

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ОСАДЧУК ПЕТРО ІГОРОВИЧ



УДК 62229.316.0002.5

Науково-технічні основи створення енергоефективного  
обладнання підвищення якості рослинних олій

Спеціальність 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних  
та фармацевтичних виробництв

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Одеса 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису  
Робота виконана в Одеському державному аграрному університеті  
Міністерство освіти і науки України

**Науковий  
консультант**

- доктор технічних наук, професор

**Топілін Геннадій Євгенович**

Одеський державний аграрний університет, кафедра експлуатації та ремонту машино-тракторного парку, завідувач кафедри

- доктор технічних наук, професор,  
лауреат державної премії

**Бурдо Олег Григорович**

Одеська національна академія харчових технологій, кафедра процесів, обладнання та енергетичного менеджменту, завідувач кафедри

**Офіційні  
опоненти**

- доктор технічних наук, професор,

**Потапов Володимир Олексійович,**

Харківський державний університет харчування та торгівлі, кафедра холодильної та торгівельної техніки і прикладної механіки, завідувач кафедри

- доктор технічних наук, професор,

**Паламарчук Ігор Павлович,**

Національний університет біоресурсів і природокористування України, кафедра процесів і обладнання переробки продукції АПК, професор кафедри

- доктор технічних наук, доцент,

**Сабадаш Віра Василівна,**

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра екології та збалансованого природокористування, професор кафедри

Захист відбудеться « 20 » квітня 2021 року об 10<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.088.01 Одеської національної академії харчових технологій за адресою 65039 м. Одеса, вул.. Канатна, 112

Автореферат розіслано « 19 » березня 2021 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
канд. техн. наук, доцент

Т. І. Нікітчина

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми:** Рослинні олії широко застосовуються в різних галузях народного господарства. Надзвичайно висока їх харчова цінність полягає в тому, що вони легко засвоюються організмом людини і є високо енергетичним продуктом. Біологічна повноцінність і екологічна безпека харчових, зокрема жирових, продуктів - найважливіша задача при їхньому виробництві. У виробництві рослинних олій екологічна чистота досягається технологічними обробками, що приводять до видалення небажаних з'єднань і домішок (ядохімікатів, токсичних елементів, канцерогенів і ін.). Наукові дослідження багатьох лабораторій показали, що для здоров'я людини представляють небезпеку деякі окремі компоненти олій і жирів, а також продукти їхнього окислювання і розпаду.

У олійній галузі все більшого значення набуває всебічне поліпшення якості рослинних олій. У цьому плані перед промисловістю стоїть ряд завдань, однією з яких є зниження вмісту супутніх речовин у рослинних оліях. Наприклад фосфатиди, підвищуючи харчові цінності рослинних олій, в той же час погіршують їх товарні якості, так як сприяють утворенню об'ємних осадів при зберіганні олій і ускладнюють технологічні процеси рафінації і гідрогенізації. У зв'язку з цим виникла необхідність в обмеженні залишкового вмісту фосфатидів в залежності від подальшого призначення олії.

Аналіз показує, що відомі вітчизняні та зарубіжні схеми рафінації та дезодорації олій в місцелі відрізняються складністю і не забезпечують високої продуктивності ділянок рафінації олії ні на діючих підприємствах, ні на заводах майбутнього.

Існуючі способи первинного очищення і гідратації соняшникової олії практично не дозволяють отримувати прозорий продукт, який не виділяє осад при зберіганні.

Проаналізовані методи очистки рослинних олій підтверджують позитивний вплив фізичних полів, але є необхідність у подальшому вивченні цих процесів. Оскільки літературні джерела вказують на вузький спектр проведених раніше дослідів обумовлених тими чи іншими чинниками. Також актуальність проведення цих дослідів підтверджується сучасними вимогами до збереження енергетичних ресурсів процесу очищення олій, при умові отримання кінцевого продукту високої якості.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертація виконувалась у розрізі теми НДР: «Науково-технічні основи зберігання і переробки біополімерів рослинного походження з використанням тепла та холоду». Номер державної реєстрації НДР: 0111U000219. «Розробка новітніх технологій очистки олій рослинного походження з використанням фізичних полів в умовах агровиробництва». Реєстраційна картка НДР, №0118U006006. Отримані результати досліджень були опубліковані у наукових працях різних видань.

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є удосконалення технологій очищення рослинних олій при залученні сучасних принципів ультразвукового, електрофізичного та механічного впливу, розробка енергоефективного обладнання та методів його розрахунку і оптимізації.

Для здійснення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

1. Отримати математичний опис протікання процесу коагуляції, який дозволить оптимізувати час видалення супутніх речовин на обладнанні для первинного і вторинного очищення рослинних олій.

2. Розглянути зміну дисперсного складу домішок при коагуляції на основі поняття анізотропії вільного пробігу частинки. Розробити спеціальну шкалу класових інтервалів гістограми розподілу їх розмірів. Розрахувати імовірності класових інтервалів методами теорії марковських ланцюгів.

3. Провести аналітичне та експериментальне моделювання процесу фільтрації рослинних олій для визначення технологічних параметрів ультразвукової обробки, а саме:

4. Створити конструкцію експериментальної установки з ультразвуковим генератором. Розробити методику визначення ефективної полоси частот ультразвуку, потужності випромінювання ультразвуку та часу очищення рослинних олій.

5. Провести експериментальні дослідження процесу очищення соняшникової олії, отримати базу експериментальних даних, узагальнити експериментальні дані.

6. Провести математичне та експериментальне моделювання процесу гідратації для визначення технологічних параметрів електромагнітної обробки рослинних олій.

7. Створити конструкцію експериментальної установки для обробки олій електромагнітним полем. Розробити методику визначення ефективної полоси напруженості електромагнітного поля, температури місцели та часу гідратації рослинних олій. Провести експериментальні дослідження за допомогою яких рекомендувати раціональні технологічні параметри використання електромагнітного поля при гідратації олій.

8. Розробити математичну модель центрифугування рослинних олій з метою видалення супутніх речовин при їх очистці фізичними методами. На підставі розробленої математичної моделі визначити ефективний період роботи роторної машини у залежності від дисперсного складу домішок.

9. Визначити інженерну методику розрахунку та оптимізації інноваційного обладнання. Використовуючи інженерні методи провести розрахунок процесів відділення супутніх речовин в умовах ультразвукової кавітації та електромагнітних хвиль.

10. Провести виробничі випробування розробленого обладнання.

*Об'єктами досліджень* - складні технологічні комплекси, призначені для очищення рослинних олій.

*Предметом досліджень* - обладнання для первинного та вторинного очищення рослинних олій.

*Методи дослідження.* Методи системного моделювання технологічних комплексів та досліджень енергетичних характеристик для оцінки ефективності енерговитрат та їх удосконалення. Методи математичного модулювання процесу очищення рослинних олій, для визначення наступних математичних завдань: моделювання визначення у полі відцентрових сил дисперсного складу домішок які прокоагулювали та моделювання розподілу ультразвукового та електромагнітного полів в об'ємі робочої зони очищення олій, з використанням комп'ютерної техніки та прикладних програмних пакетів. Методи експериментальних досліджень впливу фізичних полів на процес первинної та вторинної очистки рослинних олій, для визначення рекомендованих режимних параметрів.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше науково обґрунтовані технічні основи процесів очищення рослинних олій на основі представленої дискретної моделі коагуляції домішок та побудованого алгоритму зміни дисперсного складу домішок, в якому застосовано спеціально розроблений метод визначення класових інтервалів гістограм.

Вперше на основі теорії марковських ланцюгів встановлені нові залежності між довжиною вільного пробігу часток домішок їх концентрації та оптимальним часом процесу очистки.

Вперше запропоновано оптимальну схему процесу повної очистки рослинних олій для отримання продукції вищого ґатунку. З використанням ультразвукового та електромагнітного полів при первинній та вторинній очистці та наведені рекомендовані технологічні параметри використання даних полів.

Розроблена математична модель центрифугування з алгоритмом обчислення полів швидкостей. Встановлено ефективний період роботи роторної машини в залежності від дисперсного складу домішок на підставі визначеної методики розрахунку оптимальних значень продуктивності та потужності.

**Практичне значення отриманих результатів.**

Створена конструкція експериментальної установки з ультразвуковим генератором. Визначенні ефективні полоси частот ультразвуку, потужності випромінювання ультразвуку та часу очищення рослинних олій.

Створена конструкція експериментальної установки для обробки олій електромагнітним полем. Рекомендовані раціональні технологічні параметри використання електромагнітного поля при гідратації олій.

Проведені інженерні розрахунки процесу фільтрації рослинних олій в умовах ультразвукової кавітації.

Проведені інженерні розрахунки процесу гідратації рослинних олій в умовах електромагнітних хвиль.

Розроблені комп'ютерні програми: - розрахунку ефективної швидкості видалення супутніх речовин та часу обробки олій у центробіжному полі;

- розподілу магнітної індукції у електромагнітному апараті при гідратації рослинних олій

На підставі проведеного теоретичного моделювання швидкості та часу видалення зважених часток з соняшникової та ріпакової олії отримані рекомендовані параметри часу та швидкості роботи центрифуги для даних видів олій

Запропонована інноваційна схема очищення рослинних олій за допомогою ультразвукового та електромагнітного полів.

**Особистий внесок здобувача.** Автор отримав математичний опис протікання процесу коагуляції при очищенні рослинних олій, по якому розраховується оптимальний час коагуляції на обладнанні для первинного і вторинного очищення рослинних олій. Провів аналітичне та експериментальне моделювання процесу фільтрації рослинних олій для визначення технологічних параметрів ультразвукової обробки. Провів математичне та експериментальне моделювання процесу гідратації для визначення технологічних параметрів електромагнітної обробки рослинних олій.

Розробив математичну модель центрифугування рослинних олій з метою видалення супутніх речовин при їх очистці фізичними методами. На підставі розробленої математичної моделі визначив ефективний період роботи роторної машини в залежності від дисперсного складу домішок.

Особистий внесок здобувача полягає у розробці методик досліджень, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, обробці та аналізу отриманих результатів. У наукових працях, виконаних у співавторстві, здобувачеві належать: планування дослідної роботи, організація експерименту і участь у його реалізації, обробка результатів досліджень. В усіх представлених в дисертаційній роботі теоретичних та експериментальних результатах здобувач приймав особисту участь при постановці задачі, аналізу результатів, обґрунтуванні рекомендацій та висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи докладені на щорічних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу і наукових співробітників ОДАУ з 2002 – 2020 р.р., на 11 міжнародній науково-методической конференції (г. Сумы, 2004 г.), на 5 міжнародній науково -практичній конференції «Хлібопродукти-2005» (м. Одеса, 2005р.), на 5 міжнародній науково – технічній конференції «MOTROL'2005» (м. Люблін – Одеса, 2005 р.), на міжнародній науково – технічна конференція “MOTOROL 2010” (м. Люблін 2010 р.), на щорічних міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми енергетичної ефективності харчових та хімічних виробництв», (м. Одеса, 2010 -2016 р.р.), на VII міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна наука і освіта на сучасному етапі розвитку опит, проблеми та шляхи їх рішення», ( м. Ульяновськ 2016 р.), на VIII міжнародній науково-практичній конференції «Аграрна наука і освіта на сучасному етапі розвитку опит, проблеми та шляхи їх рішення», ( м. Ульяновськ 2017 р.), на міжнародному науково-практичному семінарі «Ресурсозберігаючі технології при зберіганні с. г. продукції», (м. Орел, 2018 р.), на міжнародній науково –

практичній конференції до століття ОДАУ, (м. Одеса, 2018 р.), на XVII міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв», (м. Одеса, 2018 р.), на міжнародній науково-практичній інтернет - конференції «Розвиток ресурсного потенціалу сільських територій» (м. Одеса, 2018 р.), на VII міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології», (м. Одеса, 2019 р.), на научна сесия с международно участие „Екология и агротехнологии – фундаментална наука и практическа реализация” (г. София, 2019), на II міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні технології для забезпечення безпеки життєдіяльності та довголіття людини», (м. Одеса, 2019 р.), на XIX міжнародній науково-практичній конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв», (м. Одеса, 2020 р.), на IV international eurasia agriculture and natural sciences congress, (с. Istanbul, 2020 year), на научна сесия с международно участие „Екология и агротехнологии – фундаментална наука и практическа реализация” (г. София, 2020).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 58 наукових праць з них 36 у фахових наукових виданнях, з них 7 статей у закордонних періодичних виданнях та в українських виданнях, що включені до міжнародних науково метричних баз, зокрема 1 статтю включено до міжнародної науково метричної бази SCOPUS, 3 патенти на корисну модель.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з 10 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 417 найменувань вітчизняних і закордонних авторів на 48 сторінках та додатків. Дисертаційну роботу викладено на 311 сторінках основного тексту, вона містить 15 таблиць, 72 рисунка та 11 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформовані: мета, завдання досліджень, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів. Показано результати апробацій та особистий внесок здобувача в проведених дослідженнях та публікаціях.

**У першому розділі** «Огляд літератури та вибір направлення дослідів», проаналізована ситуація виробництва рослинних олій показала що, рафінована соняшникова олія все більше затребувана на світовому ринку. Якщо до недавно нашу продукцію купували в 55 країнах, то в минулому році географія поставок нашої групи розширилася до 69 країн. Найближчим часом світовий попит на соняшкову олію продовжить збільшуватися, особливо з боку країн Азії, жителі яких активно переходять зі споживання пальмової олії на соняшкову. На зовнішньому ринку великі перспективи для соняшкової та ріпакової олій, тому олійна галузь продовжить розвиватися і нарощувати обсяги виробництва. Аналіз властивості рослинних олій показав що, рослинні олії багаті на ряд вітамінів та жирних кислот, а саме незамінних поліненасичених жирних кислот, вітаміни А, В<sub>3</sub>, В<sub>6</sub>, Е, К. Завдяки цим

вітамінам в організмі людини протікає синтез фізіологічно активних регуляторів всіх обмінних процесів. Однак наукові дослідження багатьох лабораторій показали, що для здоров'я людини представляють небезпеку деякі окремі компоненти олій і жирів, а також продукти їхнього окислювання і розпаду. Розглянуті існуючі методи очистки рослинних олій, які включають в себе видалення механічних домішок, вільних жирних кислот, фосфоліпідів або фосфатидів, восків та воскоподібних речовин, барвників, ароматичних речовин, вологи. Проаналізована технологія та обладнання повної схеми очищення рослинних олій, яка показує складність даного технологічного процесу, а також його енергоємність. Розглянуті деякі сучасні методи інтенсифікації очистки рослинних олій, де виявлено позитивний вплив фізичних полів. Поставлено завдання дослідження впливу фізичних полів на процес первинного та вторинного очищення рослинних олій.

У другому розділі «Методологія, методи та об'єкти досліджень», наведено методологію науково-технічних досліджень технологій комплексного очищення олій (рис.1). Приведена характеристика об'єктів дослідження якими є складні технологічні комплекси, призначені для очищення рослинних олій від небажаних домішок та отримання продукції високої якості. Основним аспектом аналізів є енерготехнологічні та якісні показники цих комплексів. У якості предмета досліджень розглядаються фільтраційні та гідратаційні апарати. Представлено класифікацію процесів комплексного очищення рослинних олій та класифікацію рослинних олій по ступеню очищення. Наведені методи математичного модулювання процесу очищення рослинних олій, де ставиться задача наступних математичних завдань: моделювання визначення у полі відцентрових сил дисперсного складу домішок які прогоагулювали та моделювання розподілу ультразвукового та електромагнітного полів в об'ємі робочої зони очищення олій. Розглядаються прикладні значення цих математичних моделей, які полягають у наступному: встановити перелік параметрів для експериментального дослідження; узагальнити результати опитів і отримати обмежену діапазоном дослідів емпіричну модель; використати емпіричні моделі для вирішення задач проектування і оптимізації інноваційного обладнання. Наведені методи експериментальних досліджень впливу фізичних полів на процес первинної та вторинної очистки рослинних олій. У ході проведеного аналізу процесу очищення рослинних олій було визначено ряд факторів негативно впливаючих на енергоефективність даного процесу та на якість кінцевого продукту. У зв'язку з цим запропоновано: - сумісно з процесом фільтрування (первинне очищення) олій використовувати ультразвукові коливання; - сумісно з процесом гідратації (вторинне очищення) олій використовувати електромагнітне поле; - для видалення залишків супутніх речовин, після проведення вище вказаних двох етапів, використати центробіжні поля. Представлено методику експериментального моделювання процесу фільтрації рослинних олій з використанням ультразвукових хвиль та гідратацію рослинних олій з використанням електромагнітного поля. При цьому визначались зміни температурних

режимів, частоти коливань, потужності полів та часу обробки. Проведено оцінку похибки експериментальних досліджень де використовувались прямі методи вимірювання змінних показників.

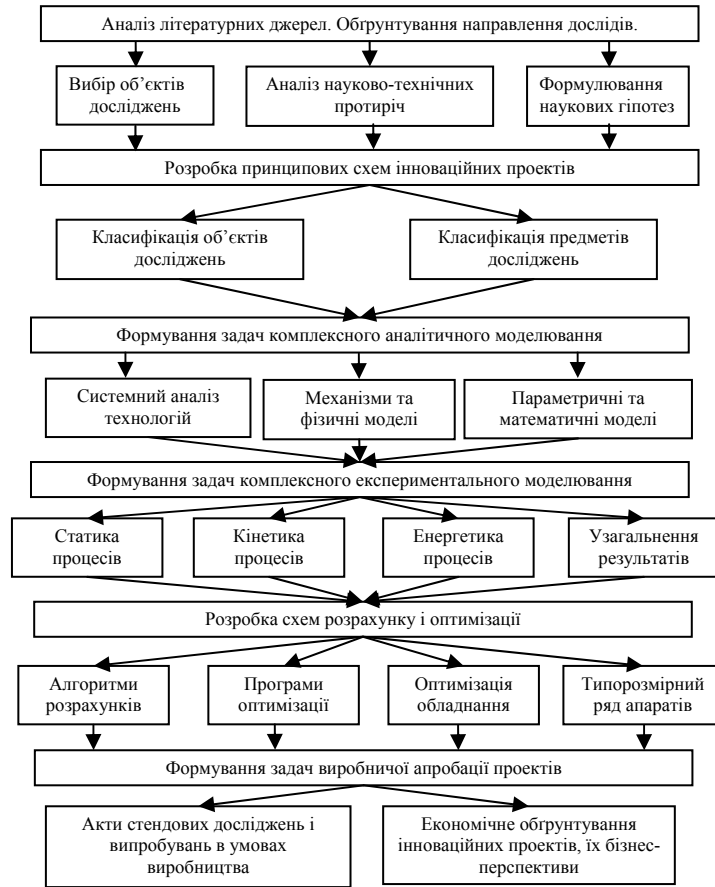


Рис. 1 Методологія науково-технічних досліджень технологій комплексного очищення олій.

У третьому розділі «Системний моніторинг технологічного обладнання для очищення рослинних олій», представлено технологічний моніторинг обладнання для очищення олій, де у результаті енергетичних досліджень зроблено висновок, що удосконалення енерготехнологій очищення рослинних олій пов'язані, у першу чергу, зі скороченням етапів очищення. Проведено системний аналіз енергоємних технологій очищення рослинних олій представлених на рисунках 2, 3.:

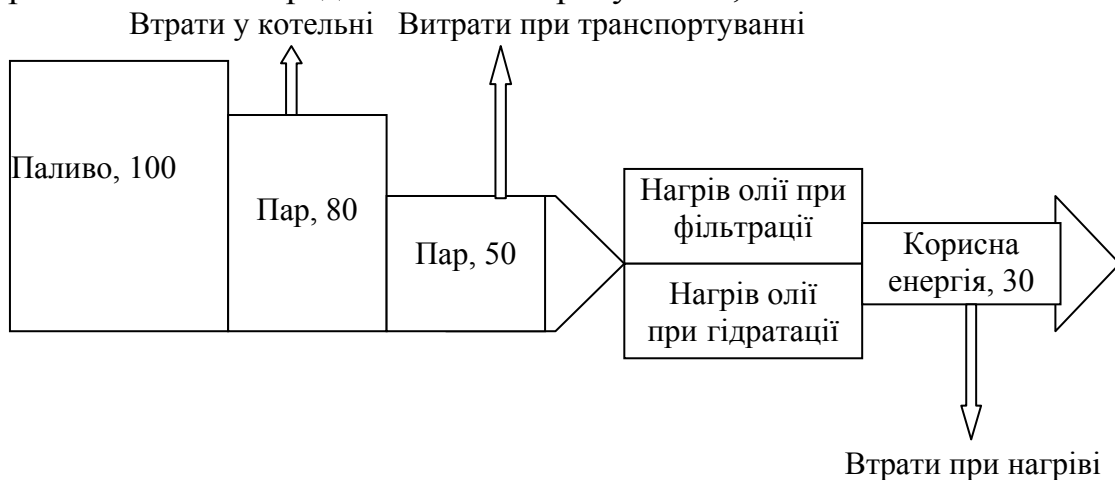


Рис. 2 Конверсія енергії у традиційній технології очищення олій

Як правило головним пріоритетом є максимальне збереження у готовому продукті харчового потенціалу сировини. У цьому випадку, традиційне обладнання не може конкурувати з запропонованою схемою ультразвукової та електромагнітної обробки.

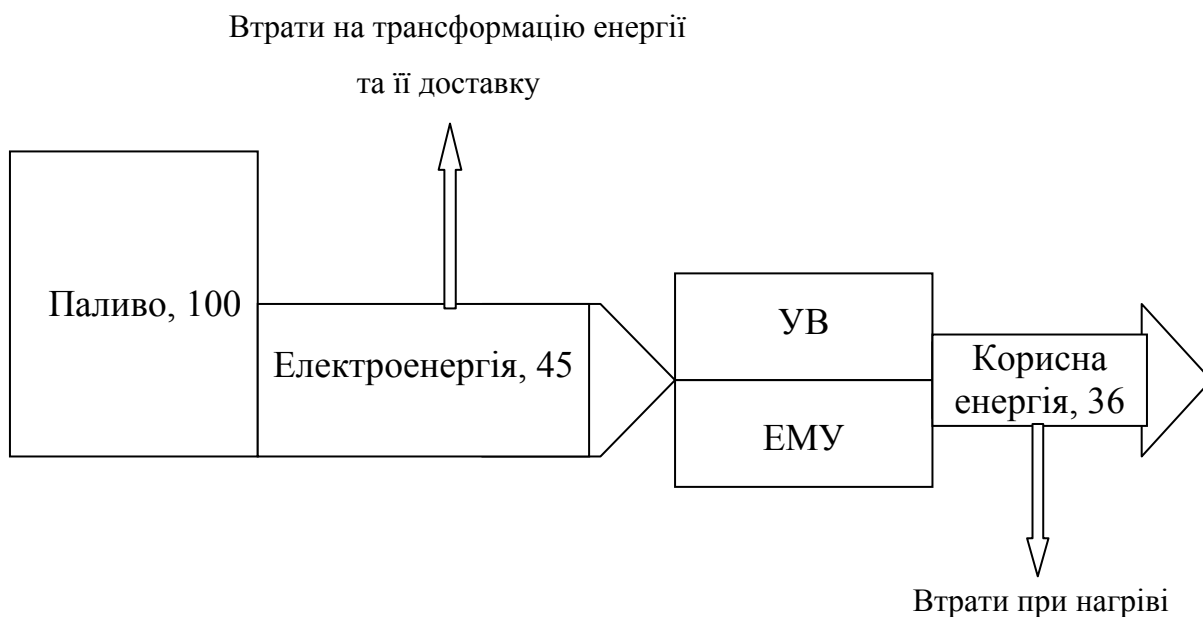


Рис. 3 Конверсія енергії у інноваційній технології очищення олій

Пропонуємо оперувати у розрахунках базовими характеристиками джерела енергії, наприклад палива з теплотою згоряння 40 МДж/кг. На цій основі проведена оцінка ефективності використання енергії у традиційних технологіях очищення олій та запропонованих методів з використанням ультразвукових та електромагнітних полів. Проведені оцінки свідчать про енергетичні та економічні переваги запропонованих апаратів.

Представлені науково – технічні протиріччя традиційних методів очищення рослинних олій, які заключаються у наступному - при глибокому очищенні рослинних олій, використання хімічних реагентів та каталізаторів поліпшує якість олій та інтенсифікує процес. Однак при їх використанні виникає потреба у додаткових матеріальних витратах, оскільки ці компоненти мають постійно оновлюватись. Постає питання додаткового очищення рослинних олій від самих хімічних реагентів та каталізаторів, що приводить до додаткових енергетичних витрат. У разі неякісного очищення від хімічних сполук може навпаки знизитись якість олії. Використання хімічних реагентів та каталізаторів як правило вимагають певних умов проведення процесу хімічної реакції, що також додатково потребує витрат на створення необхідної температури, щільності, в'язкості та інш. Розглянуті проблеми традиційного обладнання для очищення рослинних олій. Звідки встановлено ціль роботи: 1. Отримання екологічно чистого продукту вищого гатунку без використання хімічних каталізаторів та реагентів. 2. Збільшення строку зберігання без втрат органолептичних якостей. 3. Зменшення енерговитрат за рахунок скорочення етапів очищення та інтенсифікації

процесу. Вирішення поставленої цілі засновано на наступній науково-технічній концепції - «Перехід від традиційних хімічних методів очищення рослинних олій до організації процесів в керованих фізичних полях дасть змогу отримати екологічно чистий продукт вищого ґатунку при зменшенні витрат часу та енергії, зниженні експлуатаційних витрат (пов'язаних із розходом реагентів), підвищенні продуктивності обладнання (в зв'язку із його роботою в безперервному режимі). Оптимізація комплексу обладнання для очищення проводиться за рахунок узгодження режимів роботи інтенсифікаторів: хвильових віброакустичних на стані первинної обробки, хвильових електромагнітних та центробіжних – на стані вторинної обробки». Із сформульованої концепції витікають 3 науково-технічні гіпотези.

1. В умовах хвильового поля ультразвукового діапазону процес фільтрування рослинних олій має протікати зі збільшенням видалення зважених домішок (за рахунок впливу поля на формування структури осаду), фосфатидів, восків та інш.

2. В умовах хвильового електромагнітного поля процес гідратації рослинних олій має протікати із збільшенням фосфатів та супутніх речовин за рахунок інтенсифікації процесу розділення рідини, що дозволить зменшити час відстоювання та підвищити продуктивність обладнання.

3. Математичний опис інноваційної моделі динаміки руху у полі центробіжних сил може визначати конструктивні параметри обладнання в залежності від фізико – хімічного складу олій, їх кінематичних характеристик та часу проведення процесу.

Запропоновано провести дослідження очищення рослинних олій за допомогою ультразвукового та електромагнітного полів по наступній схемі (рис 4):

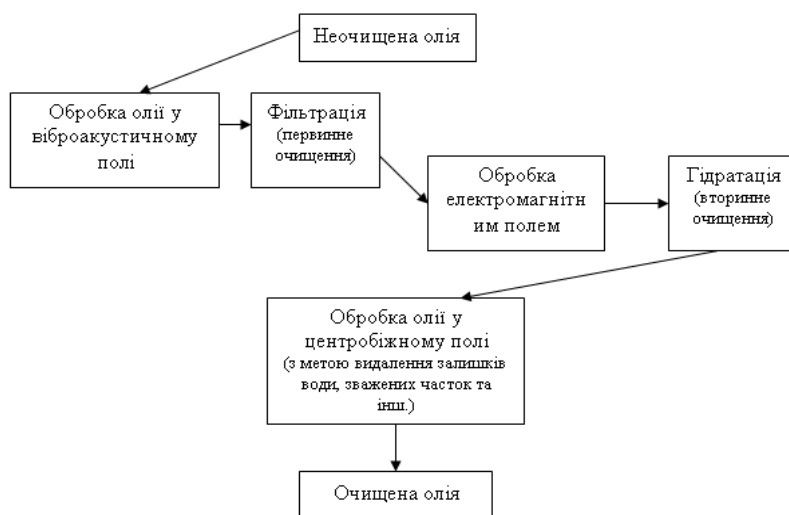


Рис. 4 Схема очистки рослинних олій фізичними методами

За допомогою даної технології очікуємо отримати результати відповідно поставленої цілі. Розглянуті механізми та стадії процесів очищення рослинних олій в ультразвуковому та електромагнітному полях. Особливості моделювання процесів очищення рослинних олій в умовах

ультразвукового та електромагнітного полів. Наведена двухступенева схема очистки олії (рис.5).

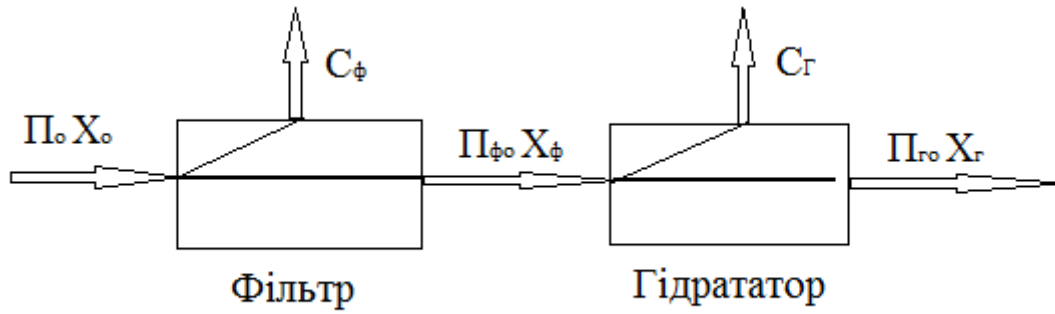


Рис. 5 – Двухступенева схема очистки олії.

$P_o$  – початковий потік олії з концентрацією супутніх речовин  $X_o$ ;  $P_{\phi o}$  – потік олії з концентрацією супутніх речовин  $X_\phi$ ;  $P_{\Gamma o}$  – потік очищеної олії з кінцевою концентрацією супутніх речовин  $X_\Gamma$ ;  $C_\phi$  – супутні речовини після фільтрації;  $C_\Gamma$  – супутні речовини після гідратації.

Інноваційні принципи удосконалення техніки очищення олії засновані на використанні технологій інтенсифікуючих процес коагуляції у об'ємі продукту. Наведено теплофізична модель процесів очищення рослинних олій для традиційної техніки та інноваційної техніки; фізична схема процесу нагріву олії для традиційної та інноваційної техніки; основні елементи інноваційного обладнання та режими їх роботи (рис.6).

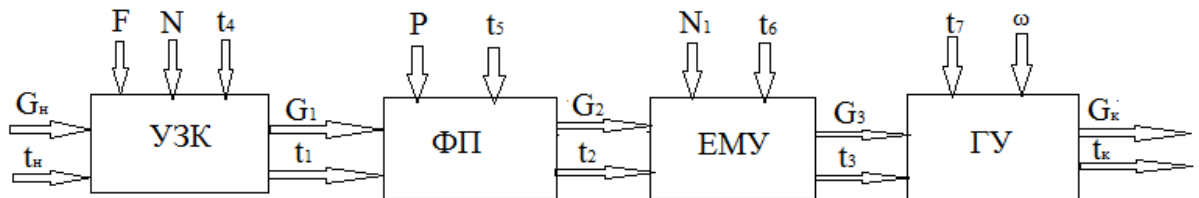


Рис. 6 – Апаратурна - процесова схема очищення рослинних олій. (УЗК – ультразвукова камера, ФП – фільтр – прес, ЕМУ – електромагнітна установка, ГУ – гідратаційна установка).

Визначенні завдання експериментального моделювання.

**У четвертому розділі** «Теоретичні основи технології очищення рослинних олій» розглядається коагуляція домішок у дисперсних потоках. У дисперсних потоках зважено несуче середовище має поле швидкостей, що породжує друге поле швидкостей, де є присутнім новий параметр - розмір частки  $\delta$ . Цей параметр входить у розподіл часток по швидкостях, що є основною причиною принципової відмінності кінетики молекул газу від кінетики часток домішки. Якщо в кінетичній теорії газів довжина вільного пробігу не залежить від напрямку, то ймовірність зіткнення частки залежить від напрямку її руху. Звідси потреба доцільності введення поняття анізотропії вільного пробігу часток. Коагуляцію часток дисперсного середовища визначає не стаціонарний випадковий процес із функцією розподілу часток по розмірах для будь-якого моменту часу. Якщо діапазон розмірів

$x_0 \prec x \prec x_n$  розділити на  $n$  класів ( $x_{i-1} \prec x \prec x_i, i = 1; 2; \dots; n$ ), то стан системи яка складається із цих класів буде описувати вектор

$$\bar{p}(t) = (p_1(t), p_2(t), \dots, p_i(t), \dots, p_n(t)), \quad (1)$$

де  $p_i(t)$  - імовірність приналежності розміру частки до  $i$ -го класу в момент часу  $t$ .

У такий спосіб дослідження коагуляції часток можна звести до вивчення систем з дискретним числом станів, застосовуючи для цього теорію марковських ланцюгів, графічну інтерпретацію стану марковського ланцюга зображує гістограма гранулометричного состава в момент часу  $t$ . Щоб одержати вектор  $\bar{p}$ , треба визначити границі класів так щоб матриця перехідних ймовірностей  $p_{ij}$  мала найбільш простий вид, тобто мала як можна більше число нулів. Очевидно що  $p_{ij} = 0$ , якщо  $i > j$ . Ця властивість слідує з того, що при склеюванні двох часток нова частка не може мати еквівалентний розмір менше кожної з них. Доведено, що при відношенні:  $\frac{x_k}{x_{k-1}} = \sqrt[3]{2}$  діагональні елементи матриці перехідних ймовірностей дорівнюють

нулю. Тоді за умови  $p_{ii} = 0$  матриця перехідних ймовірностей має вигляд:

$$A = \begin{pmatrix} 0 & p_{12} & p_{13} & \dots & p_{1i} & \dots & p_{1,n-2} & p_{1,n-1} & p_{1n} \\ 0 & 0 & p_{23} & \dots & p_{2i} & \dots & p_{2,n-2} & p_{2,n-1} & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & p_{n-2,n-1} & \dots & p_{n-2,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & p_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 & \dots & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Останній рядок матриці  $A$  дає діагональний елемент  $p_{nn} = 1$ , якщо номер  $n$  приписати класовому інтервалу  $x_{n-1} \prec x \prec \infty$ .

Обчислення значень  $p_{ij}$  утворює алгоритм із послідовності наступних операцій. 1. Обчислення довжини інтервалу після злипання часток  $i$ -го й  $j$ -го класів. 2. Представлення інтервалів після злипання часток лінійною комбінацією класів гістограми. 3. Представлення перехідних ймовірностей у вигляді геометричних ймовірностей. 4. Обчислення геометричних ймовірностей.

У такий спосіб була отримана матриця при  $n = 8$ . Це значення  $n$  має широке поширення в багатьох статистичних дослідженнях, пов'язаних з дисперсним аналізом. Приймаючи, що одночасно брати участь у коагуляції може не більше двох часток обчислили перехідні ймовірності першого рядка матриці  $A$ . Для цього записали границі класів у порядку зростання  $x_0 \prec \sqrt[3]{2}x_0 \prec \sqrt[3]{4}x_0 \prec 2x_0 \prec 2\sqrt[3]{2}x_0 \prec 2\sqrt[3]{4}x_0 \prec \dots \sqrt[3]{2^i}x_0 \prec \dots \prec \sqrt[3]{2^n}x_0 \prec \dots$ . Якщо поєднуються частки першого класу, то вони утворюють частки в інтервалі  $\sqrt[3]{2x_0^3} \prec x \prec \sqrt[3]{2(\sqrt[3]{2}x_0)^3}; \sqrt[3]{2}x_0 \prec x \prec \sqrt[3]{4}x_0$ .

Аналогічно одержали інтервали нових часток, утворених у результаті злипання часток першого класу із частками інших класів (табл.1).

**Інтервали нових часток після коагуляції за участю часток першого класу.**

$i$	Інтервал нової частки	Довжина інтервалу
1	$2^{\frac{1}{3}} x_0 < x < 2^{\frac{1}{3}} (1 + 2^0)^{\frac{1}{3}} x_0$	$\sqrt[3]{2} (\sqrt[3]{2} - 1) x_0$
2	$(1 + 2)^{\frac{1}{3}} x_0 < x < (2(1 + 2))^{\frac{1}{3}} x_0$	$\sqrt[3]{3} (\sqrt[3]{2} - 1) x_0$
3	$(1 + 2^2)^{\frac{1}{3}} x_0 < x < (2(1 + 2^2))^{\frac{1}{3}} x_0$	$\sqrt[3]{5} (\sqrt[3]{2} - 1) x_0$
	.....	.....
$j$	$(1 + 2^{j-1})^{\frac{1}{3}} x_0 < x < (2(1 + 2^{j-1}))^{\frac{1}{3}} x_0$	$\sqrt[3]{1 + 2^{j-1}} (\sqrt[3]{2} - 1) x_0$
	.....	.....
$n$	$(1 + 2^{n-1})^{\frac{1}{3}} x_0 < x < (2(1 + 2^{n-1}))^{\frac{1}{3}} x_0$	$\sqrt[3]{1 + 2^{n-1}} (\sqrt[3]{2} - 1) x_0$

Аналогічно обчислюються всі перехідні ймовірності  $p_{ij}$ . Поняття щільності потоку подій  $a_{ij}$  даної системи стану визначаються відношенням  $a_{ij} = \frac{p_{ij}}{\bar{t}}$ , де  $\bar{t}$  - середній час вільного пробігу частки дисперсної фази.

Одержали матрицю перехідних ймовірностей:

$$A = \|p_{ij}\| = \begin{pmatrix} 0..0,165 & ..0,168 & ..0,145 & ..0,135 & ..0,131 & ..0,129 & ..0,127 \\ 0..0 & ..0,199 & ..0,180 & ..0,165 & ..0,157 & ..0,150 & ..0,150 \\ 0..0 & ..0 & ..0,231 & ..0,210 & ..0,194 & ..0,181 & ..0,183 \\ 0..0 & ..0 & ..0 & ..0,276 & ..0,252 & ..0,249 & ..0,221 \\ 0..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0,347 & ..0,317 & ..0,339 \\ 0..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0,462 & ..0,538 \\ 0..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..1 \\ 0..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..0 & ..1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

У цих розрахунках використовували концентрацію домішок  $c_0$  і середню довжину вільного пробігу  $l_0$ .

Розглянуто процес зміни гранулометричного складу часток домішок в результаті коагуляції за перший інтервал  $\tau_0$ . Відповідно до теорії марковських ланцюгів за перший крок зміни стану системи вектор стану її стане рівним

$$\overline{P}_1 = (P_{01}, P_{02}, P_{03}, \dots, P_{08}) * A \quad (4)$$

Де  $P_{0i}$  класова ймовірність перебування частки в  $i$  класі.  $\sum_{i=1}^8 P_{0i} = 1$

Формула (4) відображає метод марковських ланцюгів для опису процесу коагуляції домішок. Альтернативний метод використовують марковські процеси з дискретним числом станів і безперервним часом. У цьому випадку  $i$ -й стан позначає приналежність частки домішки  $i$ -му класу, а значення  $p_i(t)$  визначає рішення системи рівнянь Колмагорова при



Диференційні рівняння є альтернативним методом, який використовує марковські процеси з дискретним числом станів і безперервним часом. Проведено розрахунок процесу коагуляції за запропонованою блок схемою алгоритму розрахунку програми коагуляції.

Отримано вірогідності стану Марковського процесу коагуляції часток у вигляді восьми функцій  $\bar{P}_k(t)$ .

$$\begin{aligned}
 P1 := & 0.09 \exp(0.307t) [(0.05 \cos(1.362t - 0.809) - 1.275 \sin(1.362t - 0.809))05] + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.159 \exp(0.112t) (0.070 \cos(0.547t - 0.038) + 0.168 \sin(0.547t - 0.038)) + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.181 \exp(0.05t) (-0.574 \cos(0.231t - 0.824) - 0.170 \sin(0.231t - 0.824)) + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.254 \exp(0.032t) (0.365 \cos(0.062t + 0.847) - 0.185 \sin(0.062t + 0.847)) \\
 & \dots \dots \dots (5)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P8 := & 0.554 \cdot \exp(0.307 \cdot t) \cdot (0.050 \cos(1.362 \cdot t + 0.09) - 1.275 \sin(1.362 \cdot t + 0.09)) + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.334 \cdot \exp(0.112 \cdot t) \cdot (0.070 \cos(0.547 \cdot t + 0.802) + 0.168 \sin(0.547 \cdot t + 0.802)) + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.222 \exp(0.05t) (-0.574 \cos(0.231t + 0.99) - 0.170 \sin(0.231t + 0.99)) + \blacksquare \\
 & \blacksquare + 0.178 \exp(0.032t) (0.365 \cos(0.062t + 0.238) - 0.185 \sin(0.062t + 0.238))
 \end{aligned}$$

Отримані функції імовірностей перебування частиць у даному класі дозволяють прогнозувати процес коагуляції. Розраховуючи оптимальний час процесу очистки рослинних олій (час коли всі часточки перейдуть у восьмий клас) з урахуванням концентрації супутніх елементів та вільного простору між ними.

**У п'ятому розділі** «Теорія та техніка процесів первинного очищення рослинних олій в умовах віброакустичного поля» наведено математичний опис процесу очищення соняшникової та ріпакової олії під дією ультразвукового поля. Оптимізацію вібраційної обробки за допомогою ультразвуку можна науково обґрунтувати, якщо знати закон коливання в кожній крапці робочого простору. Такі завдання вирішуються методами математичної фізики на основі хвильового рівняння.

$$\Delta^2 \Phi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = 0 \tag{6}$$

де  $c$  – швидкість розповсюдження хвилі

Джерелами ультразвукових коливань, що використовуються під час обробки, служать п'єзоелектричні й магнітострикційні перетворювачі. Формальний опис джерела коливань виробляється на моделі циліндричного стрижня певної довжини, у якого один кінець закріплений, а інший підданий дії збудовуючої гармонійної сили. Розглянуті моделі поперечних і поздовжніх коливань. Після проведення ряду математичних перетворень отримали віссесиметричну задачу поширення ультразвуку, яка представляється функцією  $\phi(r, z, t) = G(r)H(z)T(t)$ , та визначається рішенням трьох рівнянь:

$$\begin{aligned}
 \frac{d^2 G}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dG}{dr} + K^2 G &= 0, \\
 \frac{d^2 H}{dz^2} + (K^2 + \lambda^2) H &= 0, \\
 \frac{d^2 T}{dt^2} + (\lambda c)^2 T &= 0.
 \end{aligned} \tag{7}$$

Після ряду математичних перетворень загальне рішення віссесиметричної задачі приймає вигляд:

$$\phi(r, z, t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n I_0(K_n r) \left( \sin \sqrt{\lambda_n^2 + K_n^2 z} \right) \sin K_n c t, \quad (8)$$

Функція  $\phi(r, z, t)$  визначає амплітуди швидкості й прискорення коливального руху часток рослинної олії так, що амплітуда ультразвукових хвиль при великому тиску приводить до утворення, та зникненню розривів суцільності – явищу кавітації. Зникнення цих розривів, що мають вид дрібних пухирців, супроводжується імпульсами зростання тиску, що викликає дію, яка дробить, наслідком чого відбувається руйнування твердих тіл, живих організмів і великих молекул. Тривалість таких імпульсів визначається електральною щільністю функції  $\phi(r, z, t)$ .

$$L = \frac{\rho}{2} \left[ (\text{grad } \phi)^2 + \frac{1}{c^2} \left( \frac{\partial \phi}{\partial t} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Таким чином, методика обробки ультразвуком дозволяє аналітично визначити скалярний потенціал  $\phi(r, z, t)$  обчислення об'ємної щільності енергії.

Була створена експериментальна установка для очищення олії з використанням ультразвукового поля блок-схема якої представлена на рисунку 9. В якості робочого елемента для утворення ультразвуку використовувався магнітострикційний випромінювач. Дана установка передбачає використання відповідного обладнання для проведення процесу фільтрації під тиском.

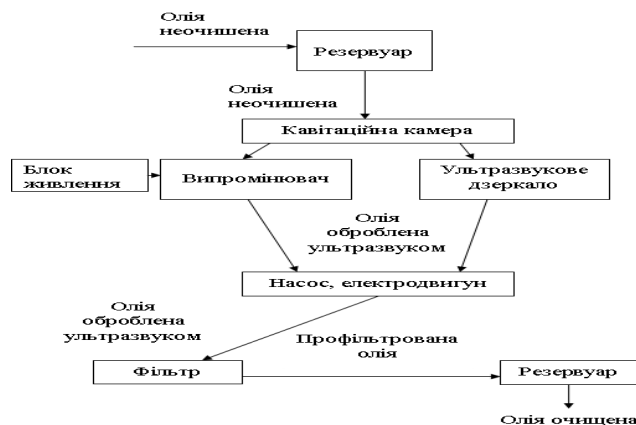


Рис. 9. Блок-схема очищення соняшникової та ріпакової олій із застосуванням ультразвукових хвиль

Представлена технологічна схема, яка наведена на рисунку 10, являє собою наступне.

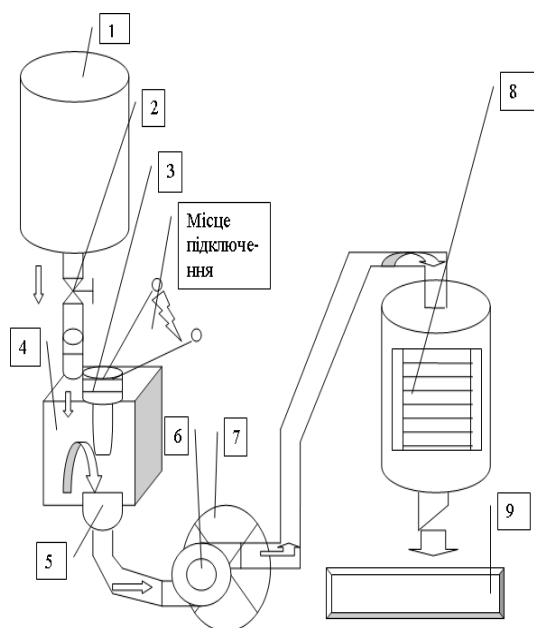


Рис. 10. Технологічна схема очищення соняшникової та ріпакової олії із застосуванням ультразвукових хвиль

Апарат складається з: первинного резервуару 1 із заслінкою 2, який з'єднаний трубопроводом з «кавітаційною камерою» 4. В верхній частині якої, справа (рис. 10.) розмішений отвір для подачі сировини, а по середині розміщений ультразвуковий випромінювач 3. В нижній частині розміщене «ультразвукове дзеркало» 5. «Кавітаційна камера» з'єднана трубопроводом з шестеренчастим насосом 6, який приводиться в дію через жорстке щеплення з електродвигуном 7. Насос з'єднаний трубопроводом з фільтром 8, який в свою чергу з'єднаний з резервуаром готової продукції 9.

Наведена методика експериментального визначення параметрів ультразвукових хвиль. Представлена ультразвукова кавітація при озвучуванні соняшникової олії з плоским та з круглим випромінювачами (рисунок 11, 12).



Рис. 11. Ультразвукова кавітація з плоским випромінювачем

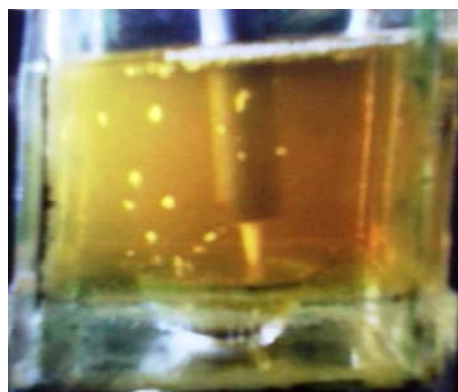


Рис. 12. Ультразвукова кавітація з круглим випромінювачем

У ході проведення експериментальних досліджень впливу ультразвуку на процес очищення олій було визначено:

– температура фільтрації олій при зміні частоти ультразвукових коливань випромінювача, що представлено на рисунках. 13 - 16;

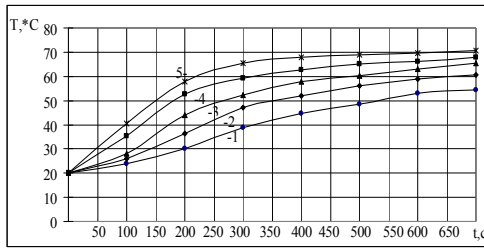


Рис. 13. Визначення температури фільтрації олії при зміні частоти ультразвукових коливань випромінювача: 1 – 24 кГц, 2 – 50 кГц, 3 – 75 кГц, 4 – 115 кГц, 5 – 130 кГц. Овальний випромінювач. (Соняшникова олія)

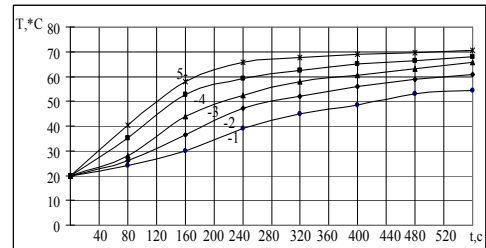


Рис. 14. Визначення температури фільтрації олії при зміні частоти ультразвукових коливань випромінювача: 1 – 24 кГц, 2 – 50 кГц, 3 – 75 кГц, 4 – 115 кГц, 5 – 130 кГц. Плоский випромінювач. (Соняшникова олія)

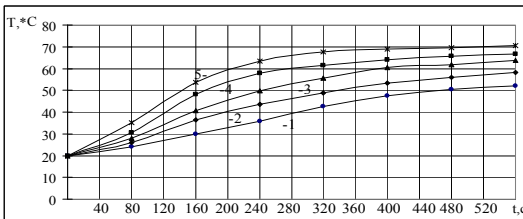


Рис. 15. Визначення температури фільтрації олії при зміні частоти ультразвукових коливань випромінювача: 1 – 24 кГц, 2 – 50 кГц, 3 – 75 кГц, 4 – 115 кГц, 5 – 130 кГц. Овальний випромінювач. (Ріпакова олія)

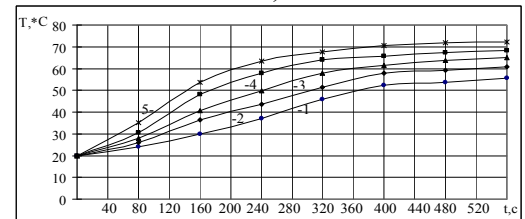


Рис. 16. Визначення температури фільтрації олії при зміні частоти ультразвукових коливань випромінювача: 1 – 24 кГц, 2 – 50 кГц, 3 – 75 кГц, 4 – 115 кГц, 5 – 130 кГц. Плоский випромінювач. (Ріпакова олія)

Визначили однаковий вплив частоти ультразвукових коливань на соняшкову та ріпакову олії. Залежність є прямо пропорційною при збільшенні частоти збільшується температура нагріву олій. При частоті 130 кГц та часі обробки 500 секунд температура олії досягає більше  $70^{\circ}\text{C}$  достатньої для досягнення необхідної в'язкості олії для фільтрації. Оскільки з отриманих кривих можна рекомендувати частоту випромінювання ультразвукових хвиль 120 кГц, то подальші дослідження по визначенню кількості видалення осаду проводились на цій частоті.

- кількість осаду при потужності випромінювача від 0,25 - 1,5 кВт, та різної температурі олії, що представлено на рис. 17-20.

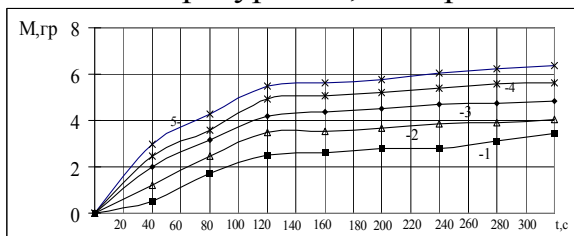


Рис. 17 Визначення кількості осаду при потужності випромінювача 0,25 кВт, та різної температурі олії: 1 –  $20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $30^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $40^{\circ}\text{C}$ , 4 –  $50^{\circ}\text{C}$ , 5 –  $60^{\circ}\text{C}$ , частота ультразвукових коливань опромінювача 120 кГц. (Соняшникова олія)

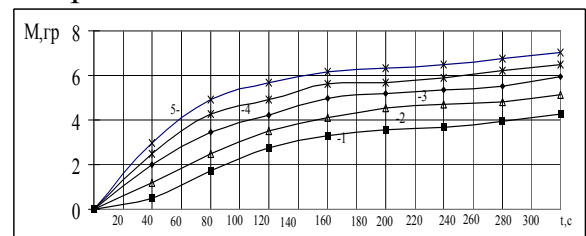


Рис. 18 Визначення кількості осаду при потужності випромінювача 1,5 кВт, та різної температурі олії: 1 –  $20^{\circ}\text{C}$ , 2 –  $30^{\circ}\text{C}$ , 3 –  $40^{\circ}\text{C}$ , 4 –  $50^{\circ}\text{C}$ , 5 –  $60^{\circ}\text{C}$ , частота ультразвукових коливань опромінювача 120 кГц. (Соняшникова олія)

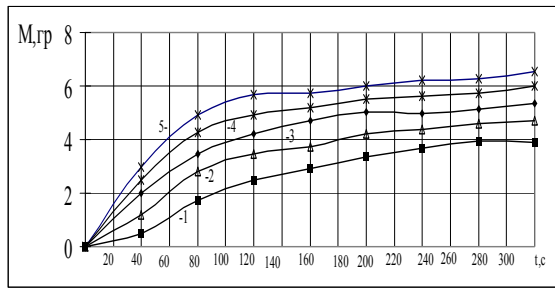


Рис. 19 Визначення кількості осаду при потужності випромінювача 1,25 кВт, та різній температурі олії: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, частота ультразвукових коливань опромінювача 120 кГц.  
(Ріпакова олія)

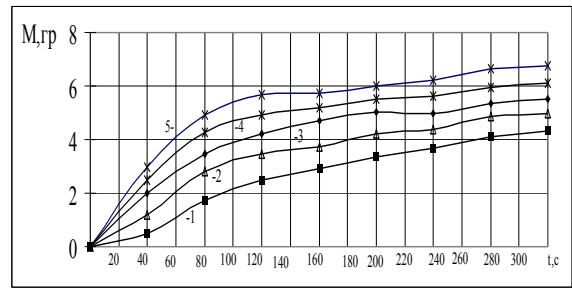


Рис. 20 Визначення кількості осаду при потужності випромінювача 1,5 кВт, та різній температурі олії: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С, частота ультразвукових коливань опромінювача 120 кГц.  
(Ріпакова олія)

Отримали збільшення видалення кількості осаду при збільшенні температури фільтрації олії а також потужності випромінювання ультразвукового сигналу. Однак кількість видаленого осаду при температурі фільтрації від 50 °С до 60 °С та потужності сигналу від 1,25 кВт до 1,5 кВт незначний і різниця складає приблизно 2 відсотка. На підставі цього рекомендували параметри використання ультразвукових хвиль, температура фільтрації 55 °С та потужності сигналу 1,3 кВт.

- кількість осаду отриманого при фільтрації олій з використанням ультразвуку та без його використання, що представлено на рисунку 21.

Отримали інтенсифікацію процесу фільтрації та збільшення кількості отриманого осаду, що позитивно впливає збоку збереження енергії, поліпшення якості продукції та збільшення продуктивності обладнання.

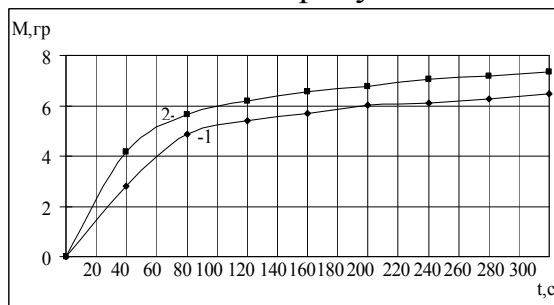


Рис. 21 Порівняльний аналіз отримання кількості осаду

1 – без використання ультразвукових коливань, температура фільтрації олії 55 °С; 2 – з використанням ультразвукових коливань. Режим обробки ультразвуком: температура олії 55 °С, потужність ультразвукових коливань 1,3 кВт, частота ультразвукових коливань 120 кГц

Встановлено що, у досліджуваному діапазоні підвищення частоти ультразвукової обробки призводить до підвищення маси осаду, яке підпорядковується лінійному закону. Отримана залежність як результуюча непрямого впливу ультразвуку на масу осаду через температуру олії наведена на рисунку 22.

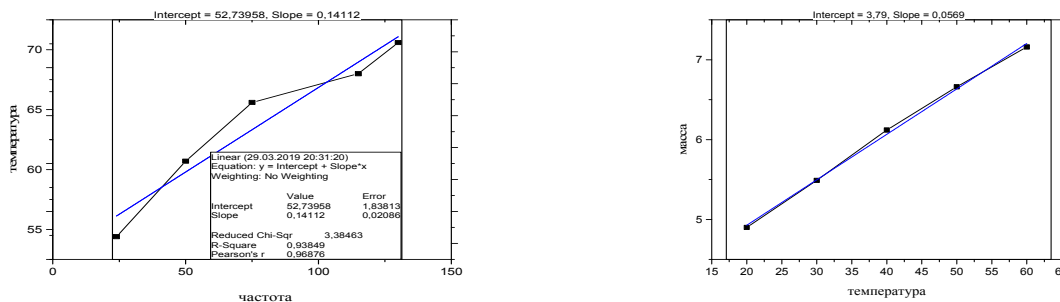


Рис. 22 Непрямий вплив ультразвуку на масу осаду через температуру олії.

При змінні потужності випромінення, також бачимо залежність збільшення видалення осаду при збільшенні потужності ультразвукових коливань. Вплив потужності характеризується не лінійністю і носить асимптотичний характер.

В процесі проведення дослідів було визначено, що можна рекомендувати наступні технологічні параметри використання ультразвукового поля: потужність ультразвукових коливань 1,3 кВт, частота ультразвукових коливань 120 кГц, час обробки 200 секунд, температура олії 55 °С. При цьому досягається оптимальний ефект по видаленню зважених речовин і відповідно відбувається інтенсифікація процесу фільтрації.

**У шостому розділі** «Теорія та техніка гідратації рослинних олій в умовах електромагнітного поля» наведені теоретичні дослідження, де для визначення магнітної індукції в рухомих шарах олії було застосовано рівняння (10).

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \text{rot}[\vec{v} \times \vec{b}] + \frac{1}{\mu \sigma} \nabla^2 \vec{B} \quad (10)$$

де  $\vec{B}$  – вектор магнітної індукції;  $\vec{v}$  – вектор швидкості;  $\mu$  – магнітна проникність;  $\sigma$  – провідність.

Вирішували крайову задачу щодо магнітної індукції  $B$  для рівняння (10) з відповідними крайовими умовами в безрозмірних координатах. Провівши ряд математичних перетворень та задаючи одномірне відношення швидкостей, задача зведена до звичайного диференційного рівняння другого порядку (11).

$$\frac{d^2 B_r}{dr^2} + \frac{\Psi}{r} \frac{dB_r}{dr} + \frac{\Psi}{r} \left( \frac{1}{r} + \frac{d\Psi}{dr} \right) B_r = 0 \quad (11)$$

$$\text{де } \Psi(r) = \frac{g_\varphi}{g_r}$$

Рівняння (11) характеризує вплив напруженості електромагнітного поля на рослинні олії, які протікають у експериментальній установці в залежності від її геометричних розмірів.

Спираючись на математичний опис процесу електричного намагнічування олій при гідратації, провели експериментальні дослідження. Для цього була розроблена експериментальна установка електромагнітної обробки рослинних олій, схему якої наведено на рисунку 23.

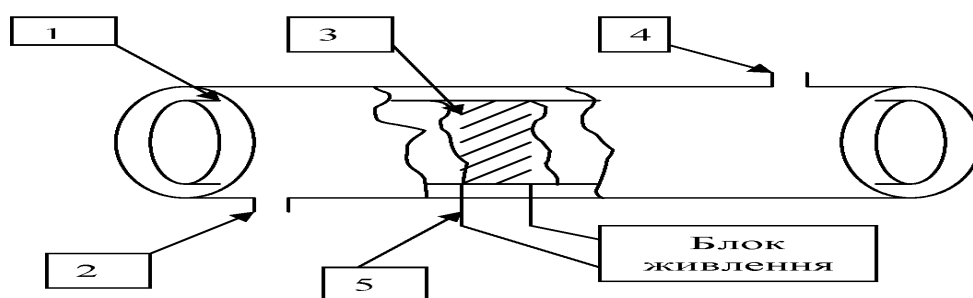


Рис. 23 Схема установки електромагнітної обробки рослинних олій де 1 – олієпровід; 2 – патрубок подачі олії; 3 – електромагнітна катушка; 4 – патрубок виходу олії; 5 – живлення електромагнітної катушки.

При проходженні суміші олії з водою через електромагнітну установку змінювалася напруженість електромагнітного поля, а також температура самої місцели. При цьому фіксувався час випадання осаду і його маса в процентному відношенні, щодо загальної кількості фосфороутримуючих речовин у соняшниковій та ріпаковій оліях. Електромагнітна активація системи олія - фосфатиди дозволяє збільшити поверхневу активність фосфоліпідів, в тому числі і їх негідратуємих форм, на границі розділу фаз з водою, а також збільшити максимальну адсорбцію фосфатидів в міжфазному шарі. Все це в цілому приводить до підвищення ступеня гідратуємості фосфатидів. Визначили кількість видалених фосфатидів при зміні напруженості магнітного поля (рис. 24, 25).

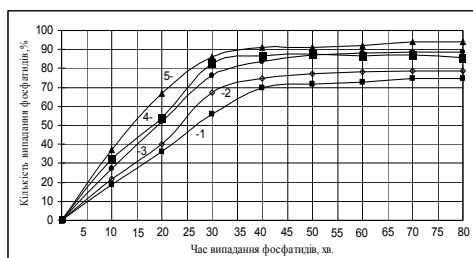


Рис. 24. Визначення кількості видалених фосфатидів при зміні напруженості магнітного поля: 1 – без електромагнітного поля; 2 – 115 кА/м; 3 – 135 кА/м; 4 – 155 кА/м; 5 – 175 кА/м. (Соняшnikова олія)

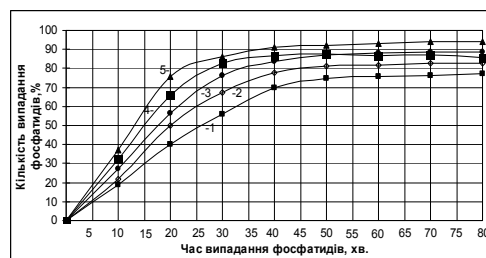


Рис. 25. Визначення кількості видалених фосфатидів при зміні напруженості магнітного поля: 1 – без електромагнітного поля; 2 – 115 кА/м; 3 – 135 кА/м; 4 – 155 кА/м; 5 – 175 кА/м. (Ріпакова олія)

Визначили позитивний ефект впливу електромагнітного поля на процес виділення фосфороутримуючих речовин. З сімейства кривих видно, що кількість та час видалення фосфатидів без використання електромагнітного поля менша. Рекомендували раціональну напруженість електромагнітного поля 155 кА/м.

Визначили кількість видалених фосфатидів при напруженості електромагнітного поля 155 кА/м, та різної температури місцели (рис. 26, 27).

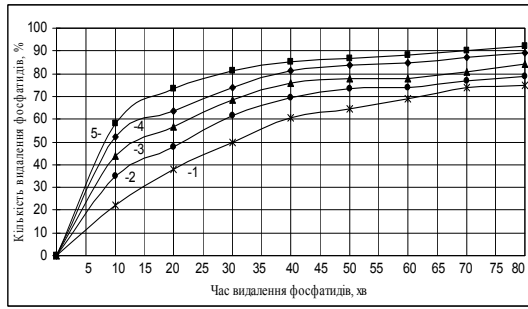


Рис. 26 Визначення кількості осаду при напруженості магнітного поля 155 кА/м., та різній температурі місцели: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С (Соняшникова олія)

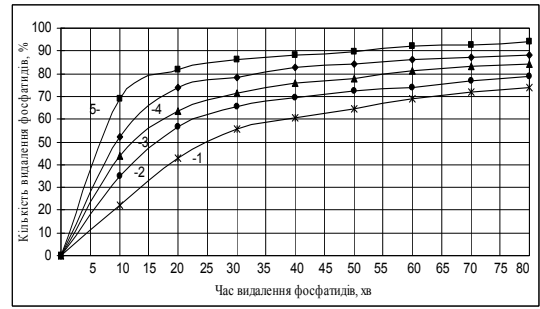


Рис. 27 Визначення кількості осаду при напруженості магнітного поля 155 кА/м., та різній температурі місцели: 1 – 20 °С, 2 – 30 °С, 3 – 40 °С, 4 – 50 °С, 5 – 60 °С (Ріпакова олія)

Визначили зменшення часу та збільшення кількості видалення фосфатидів прямо пропорційно збільшенню температури. Визначили раціональну температуру місцели 55 °С. Також опираючись на отримані експериментальні залежності визначили раціональний час проведення процесу, який складає одну годину.

Представлено визначення часу видалення фосфатидів з олії при використанні та без використання електромагнітного поля (рис.28, 29).

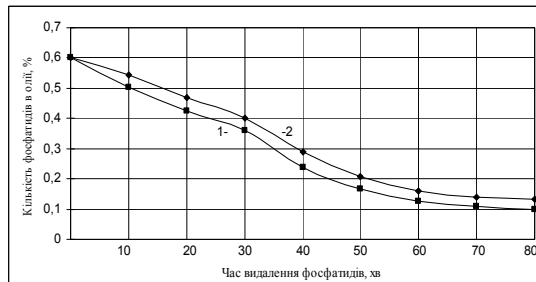


Рис.28 Час видалення фосфатидів з олії. 1 – з використанням електромагнітного поля, напруженість електромагнітного поля 155 кА/м, температурі 55 °С; 2 – без використання електромагнітного поля. (Соняшникова олія)

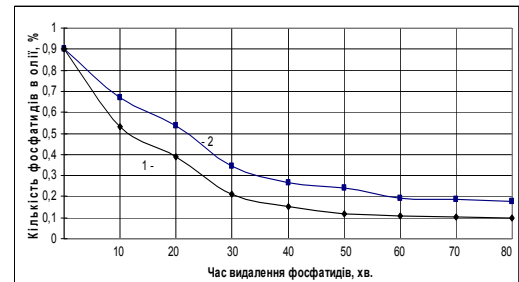


Рис.29 Час видалення фосфатидів з олії. 1 – з використанням електромагнітного поля, напруженість електромагнітного поля 155 кА/м, температурі 55 °С; 2 – без використання електромагнітного поля. (Ріпакова олія)

Отримали інтенсифікацію процесу гідратації та збільшення кількості отриманого осаду, що позитивно впливає на збереження енергії, поліпшення якості продукції та збільшення продуктивності обладнання.

У сьомому розділі «Інженерні методи розрахунку та оптимізації інноваційного обладнання» розглянуто процес фільтрації в умовах ультразвукової кавітації (рис. 30). Кількість отриманого осаду залежить від тривалості впливу УЗК, тому процес розглядається як нестационарний.

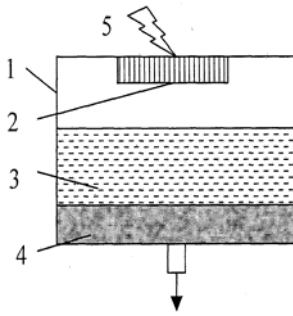


Рис. 30. Фізична схема фільтрації в умовах ультразвукової кавітації: 1 – ємність, 2 – випромінювач, 3 – олія, 4 – осад, 5 – ультразвукові коливання

Встановлено вид критеріального рівняння для розрахунку продуктивності установки. На першому етапі отримали рівняння в числах подібності без врахування параметрів УЗК. Продуктивність, в такому випадку, залежить від наступних параметрів: кінематичної в'язкості олії ( $\nu$ ), визначального розміру ( $d$ ), тривалості впливу УЗК ( $\tau$ ), продуктивності установки без впливу УЗК ( $\Pi$ ).

Врахували вплив теплофізичних параметрів олій, апарату та ультразвукових коливань на обрані параметри якості ( $\Pi$  – продуктивність установки,  $j$  – параметр якості олії) (рис. 31).

Припустили, що  $\Pi$ ,  $\nu$ ,  $d$ ,  $\tau$ ,  $\Pi$  мають невідомі показники ступеня  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $k_4$  і записали:

$$\Pi = \nu^{k_1} \cdot d^{k_2} \cdot \tau^{k_3} \cdot \Pi^{k_4} \quad (12)$$

Всі ці параметри складаються із трьох основних розмірностей: довжини ( $L$ ), часу ( $\tau$ ), маси ( $M$ ). Розмірності параметрів, що входять у рівняння (12), відомі, тому його можна записати:

$$M \cdot \tau^{-1} = (L^2 \cdot \tau^{-1})^{k_1} \cdot (L)^{k_2} \cdot (\tau)^{k_3} \cdot (M \cdot \tau^{-1})^{k_4} \quad (13)$$

Умови безрозмірності даного виразу виводяться безпосередньо з рядка в розмірній матриці. Одержали критеріальне рівняння виду:

$$\Pi = \nu^{k_3} \cdot d^{-2k_3} \cdot \tau^{k_3} \cdot \Pi^{-1} \quad (14)$$

Групуючи окремі величини, одержуємо критеріальне рівняння виду:

$$\frac{\Pi}{\Pi} = \left( \frac{\tau \cdot \nu}{d^2} \right)^{k_3} \quad (15)$$

Таким чином, маємо рівняння залежності безрозмірної продуктивності ( $\Pi/\Pi$ ) від безрозмірного комплексу  $\frac{\tau \cdot \nu}{d^2}$ , який фактично являється модифікованим числом Фур'є. Якщо враховувати вплив УЗК та температури на процес, то по аналогії, використовуючи метод аналізу розмірностей отримаємо рівняння (16):

$$\frac{\Pi}{\Pi} = A \cdot Fo_M^{k_1} \cdot \theta^{k_2} \cdot Eu_M^{k_3} \quad (16)$$

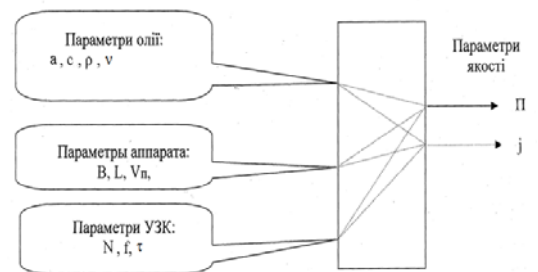


Рис. 31. Параметрична модель процесу фільтрації в умовах ультразвукової кавітації:  $a$  – коефіцієнт температуропровідності олії,  $c$  – питома теплоємність олії,  $\rho$  – густина олії,  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості олії,  $B$  – висота апарата,  $L$  – довжина апарата,  $V_n$  – робочий об'єм апарата,  $N$  – потужність випромінювача,  $f$  – частота УЗК,  $\tau$  – тривалість впливу УЗК

Проведені узагальнення експериментальних даних. Вихідні дані для обробки отримані в результаті експериментальних досліджень. Також використані деякі табличні значення – теплофізичних властивостей олій. Алгоритм (рис. 32) реалізовано в середовищі Microsoft Excel.



Рис. 32. Алгоритм узагальнення експериментальних даних при фільтрації в умовах ультразвукової кавітації.

Криві розширюються залежно від безрозмірної температури. Тангенс кута нахилу прямих дорівнює -1,4, що є показником ступеня у числа Фур'є.

Визначили ступінь впливу температури на процес. Побудовано залежність  $\theta = f((\Pi/\pi)/Fo_M^{-1,4})$  у логарифмічних координатах. Тангенс кута нахилу кривих (рис. 34) дорівнює -1,4, що є показником ступеня у числа  $\theta$ . Криві розширюються залежно від частоти ультразвукових коливань опромінювача.

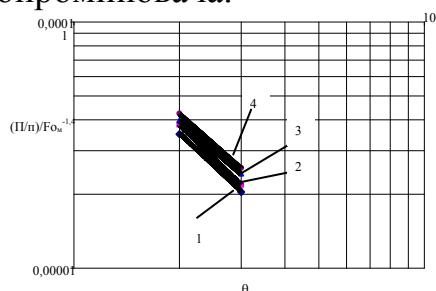


Рис. 34. Залежність  $((\Pi/\pi)/Fo_M^{-1,4}) = f(\theta)$  при зміні частоти ультразвукових коливань опромінювача: 1 – 24 кГц, 2 – 50 кГц, 3 – 75 кГц, 4 – 130 кГц. Овальний випромінювач. (Соняшникова олія)

Використано отримане рівняння в числах подібності для розрахунку ряду значень безрозмірної продуктивності  $\Pi_r$ , порівняно з експериментальними даними (рис. 36). Отримано розбіжність в межах 15%.

Враховано залежить безрозмірної продуктивності від зміни в'язкості олії на протязі часу. Побудовано залежність  $\Pi = f(Fo_M)$  у логарифмічних координатах (рис.33).

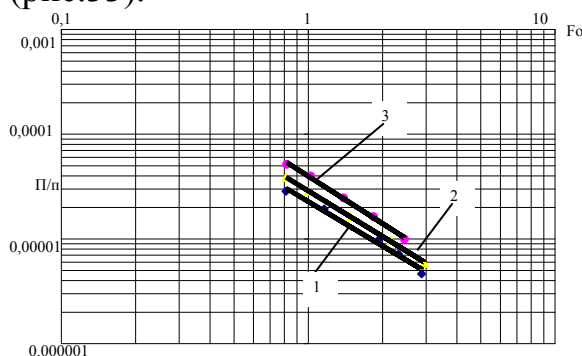


Рис. 33. Залежність  $\Pi/\pi = f(Fo_M)$  при різних значеннях  $\theta$ : 1 –  $\theta = 3$ , 2 –  $\theta = 2,5$ , 3 –  $\theta = 2$

Визначено ступінь впливу частоти ультразвукових коливань опромінювача на процес. Побудовано залежність  $Eu_M = f((\Pi/\pi)/(Fo_M^{-1,4} \theta^{-1,4}))$  у логарифмічних координатах. Тангенс кута нахилу кривих (рис. 35) дорівнює -0,02, що є показником ступеня у числа  $Eu_M$ .

Остаточний результат обробки - рівняння виду:

$$\Pi_r = 7 \cdot 10^{-5} \cdot (Fo_M \cdot \theta)^{-1,4} \cdot Eu_M^{0,02} \quad (17)$$

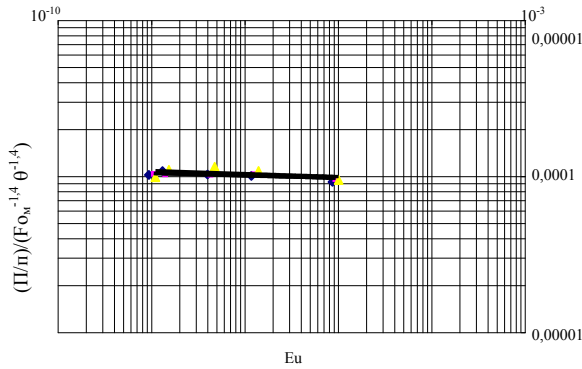


Рис. 35. Залежність  $((\Pi/\pi)/Fo_m^{-1,4}\theta^{-1,4})=f(Eu_M)$

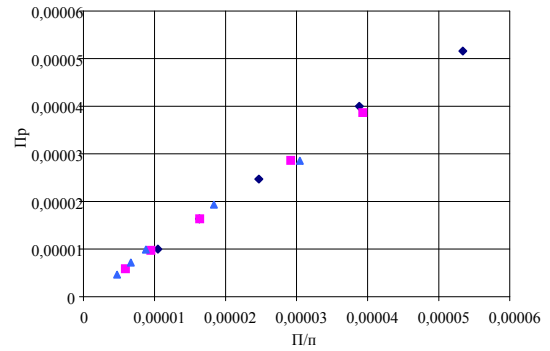


Рис. 36. Порівняння значень  $Pr$  і експериментальних  $\Pi/\pi$

Використовуючи рівняння (17), можна розраховувати продуктивність установки, задаючись різними режимними параметрами: частотою УЗК, температурою.

Розглянуто процес гідратації при обробці олії електромагнітними хвилями (рис. 37).

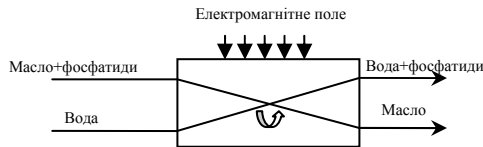


Рис. 37. Фізична схема процесу гідратації при обробці електромагнітними хвилями

Установлено вид критеріального рівняння для розрахунку продуктивності установки. Коефіцієнт масопередачі, в такому випадку, залежить від наступних параметрів: напруженості магнітного поля ( $H$ ), температури ( $T$ ), швидкості потоку ( $v$ ).

Використовуючи метод аналізу розмірностей, отримано рівняння виду:

$$St = A \cdot H^{k1} \cdot \theta^{k2} \tag{18}$$

Проведено узагальнення експериментальних даних. Вихідні дані для обробки отримані в результаті експериментальних досліджень. Також використані деякі табличні значення – теплофізичних властивостей олії. Алгоритм (рис. 38) реалізовано в середовищі Microsoft Excel. Використовуючи функції Microsoft Excel, одержали показники ступеня в рівнянні в числах подібності.



Рис. 38. Алгоритм узагальнення експериментальних даних при зміні напруженості магнітного поля

Враховано, залежить коефіцієнта масопередачі від зміни температури. Побудовано залежність  $St = f(\theta)$  у логарифмічних координатах (рис. 39). Криві розшаровуються залежно значення симплекса напруженості магнітного поля  $H_T/H_0$ . Тангенс кута нахилу прямих дорівнює 0,8, що є показником ступеня у числа  $\theta$ .

Визначили ступінь впливу напруженості магнітного поля на процес. Побудована залежність  $H_T/H_0 = f(St/\theta^{0,8})$  у напівлогарифмічних координатах. Тангенс кута нахилу кривих (рис. 40) дорівнює 1,8, що є показником ступеня у числа  $H_T/H_0$ .

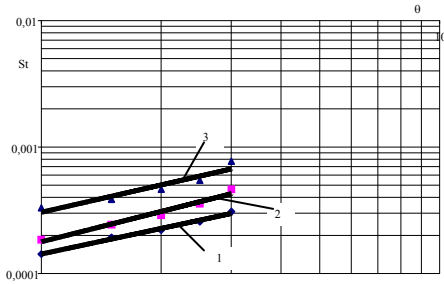


Рис. 39. Залежність  $St = f(\theta)$  при значеннях  $H_t/H_0$ : 1 – 1; 2 – 1,35; 3 – 1,52

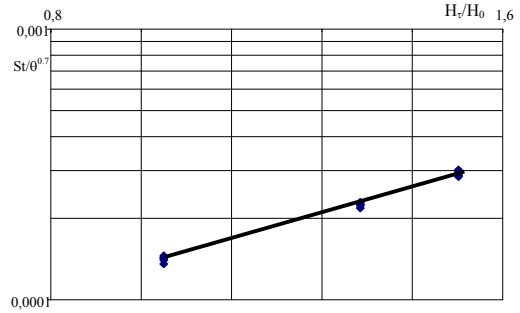


Рис. 40. Залежність  $H_t/H_0 = f(St/\theta^{0.8})$

Остаточний результат обробки - рівняння виду:

$$St_p = 0.0001 \cdot H^{1.8} \cdot \theta^{0.8} \tag{19}$$

Використали отримане рівняння в числах подібності для розрахунку ряду значень  $St_p$ . Порівняли з експериментальними даними (рис. 41). Отримали розбіжність в межах 18%.

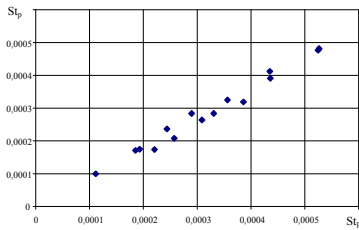


Рис. 41. Порівняння значень  $St_p$  і експериментальних  $St$

Використовуючи рівняння (19), можна розраховувати об'єм установки, швидкість процесу, задаючись різними режимними параметрами: напруженістю магнітного поля, температурою.

Наведено структуру розрахунку апаратів з хвильовими інтенсифікаторами. При розрахунку апарату з ультразвуковим інтенсифікатором (рис.42), головними вхідними параметрами є температура продукту, частота ультразвукових коливань, тривалість обробки продукту, визначальний розмір, потужність випромінювача.

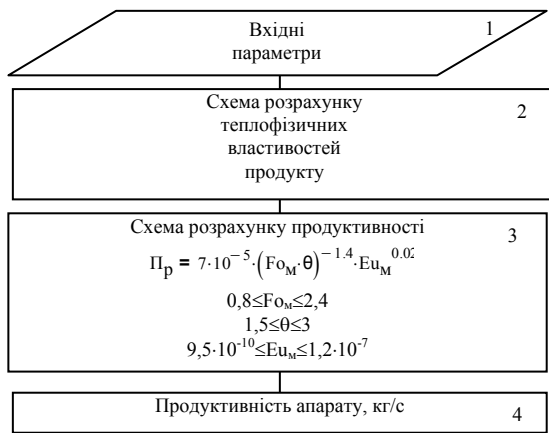


Рис. 42. Загальний алгоритм розрахунку апарату з ультразвуковим інтенсифікатором

Розглянуті виділені структури розрахунку. Обмеженням на використання результатів є те, що розроблена модель (17) працює тільки в діапазоні зміни визначальних чисел подібності:  $0,8 \leq Fo_M \leq 2,4$ ;  $1,5 \leq \theta \leq 3$ ;  $9,5 \cdot 10^{-10} \leq Eu_M \leq 1,2 \cdot 10^{-7}$ . В блоці 4 розраховується реальна продуктивність апарату. Для порівняння було обрано експериментальні дані, отримані для соняшникової олії

За 200 секунд фільтрації при температурі олії  $55^\circ C$  та зміні потужності ультразвукових коливань від 0,25 до 1,5 кВт. Вказані тривалість процесу, температура та потужність є вхідними даними до алгоритму розрахунку (рис. 42). Отримані наступні результати (рис. 43).

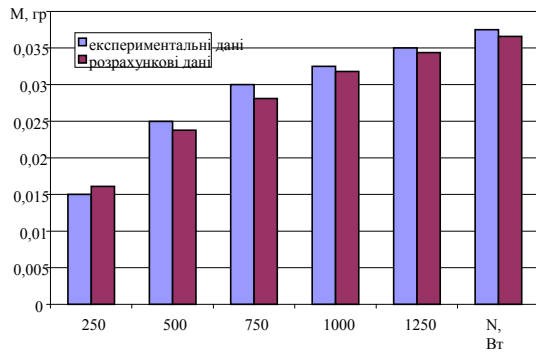


Рис. 43. Кількості осаду за 200 секунд фільтрації при температурі олії 55 °С та зміні потужності ультразвукових коливань

Після введення вхідних параметрів (блок 1) відбувається розрахунок

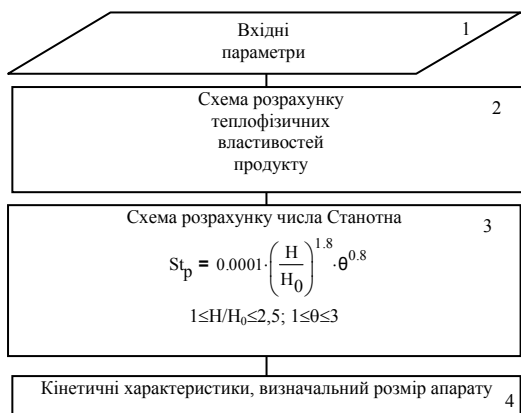


Рис. 44. Загальний алгоритм розрахунку апарату з електромагнітним інтенсифікатором

результатів є те, що розроблена модель (19) працює тільки в діапазоні зміни визначальних чисел подібності:  $1 \leq H/H_0 \leq 2,5$ ;  $1 \leq \theta \leq 3$ . В блоці 4 розраховується кінетичні характеристики, визначальний розмір апарату.

**У восьмому розділі** «Дослідження динаміки руху домішок у центробіжному полі при очищенні рослинних олій» розглядається динаміка руху рослинної олії у вертикальній центрифугі. При зростанні кутової швидкості ротора центрифуги пульсації швидкостей нестисливої рідини, якою є рослинна олія, згладжуються і поле швидкостей можна вважати стаціонарним і віссесиметричним. В цьому випадку в диференціальних рівняннях нерозривності і руху зникає кутова координата, і динамічна задача стає віссесиметричною. Конструктивною особливістю обладнання для центрифугування рослинної олії є кармани на внутрішній поверхні циліндричного корпусу для відбору домішок. Ці кармани утворені радіально розташованими плоскими лопатями (рис.45).

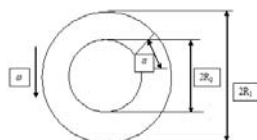


Рис.45 Розташування лопатей сепаратора

Розбіжність між розрахунковими та експериментальними даними в межах 15 %.

При розрахунку апарату з електромагнітним інтенсифікатором (рис. 44), головними вхідними параметрами є температура продукту, напруженість магнітного поля, визначальний розмір, швидкість потоку, концентрація компонентів. Розглянуто виділені структури розрахунку.

Після введення вхідних параметрів (блок 1) відбувається розрахунок теплофізичних властивостей продукту (блок 2). Використовуються стандартні апроксимації для визначення густини олії в залежності від температури. В блоці 3 відбувається розрахунок числа Стантона з використанням залежностей, отриманих в результаті узагальнення експериментальних даних. При розрахунку необхідно враховувати діапазон зміни визначальних чисел подібності. Обмеженням на використання

Геометричні параметри сепаратора складаються:  $\alpha$  - кут між площинами суміжних лопатей;  $R_0$  – відстань від осі обертання до торця лопаті;  $R_1$  – радіус циліндричного корпусу;  $H$  –

висота корпусу;  $\delta$  - товщина лопаті.

Для сепаратору розглянутої конструкції гранична умова має вигляд:  $\mathcal{G}_\varphi|_{r=R_0} = f(\alpha, \omega, R_0, \delta)$ , де у правій частині стоїть невідома функція. Щоб знайти цю функцію, зауважимо, що при  $\alpha \rightarrow 0$  середня тангенціальна швидкість рідини між торцями сусідніх лопатей дорівнює:  $\mathcal{G}_1 = \frac{\sin \alpha}{\alpha} \omega R_0$ . З умови прилипання часток рідини до торця лопаті запишемо величину швидкості на його поверхні  $\mathcal{G}_2 = \omega R_0$ . Функцію  $f(\alpha, \omega, R_0, \delta)$ , визначили як середньо зважене значення швидкостей  $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2$ . Таким чином отримано граничну умову для однозв'язної області  $0 < r < R_0$ . Рівняння нерозривності не дає вкладу в систему рівнянь для визначення швидкостей та тисків. Це пов'язано з тим, що вісь циліндра розташована вертикально і  $\mathcal{G}_z = \mathcal{G}_r = 0$ , а  $\mathcal{G}_\varphi$  є функцією тільки  $r$ . З урахуванням цього рівняння руху мають вигляд (20):

$$\begin{aligned} \frac{\partial P}{\partial r} &= \rho \frac{\mathcal{G}_\varphi^2}{r}; \\ \mu \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mathcal{G}_\varphi) \right) &= 0 \\ \frac{\partial P}{\partial Z} + \rho g &= 0 \end{aligned} \quad (20)$$

Розглянуто вплив кінематичних і конструктивних параметрів на величину тангенціальної швидкості. Значення  $\mathcal{G}_\varphi$  зростає прямо пропорційно радіальній координаті (21, 22).

$$\mathcal{G}_\varphi = \frac{\omega(\delta + R_0 \sin \alpha)}{\delta + \alpha R_0} r \quad (21) \quad P = P_0 + \frac{\rho \omega^2 (\delta + R_0 \sin \alpha)^2}{2(\delta + \alpha R_0)^2} r^2 + \rho g (Z_0 - Z) \quad (22)$$

Формули (21) і (22) зв'язують поля швидкостей та тиску рослинної олії з конструктивними та режимними параметрами сепаратора. Формула (22) враховує вплив в'язкості так як від неї залежить параметр  $P_0$ . Таким чином отримана динамічна модель центрифугування рослинної олії, яка зв'язує його фізико-механічні властивості ( $\rho, \mu$ ) з конструктивними ( $\alpha, \delta, R_0$ ) і кінематичними ( $\omega$ ) параметрами. Формули (21, 22) дозволяють вирішувати завдання оптимізації процесів технологічної обробки рослинних олій.

Розглядається періодичний режим роботи роторної машини У періодичному режимі роботи олія заповнює робочу зону до початку обертання ротора. В період роботи рухаються одні і ті ж частинки рідини, у яких величиною вертикальної швидкості  $V_Z$  можна знехтувати. В цьому випадку побудова поля швидкостей зводиться до вирішення плоскої задачі з двома координатами: радіальної  $r$  і кутовий  $\varphi$ . Граничні умови можна записати в такому вигляді:  $\mathcal{G}_\varphi(R_1, \psi) = \omega R_1$ ;  $\mathcal{G}_r(R_2, \psi) = 0$ , де:  $R_1$  – радіус краю лопаті,  $R_2$  – радіус основи лопаті,  $R_1 < r < R_2$  – суміжна область між сусідніми лопатями,  $0 < r < R_1$  – однозв'язна область робочої зони,  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора. Так як усередині неочищеної олії міститься дисперсний матеріал, частинки якого осідають на внутрішній поверхні робочої зони, то виникає задача переміщення частинок в області з рухомими

межами (задача Стефана). Тоді існує функція часу  $R_2(\tau)$ , яка визначає процес заповнення міжлопатевого простору дисперсним матеріалом домішок, які містяться в неочищеній олії. Швидкість наближення частки домішки до лопаті визначається за формулою (23):

$$g_r(r, \delta) = \frac{\rho \delta^2 \omega^2}{18 \mu} r \quad (23)$$

Знаючи швидкість  $g_r$ , визначимо час руху  $\tau$  від фіксованої радіальної координати  $r_0$  до краю лопаті з координатою  $R_1$  (24).

$$\bar{\tau} = \frac{18 \mu M_{-2}}{\rho \omega^2 (\delta_2 - \delta_1)} \left(1 - \frac{r_1}{R_1 - r_1} \ln \frac{R_1}{r_1}\right) \quad (24)$$

За допомогою рівнянь (23, 24) можна розрахувати доцільний час роботи роторної машини враховуючі фізико-хімічний склад рослинних олій та технічні параметри роботи машини.

Представлено теоретичний експеримент розрахунку швидкості і часу осідання зважених часток в центрифугі при різних видах олій і дисперсному складу домішок. Для розрахунку швидкості видалення домішок використовували дані щільності і динамічної в'язкості олій соняшнику і ріпаку. Задавали діаметр зваженої частинки, а також її щільність. Дискретно змінювали щільність частинок і частоту обертання ротора. Отримані результати відображені на рисунках 46 і 47. Провели розрахунок часу видалення домішок з олій у відцентровому полі, використовуючи запропонований математичний опис. Отримані результати представлені на рисунках 48 і 49.

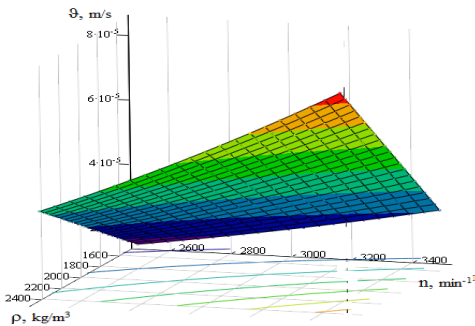


Рис.46 Швидкість видалення домішок з соняшникової олії при зміні щільності частинок і частоти обертання ротора центрифуги.

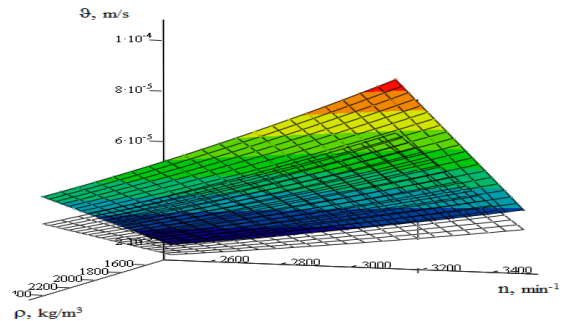


Рис.47 Швидкість видалення домішок з ріпакової олії при зміні щільності частинок і частоти обертання ротора центрифуги.

Отримали закономірність збільшення швидкості руху зважених часток в центрифугі зі збільшенням швидкості обертання ротора, а також при збільшенні щільності домішок. Так само завдяки фізико-хімічному складу досліджуваних олій можна відзначити більшу швидкість руху домішок при очищенні ріпакової олії

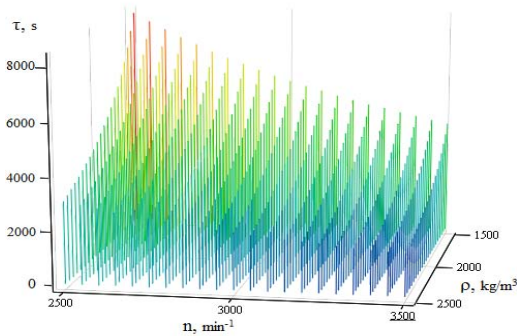


Рис. 48 Час видалення домішок з соняшникової олії при зміні щільності частинок і частоти обертання ротора центрифуги.

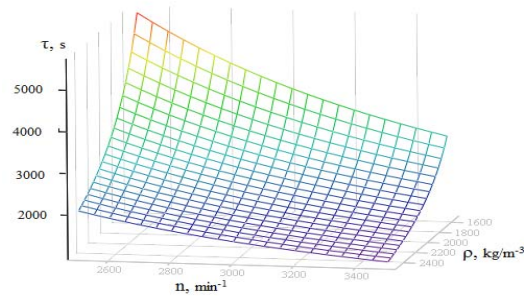


Рис.49 Час видалення домішок з ріпакової олії при зміні щільності частинок і частоти обертання ротора центрифуги.

Отримали закономірність зменшення часу видалення зважених часток в центрифугі зі збільшенням швидкості обертання ротора, а також при збільшенні щільності домішок. Так само завдяки фізико-хімічному складу досліджуваних олій можна відзначити менший час видалення домішок при очищенні ріпакової олії.

Запропоновано доцільні режими роботи центрифуги, які будуть залежати від необхідного ступеня очищення рослинних олій. У нашому випадку для соняшникової олії можна рекомендувати швидкість обертання ротора центрифуги 3400 хв-1, час роботи 6500 с. Для ріпакової олії швидкість обертання ротора центрифуги 3200 хв-1, час роботи 4500 с.

У дев'ятому розділі «Експериментальні установки, впровадження та якісні показники отриманої рослинної олії за допомогою інноваційного обладнання» представлено установка фільтрації рослинних олій з використанням віброакустичного поля для проведення експериментальних досліджень у широкому діапазоні температур, частот та потужності ультразвуку. Загальний вигляд пілотної установки обробки ультразвуковими хвилями соняшникової та ріпакової олій наведено на рисунку 50.



Рис. 50. Пілотна установка ультразвукової обробки рослинних олій при первинній очистці.

Технічна характеристика апарату:

Апарат може працювати в опалювальних приміщеннях при температурах від 5 до 60°C, та вологості повітря до 80 %. Номінальна продуктивність апарату – 2100 см<sup>3</sup>/год. Номінальна швидкість олії – 0,2 м/с. Максимальна потужність в випромінювачі – 1,6 кВт. Максимальний струм апарата (ефективний) – 28 А.

Максимальна потужність споживання 1,6 кВт. Габарити: довжина – 600 мм., висота 700 мм. Маса не більше – 15 кг.

За допомогою даної пілотної установки проведено ряд експериментальних досліджень результати яких наведені та проаналізовані у п'ятому розділі.

Представлено установку для обробки рослинних олій електромагнітним полем при гідратації у широкому діапазоні температур, напруженості електромагнітного поля та часу проведення процесу. Загальний вигляд пілотної установки обробки електромагнітними хвилями соняшникової та ріпакової олії наведена на рисунку 51.

Технічна характеристика апарата.

Електромагнітний апарат може працювати в сухих опалювальних і не опалювальних приміщеннях при вологості повітря до 70%. Номінальна продуктивність – 1,5 м<sup>3</sup>/год. Номінальна швидкість олії – 0,3 м/с. Максимальна напруженість магнітного поля – 200 кА/м. Максимальний струм апарата – 1,2 А



Рис. 51 Пілотно установка електромагнітної обробки рослинних олій

Максимальна потужність споживання – 300 Вт. Габарити: довжина – 750 мм. Діаметр труби – 48 мм. Довжина патрубків 60 мм. Діаметр патрубків – 1/2” Маса не більш – 15 кг.

Блок живлення імпульсний призначений для роботи в сухих опалювальних приміщеннях при температурі повітря 15-35 °С и вологості повітря не більш 70%. Напруга мережі живлення – 220 В. Максимальний струм навантаження – 1,2 А. Діапазон регулювання пульсацій струму – 2-10 Гц. Діапазон регулювання амплітуди пульсації струму – 0,5-1 А. Габарити: висота – 150 мм. Ширина – 150 мм. Довжина – 180 мм. Маса не більш – 2 кг.

За допомогою даної пілотної установки проведено ряд експериментальних досліджень результати яких наведені та проаналізовані у шостому розділі.

Представлені промислові випробування у цехах виробництва рослинних олій, які знаходяться у Одеській області, м. Біляєвка; Одеській області, Татарбунарського району с. Миколаївка; Кіровоградській області, Голованівського району, с.м.т. Побузьке. Запропоновано та виконано:

1. Проект технологічної лінії очищення рослинної олії з використанням фізичних полів та первинного очищення. З метою отримання олії вищого гатунку.

2. Використаний режим при проведенні процесу очищення рослинної олії ультразвуковим полем: частота 120 кГц, потужність в випромінювачі 1,3 кВт, видалення твердих речовин  $\approx$  90%.

3. Запропонований режим при проведенні процесу очищення рослинної олії електромагнітним полем: напруженість електромагнітного поля - 155 кА/м, температурі 55°С, кількість твердих речовин, що видаляються  $\approx$  90%.

4. Проведені хімічні аналізи по характеристиці отриманих зразків соняшникової олії для деяких констант дали наступні результати: йодне число – 78 г  $J_2$  /100 г., кислотне число – 0,9 мгКОН, пероксидне число - 3,0  $\frac{1}{2}$ \*О\*Моль/кг, наявність пестицидів не виявлено, кількість важких металів перебуває в нормативних межах. На підставі цього можна судити про відповідність соняшникової олії, отриманої шляхом її обробки фізичними полями та первинному очищенню, вищому гатунку відносно ДСТУ 4492:2005.

На підставі отриманих результатів були ухвалені наступні рішення:

1.Проведені хімічні аналізи показують, що рослинна олія очищена запропонованими методами на основі фізичних полів є олією вищого гатунку. 2.Впровадження запропонованої технології в комплексі може вирішувати техніко - економічні завдання у виробництві рослинної олії за рахунок чого, скоротяться виробничі витрати на її очищення.

Взагалі проведені промислові випробування показали позитивний результат використання ультразвукового та електромагнітного полів при очищенні рослинних олій. Без впровадження додаткового обладнання для глибокого очищення досягнута якість, яка відповідно ДСТУ, відповідає вищому гатунку.

Наведені аналізи якості отриманої рослинної олії інноваційними методами (таблиця 3).

Таблиця 3

**Показники якості рослинної олії отриманої на інноваційному обладнанні.**

№ досліджу	Вид обробки	Частота КГц	Потужність в вібраторі, кВт.	Час обробки, хв.	Вид соняшник ової олії	Вага елемента, г/100г олії.	Пероксидне число, 0,5 О ммоль/кг.	Кислотне число, Мг КОН/г	Масова частка вологості та летючих речовин, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Фільтрація, без УЗ.	–	–	3,3	Стара*	0,19	9,0	2,8	0,15
2.	УЗ. + Фільтрація	24	1	3,3	Стара*	0,31	6,5	2,0	0,12
3.	Фільтрація, без УЗ.	–	–	3,3	Нова*	0,26	5,0	1,12	0,12
4.	УЗ. + Фільтрація	24	1,2	3,3	Нова*	0,3	4,0	0,78	0,1
5.	УЗ. + Фільтрація	50	1	3,3	Нова*	0,33	5,0	0,9	0,1
6.	УЗ. + Фільтрація	50	1,3	3,3	Нова*	0,36	4,5	0,9	0,1
7.	УЗ. + Фільтрація	75	1	3,3	Нова*	0,38	3,0	1,1	0,1
8.	УЗ. + Фільтрація	115	1,25	3,3	Нова*	0,39	3,0	1,1	0,1
9.	УЗ. + Фільтрація	130	1,25	3,3	Нова*	0,396	3,0	1,1	0,1

Отримані зразки очищеної олії були здані для проведення якісних аналізів до державного підприємства «Одеський цент з проблем захисту прав споживачів» Держспоживстандарту України. Даний центр атестований на технічну компетентність та незалежність по контролю якості і безпеки продуктів харчування.

Показники: пероксидне число, кислотне число, масова частка вологи та летючих речовин, відповідають згідно ДСТУ 4492 : 2005 – олія гідратована, виморожена вищого гатунку.

Представлено патенти на корисну модель. На підставі запропонованої інноваційної схеми нами було отримано 3 патенти на корисну модель «Гідродинамічна установка дезодорації рослинної олії» №136371, «Установка для очистки рослинної олії» №137537 та «Установка для очищення рослинної олії» №146065. У двох патентах є загальний механізм, якій позитивно впливає на процес очищення рослинних олій, це ультразвукова кавітація. У третьому використовується високообертова центрифуга вмонтована у нагнітальну магістраль. Схема гідродинамічної установки дезодорації рослинних олій наведена на рисунку 52.

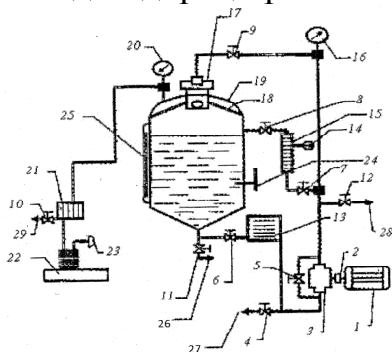


Рис.52 Принципова схема гідродинамічної установки

Гідродинамічна установка включає: 1 – електродвигун; 2 - з'єднувальна муфта; 3 – масляний насос; 4 – 12 – крани; 13 – теплообмінник; 14, 16 – манометр; 15 – гідродинамічний кавітатор; 17 – розпилювач; 18 – крапле відбійник; 19 – ємність; 20 – вакуумметр; 21 – конденсатозбірник; 22 – вакуумний насос; 23 – фільтр; 24 – термометр; 25 – рівнемір; 26 – магістраль для зливу залишків олії;

27 – магістраль для всмоктування олії в ємність; 28 – магістраль для зливу висушеної олії; 29 – магістраль для зливу конденсату.

Гідродинамічна установка дезодорації рослинних олій, що складається з гідростанції, яка включає в себе електродвигун, муфту та масляний насос, технологічні ємності для сировини та готової продукції, фільтр, з'єднувальну арматуру та контрольно-вимірювальну апаратуру, яка відрізняється тим, що магістраль для всмоктування олії з'єднана через байпасну систему з теплообмінником і гідродинамічним кавітатором та під'єднань з'єднувальною арматурою через розпилювач та крапле відбійник до ємності, яка з'єднана арматурою з конденсатозбірником та вакуумним насосом та під'єднана до магістралі для зливу конденсату.

Схема установки для очищення рослинної олії наведена на рисунку 53.

Установка для очистки рослинної олії включає: 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – насос; 4 – байпас; 5 – фільтр; 6 – корпус фільтра; 7, 8 – фільтруючий елемент; 9 – з'єднувальна арматура; 10 – ємність для готової продукції; 11 – ємність для сировини; 12, 14, 15, 20, 21 – крани; 14 – гідродинамічний диспергатор; 16 – каркас жорсткості; 17 – олієпровід; 18 – манометр; 19 – термометр.

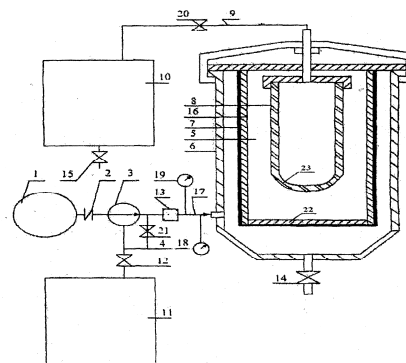


Рис. 53 Схема установки для очистки рослинної олії

Установка для очистки рослинної олії складається з гідростанції, яка включає в себе електродвигун, муфту та насос, технологічні ємності для сировини та готової продукції, фільтр, з'єднувальну арматуру та контрольно-вимірювальну апаратуру. В систему очищення введений двоступеневий фільтр, вхід якого через байпас та гідродинамічний диспергатор з'єднаний з виходом насоса, вихід фільтра з'єднано олієпроводом з ємністю готової продукції. При цьому для першої ступені очистки у внутрішню порожнину корпусу фільтра вмонтовано каркас жорсткості, обгорнутий зовні фільтруючим матеріалом, а друга ступінь – керамічний фільтр, який вмонтовано по центру вертикальної осі всередині каркаса жорсткості для тонкої очистки олії.

Схема установки для очищення рослинної олії наведена на рисунку 54, 55.

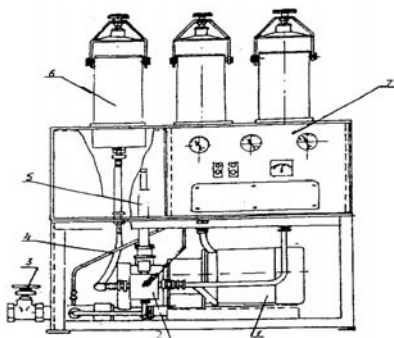


Рис. 54 Установка очистки олії на основі високооберткових центрифуг

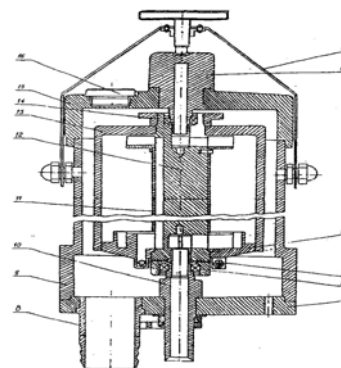


Рис. 55 Конструкція центрифуги

Основні технічні дані установки: Кількість центрифуг - 1-3 шт. Середня продуктивність - 150 - 450л/ч. Споживаюча потужність - 2, 7- 7,5 кВт. Робоча температура олії - 65 - 70 С°. Робочий тиск олії - 1,2 МПа. Частота обертання ротора центрифуги - 10000/12000 об/хв.. Тонкість фільтрації - 1-3 мкм. Габаритні розміри - 380 x 1090 x 1000 мм. Напруга - 380 В. Обслуговуючий персонал - 1 люд.

Установка очистки олії на основі високооберткових центрифуг показана на рис. 54. Вона вміщує раму, на якій встановлено центрифуги (6), насос-станція складається з електродвигуна (1), гідронасоса (2), вхідний вентиль (3), трубопровід (4), перепускний клапан (5), шафа керування (7). Конструкція центрифуги

представлена на рис. 55. Центрифуга складається з корпусу (9), що закривається кришкою (15). В нижню кришку (22) вставляється нижній шип (10), закріплений гайками. В кришці (15) вставлений шип верхній (18), який разом закріплюється до корпусу струбциною з маховиком (17). На верхньому (18) і нижньому (10) шипах на шарикових підшипниках (14,21) встановлена колонка (12), на нижній частині якої посаджене дно ротора з соплами (19), а на верхній частині-барабан (13), закріплений на колонці гайкою. На колонку (12) посаджена втулка (11), яка відокремлює поздовжні канали колонки від порожнини барабана, зливного патрубка (8) і пробки (16). Працює центрифуга наступним чином: олія від гідронасоса через вентиль надходить по каналу в нижньому шипі і радіальному каналу нижньої частини колонки в порожнину ротора. Піднімаючись уздовж стінки барабана, потік підпадає відцентровій очистці. Механічні домішки під дією сил осідають на внутрішній поверхні ротора, а очищена олія надходить в поздовжні канали колонки, проходить під ними і через просвердлених в дні ротора витікає з великою швидкістю, сопла утворюють пару реактивних сил і забезпечують цим велику частоту обертання ротора.

**У десятому розділі** «Економічні показники та аналіз техногенного впливу запропонованого технологічного процесу на навколишнє середовище» представлено розрахунок економічної ефективності запропонованого інноваційного процесу очистки рослинних олій відповідно стандартної технології. На підставі розробленої технологічної схеми з використанням ультразвукових та електромагнітних полів при первинній очистці та гідратації, де спостерігалось інтенсифікація технологічного процесу, шляхом збільшення виділення супутніх речовин та зменшення часу технологічних операцій, розрахована економічна ефективність. За базову основу взято виробництво середньої продуктивності 10 тис. тон на рік. Отримані показники економічної ефективності представлені у таблиці 4.

Аналізуючи отримані розрахункові данні бачимо позитивний економічний ефект від впровадження запропонованої технології очистки рослинних олій. Який на базі середнього по продуктивності підприємства виробництва олій склав приблизно 15 % від загальних витрат.

Наведені екологічні аспекти процесу очистки рослинних олій. Запропонована нами технологія отримання рослинної олії вищого гатунку шляхом використання фізичних полів при її первинній очистці та гідратації, дозволяє видалити зі складу соапстоку, який отримується як побічний продукт, хімічні реагенти. За рахунок чого значно зменшити отруйність стічних вод і тим самим зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Також за рахунок виключення з технологічного процесу хімічних реагентів отримується екологічно чистий продукт. При збереженні необхідних біологічно активних властивостей та відповідно високих споживчих якостей.

Таблиця 4. Показники економічної ефективності.

№ п/п	Показники	Позна-чення	Технологічна лінія		Відхи-лення (+,-)
			Стандар-тна	Запропо-нована	
1.	Обсяг робіт, т	O <sub>p</sub>	10000	10000	-
2.	Продуктивність агрегату, т	W <sub>Г</sub>	5,7	6,6	0,9
3.	Трудомісткість робіт, год.	T <sub>м</sub>	1754	1515	-239
4.	Витрати на оплату праці з нарахуваннями, тис. грн.	O <sub>пм</sub>	182	157	-25
5.	Загальна вартість електроенергії - всього, тис. грн.	B <sub>e</sub>	180	171	-9
6.	Загальна вартість сировини, млн. грн..	B <sub>з</sub>	375	375	-
7.	Загальна вартість води - всього, тис. грн..	B <sub>в</sub>	150	120	-30
8.	Балансова вартість обладнання, тис. грн.	B <sub>i</sub>	225	285	60
9.	Нормативне навантаження на рік, год.	H <sub>в</sub>	1760	1760	-
10.	Сума амортизації всього, тис. грн	A	0,9	0,95	0,05
11.	Витрати на поточний ремонт, технічне обслуговування та зберігання всього, грн	P	0,223	0,245	0,022
12.	Всього прямих витрат, млн. грн.	П <sub>ев</sub>	370	281	-90
13.	Економічна ефективність, млн. грн	E		90	

Це дає змогу стверджувати, що використовуючи запропоновану технологію, зменшується вплив шкідливих факторів, як на навколишнє середовище, так і на здоров'я людини при вживанні отриманих рослинних олій.

**У додатках** наведені акти впровадження іноваційної технології на підприємствах Одеської та Кіровоградської областей. Опис патентів на корисну модель отриманих на підставі використання фізичного поля у процесі очищення рослинних олій. Хімічні аналізи якості рослинної олії очищеної за допомогою іноваційного обладнання, які були отримані від державного підприємства «Одеський цент з проблем захисту прав споживачів» Держспоживстандарту України. Комп'ютерна програма розрахунку швидкості видалення супутніх речовин та часу обробки олії у центробіжному полі. Комп'ютерна програма розрахунку магнітної індукції у електромагнітному апараті при гідратації рослинних олій.

## ВИСНОВКИ

Сформульована в роботі науково-технічна концепція, що організація процесів очищення рослинних олій в керованих фізичних полях дозволить

вирішати екологічні, енергетичні та експлуатаційні проблеми виробництв, доказана. Запропоновані із концепції гіпотези, щодо організації процесу фільтрування рослинних олій в умовах хвильового поля ультразвукового діапазону, процесу гідратації в умовах хвильового електромагнітного поля, комплексні аналітичні, експериментальні дослідження та випробування в виробничих умовах стали науково-технічною основою розробки інноваційного обладнання для виготовлення олії вищого гатунку. Це дозволяє підвищувати ефективність роботи обладнання для очистки олії та сприяє розвитку в Україні прогресивних технологій і широкому використанню їх в галузях агропромислового комплексу.

1. Системний аналіз енергоємних технологій очищення рослинних олій показав що запропонована інноваційна схема дозволяє скоротити енергетичні затрати на 6% за рахунок прямої передачі енергії продукту.

2. Використання технологій інтенсифікації процесу коагуляції у об'ємі продукту за рахунок електрофізичних засобів (ультразвукових та електромагнітних полів) дозволяють отримати екологічно безпечну олію при скороченні часу обробки на 50%. Використанням ультразвукових та електромагнітних інтенсифікаторів

3. Залучення до моделювання процесу коагуляції домішок у дисперсних потоках теорії марковських ланцюгів визначає матрицю перехідних ймовірностей  $p_{ij}$ . Розрахована гістограма початкового розподілу часток по розмірах показує, що найбільша ймовірність  $P_i$  припадає на четвертий клас.

4. Розроблено восьмикласовий граф стану процесу коагуляції домішок за рахунок чого отримано вірогідності стану марковського процесу коагуляції часток у вигляді восьми функцій  $\bar{P}_k(t)$ . Отримані функції ймовірностей перебування частиць у даному класі дозволяють прогнозувати процес коагуляції. Розраховуючи оптимальний час процесу очистки рослинних олій (час коли всі часточки перейдуть у восьмий клас) з урахуванням концентрації супутніх елементів та вільного простору між ними.

5. На основі запропонованої методики визначення ефективної полоси частот ультразвуку для обробки рослинних олій експериментально визначено залежність інтенсивності видалення домішок від полоси частот та потужності ультразвуку, яка показала наступні результати: потужність ультразвукових коливань 1,3 кВт, частота ультразвукових коливань 120 кГц, час обробки 200 секунд, температура олії 55 °С.

6. Експериментально визначена залежність інтенсивності осадження фосфатидів від напруженості магнітного поля, яка дозволяє обґрунтувати режими процесу: напруженість електромагнітного поля - 155 кА/м, температура 55°С.

7. Комп'ютерне моделювання визначило доцільні режими очищення соняшникової та ріпакової олії у відцентровому полі. Для соняшникової олії рекомендується швидкість обертання ротора центрифуги 3400 хв-1, час

роботи 6500 с. Для ріпакової олії швидкість обертання ротора центрифуги 3200 хв-1, час роботи 4500 с.

8. Для розрахунку продуктивності установки з ультразвуковим полем рекомендується інженерна методика у вигляді критеріального рівняння залежності безрозмірної продуктивності від модифікованих чисел подібності Фур'є та Ейлера. Модель узгоджує базу експериментальних даних в межах 15%.

9. Інженерна методика розрахунку продуктивності установки з електромагнітним полем базується на визначенні ефективного коефіцієнту масовіддачі за допомогою критеріального рівняння залежності числа Стантона від симплекса напруженості магнітного поля та безрозмірної температури. Модель в діапазоні зміни визначальних чисел подібності:  $1 \leq N/N_0 \leq 2,5$ ;  $1 \leq \theta \leq 3$  має похибку в межах 18%.

10. Промислові випробування інноваційного обладнання у цехах виробництва рослинних олій показали, що зразки соняшникової олії для деяких констант дали наступні результати: йодне число – 78 г  $J_2$  /100 г., кислотне число – 0,9 мгКОН, пероксидне число - 3,0  $\frac{1}{2} \cdot O^* \text{Моль/кг}$ , наявність пестицидів не виявлено, кількість важких металів перебуває в нормативних межах. Розроблене обладнання впроваджено ВАТ «Сонячне», ТОВ «Рапсо - дія», ФОП «Букрлаченко».

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у закордонних виданнях та у фахових українських виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах.*

1. P. I. Osadchuk, D. P. Domuschi, Y. I. Enakiev, S. N. Peretiaka, A. P. Lipin Study of the effect of ultrasonic field in purifying sunflower oil. //Bulgarian Journal of Agricultural Science, 26 (No 2) 2020, 486–491. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

2. Осадчук П. І. Теоретичні аспекти коагуляції домішок у дисперсних потоках. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 1 том 884 – Одеса, 2020. – с. 22-28. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

3. Осадчук П. І. Використання електромагнітного поля при гідратації рослинних олій. Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 1 том 83 – Одеса, 2019. – с. 98-103. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

4. П. І. Осадчук, І. І. Дударев. Формування технології очистки рослинної олії в умовах міні-цехів. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 1 том 82 – Одеса, 2018. - С. 99-103. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

5. П. І. Осадчук. Вплив ультразвукового поля на процес очищення соняшникової олії. Міжнародна науково – технічна конференція Люблін “MOTOROL 2010” С.309-315. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

6. Г. Є. Топілін, П. І. Осадчук, В. М. Бандура. Засоби очистки рослинних олій фізичними методами. 5 Міжнародна науково – технічна конференція «MOTROL'2005» -

Люблін – Одеса, Том 7. – с. 138 – 140. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

7. П. І. Осадчук, В. Я. Гамоліч. Математичний опис коагуляції домішок в дисперсних потоках. Міжнародна науково – технічна конференція Люблін “MOTOROL 2010” С. 59-69. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

#### **Статті у фахових виданнях України**

8. Г. Е. Топілін, П. І. Осадчук, В. П. Гальцев. Ефективний метод отримання “живої” рослинної олії. //Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – 2002 - № 19 – С.91-95 *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

9. Г. Е. Топілін, П. І. Осадчук, В. П. Гальцев. Гідратація рослинної олії, коагуляція фосфатидів і воску. // Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – Одеса, 2004 - № 24 – С.28 – 32. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

10. Г. Е. Топілін, П. І. Осадчук, В. П. Гальцев. Комплексна очистка рослинної олії. //Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – Одеса, 2004 - № 24 – С.51 – 54. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

11. Г. Е. Топілін, П. І. Осадчук, В. П. Гальцев, В. В. Шерстобитов. Отримання високоякісних рослинних олій в умовах агровиробництва. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Вінниця, 2005. – Вип.. 21. – с. 234 -239. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

12. П. І. Осадчук. Удосконалення технології очищення рослинної олії в умовах міні цехів агровиробництва. // Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – Одеса, 2005 - № 28 – С.48 – 51. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

13. П. І. Осадчук. Математична модель швидкості руху домішок в періодичній центрифугі при очищенні рослинних олій. Збірник наукових праць Вінницького державного аграрного університету. Вінниця, 2006. – Вип. 1. – с. 68 -70. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

14. П. І. Осадчук. Видалення воскових речовин з соняшникової олії. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 28, т.2 – Одеса, 2006. - С.287-288.

15. П. І. Осадчук, С. М. Кудашев. Рапсова олія – перспективні напрями використання. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 29, т.2 – Одеса, 2006. - С.275-277. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

16. П. І. Осадчук. Вплив електромагнітного поля на процес гідратації соняшникової олії. //Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – Одеса, 2006 - № 34 – С.16 – 19. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

17. П. І. Осадчук. Математична модель динаміки руху домішок в безперервній центрифугі при очищенні рослинних олій. //Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – 2007 - № 40 – С.172-176. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

18. П. І. Осадчук, В. В. Жолоб. Вплив ультразвукового поля на процес очищення соняшникової олії. //Аграрний вісник Причорномор’я, Технічні науки – Одеса, 2008 - № 45 – С.26-32. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

19. П. І. Осадчук, В. Я. Гамоліч. Математичний опис коагуляції домішок в дисперсних потоках. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2009 - № 48 – С.18-28.

20. П. І. Осадчук. Очищення соняшникової олії за допомогою ультразвукового поля. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 35,т.2 – Одеса, 2009. – С.114-118. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

21. П. І. Осадчук, В. Я. Гамоліч. Математична модель обробки рослинних олій ультразвуком. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2010 - № 55 – С.135-142. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

22. П. І. Осадчук, С. М. Кудашев. Інтенсифікація процесу гідратації при очистці соняшникової олії з використанням ультразвуку. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 38, т.2 – Одеса, 2010. - С.321-324. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

23. П. І. Осадчук. Теоретичні основи технології очищення рослинних олій. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 37 – Одеса, 2010. – С.135-139. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

24. П. І. Осадчук. Використання фізичних полів для очищення рослинних олій. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 39 том 2 – Одеса, 2011. - С.288-290. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

25. П. І. Осадчук. Динаміка очистки рослинних олій у центробіжному полі. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 41 том 1 – Одеса, 2012. - С.213-216. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

26. П. І. Осадчук, С. М. Кудашев. Інтенсифікація процесу очистки соняшникової олії від воску. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 42 том 1 – Одеса, 2012. - С.348-350. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

27. П. І. Осадчук, В. П. Василюв, С. М. Кудашев, І. В. Москалюк. Шляхи підвищення ефективності тепломасообмінних процесів в харчових виробництвах. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2012 - № 63 – С.121-127. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

28. П. І. Осадчук. Кінетика процесу масопереносу. //Аграрний вісник причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2012 - № 63 – С.136-140. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

29. П. І. Осадчук, В. П. Гальцев. Видалення шкідливих речовин з рослинних олій. //Аграрний вісник причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2012 - № 63 – С.179-183. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

30. П. І. Осадчук. Використання фізичних полів для очистки олій рослинного походження. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2013 - № 67 – С.152-157. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

31. П. І. Осадчук. Впровадження магнітних гідродинамічних резонаторів при очищенні соняшникової олії. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 43 том 2 – Одеса, 2013. - С.184-187. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

32. П. І. Осадчук, Я. О. Вітковський. Основні процеси у виробництві рослинних олій. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2014 - № 74 – С.176-179.

*(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

33. П. І. Осадчук. Експериментальні дослідження впливу надвисокочастотного поля на первинний процес очистки соняшникової олії. //Збірник наукових праць, ОНАХТ. Випуск 45 том 3 – Одеса, 2014. - С. 54-57. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

34. П. І. Осадчук, О. О. Третяк. Удосконалення технології очищення рослинних олій в умовах мініцехів агровиробництва. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2016 - № 80 – С.167-170. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

35. П. І. Осадчук Застосування теорії графів для аналізу та синтезу компактних технологічних процесів виробництва соняшникової олії. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2016 - № 80 – С.154-160. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

36. П. І. Осадчук, Т. В. Маркевич. Користь фізичних полів для очистки соняшникової олії. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2016 - № 80 – С.117-121. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

37. П. І. Осадчук, Д. К. Бондарчук. Використання ультразвуку з метою інтенсифікації процесу гідратації при очистці олій. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2017 - № 85 – С.194-197. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

38. P.I. Osadchuk Introduction of magnetic hydrodynamic resonators when cleaning vegetable oils . // Agrarian Bulletin of the Black Sea Region, Engineering - Odessa, 2017 - No. 85 - P. 96-100. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

39. П. І. Осадчук, С. М. Перетяка, В. В. Гриб. Використання ультразвукових хвиль у технології очистки рослинних олій. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2018 - № 90 – С.15-21. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

40. П. І. Осадчук, С. М. Уминський, І. І. Дударев, В. П. Чучуй. Фільтрація соняшникової олії з використанням ультразвукових хвиль. Техніка і технології АПК. – №3 (112), 2019. – С. 5-7. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

41. П. І. Осадчук. Первинна очистка соняшникової олії в полі віброакустичної дії. Agrarian bulletin of the black sea littoral, scientific journal, issue 95. Odessa, 2019, 167 – 181. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

#### **Статті в інших виданнях**

42. П. І. Осадчук, Г. Є. Топілін, С. М. Кудашев. Видалення шкідливих речовин з рослинних олій. Збірник наукових праць Кримського державного аграрного університету, Сімферополь 2006, Вип 93, с 225-228. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

43. П. І. Осадчук Вивчення впливу ультразвукового та надвисокочастотного полів на процес очистки соняшникової олії. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2015 - № 78 – С.128-137. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

44. П. І. Осадчук, М. Г. Стрельцов Математична модель швидкості руху домішок в періодичній центрифугі при очищенні рослинних олій. //Аграрний вісник Причорномор'я, Технічні науки – Одеса, 2015 - № 78 – С.185-188. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

45. П. І.Осадчук, С. М. Кудашев. Рапсова олія та її використання. Науково практичний журнал « Масло-жировой комплекс», 2006 р. №2, с. 35-37. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

#### **Патенти**

46. Пат. на корисну модель 137597 Україна, МПК В01D 61/14 (2006.01). Установа для очистки рослинної олії / Уминський С. М., Житков С. С., Осадчук П. І., Уминський Д. С.; власники Уминський С. М., Житков С. С., Осадчук П. І., Уминський Д. С. - № u201903876; заявл. 15.04.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 20.

47. Пат. на корисну модель 136371 Україна, МПК (2019.01) С11В 3/00, А23D9/00. Установа для очистки рослинної олії / Уминський С. М., Житков С. С., Уминський Д. С., Осадчук П. І.; власники Уминський С. М., Житков С. С., Уминський Д. С., Осадчук П. І. - № u201902764; заявл. 21.03.2019; опубл. 12.08.2019, Бюл. № 15.

48. Пат. на корисну модель 146065 Україна, МПК (2021.01) С11В 3/00, А23D9/00. Установа для очищення рослинної олії / Уминський С. М., Дударев І. І., Житков С. С., Осадчук П. І., Уминський Д. С.; власники Уминський С. М., Дударев І. І., Житков С. С., Осадчук П. І., Уминський Д. С. - № u202004439; заявл. 16.07.2020; опубл. 20.01.2021, Бюл. № 3.

#### **Матеріали конференцій**

49. Г. Е. Топілін, П. І. Осадчук, В. П. Гальцев. Нейтрализация свободных жирных кислот и дезодорация при очистке растительного масла. Сборник научных статей по материалам 11 международной научно- методической конференции. – Сумы: СНАУ, 2004. – с. 3-5 *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

50. П. І. Осадчук. Фізичні методи очистки рослинної олії. Тезиси докладов 5 міжнародної науково - практичної конференції «Хлібопродукти-2005» - Одеса, 2005. – с. 111. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

51. П. И. Осадчук, А. А. Павлушин, П. С. Агеев Интенсификация теплообменных процессов при переработке сельскохозяйственной продукции. Материалы VII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» /Ульяновск: УГСХА, 2016. Т. II, с 167-174. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

52. П.И.Осадчук, А.А. Павлушин, П.С. Агеев Эффективный метод получения «живого» растительного масла. Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование на современном этапе развития опыт, проблемы и пути их решения», 7-8 февраля 2017 года. Часть I Ульяновск, УГСХА, 2017. – 29-32 с. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

53. П. І. Осадчук, А. М. Яковенко, І. І. Дударев та др. Технологія та техніка безпеки виробництва рослинної олії. // Друга міжнародна науково-практична конференція «Перспективні технології для забезпечення безпеки життєдіяльності та довголіття людини»: Тези доповідей. – Одеса: ОНМУ, 2019. – С. 63-67. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

54. П. І. Осадчук, І. І. Дударев Сучасні технології очищення рослинної олії в умовах міні-цехів. //Збірник праць XVII міжнародної наукової конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» ОНАХТ. – Одеса, 2018. - с. 85-89. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

55. P. I. Osadchuk, E.V. Mishchenko. Hydration of plant oil, coagulate-hi of phosphatides and waxes. «Resource Saving Technologies at Storage and Processing of Agricultural Production». XIV International Science-Practical Seminar. Ministry of Agriculture, Russian Federation Orel state agrarian university named after N.V. Parakhin. 28-29 june 2018 year. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

56 P.I. Osadchuk. Hydration of rapeseed oil using an electromagnetic field. //Proceeding book. 4th International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress, 2020, 488 - 494. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

57 P.I. Osadchuk, D.P. Domuschi. Cleaning sunflower oil using the ultrasonic field. //Proceeding book. 4th International Eurasian Agriculture and Natural Sciences Congress, 2020, 494 – 500. *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

58. П. И. Осадчук, Д. А. Домуши, О. Г. Бурдо, А. В. Зыков. Гидратация растительного масла с использованием электрического поля. // Сборник докладов научного форума с международным участием “экология и агротехнологии – «фундаментальная наука и практическая реализация» Том 2. София, 2020, с 130 – 136 *(Особистий внесок: загальний задум, розроблення методології досліджень, узагальнення результатів)*

## АНОТАЦІЯ

**Осадчук П. І. Науково-технічні основи створення енергоефективного обладнання підвищення якості рослинних олій. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук (доктора наук) за спеціальністю 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. Одеська національна академія харчових технологій, Міністерство освіти і науки України, Одеса, 2021.

В роботі на основі теоретичних узагальнень, аналітичних і експериментальних досліджень розроблені науково – технічні основи процесів очищення рослинних олій, які дозволяють підвищувати ефективність роботи обладнання для очистки та сприяють розвитку в Україні їх виробництву і широкому використанню в галузях агропромислового комплексу. Запропоновано оптимальну схему процесу повної очистки рослинних олій для отримання продукції вищого гатунку. Розроблена дискретна модель коагуляції домішок, яка дозволяє визначити оптимальний час процесу очищення олії. Побудовано алгоритм зміни дисперсного складу домішок, в якому застосовано, спеціально розроблений метод визначення класових інтервалів гістограм. На основі теорії марковських ланцюгів встановлені нові залежності між довжиною вільного пробігу часток домішок їх концентрації та оптимальним часом процесу очистки. Запропонована методика визначення ефективної полоси частот ультразвуку для обробки рослинних олій. На основі проведення дослідів отримано залежність інтенсивності видалення домішок від полоси частот та потужності

ультразвуку, яка показала наступні результати: потужність ультразвукових коливань 1,3 кВт, частота ультразвукових коливань 120 кГц, час обробки 200 секунд, температура олії 55 °С. Запропонована конструкція ультразвукової установки пов'язана з біологічними властивостями рослинних олій. На основі проведення дослідів отримано залежність інтенсивності осадження фосфатидів від напруженості магнітного поля, які показали наступні результати: напруженість електромагнітного поля - 155 кА/м, температурі 55<sup>0</sup>С Показана найкраща конфігурація електромагнітних джерел навколо робочої зони гідрататора. Розроблена математична модель центрифугування, яка містить рівняння руху і також метод його розв'язання, який використовує метод колокації 12 – ти характерних точок. Розроблено алгоритм обчислення полів швидкостей. На підставі розробленої математичної моделі встановлено ефективний період роботи роторної машини в залежності від дисперсного складу домішок. На базі розробленої математичної моделі центрифугування визначена методика розрахунку оптимальних значень продуктивності та потужності. Дано обґрунтування перспективного напрямку енергозбереження за рахунок використання рекомендованих засобів очистки рослинних олій. Доказана відсутність техногенного впливу розробленого технологічного процесу на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** рослинна олія, гідратація, фільтрація, центрифугування, електромагнітне поле, ультразвукове поле, інтенсифікація.

## ANNOTATION

**Osadchuk P.I. Scientific and technical foundations for creating energy-efficient equipment for improving the quality of vegetable oils. - Manuscript.**

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences (Doctor of Science) in specialty 05.18.12 - processes and equipment for food, microbiological and pharmaceutical industries. Odessa National Academy of Food Technologist, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odessa, 2021.

In this work, on based on of theoretical generalizations, analytical and experimental researches, scientific and technical foundations of the processes of purification vegetable oils have been developed, which allow to increase the efficiency of equipment operation, contribute to the development of their production in Ukraine and widespread use in the sectors of the agro-industrial complex. An optimal scheme of the process of complete purification vegetable oils for obtaining high quality products is proposed. A discrete model of coagulation of impurities has been developed, which makes it possible to determine the optimal time for the oil purification process. An algorithm for changing the disperse composition of impurities is constructed, in which a specially developed method for determining the class intervals of histograms is applied. Based on the theory of Markov chains, new relationships have been established between the mean free path of impurity particles and their concentration and the optimal time of the

cleaning process. A method for determining the effective frequency band of ultrasound for processing vegetable oils is proposed. Based on the studies carried out, the dependence of the intensity of removal of impurities on the frequency band and the ultrasound power was obtained, which showed the following results: the power of ultrasonic vibrations is 1.3 kW, the frequency of ultrasonic vibrations is 120 kHz, the processing time is 200 seconds, and the oil temperature is 55 °C. The proposed design of the ultrasonic construction is associated with the biological properties of vegetable oils. Based on the studies carried out, the dependence of the intensity of the deposition of phospholipids on the intensity of the magnetic field was obtained, which showed the following results: the intensity of the electromagnetic field is 155 kA/m, the temperature is 55 °C. The best configuration of electromagnetic sources around the working area of the hydrator is shown. A mathematical model of centrifugation has been developed, which contains the equations of motion and also a method for its solution, which uses the method of collocation of 12 characteristic points. An algorithm for calculating the velocity fields has been developed. Based on the developed mathematical model, the effective period of operation of the rotary machine is established depending on the dispersed composition of impurities. On the basis of the developed mathematical model of centrifugation, a method for calculating the optimal values of productivity and power is determined. The substantiation of the promising direction of energy saving through the use of the recommended means of purification of vegetable oils is given. The absence of technogenic impact of the developed technological process on the environment has been proved.

**Key words:** vegetable oil, hydration, filtration, centrifugation, electromagnetic field, ultrasonic field, intensification.

Підписано до друку 16.03.2021 р. Формат 60×84/16  
Папір офсетний. Друк різнографічний  
Умов. Друк. Арк.. 1,9. Тираж 100 прим. Зам 124

---

Видавничий центр ОНАХТ, 65039, м. Одеса, вул.. Канатна, 11