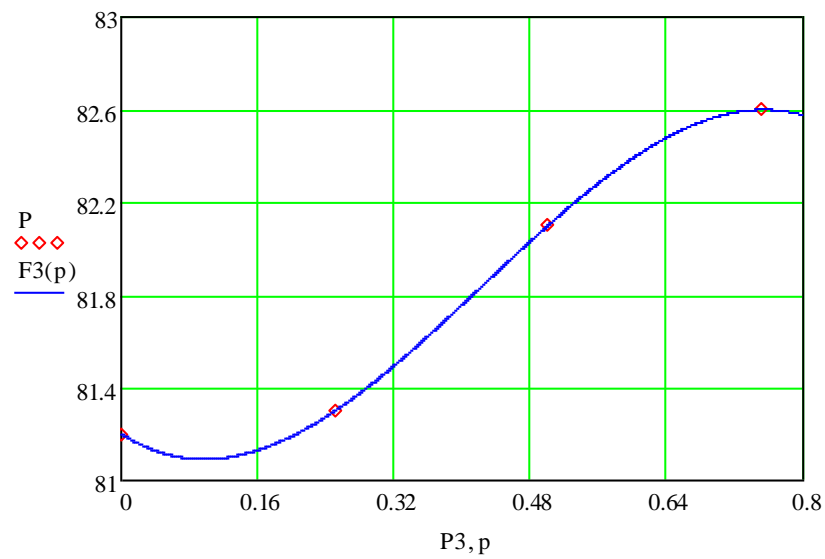


Рис. 3. Залежність зміни чистоти в залежності від витрат кліноптилліту



## Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$IBZ := (1400 \ 1350 \ 1280 \ 1150 \ 1000 \ 950)^T \quad IBCa := (0.2 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.095 \ 0.09 \ 0.084)^T$$

$$IBP := (80.8 \ 81 \ 81.2 \ 81.4 \ 81.8 \ 82.6)^T \quad D := (0.01 \ 0.2 \ 0.37 \ 0.63 \ 0.8 \ 0.99)^T$$

$$a1 := 0 \quad b1 := 0.7 \quad nn := 40 \quad j := 0..nn$$

$$h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$ff1_j := HAR(IBZ, D, Y1_j, 0) \quad ff2_j := HAR(IBCa, D, Y2_j, 0) \quad ff3_j := HAR(IBP, D, Y3_j, 1)$$

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.4} \cdot (ff2_j)^{0.4} \cdot (ff3_j)^{0.2}$$

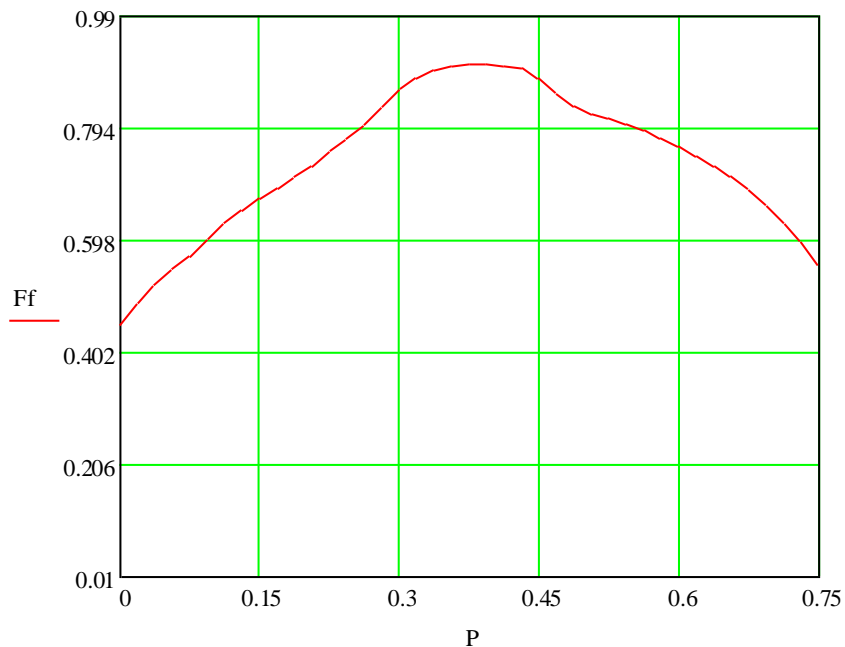


Рис. 4. Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат кліночлоїту

$$\text{OPT1}(F, n, a1, h1) := \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_0 \\ \text{im} \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{if } F_{i1} > \text{MA} \\ \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{i1} \\ \text{im} \leftarrow i1 \end{array} \right. \\ \text{x1m} \leftarrow a1 + h1 \cdot (\text{im}) \\ z_0 \leftarrow \text{MA} \\ z_1 \leftarrow \text{x1m} \\ z \end{array} \right.$$

Програма знаходження  
максимального  
значення критерію  
оптимальності з  
одновимірного масиву

$$\text{OPT1}(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.906 \\ 0.394 \end{pmatrix}$$

Висновок : оптимальними витратами кліноптилоліту для очищення сиропу, що забезпечує максимальну мінімізацію вмісту солей кальцію, забарвленості і підвищує чистоту, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(X) = 0,906$  будуть 0,394.

## ДОДАТОК Б

Знаходження залежності зміни забарвленості від витрат перліту  $\gamma - 90 \text{ к г / м}^3$

$$P1 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N1 := 3$$

$$Z := (1286.6 \ 897.7 \ 911.1 \ 924.4)^T$$

$$i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum_{i1} (Z_{i1} \cdot P1_{i1}) \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$a := A1^{-1} \cdot C1 \quad a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.897 \times 10^3 \\ 6.438 \times 10^3 \\ -4.292 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$F1(p) := a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3$$

$$\delta 1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (Z_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$F1(P1) = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ 897.7 \\ 911.1 \\ 924.4 \end{pmatrix}$$

$$\delta 1 = 3.36 \times 10^{-10}$$

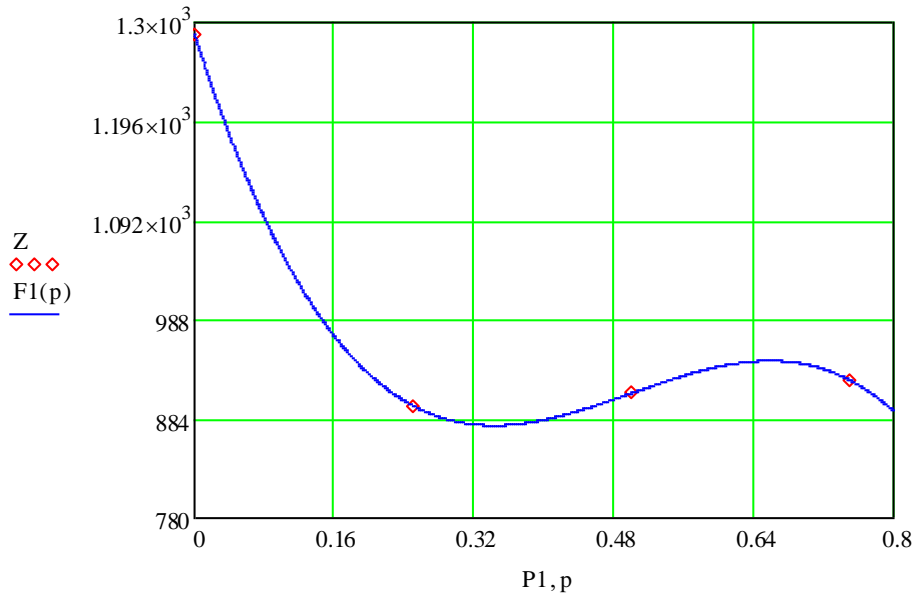


Рис. 1. Залежність зміни забарвленості в залежності від витрат перліту  $\gamma - 90 \text{ к г / м}^3$

## 2. Знаходження залежності вмісту солей кальцію від витрат перліту $\gamma - 90 \text{ к г / м}^3$

$$P2 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N2 := 3$$

$$Ca := (0.095 \ 0.066 \ 0.069 \ 0.075)^T$$

$$i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{bmatrix} \sum Ca \\ \sum_{i2} (Ca_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$a2 := A2^{-1} \cdot C2$$

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.219 \\ 0.488 \\ -0.309 \end{pmatrix}$$

$$\delta z := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (Ca_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$F2(p) := a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3$$

$$\delta z = 1.219 \times 10^{-14}$$

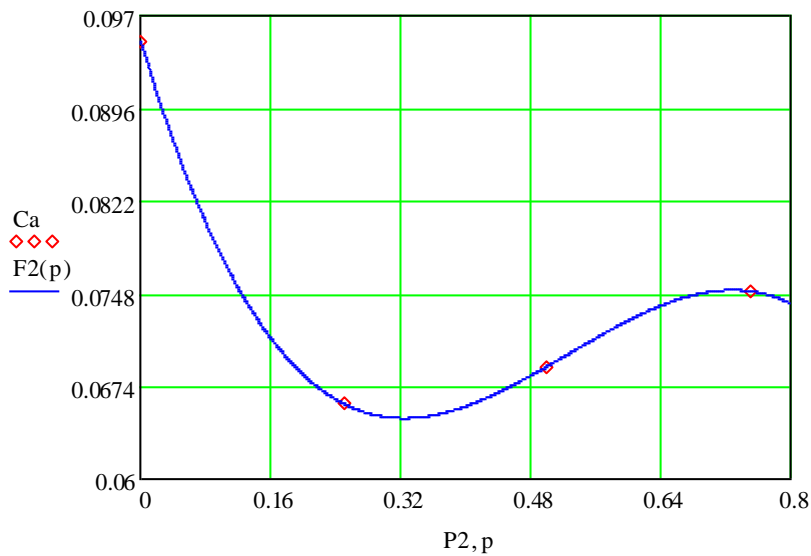


Рис.2. Залежність вмісту солей кальцію від витрат перліту  $\gamma$  - 90 кг / м<sup>3</sup>

### 3. Знаходження зміни чистоти від витрат перліту $\gamma$ - 90 кг / м<sup>3</sup>

$$P3 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N3 := 3$$

$$P := (81.2 \ 87.6 \ 88.4 \ 86.7)^T$$

$$i3 := 0..N3$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{pmatrix} \sum P \\ \sum_{i3} (P_{i3} \cdot P_{i3}^3) \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P_{i3}^2)] \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P_{i3}^3)] \end{pmatrix}$$

$$a_3 := A_3^{-1} \cdot C_3$$

$$a_3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 40.933 \\ -69.6 \\ 33.067 \end{pmatrix}$$

$$F_3(p) := a_{3_0} + a_{3_1} \cdot p + a_{3_2} \cdot p^2 + a_{3_3} \cdot p^3$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (P_{i_3} - F_3(P_{i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 2.304 \times 10^{-11}$$

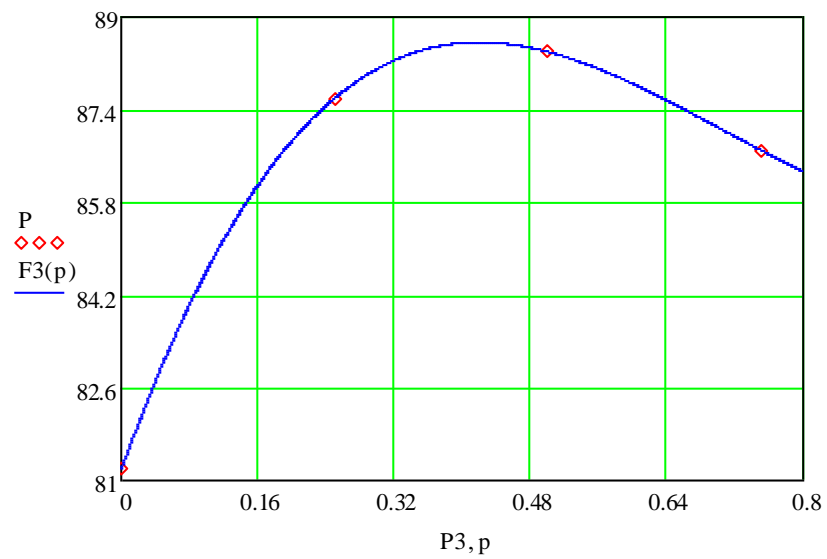


Рис.3. Залежність зміни чистоти від витрат перліту  $\gamma$  -  $90 \text{ кг/м}^3$



## Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$IBZ := (1400 \ 1350 \ 1280 \ 1100 \ 950 \ 900)^T$$

$$IBC_a := (0.5 \ 0.1 \ 0.9 \ 0.08 \ 0.07 \ 0.06)^T$$

$$IBP := (81 \ 85.5 \ 86 \ 87 \ 88 \ 89)^T$$

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

$$a1 := 0 \quad b1 := 0.7 \quad nn := 40 \quad j := 0..nn$$

$$h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$ff1_j := HAR(IBZ, D, Y1_j, 0)$$

$$ff2_j := HAR(IBC_a, D, Y2_j, 0)$$

$$ff3_j := HAR(IBP, D, Y3_j, 1)$$

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.4} \cdot (ff2_j)^{0.4} \cdot (ff3_j)^{0.2}$$

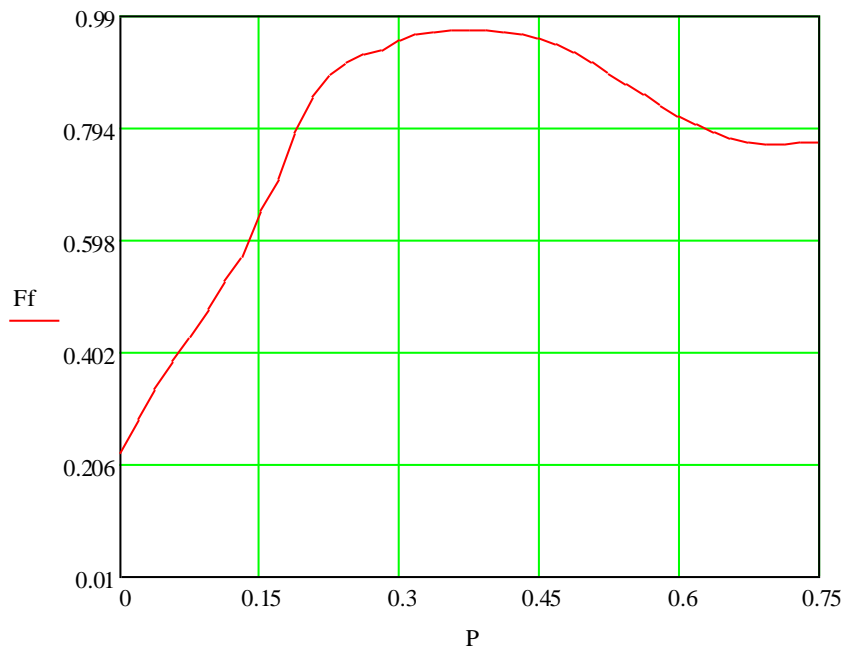


Рис.4. Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>

$$\text{OPT1}(F, n, a1, h1) := \left\{ \begin{array}{l} MA \leftarrow F_0 \\ im \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{if } F_{i1} > MA \\ \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} MA \leftarrow F_{i1} \\ im \leftarrow i1 \end{array} \right. \\ x1m \leftarrow a1 + h1 \cdot (im) \\ z_0 \leftarrow MA \\ z_1 \leftarrow x1m \\ z \end{array} \right.$$

Програма знаходження  
максимального  
значення критерію  
оптимальності з  
одновимірного масиву

$$\text{OPT1}(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.966 \\ 0.375 \end{pmatrix}$$

Висновок : оптимальними витратами перліту  $\gamma$  - 90 к г /м<sup>3</sup> для очищення сиропу, що забезпечує максимальну мінімізацію вмісту солей кальцію, забарвленості і підвищує чистоту, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(X) = 0,966$  будуть 0,375.

## ДОДАТОК В

1. Знаходження залежності зміни забарвленості від витрат перліту  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$

$$P1 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N1 := 3$$

$$Z := (1286.6 \ 955.5 \ 966.6 \ 988.8)^T$$

$$i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum_{i1} (Z_{i1} \cdot P1_{i1}) \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$a := A1^{-1} \cdot C1 \quad a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.45 \times 10^3 \\ 5.386 \times 10^3 \\ -3.532 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$F1(p) := a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3$$

$$\delta 1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (Z_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$F1(P1) = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ 955.5 \\ 966.6 \\ 988.8 \end{pmatrix}$$

$$\delta 1 = 9.448 \times 10^{-11}$$

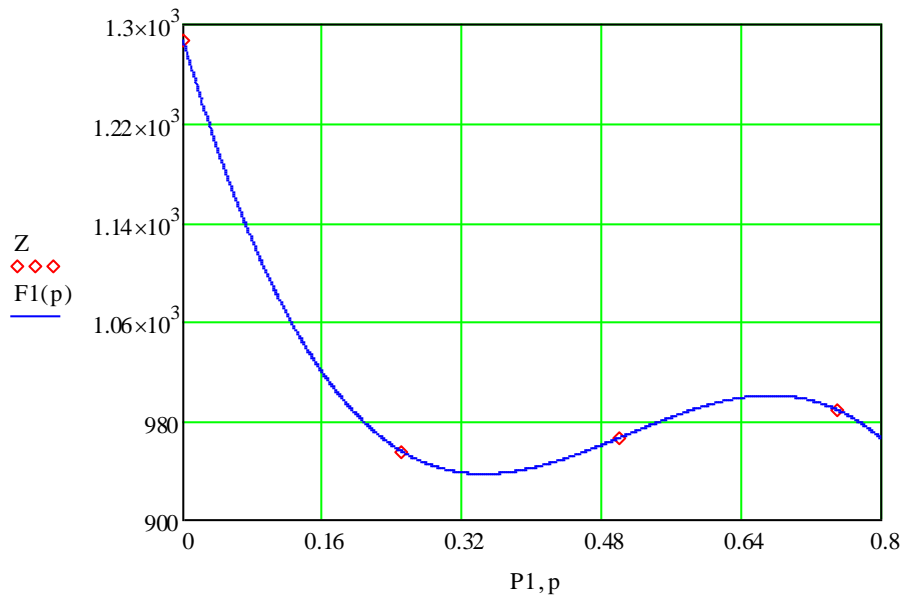


Рис. 1. Залежність зміни забарвленості в залежності від витрат перліту  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$

## 2. Знаходження залежності вмісту солей кальцію від витрат перліту $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$

$$P2 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N2 := 3$$

$$Ca := (0.095 \ 0.09 \ 0.093 \ 0.094)^T$$

$$i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{bmatrix} \sum Ca \\ \sum_{i2} (Ca_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$a2 := A2^{-1} \cdot C2$$

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.049 \\ 0.144 \\ -0.107 \end{pmatrix}$$

$$\delta z := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (Ca_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$F2(p) := a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3$$

$$\delta z = 9.557 \times 10^{-15}$$

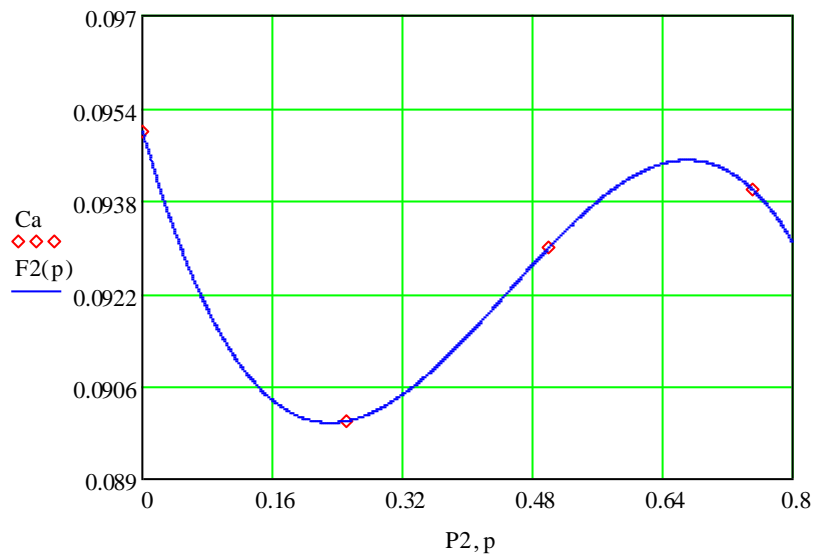


Рис.2. Залежність вмісту солей кальцію від витрат перліту  $\gamma$  - 101 кг / м<sup>3</sup>

### 3. Знаходження зміни чистоти від витрат перліту $\gamma$ - 101 кг / м<sup>3</sup>

$$P3 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N3 := 3$$

$$P := (81.2 \ 82.8 \ 83.8 \ 88.6)^T$$

$$i3 := 0..N3$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{pmatrix} \sum P \\ \sum_{i3} (P_{i3} \cdot P_{i3}^3) \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P_{i3}^2)] \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P_{i3}^3)] \end{pmatrix}$$

$$a_3 := A_3^{-1} \cdot C_3$$

$$a_3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 13.467 \\ -40 \\ 46.933 \end{pmatrix}$$

$$F_3(p) := a_{3_0} + a_{3_1} \cdot p + a_{3_2} \cdot p^2 + a_{3_3} \cdot p^3$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (P_{i_3} - F_3(P_{i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 1.061 \times 10^{-11}$$

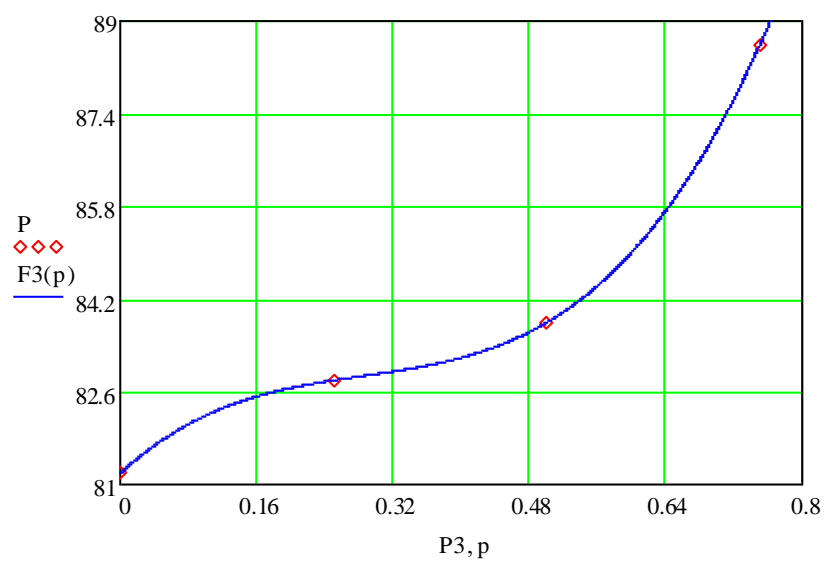


Рис.3. Залежність зміни чистоти від витрат перліту  $\gamma$  -  $101 \text{ кг/м}^3$



## Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$IBZ := (1400 \ 1350 \ 1280 \ 1150 \ 1000 \ 950)^T$$

$$IBCa := (0.2 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.095 \ 0.09 \ 0.084)^T$$

$$IBP := (81 \ 82 \ 83.5 \ 84.9 \ 85.9 \ 88)^T$$

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

$$a1 := 0 \quad b1 := 0.7 \quad nn := 40 \quad j := 0..nn$$

$$h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$ff1_j := HAR(IBZ, D, Y1_j, 0) \quad ff2_j := HAR(IBCa, D, Y2_j, 0) \quad ff3_j := HAR(IBP, D, Y3_j, 1)$$

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.4} \cdot (ff2_j)^{0.4} \cdot (ff3_j)^{0.2}$$

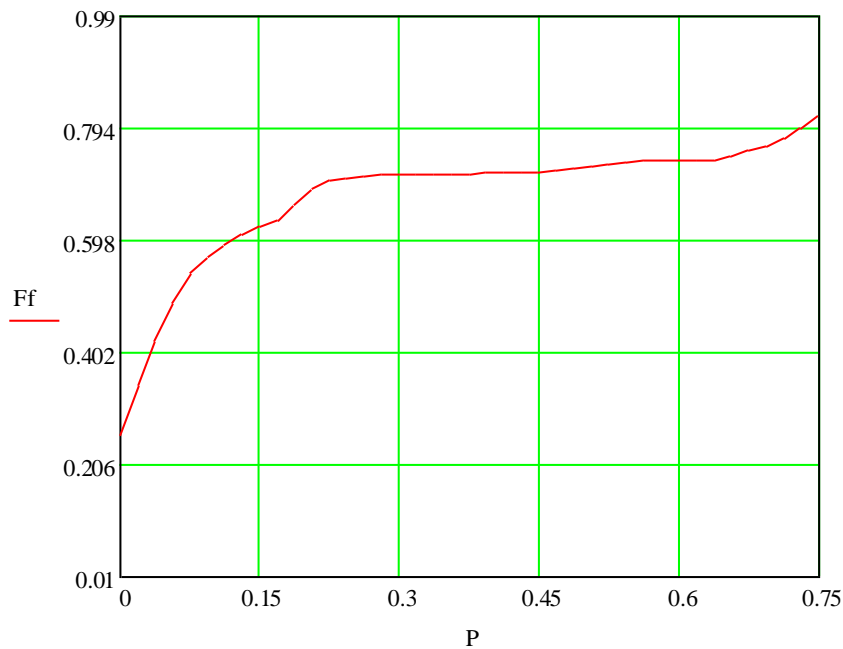


Рис.4. Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат перліту  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$

$$\text{OPT1}(F, n, a1, h1) := \left| \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_0 \\ \text{im} \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{if } F_{i1} > \text{MA} \\ \quad \quad \left| \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{i1} \\ \text{im} \leftarrow i1 \end{array} \right. \\ \text{x1m} \leftarrow a1 + h1 \cdot (\text{im}) \\ \text{z}_0 \leftarrow \text{MA} \\ \text{z}_1 \leftarrow \text{x1m} \\ \text{z} \end{array} \right.$$

Програма знаходження  
максимального  
значення критерію  
оптимальності з  
одновимірного масиву

$$\text{OPT1}(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.795 \\ 0.731 \end{pmatrix}$$

**Висновок :** оптимальними витратами перліту у IV ступеня  $\gamma - 101 \text{ кг/м}^3$  для очищення сиропу, що забезпечує максимальну мінімізацію вмісту солей кальцію, забарвленості і підвищує чистоту, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(X) = 0,795$  будуть 0,731.

## ДОДАТОК Г

## 1. Знаходження залежності зміни забарвленості від витрат перліту ВАТ Калинівський групи А

$$P1 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N1 := 3$$

$$Z := (1286.6 \ 977.7 \ 982.2 \ 786.6)^T$$

$$i1 := 0..N1$$

$$A1 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C1 := \begin{bmatrix} \sum Z \\ \sum_{i1} (Z_{i1} \cdot P1_{i1}) \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^2] \\ \sum_{i1} [Z_{i1} \cdot (P1_{i1})^3] \end{bmatrix}$$

$$a := A1^{-1} \cdot C1$$

$$a = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ -2.547 \times 10^3 \\ 6.615 \times 10^3 \\ -5.477 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$F1(p) := a_0 + a_1 \cdot p + a_2 \cdot p^2 + a_3 \cdot p^3$$

$$\delta 1 := \sqrt{\frac{\sum_{i1=0}^{N1} (Z_{i1} - F1(P1_{i1}))^2}{N1}}$$

$$F1(P1) = \begin{pmatrix} 1.287 \times 10^3 \\ 977.7 \\ 982.2 \\ 786.6 \end{pmatrix}$$

$$\delta 1 = 1.283 \times 10^{-10}$$

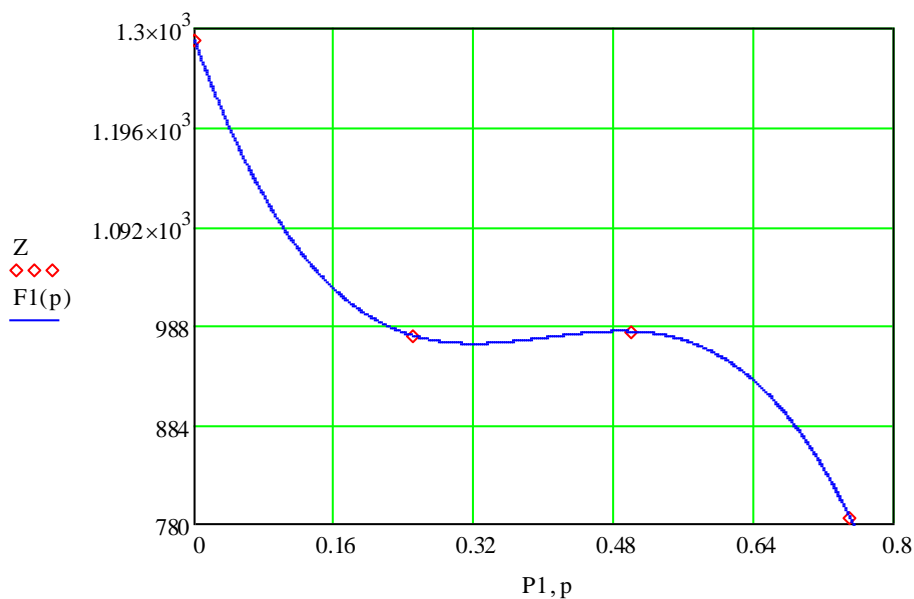


Рис. 1. Залежність зміни забарвленості в залежності від витрат перліту групи А

## 2. Знаходження залежності вмісту солей кальцію від витрат перліту групи А

$$P2 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N2 := 3$$

$$Ca := (0.095 \ 0.09 \ 0.095 \ 0.095)^T$$

$$i2 := 0..N2$$

$$A2 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C2 := \begin{bmatrix} \sum Ca \\ \sum_{i2} (Ca_{i2} \cdot P2_{i2}) \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^2] \\ \sum_{i2} [Ca_{i2} \cdot (P2_{i2})^3] \end{bmatrix}$$

$$a2 := A2^{-1} \cdot C2$$

$$a2 = \begin{pmatrix} 0.095 \\ -0.06 \\ 0.2 \\ -0.16 \end{pmatrix}$$

$$\delta2 := \sqrt{\frac{\sum_{i2=0}^{N2} (Ca_{i2} - F2(P2_{i2}))^2}{N2}}$$

$$F2(p) := a2_0 + a2_1 \cdot p + a2_2 \cdot p^2 + a2_3 \cdot p^3$$

$$\delta2 = 3.885 \times 10^{-15}$$

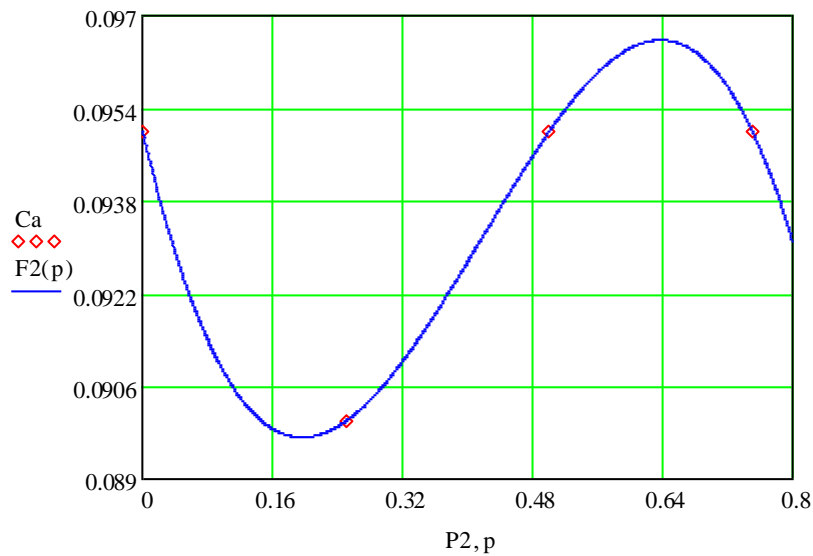


Рис.2. Залежність вмісту солей кальцію від витрат перліту групи А

### 3. Знаходження зміни чистоти від витрат перліту групи А

$$P3 := (0 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.75)^T$$

$$N3 := 3$$

$$P := (81.2 \ 84.7 \ 84.9 \ 81.8)^T$$

$$i3 := 0..N3$$

$$A3 := \begin{pmatrix} 4 & \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 \\ \sum P1 & \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 \\ \sum P1^2 & \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 \\ \sum P1^3 & \sum P1^4 & \sum P1^5 & \sum P1^6 \end{pmatrix}$$

$$C3 := \begin{pmatrix} \sum P \\ \sum_{i3} (P_{i3} \cdot P3_{i3}) \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P3_{i3})^2] \\ \sum_{i3} [P_{i3} \cdot (P3_{i3})^3] \end{pmatrix}$$

$$a_3 := A_3^{-1} \cdot C_3$$

$$a_3 = \begin{pmatrix} 81.2 \\ 20.6 \\ -26.4 \\ -2.91 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

$$F_3(p) := a_{3_0} + a_{3_1} \cdot p + a_{3_2} \cdot p^2 + a_{3_3} \cdot p^3$$

$$\delta_3 := \sqrt{\frac{\sum_{i_3=0}^{N_3} (P_{i_3} - F_3(P_{i_3}))^2}{N_3}}$$

$$\delta_3 = 1.652 \times 10^{-11}$$

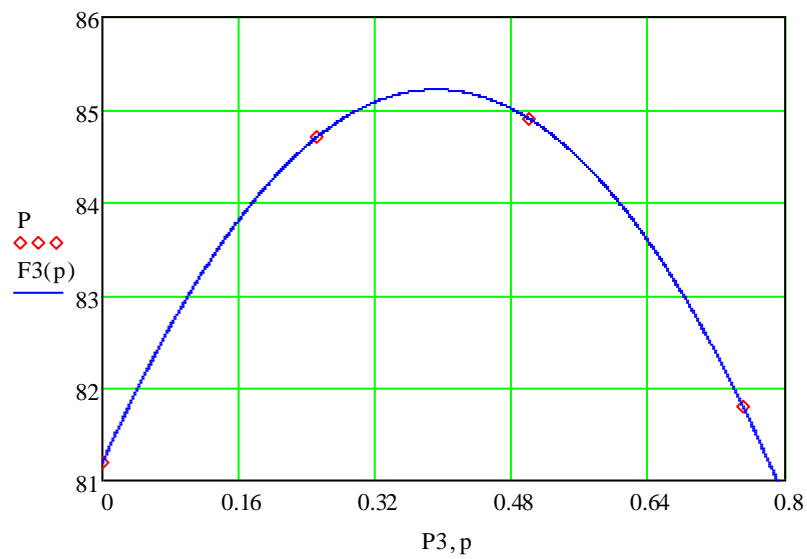


Рис.3. Залежність зміни чистоти від витрат перліту групи А



## Інтервали бажаностей натуральних значень локальних критеріїв оптимальності

$$\text{IBZ} := (1400 \ 1350 \ 1280 \ 1150 \ 1000 \ 950)^T$$

$$\text{IBCa} := (0.2 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.095 \ 0.09 \ 0.084)^T$$

$$\text{IBP} := (81 \ 82.5 \ 83 \ 83.6 \ 84.5 \ 85)^T$$

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

$$a1 := 0 \quad b1 := 0.7 \quad nn := 40 \quad j := 0..nn$$

$$h := \frac{b1 - a1}{nn} \quad P_j := a1 + h \cdot j \quad Y1_j := F1(P_j) \quad Y2_j := F2(P_j) \quad Y3_j := F3(P_j)$$

$$ff1_j := \text{HAR}(\text{IBZ}, \text{D}, Y1_j, 0) \quad ff2_j := \text{HAR}(\text{IBCa}, \text{D}, Y2_j, 0) \quad ff3_j := \text{HAR}(\text{IBP}, \text{D}, Y3_j, 1)$$

$$Ff_j := (ff1_j)^{0.4} \cdot (ff2_j)^{0.4} \cdot (ff3_j)^{0.2}$$

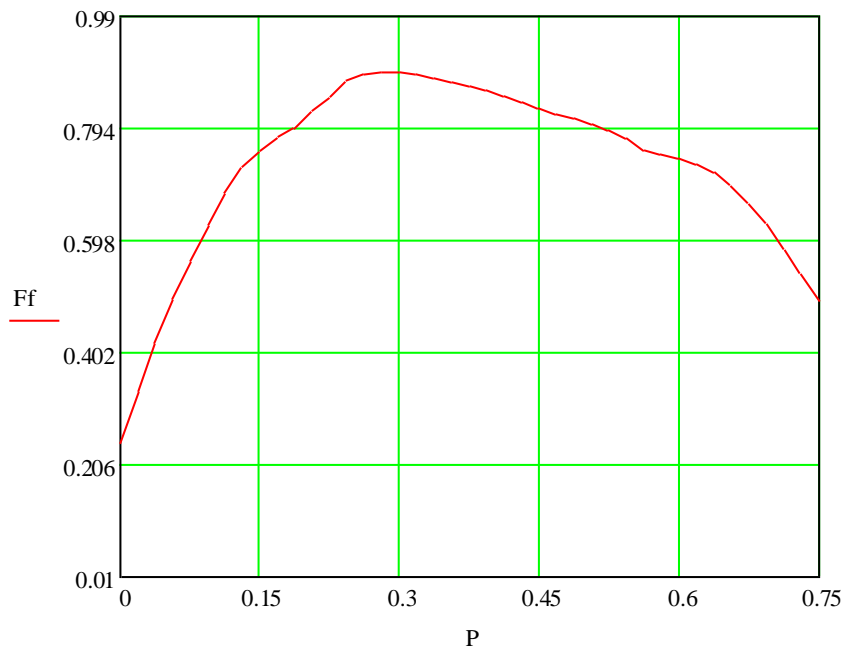


Рис.4. Залежність узагальненого критерію оптимальності від витрат перліту групи А

$$\text{OPT1}(F, n, a1, h1) := \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_0 \\ \text{im} \leftarrow 0 \\ \text{for } i1 \in 0..n-1 \\ \quad \text{if } F_{i1} > \text{MA} \\ \quad \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{MA} \leftarrow F_{i1} \\ \text{im} \leftarrow i1 \end{array} \right. \\ \text{x1m} \leftarrow a1 + h1 \cdot (\text{im}) \\ \text{z}_0 \leftarrow \text{MA} \\ \text{z}_1 \leftarrow \text{x1m} \\ \text{z} \end{array} \right.$$

Програма знаходження  
максимального  
значення критерію  
оптимальності з  
одновимірного масиву

$$\text{OPT1}(Ff, nn, a1, h) = \begin{pmatrix} 0.893 \\ 0.281 \end{pmatrix}$$

Висновок : оптимальними витратами перліту у ВАТ Калинівський групи А для очищення сиропу, що забезпечує максимальну мінімізацію вмісту солей кальцію, забарвленості і підвищує чистоту, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(X) = 0,893$  будуть 0,281.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

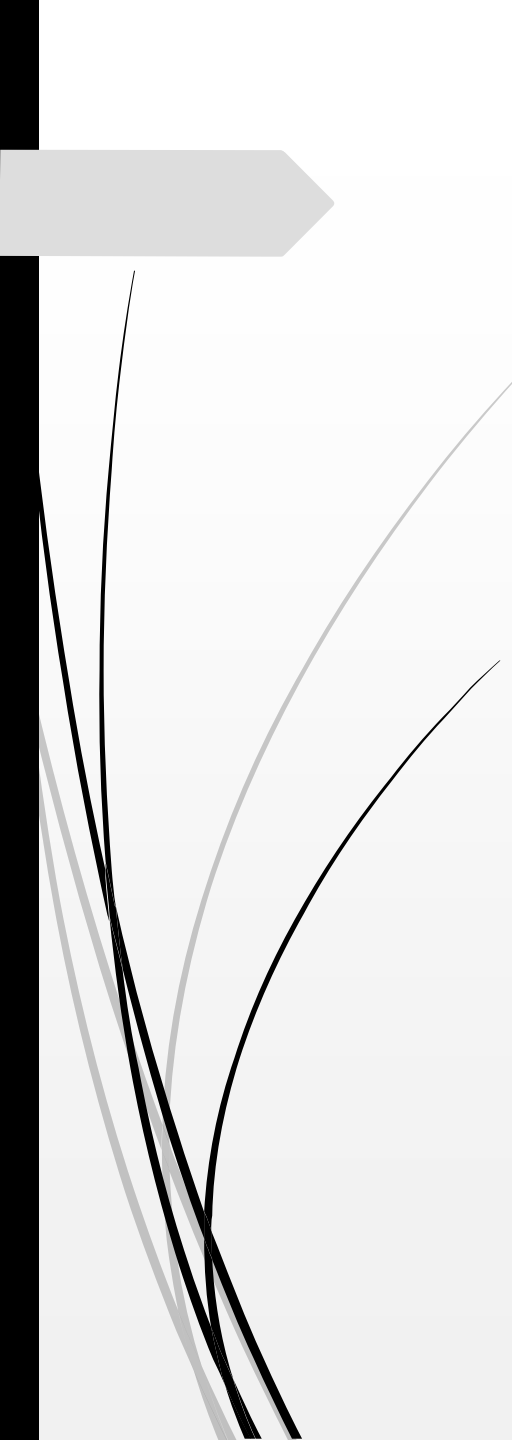
**ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 181 « ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ»**

**ОСВІТНЬО – ПРОФЕСІЙНОЇ ПРОГРАМИ « ТЕХНОЛОГІЇ ЦУКРУ ТА ПОЛІСАХАРИДІВ»**

**НА ТЕМУ : ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ  
ПРИРОДНІХ СОРБЕНТІВ**

**ВИКОНАВ :ЗДОБУВАЧ 2 КУРСУ, ГРУПИ ТЦ 2-10 М  
ТАРАСЕНКО АЛІНА ЕДУАРДІВНА**

**КЕРІВНИК к.т.н., професор ВИГОВСЬКИЙ ВАЛЕРІЙ ЮРІЙОВИЧ**



**Мета роботи** – на основі теоретичних і експериментальних досліджень впливу адсорбенту – клиноптилоліту та перліту на чистоту сиропу, солі кальцію, зокрема забарвленість, обґрунтувати і розробити нові способи очищення сиропу із застосуванням зазначеного реагенту, які б забезпечили високі показники його якості.

**Наукова новизна одержаних результатів.** В роботі удосконалено технологічну схему очищення сиропу, тому слід підкреслити відмінність цієї схеми від тієї, що є типовою. Також в даній роботі проводили дослідження щодо дії адсорбентів на показники сиропу, а саме чистота сиропу, вміст солей кальцію та забарвлення сиропу.

**Практична значимість результатів.** Проведено ряд експериментів, під час яких досліджували вплив природніх адсорбентів на показники якості сиропу, з метою їх покращення, а саме підвищення вмісту цукру в сиропі, зменшення кількості солей кальцію, зменшення забарвленості сиропу, підвищення чистоти.

**Клиноптилоліт** – висококремнієвий цеоліт зі співвідношенням кремнезему та глинозему від 3.5 до 10.5, який містить у середньому 60 % двоокису кремнію. Адсорбційні властивостями цеоліту-клиноптилоліту обумовлюються його структурою, яка складається з кремнистих тетраедрів та алюмокислих октаедрів. Поєднуючись одна з одною, такі елементарні структури утворюють відповідні шари, стрічки чи об'ємні утворення. Особливістю природних цеолітів є наявність системи пустот і каналів в структурі, об'єм яких може сягати 50 % загального обсягу мінералу, що зумовлює сорбційні властивості цеоліту.

**Перліт** – порошок вулканічного походження. Україна має унікальні природні запаси перлітової сировини а Закарпатті, які складають біля 120 млн. тонн. Головні компоненти перліту: діоксид кремнію  $\text{SiO}_2$  – 65...75%, оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 11...16%, оксид натрію  $\text{Na}_2\text{O}$  + оксид калію  $\text{K}_2\text{O}$  – 3...10%, 0,5–0,6% оксиду заліза  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , зв'язана вода – 1,0...10,0%. Крім високих дренажних характеристик перліт має адсорбційні властивості.



# Впровадження способу очищення сиропу природними адсорбентами в лабораторних умовах

Для даного дослідження було підготовлено сироп який розводили з дистильованою водою в співвідношенні 50:50, для проведення процесу фільтрування на вакуум-фільтраційній установці. Далі до цих об'ємів додано по 0,25; 0,5; 0,75 кліноптилоліту та перліту, де перша проба є контролем. Вихідні дані сиропу були наступними: СР=64; рН=8,1; Чистота=81,2;  $\text{Ca}^{2+}$ =0,095; Забарвленість=1286,6. Далі проводився процес адсорбування на поверхні сорбентів, час якого складає 30 хв та температура становить 85 °С.

Після проведення реакції між сиропом та адсорбентом, проводили фільтрування сиропу, за допомогою вакуум-фільтраційної установки. Після проведення дослідів було визначено вміст СР, Цк, солей кальцію, а також визначено чистоту та забарвленість сиропу.

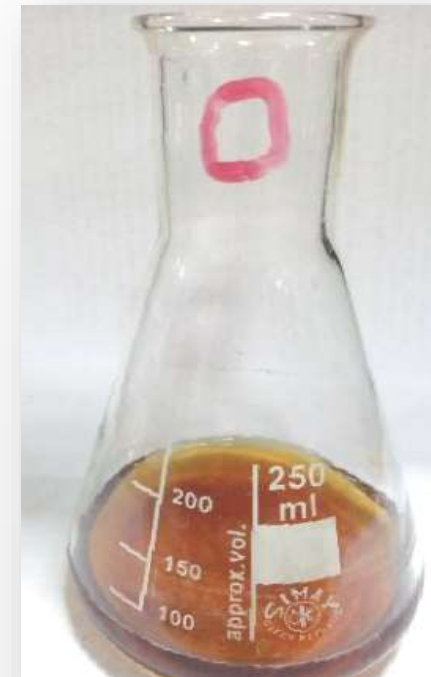


Рис.1 – вихідна проба сиропу

За новою технологічною схемою після сульфитації основна частина сиропу подається в адсорбер менша частина надходить в мішалку суспензії, куди дозується адсорбент. З мішалки суспензії, надходить суміш в адсорбер. Температура сиропу  $85^{\circ}\text{C}$ , час перебування сиропу з адсорбентом 30 хвилин, частота обертання мішалки 10об/хвилину. Сироп з адсорбентом подається на дискові фільтри.

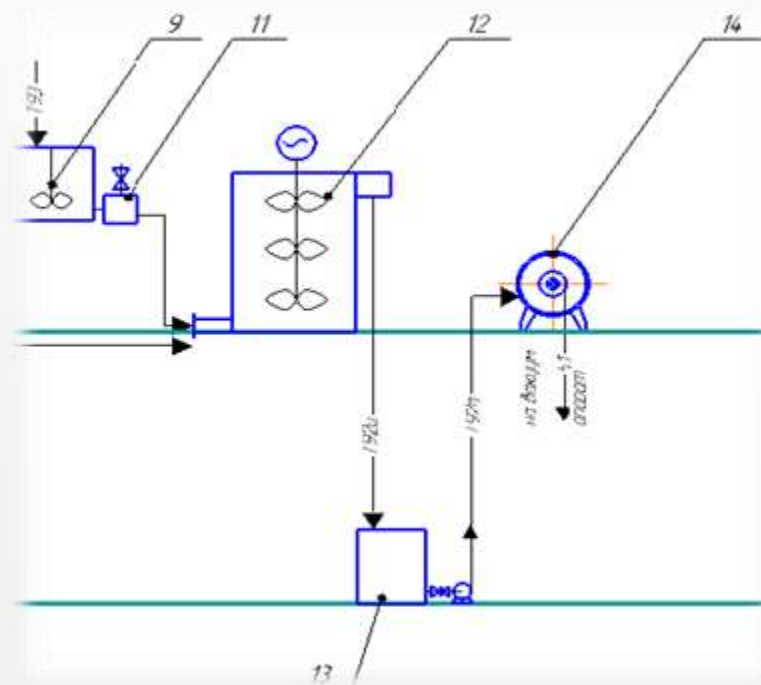


Рис. 2 – Встановлення додаткового обладнання в типову схему виробництва

## Дослідження очищення сиропу з застосуванням кліноптилоліту

Досліджували взаємодію природнього сорбенту з заводським сиропом, який розводили з дистильованою водою для проведення процесу фільтрації в співвідношенні 1:1.

Для проведення дослідження використовували кліноптилоліт з фракцією 0,2-0,05 м. В проби сиропу додавали кліноптилоліт в кількості 0,25; 0,5; 0,75 %. Під час проведення дослідження фіксували наступні показники : СР, рН, Зб, солі кальцію, чистоту.

Розроблений спосіб обробки сиропу кліноптилолітом показав, що чистота сиропу покращується, але показники якості сиропу такі як солі кальцію та забарвленість не дають практичного підвищення якості сиропу, тому даний спосіб підлягає подальшому вивченню дії сорбенту.

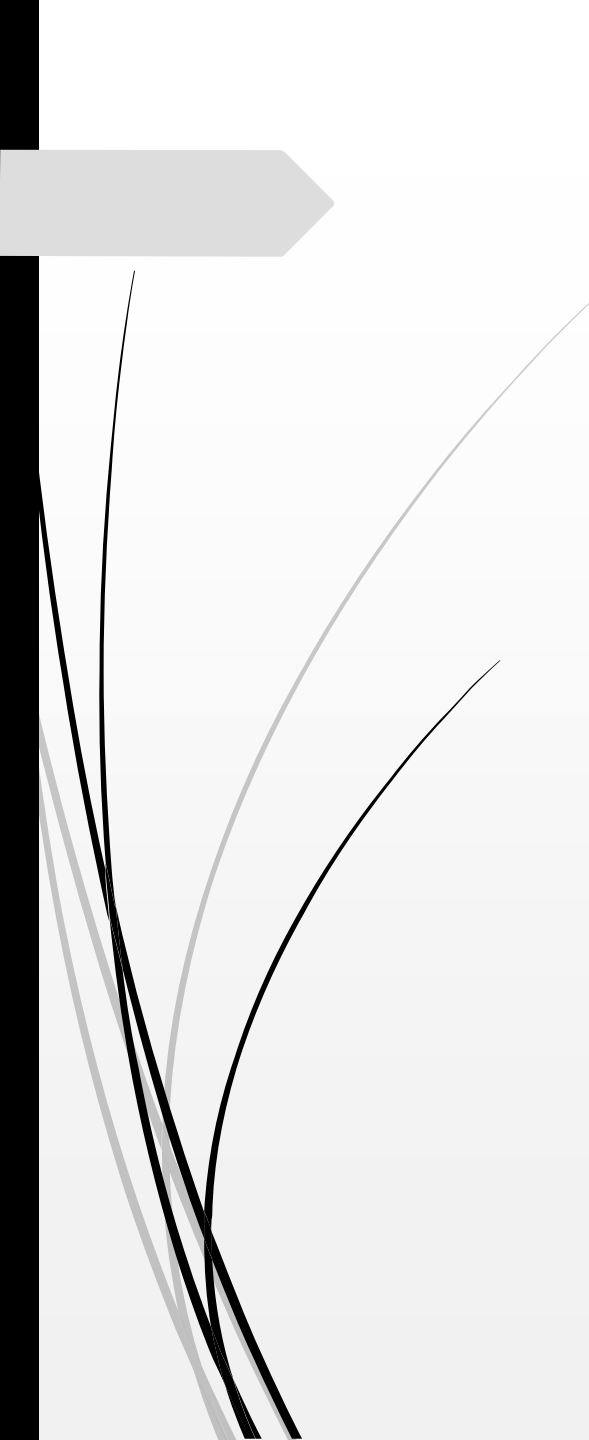
## Результати дослідження

| № Досліду | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.г уст. ICUMS А |
|-----------|------------------|------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 1         | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                              |
| 2         | 0,25 %           | 81,3       | 0,086                       | 1011,1                              |
| 3         | 0,5 %            | 82,1       | 0,090                       | 1013,3                              |
| 4         | 0,75 %           | 82,6       | 0,095                       | 1282,2                              |



Рис.3 – Проби сиропу після взаємодії з сорбентом та процесу фільтрування

З використанням кліноптилоліту в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % на 100 грам розчину, солі кальцію в другому та третьому досліді зменшились на 0,009; 0,005 % відповідно; Використання кліноптилоліту в кількості 0,75 % недоцільно, оскільки покази солей кальцію є незмінними.



Враховуючи те, що досліді проводились з сиропом низької якості ( $\text{Ч}=81,25$ ), тому на даному графіку спостерігається приріст чистоти, відомо що чим більше в розчині нецукрів тим більше вони адсорбуються на одиниці до маси сорбенту.

Солі кальцію в другому та третьому досліді зменшились на 0,009; 0,005 % відповідно; Використання кліноптилоліту в кількості 0,75 % недоцільно, оскільки покази солей кальцію є незмінними.

Проведено дослідження впливу сорбенту на забарвленість сиропу. Результати даного дослідження показали, що забарвленість сиропу зменшується на 275,5; 273,3; 4,4 одиниць відповідно.

## Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту ВАТ Калинівський групи А

Проба номер 1 перлітом в кількості 0,25% . З даних результатів дослідження можна побачити, що чистота сиропу в порівнянні з вихідним розчином покращилась на 3,5 одиниці, солі кальцію зменшились на 0,005 %, а також має місце значне зниження забарвленості розчину на 308,9 одиниць.

| № Досліду | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|-----------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1         | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2         | 0,25 %           | 84,7       | 0,09                        | 977,7                             |

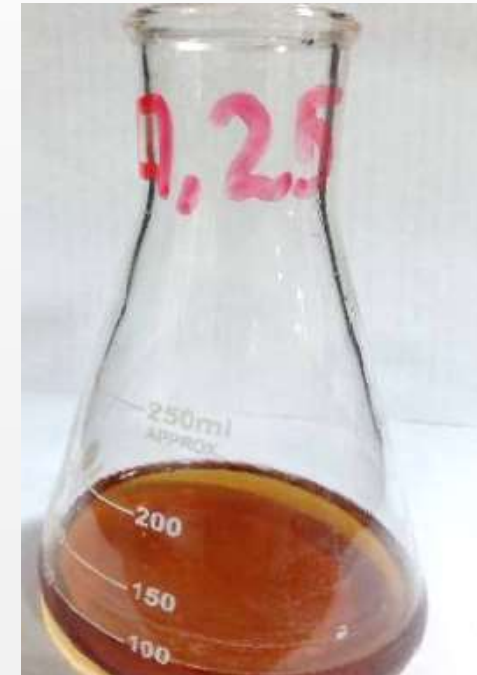


Рис.4 – Сиропу після взаємодії з перлітом та після процесу фільтрації

Наступним дослідження є вплив перліту на розчин в кількості 0,5 грамів.

| № Дослід | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|----------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1        | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2        | 0,5 %            | 84,9       | 0,095                       | 982,2                             |

Виходячи з даної таблиці можна бачити, що чистота розчину покращилась на 3,7 одиниці; солі кальцію є незмінними, а забарвленість зменшилась на 304,4 одиниці.

| № Дослід у | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,75 %           | 81,8       | 0,095                       | 786,6                             |

Ми можемо зробити висновки щодо внесення в пробу сиропу 0,75% перліту. Чистота покращилась в порівнянні з вихідним розчином, показники солей кальцію не змінилися та забарвленість зменшилась на 500 одиниць.

## Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту IV ступеня $\gamma$ - 101 кг/м<sup>3</sup>

Метою наших наступних досліджень було виявити доцільність застосування перліту IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup> для додаткового очищення сиропу.

До проб сиропу додавали перліт IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup> в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % до маси сиропу. Сухі речовини = 67,6; рН розчину – 8,2.

| № Дослідду | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25 %           | 82,8       | 0,09                        | 955,5                             |

Приріст чистоти сиропу в даному дослідженні становить 1,6 одиниць. Солі кальцію зменшились на 0,005%; Забарвленість знизилась на 331,1 од.

| №<br>Дослід<br>у | Показник            | Чистота,<br>% | Солі кальцію<br>% СаО до м. СР | Забарвленість<br>Од.опт.густ.<br>ICUMSA |
|------------------|---------------------|---------------|--------------------------------|---|
| 1                | Сироп<br>(контроль) | 81,2          | 0,095                          | 1286,6                                  |
| 2                | 0,5 %               | 83,8          | 0,093                          | 966,6                                   |

Чистота розчину підвищилась на 2,6 одиниці, солі кальцію та забарвленість зменшились на 0,002 % і 320 одиниць.

Можна зробити висновки, що чистота сиропу зросла на 1,4 одиниці; сухі речовини збільшились; сухі речовини = 72,6, рН розчину 8,2. Солі кальцію та забарвленість сиропу зменшились на 0,004 % та 297,8 од.

| №<br>Дослі<br>ду | Показник            | Чистота,<br>% | Солі кальцію<br>% СаО до м.<br>СР | Забарвленість<br>Од.опт.густ.<br>ICUMSA |
|------------------|---------------------|---------------|-----------------------------------|---|
| 1                | Сироп<br>(контроль) | 81,2          | 0,095                             | 1286,6                                  |
| 2                | 0,75 %              | 82,6          | 0,091                             | 988,8                                   |

## Дослідження очищення сиропу з застосуванням перліту $\gamma$ - 90 кг/м<sup>3</sup>

Проведення обробки сиропу перлітом веде до додаткового видалення високомолекулярних сполук, аніонів кислот та барвних речовин, що сприяє підвищенню чистоти сиропу. З теорії адсорбції відомо, що при адсорбції розчинних домішок із одного і того ж розчину ступінь адсорбції повинен зростати з підвищенням концентрації домішок.

До проб сиропу додавали перліт  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup>, в кількості 0,25; 0,5; 0,75 % до маси сиропу.

| № Дослід у | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25%            | 85,6       | 0,066                       | 897,7                             |

За даними показниками, можна бачити, що сухі речовини = 69,2 ( на 5,2 одиниці більше ніж контрольної проби сиропу ); рН = 8,2 – незмінний; При даних витратах перліту суттєво покращуються якісні показники, збільшення чистоти на 4,4 %; солі кальцію зменшились 0,029 %. Забарвленість покращилась на 388,9 одиниць.

| № Дослід у | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,5 %            | 84,4       | 0,069                       | 911,1                             |

З даної таблиці можна побачити, що чистота сиропу зросла на 3,2 %, солі кальцію зменшились на 0,026 %, а забарвленість покращилась на 375,5 од.

Згідно розрахунків, робимо висновки, що чистота зросла на 3,1 %. Солі кальцію зменшились на 0,02 % ; забарвленість сиропу зменшилась на 362,2 од.

| № Дослід у | Показник         | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | Сироп (контроль) | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,75 %           | 84,3       | 0,075                       | 924,4                             |

## Дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесом

### дефекосатурації сиропу

Для даного дослідження проводили повторне дослідження впливу перліту ( $\gamma$  - 90) за розробленою раніше схемою. Час процесу 30 хвилин, далі проводили процес фільтрування на вакуум – фільтраційній установці.

Отримали наступні результати : рН сиропу – 8,2, СР = 66,2, чистота сиропу = 87,6; Забарвленість 897,7.

За результатами даного дослідження можна зробити наступні висновки: чистота сиропу після процесу дефекосатурації підвищилась на 3,3 %; солі кальцію зменшились на 0,005%; забарвленість розчину зменшилась на 60 од., що говорить про ефективність даного методу.

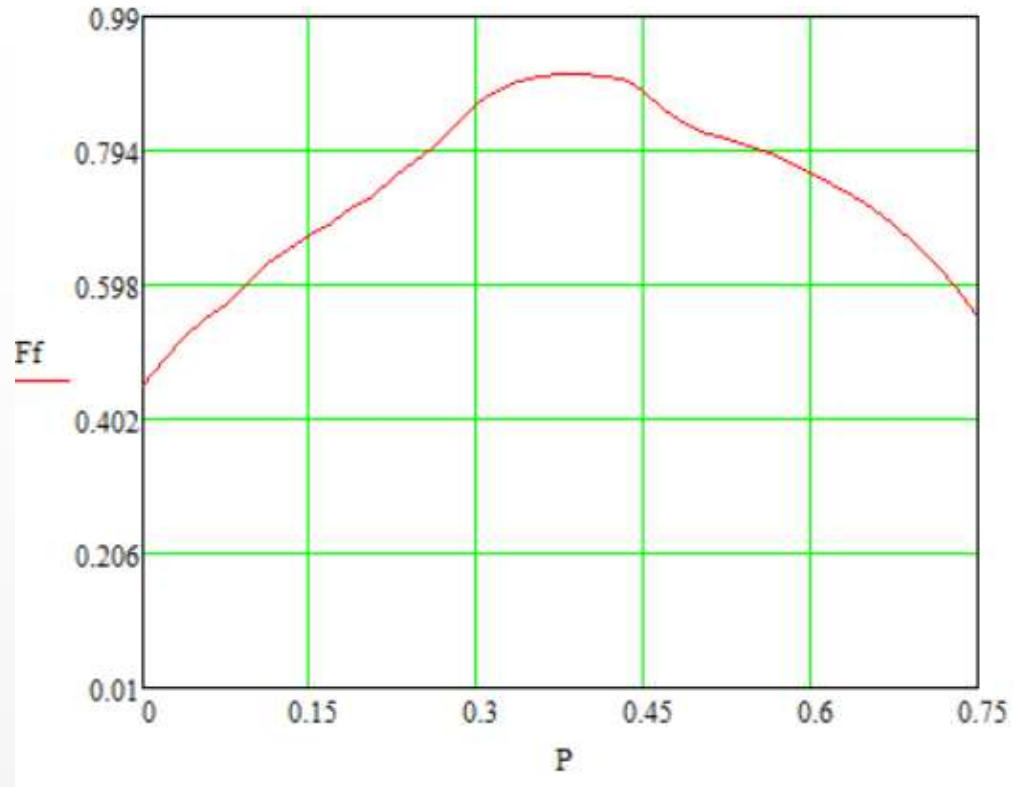
| № Досліду | Показник            | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|-----------|---------------------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1         | Сироп (контроль)    | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2         | 0,25 гр             | 87,6       | 0,066                       | 897,7                             |
| 3         | 0,25гр + 0,25гр СаО | 90,9       | 0,061                       | 837,7                             |

# ОПТИМІЗАЦІЯ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ ПРИРОДНИМИ СОРБЕНТАМИ

## Знаходження оптимальної кількості кліноптилоліту для очищення сиропу

В таблиці представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення

| №<br>Дослід | Показник | Чистота,<br>% | Солі кальцію<br>% СаО до м. СР | Забарвленість<br>Од.опт.густ.<br>ICUMSA |
|-------------|----------|---------------|--------------------------------|---|
| 1           | 0        | 81,2          | 0,095                          | 1286,6                                  |
| 2           | 0,25     | 81,3          | 0,086                          | 1011,1                                  |
| 3           | 0,5      | 82,1          | 0,090                          | 1013,3                                  |
| 4           | 0,75     | 82,6          | 0,095                          | 1282,2                                  |



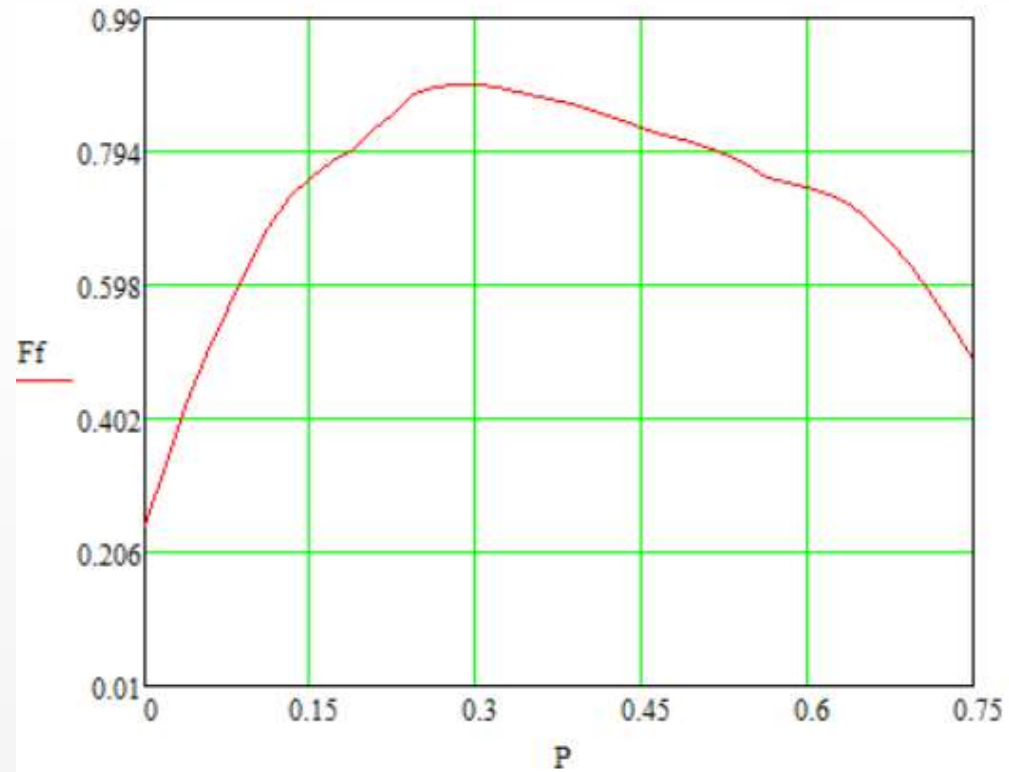
Оптимальна кількість клиноптилоліту для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.906$  будуть 0.394.

## Знаходження оптимальної кількості перліту ВАТ

### Калинівський групи А для очищення сиропу

В таблиці представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення

| № Дослідду | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|------------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1          | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2          | 0,25     | 84,7       | 0,09                        | 977,7                             |
| 3          | 0,5      | 84,9       | 0,095                       | 982,2                             |
| 4          | 0,75     | 81,8       | 0,095                       | 786,6                             |

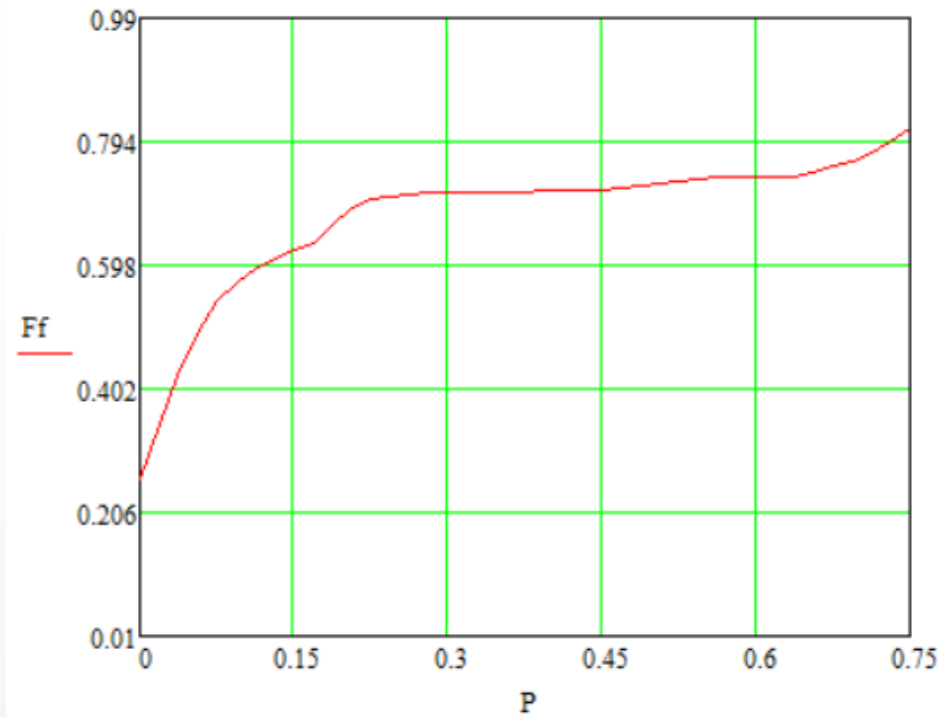


Оптимальна кількість перліту ВАТ Калинівський групи А для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.893$  будуть 0.281.

**Знаходження оптимальної кількості перліту IV  
ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу**

В таблиці представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

| № Дослід | Показник | Чистота,<br>% | Солі кальцію<br>% СаО до м. СР | Забарвленість<br>Од.опт.густ.<br>ICUMSA |
|----------|----------|---------------|--------------------------------|---|
| 1        | 0        | 81,2          | 0,095                          | 1286,6                                  |
| 2        | 0,25     | 82,8          | 0,09                           | 955,5                                   |
| 3        | 0,5      | 83,8          | 0,093                          | 966,6                                   |
| 4        | 0,75     | 88,6          | 0,094                          | 988,8                                   |



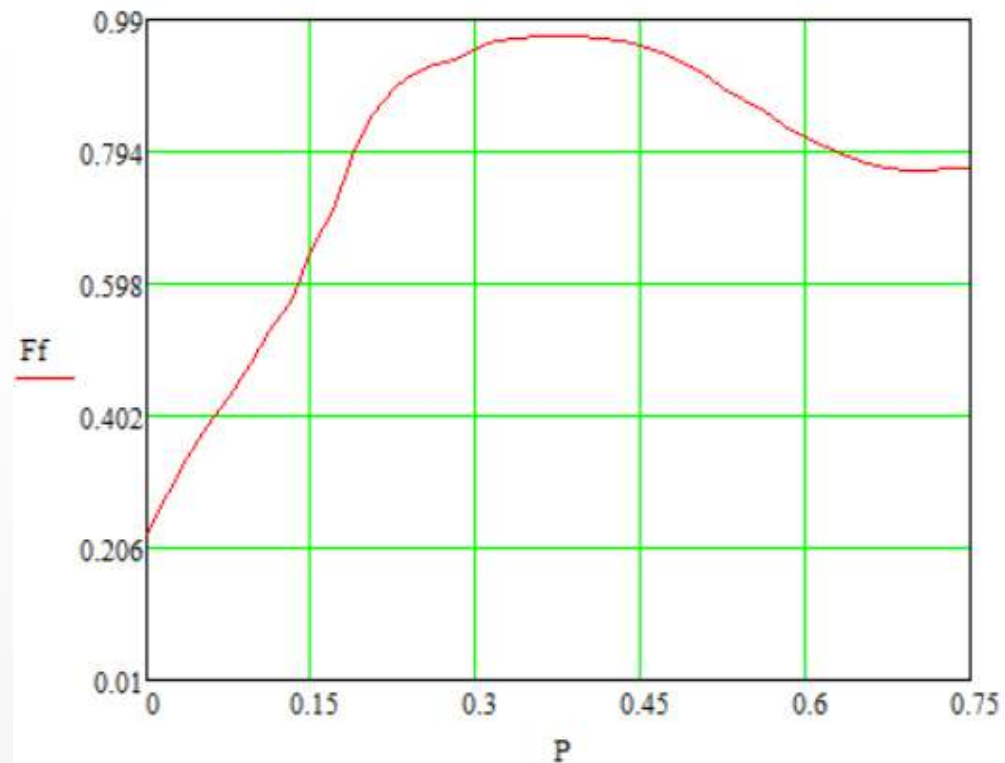
Оптимальна кількість перліту IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.795$  будуть 0.731.

## Знаходження оптимальної кількості перліту $\gamma$ - 90

кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу

В таблиці представлені дослідні дані для розроблення математичної моделі процесу очищення.

| № Дослідю | Показник | Чистота, % | Солі кальцію % СаО до м. СР | Забарвленість Од.опт.густ. ICUMSA |
|-----------|----------|------------|-----------------------------|-----------------------------------|
| 1         | 0        | 81,2       | 0,095                       | 1286,6                            |
| 2         | 0,25     | 87,6       | 0,066                       | 897,7                             |
| 3         | 0,5      | 88,4       | 0,069                       | 911,1                             |
| 4         | 0,75     | 86,7       | 0,075                       | 924,4                             |



Оптимальна кількість перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup> для очищення сиропу, що забезпечує зменшення забарвленості, вмісту солей кальцію та підвищення чистоти, при максимальному значенні узагальненого критерію оптимальності  $F(x) = 0.966$  будуть 0.375

## ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ОЧИЩЕННЯ СИРОПУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРИРОДНІЙ СОРБЕНТІВ

Технологія очищення сиропу із застосуванням природніх сорбентів таких як кліноптилоліт, перліт не має негативного впливу на навколишнє середовище так як, цеоліти це природні мінерали групи алюмосилікатів лужних та лужноземельних металів з характерною кристалічною будовою. Цеоліти відносяться до екологічно чистих, нетоксичних та інертних матеріалів придатних до промислового використання. Для відновлення ємнісних властивостей цеолітів потрібно проводити регенерацію сорбенту.

Процес регенерації доцільно організовувати в дві стадії - спочатку обробляти сорбент цукровмісним розчином, а потім розчином NaCl для досягнення потрібного ступеня регенерації.

*В результаті економічного розрахунку робимо висновки:*

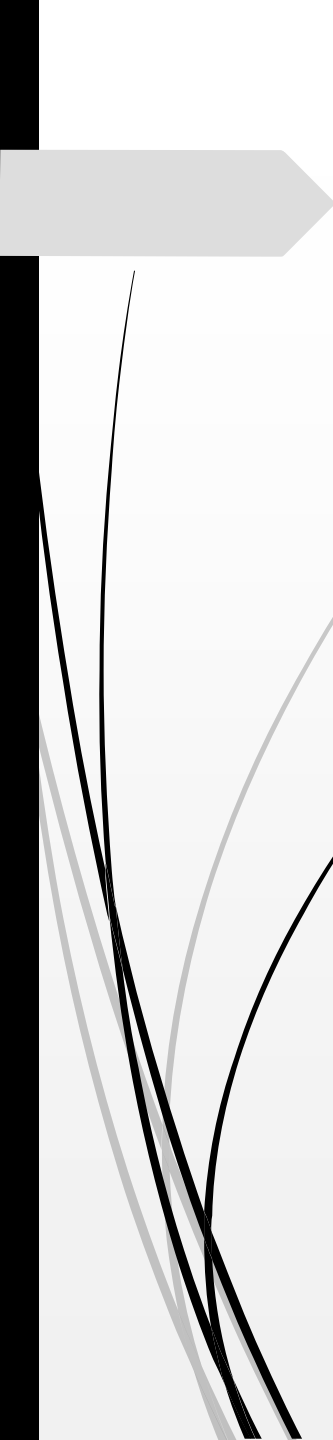
1. Завдяки впровадженню даного методу додаткового очищення сиропу, показник рентабельності збільшився на 2,28 %, і становить 10,73.
2. При розрахунках визначили, що термін окупності становить 0,91 рік, що доводить доцільність впровадження даного проекту на виробництві .

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі досліджувався вплив кліноптилоліту та перліту на вміст солей кальцію, забарвленість та чистоту сиропу.

Проаналізувавши кожен із вище описаних методів можна зробити наступні висновки.

1. Вихідний сироп містить 64 % сухих речовин, чистота становить 81,2, солі кальцію - 0,095, забарвленість - 1286,6, та має чистоту 81,2 %.
2. Ефективність використання кліноптилоліту для покращення показників якості сиропу. Сироп мав задовільні показники по досліджуваним параметрам. З використанням кліноптилоліту в ході роботи були отримані задовільні результати щодо зменшення солей кальцію та зниження забарвленості сиропу. З використанням кліноптилоліту в кількості 0,5% на 100 грам розчину, солі кальцію зменшились на 0,005; чистота підвищилась на 0,9 одиниць; забарвленість зменшилась на 273,3 одиниць.
3. Досліджено використання для підвищення чистоти сиропу природнього адсорбенту перліту Калинівського. Найкращі показники зафіксовано при внесенні 0,5 % сорбенту. Встановлено підвищення чистоти сиропу на 3,5 одиниць; забарвленість зменшилась на 308,9 одиниць; солі кальцію зменшились на 0,005%.



Даний спосіб є хімічно безпечним та відносно дешевим. Перліт IV ступеня  $\gamma$  - 101 кг/м<sup>3</sup>. Найкращі показники зафіксовано при внесенні сорбенту в кількості 0,5% - чистота розчину підвищилась на 2,6 одиниці, солі кальцію та забарвленість зменшились на 0,002 % і 320 одиниць; перліту  $\gamma$  - 90 кг/м<sup>3</sup> – найкращі показники зафіксовано при внесенні 0,25% сорбенту - збільшення чистоти на 4,4 %; солі кальцію зменшились 0,029 %; забарвленість покращилась на 388,9 одиниць.

4. Проведено дослідження впливу перліту на показники сиропу з подальшим процесом дефекосатурації сиропу. За результатами даного дослідження маємо: чистота сиропу після процесу дефекосатурації підвищилась на 3,3 %; солі кальцію зменшились на 0,005%; забарвленість розчину зменшилась на 60 одиниць. Дані результати підтверджують доцільність впровадження даного способу.

5. Розроблено технологічну схему внесення сорбенту в сироп, за допомогою якої можна виконати додаткове очищення сиропу, для підвищення його якості та збільшення виходу готової продукції.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!