

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра безпеки життєдіяльності

Пояснювальна записка
до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »

на тему: «Удосконалення процесу фільтрування нерафінованої
соняшникової олії»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Медяник В.В.

Керівник: Костенко О.М.

Рецензент: Ляшенко С.В.

Полтава – 2021 року

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 62 сторінки, 14 рисунків, 3 таблиці, 1 додаток, 25 джерел.

Об'єктом досліджень є процес фільтрування сирих і нерафінованих соняшникових олій.

Предмет досліджень - кінетичні закономірності процесу фільтрування із застосуванням віброакустичного впливу

Метою роботи є вдосконалення процесу фільтрування сирих і нерафінованих соняшникових олій на основі застосування віброакустичного впливу.

Методи досліджень – експериментально-теоретичні методи, методи математичної статистики.

В результаті досліджень експериментально отримано кінетичні закономірності процесу фільтрування з використанням віброакустичних впливів нерафінованої соняшnikової олії. Доведено підвищення ефективності фільтрування нерафінованої соняшnikової олії за рахунок використання віброакустичного впливу на фільтруючий елемент. Встановлені режими віброакустичного впливу на оброблювану олію, що забезпечують зниження кислотного числа з 5,5 до 1,5 мг КОН/г; перекісного числа - з 12,7 до 8,3 моль активного кисню; концентрації забруднень – на 97%. Запропонована установка для фільтрування сирової та нерафінованої соняшnikової олії із застосуванням віброакустичних впливів, що дозволяє очищати олію після 3-х місячного зберігання і тим самим зберігати якості вищого гатунку, тобто збереження концентрації антиоксиданту (токоферолу), виконано техніко-економічне обґрунтування розробки.

Ступінь впровадження – результати досліджень були впроваджені в технологічному процесі виробництва нерафінованої соняшnikової олії.

Галузь застосування – переробна галузь.

В результаті впровадження результатів дослідження у виробництво очікується річний економічний ефект 41063,8 грн.

НЕРАФІНОВАНА СОНЯШНИКОВА ОЛІЯ, ФІЛЬТРУЮЧИЙ ЕЛЕМЕНТ, ВІБРОАКУСТИЧНИЙ ВПЛИВ, РЕГЕНЕРАЦІЯ, БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ	12
1.1 Очищення нерафінованих рослинних олій від твердих домішок і неомильних речовин	12
1.2 Очищення олій ступінчастим фільтруванням	17
1.3 Очищення олії центрифугуванням	20
2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	22
2.1 Методика дослідження кількості зважених речовин в оброблюваній олії	22
2.2 Методика дослідження проникності фільтрувальної перегородки в залежності від її забруднення	23
2.3 Методика визначення кислотного числа і токоферолу антиоксиданту	25
2.4 Методика визначення перекісного числа	26
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
3.1 Теоретичні дослідження	28
3.1.1 Інтенсифікація процесу очищення олії.	28
3.1.2 Підвищення ефективності очищення	30
3.1.3 Очищення фільтраційної перегородки	34
3.1.4 Переміщення та винесення твердих частинок з поверхні фільтраційної перегородки	36
3.2 Експериментальні дослідження	38
3.2.1 Узагальнення і призначення конструктивних параметрів установки в залежності від критеріальних показників олії	38
3.2.2 Зміна кількості зважених речовин при очищенні олії	42
3.2.3 Дослідження процесу пропускної здатності фільтраційного картриджа	43
3.2.4 Дослідження процесу псування і регенерації складових якості сирих і нерафінованих олій	46

3.2.5 Дослідження перекісного числа та обґрунтування режимів очищення олії	49
4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ	53
4.1 Екологічна експертиза	53
4.2 Охорона праці	56
4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
ДОДАТКИ	64
Додаток А Результати теоретичних досліджень	65

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час прийнято напрямок «Функціональні харчові продукти», під якими розуміються продукти харчування, призначені для систематичного вживання в складі харчових раціонів усіма віковими групами здорового населення з метою зниження ризику захворювань, пов'язаних з харчуванням, за рахунок наявності в них фізіологічних функціональних харчових інгредієнтів.

Таким чином, функціональне харчування передбачає адаптацію харчування людини до сучасних можливостей, умов, звичок. Воно повинно враховувати стать, вік, інтенсивність професійних навантажень, технологію виробництва і переробки сільськогосподарської сировини та харчових продуктів і в цілому компенсувати недолік поживних елементів, необхідних для життєдіяльності людини.

Особлива роль, відведена вітчизняним галузям, що виробляють сировину й готові харчові продукти, відображена в Законі України «Про продовольчу безпеку» прийнятого ВР України № 8370 від 08.04.2011 [4]. Відповідно до нього продовольча безпека є одним з головних напрямків національної безпеки країни. Продовольча незалежність передбачає стійке вітчизняне виробництво харчових продуктів в об'ємах не менш встановлених порогових значень його питомої ваги в ресурсах внутрішнього ринку відповідних продуктів. Встановлено показники, що характеризують системи запланованих досягнень. Виходячи із прийнятого напрямку досліджень, в даній роботі в тій чи іншій мірі вирішувалися питання, пов'язані зі сферою виробництва продуктів харчування: споживання харчових продуктів в розрахунку на душу населення; добова калорійність харчування людини; кількість жирів, споживаних людиною. В якості критерію в області споживання рослинних жирів, прийнята питома вага вітчизняного виробництва, яка повинна бути не менше 80% від загального об'єму споживаної олії.

Рослинні олії мають ряд переваг, що дозволяють зарахувати їх до категорії функціональних харчових продуктів:

- для виробництва рослинних олій використовується чистий і генетично не модифікований сировинний матеріал;
- вони містять високі дози біологічно активних компонентів, до яких належать вітаміни, харчові волокна, антиоксиданти, поліненасичені жирні кислоти, біологічно значущі мінеральні елементи, незамінні амінокислоти, пептиди, білки та ін .;
- рослинні олії та їх похідні є обов'язковими харчовими продуктами повсякденного харчування населення [5-11].

Унікальність соняшникової олії пов'язана, перш за все з тією роллю, яку воно займає в житті людини. Сировинна база соняшнику достатня, традиційно його посіви поширені в усіх регіонах держави.

Виходячи з даних, розміщених в Інтернеті за 10 останніх років посіви соняшнику збільшилися майже в 1,5 рази (з 5000 тис.га до 6800 тис.га) , збір насіння соняшнику у 2 рази (з 7,6 млн т до 14 млн т). В результаті виробництво соняшникової олії за цей же період зросло в 2 рази. Дані досягнення не можна вважати кінцевими, резерви у виробництві олійного насіння та самої олії значні, так як за рахунок власної олії задовольняються потреби населення всього лише на 65% (згідно з рекомендаціями Інституту харчової біотехнології та геноміки НАН України, потреба людини в олії становить 13,5 кг, а виробляється її 7,9 кг). Навіть з урахуванням імпорتنих поставок середньорічне споживання рослинної олії становить 9,4 кг, тобто всього 70% від рекомендованого.

Населенням дуже активно використовуються і харчові продукти, похідними для яких є рослинна олія. Ми споживаємо велику кількість майонезу (близько 5,3 кг на рік на людину), маргарину, модифікованих жирів. При цьому слід враховувати частку споживаних імпорتنих жирових продуктів, що також говорить про великі конкурентні можливості вітчизняних виробників

рослинних олій. При підвищенні кількості та зниження вартості своїх товарів з'явиться можливість витіснити імпортний продукт.

Україна помітно відстає від розвинених зарубіжних країн в області розробки сучасних біотехнологій та обладнання для переробки сільськогосподарської сировини. Як наслідок, маємо недостатню якість харчових продуктів, їх високу собівартість, велику кількість відходів.

Розвиток сучасного вітчизняного промислового виробництва агропромислового сектора без подальшої модернізації технологічної і технічної бази не представляється можливим. При цьому особлива увага має бути приділена переходу на використання в техніці біотехнологічних методів і продуктів.

Особлива увага приділяється переробці відходів переробної галузі. У зв'язку з цим очищення і регенерація нерафінованих соняшникових олій покликані сприяти підвищенню продуктивності та якості, як при переробці, так і при регенерації нормативних показників після зберігання і псування.

Таким чином, технологічні процеси очищення рослинних сирих і нерафінованих соняшникових олій із застосуванням акустичних і вібраційних систем відносяться до біотехнологій, що забезпечують отримання функціональних харчових продуктів з високим вмістом мікронутрієнтів.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення якості і продуктивності очищення сирих і нерафінованих соняшникових олій від первинних і вторинних продуктів окислення при виробництві та регенерації якісних показників при зберіганні.

Питанням забезпечення високих харчових характеристик рослинних олій при виробництві та продовженні термінів їх зберігання приділено значну увагу в дослідженнях таких вчених, як В.Г.Щербакова, В.В.Белобородова, В.Ю.Прокоф'єва, Н.С.Арутюняна, А.Н.Лісіцина, Н.В.Рудакова, В.В.Остапова і ін. Їх роботи в основному присвячені фізико-хімічним процесам, що протікають при виробництві та очищенні рафінуванням. Однак при цьому недостатньо

розглянуто процес фільтрування сирих і нерафінованих соняшникових олій з метою очищення при зберіганні.

Спираючись на дослідження Д.В.Жужікова, В.М.Ентова, Г.І.Баренблата та інших вчених в області фільтрації, В.Б.Акопяна, Ф.Я.Рудика, Д.В.Городецького, І.І.Биковського, Н.Б.Урьєва - в області акустичних і вібраційних впливів, в роботі досліджено процес виброакустичного фільтрування соняшnikової олії в шарі адсорбенту.

Мета дослідження - вдосконалення процесу фільтрування сирих і нерафінованих соняшникових олій на основі застосування виброакустичного впливу.

Завдання досліджень:

1. Розробити математичну модель, що враховує поздовжньо-поперечні фізичні впливи на соняшникову олію при її фільтруванні.
2. Розробити експериментальну установку для фільтрування соняшникової олії із застосуванням виброакустичного впливу.
3. Експериментально дослідити кінетичні закономірності процесу фільтрування із застосуванням виброакустичного впливу.
4. Провести техніко-економічну оцінку ефективності використання установки для фільтрування нерафінованої соняшникової олії із застосуванням виброакустичного впливу.

Об'єкт дослідження - процес фільтрування сирих і нерафінованих соняшникових олій.

Предмет дослідження - кінетичні закономірності процесу фільтрування із застосуванням виброакустичного впливу.

Методи досліджень – експериментально-теоретичні методи, методи математичної статистики.

Теоретична та практична значущість.

Розроблено математичну модель, що враховує поздовжньо-поперечні фізичні впливи на соняшникову олію при її фільтрування. Показано, що

механічні вібраційні коливальні рухи в соняшниковій олії залежать від швидкості та прискорення переміщення в ній частинок.

Оптимізований коефіцієнт поглинання і встановлений характер сумісної дії механічних і ультразвукових коливальних рухів в поздовжньому і поперечному напрямках в фільтрованій олії.

Визначено кінетичні закономірності процесу фільтрування соняшникової олії із застосуванням віброакустичного впливу.

Показана доцільність використання віброакустического впливу при фільтруванні соняшникової олії з метою очищення після 3-х місяців зберігання.

Розроблені режимні параметри фільтрування нерафінованої соняшникової олії, розроблена, виготовлена і змонтована експериментальна установка для фільтрування соняшникової олії із застосуванням віброакустичного впливу, що дозволяє продовжити період ініціювання окисного процесу при виробництві та усунути продукти окислення та осаду до нормативних показників при регенерації.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Очищення нерафінованих рослинних олій від твердих домішок і неомильних речовин

Одна зі стадій очищення рослинних олій пов'язана з виділенням і винесенням твердих неомильних речовин. В даному випадку використовується фільтрування, призначене для очищення розчинів від різного роду включень. Цільовим продуктом при цьому є фільтрат.

При очищенні сирих і нерафінованих соняшникових олій досить проблемним завданням є процес видалення твердих складових, утворених при переробці насіння соняшнику. Всі вони незалежно від хімічного складу негативно впливають на якість харчового продукту і з плином певного часу насичують олію коагулянтами, впливають на її органолептичні і фізико-механічні характеристики.

В цілому даний процес фільтрації відноситься до фільтрування з утворенням осаду і закупорюванням пор [62].

В даному випадку тверді частинки проникають в сітку або пори фільтрувальної перегородки за схемою, представленою на рисунку 1.1.



а – з утворенням осаду; б – з закупорюванням пор

Рисунок 1.1– Схеми фільтрування

При фільтрації з утворенням осаду діаметр твердих частинок часто більше діаметра пор або отворів сітчастої веремії. Вони закривають доступ

рідини з твердими включеннями в пори фільтруючого матеріалу. Вважається, що найбільш раціональним цей спосіб є при концентрації твердої фази рідини близько 1% по масі, так як при цьому створюються умови для утворення сводиків над порожниною пор, що сприяє збільшенню швидкості осадження і, відповідно, забруднення фільтра. Варто зазначити, що даний спосіб раціональний в тому випадку, коли забрудненість твердими складовими незначна при високій дисперсності частинок. З цієї причини очищення рослинної олії фільтрами з утворенням осаду малопродуктивна. Для збільшення продуктивності було б доцільним створення мікропотоків, що створюють кумулятивні течії, які просувають тверді частинки до пор, і вивільняють пори від зацмелених в них повітря і твердих частинок.

Фільтрування з закупорюванням пор (рис. 1.1, б) полягає в проникненні твердих частинок в пори фільтрувальної перегородки. І вже в початковій стадії фільтрування пори закупорюються твердими частинками, утруднюють прохід очищувальної рідини, що потребує частого очищування фільтрів методом зворотного струму.

Сирі та нерафіновані олії можна охарактеризувати двома станами, залежними від способу їх очистки після переробки.

У першому випадку очищення від твердих складових здійснюється шляхом їх тривалого осадження, що відбувається в статичному режимі. При цьому значна частина дрібнодисперсних частинок залишається в олії. Далі, при зберіганні, відбувається коагуляція дрібних частинок, що знаходяться в олії, і випадання їх в осад. Якість олії погіршується. Вже згадана технологія характерна для дрібних товаровиробників, які розраховують на те, що продукт буде швидко реалізований. Однак згідно з дослідженнями [6,7], харчова цінність нерафінованих рослинних олій різко погіршується при зберіганні через наднормативної наявності первинних і вторинних продуктів окислення.

У другому випадку додатково використовують центрифугування. При цьому сирі і нерафіновані олії досить добре очищаються від твердих включень. Процес центрифугування заснований на дії відцентрової сили, очищення

здійснюється двома шляхами. Перший з них - це очищення олії в фільтраційній центрифугі шляхом відцентрової її подачі на перфорований барабан з фільтрувальною тканиною. В даному випадку за рахунок проходження дисперсної рідкої фази фільтрат виводиться з установки, а тверді частинки затримуються на тканині фільтрувального барабана у вигляді осаду.

Відцентрова сила, необхідна для швидкісного перемішування суспензії, знаходиться в сполучній залежності від елементарного кільця суспензії [6]:

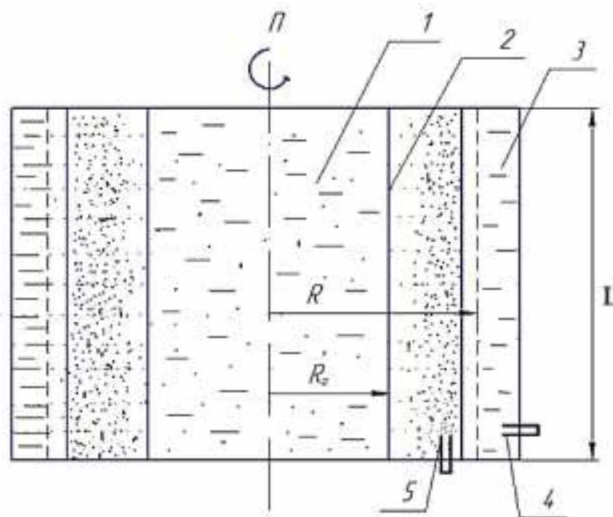
$$dG_{\text{ц}} = d_m \omega^2 r, \quad (1)$$

де d_m - елементарна маса, кг;

ω - кутова швидкість, с^{-1} ;

r - відстань кільця від осі обертання центрифуги, м.

У відповідності з виразом (1) фактор розділення суспензії на ріку та тверду фазу зростає пропорційно квадрату кутової швидкості обертання барабану центрифуги. Схематично процес фільтрації центрифугуванням показаний на рисунку 1.2.



1 – суспензія, що очищується; 2 – фільтрувальна тканина; 3 – перегородка фільтрувального барабану; 4 – схід фільтрату; 5 – схід осаду; R , R_0 - відповідно зовнішній та внутрішній радіуси барабана центрифуги; L – висота барабана центрифуги

Рисунок 1.2 – Схема фільтрації центрифугуванням

Висока швидкість осадження частинок фільтрацією центрифугуванням заснована на більш інтенсивному витісненні до фільтрувального барабану під дією відцентрових сил частинок, що знаходяться в рідині і мають значущі надлишкові маси в порівнянні з рідиною, що очищується. Таким чином, гравітаційні сили розшаровують суспензію і очищають олію від твердих частинок.

$$V_{\text{цо}} = \frac{d^2 \Delta g a}{18 \mu}, \quad (2)$$

де d - діаметр частинки, м;

Δ - рушійна сила, Н;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

a - величина доцентрового прискорення, м/с;

μ - динамічний коефіцієнт в'язкості рідини, Н/м·с².

Однак навіть в умовах фільтрації центрифугуванням повне очищення від твердих частинок технічно не представляється можливим. У разі якщо частинки мають розміри 0,4-0,5 мкм і знаходяться в підвішеному стані, то вони мають високостійкий стан і їх розшарування даним методом нездійсненно. Отже, з плином часу ці частинки, коагулюючи з іншими неомильними речовинами, прискорюють порчу нерафінованої олії, пов'язану з протікаючими фізико-хімічними процесами, і погіршують органолептичні показники харчового продукту.

Поряд з тканинними центрифуговими фільтрувальними установками в виробництві активно використовуються відцентрові, де очищення олії здійснюється крізь пористу фільтрувальну середу. При цьому за рахунок вибору фільтрувального середовища обробку олії ведуть в очисних і продуктових цілях. Очисні операції призначені для додання необхідної кольоровості олії, продуктові - для виділення твердих включень.

Очищення олії здійснюється за рахунок відцентрової сили та різниці тисків на обох сторонах фільтрувальної перегородки. При цьому швидкість фільтрації визначається виразами:

- в умовах використання відцентрової сили:

$$V_{\text{ц}} = 0,5 \frac{\rho_c \omega^2 (R^2 - R_0^2)}{R_{\text{фп}} + r_0 x_0}, \quad (3)$$

де ρ_c - щільність суспензії, кг/м³;

ω - кутова швидкість, с⁻¹;

R і R_0 - зовнішній і внутрішній діаметри барабана, м;

$R_{\text{фп}}$ - опір проникненню осаду крізь фільтрувальну перегородку, с⁻¹;

r_0 - питомий опір проникненню рідини крізь шар осаду, с⁻¹;

x_0 - товщина шару осаду, м.

- в умовах використання ефекту тисків до і після фільтрувальної перегородки:

$$\frac{dV}{Fdt} = \frac{\Delta P}{\eta(R_0 + R_{\text{фп}})}, \quad (4)$$

де F - площа поверхні фільтрування, м²;

t - тривалість фільтрування, с;

ΔP - перепад тиску, Па;

η - в'язкість масла, Па · с;

R_0 і $R_{\text{фп}}$ - опір переміщенню осаду і проникненню фільтрувальної перегородки, м⁻¹.

Аналізуючи вирази (1)-(4), можна зробити висновок про те, що спільними для всіх випадків є характеристичні показники твердих складових суспензії, виражених через d_m (елементарну масу), d (діаметр частинки), $R_{\text{фп}}$ (опір проникненню осаду). Отже, фільтрувальні пристрої можуть затримувати частинки в інтервалі цілком визначених мас і розмірів. Всі дрібні частинки, що знаходяться до цього інтервалу, будуть проскакувати в фільтрах і залишатися в фільтраті.

В'язкість μ і щільність ρ_c суспензії характеризують проникаючу здатність рідини, що очищається крізь фільтри. Отже, щоб проникність була високою, необхідно підвищити в'язкість і знизити щільність, а це можна досягти тільки при підігріві олії. Дана обставина також обумовлює необхідність підтримки

температурного режиму, забезпечує виведення твердих частинок певної дисперсності.

Такі показники, як кутова швидкість ω , рушійна сила Δ , величина доцентрового прискорення α , відстань кільця від осі обертання центрифуги r , зовнішній і внутрішній діаметр барабана R і R_0 , площа поверхні фільтрування F є конструктивними і знаходяться в повній залежності від характеристик суспензії - рідини, що очищається, і твердих частинок, що виводяться.

1.2 Очищення олій ступінчастим фільтруванням

Очищення олій на відцентрових установках дозволяє видалити тверді відносно великі частки; дрібні ж, що знаходяться в підвішеному стані, залишаються в складі рослинних олій. Тому підприємства, що орієнтуються на виробництво високоякісних сирих і нерафінованих олій гарячого і холодного пресування, дотримуються технологічної схеми, представленої на рисунку 1.3.

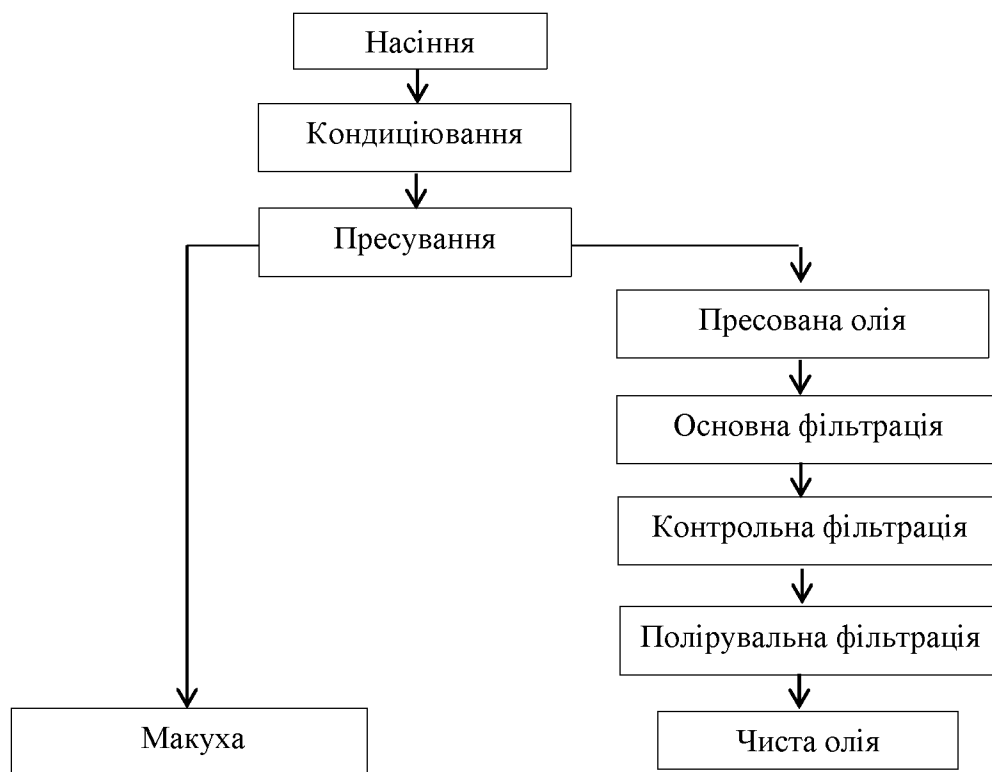


Рисунок 1.3 - Схема виробництва нерафінованої олії холодного пресування

Відповідно до даної схеми, насіння після їх кондиціонування надходить на пресування. При цьому макуха видаляється, а пресова олія направляється на триступінчасту фільтрацію, що складається з основної, контрольної та полірувальної операцій.

Процес проходження олії по всьому очисному ланцюжку представлений на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Операторна схема очищення нерафінованої олії холодного пресування

Олія надходить в бак з нефільтрованою олією, звідки після перемішування, необхідного для приведення твердих частинок у зважений стан, переміщається за допомогою живильного насоса в вертикальний напірний листовий фільтр, де здійснюється основна фільтрація.

Далі олія зі сходу вертикального фільтра надходить на другу сходинку - контрольну очистку, потім на полірувальне очищення, після чого готова очищена олія складається в баку з фільтратом.

При основній фільтрації з олії видаляються домішки, що збереглися в ньому після пресування. Домішки в своїй основі крупнофракційні. Використовується спосіб з наливним шаром. Чистота і швидкість фільтрації залежить від в'язкості очищувальної олії.

Швидкість осаджування частинки залежить від параметрів очищувальної рідини та розмірів частинок [7]:

$$V_0 = \frac{R_e \eta}{I \rho_{\text{ж}}}, \quad (5)$$

де R_e - критерій Рейнольдса, що характеризує гідродинамічну подоби при обтіканні твердої частинки рідиною;

I - характеристичний розмір частинок, м;

$\rho_{\text{ж}}$ - щільність рідини.

Вираз (5) не враховує гравітаційної сили, яка інтенсифікує процес випадання твердих частинок з надмірною масою. У рівнянні Стокса враховується прискорення падіння:

$$V_0 = d^2 \Delta g / 18 \eta, \quad (6)$$

де d - діаметр частинки, мм;

Δ - відносна щільність між дисперсною і дисперсійною фазами;

g - прискорення вільного падіння, м/с².

Виходячи їх схеми очищення і виразів (5) і (6), інтенсивність осадження безпосередньо залежить від характеристичних показників твердих частинок і в'язкості рідини. Гравітаційна сила, що забезпечує процес осадження твердих частинок, залежить від прискорення вільного падіння в очищувальній рідині. Процес осадження, що характеризується швидкістю і якістю очищення від твердих частинок, залежить також і від характеристичних розмірів частинок: чим більше маса частинки, тим швидше вона осідає. Таким чином, для прискорення осадження частинок необхідне підвищення температури олії. Її підігрівають до 100 ... 120 ° С, і вже це веде до погіршення харчової цінності продукту, що суперечить призначенню нерафінованої олії. Поряд з цим слід зазначити, дрібні частинки, що осідають, знаходяться в підвішеному стані в олії через її високий динамічний коефіцієнт в'язкості, мають властивість довго планувати в шарах рідини. Наявність дрібних частинок на ранній стадії виробництва олії практично не помітно, але вже після короткого періоду часу вони коагулюють, осідають і негативно впливають на органолептичні показники олії. Частинки є також і одним з джерел ініціювання підвищеної кислотності та псування олії при зберіганні.

У відповідальних технологіях дрібні частинки видаляються за рахунок збільшення тривалості періоду осадження або в відцентрових установках. Якість очищення при цьому знаходиться на низькому рівні.

Таким чином, для очищення олії від неомильних твердих складових навіть в послідовних складних системах фільтрації до 60°C потрібно підтримувати постійну температуру від 32 до 40°C. Це веде до необхідності підігріву олії протягом усього циклу очищення, але навіть цей підігрів не забезпечує повного очищення олії від неомильних твердих складових.

1.3 Очистка олії центрифугуванням

Очищення олії центрифугуванням слід вважати попередньою, так як під дією відцентрових сил відокремлюється і виводиться тільки тверда фракція у вигляді великих конгломератів. Дрібнодисперсна суспензія частинок, показники щільності якої не набагато відрізняються від щільності олії, що не встигає осідати на стінках конічних тарілок і барабана і потоком легкої фракції виводиться з установки. Частина твердих частинок легкої фракції, що залишилася в олії, з плином часу вже при її зберіганні негативно впливає на якість продукту. Дрібнодисперсні завислі частинки при зберіганні в початковій стадії піддаються повільній коагуляції [73-75], при якій з'єднуються частини, що стикаються розміром до 10^{-4} см. При цьому вони набувають седиментаційну стійкість, не осідають і не спливають. Повільна коагуляція веде до появи каламутності олії, що говорить про початок процесу його псування. З плином часу спостерігається зростання частинок, що переходить в утворення згустків, що випадають в осад. Часто в олії утворюється пухка просторова сітка - коагуляційна структура. Розшарування дисперсної системи не відбувається, олія стає непридатною для вживання в їжу.

Центрифугування - найбільш активно застосовувана операція в виробництві нерафінованих соняшникових олій. При цьому використовується лише механічна енергія, що не впливає негативно на продуктову цінність олії.

Найбільше застосування у виробництві отримали наступні відцентрові очисники: товстостінні, циліндричні, трубчасті, тонкостінні, циліндричні з концентричними вставками, спіральні-відцентрові, конічні.

При виробництві сирих і нерафінованих соняшникових олій на малотоннажних підприємствах найбільшого поширення набули тонкостінні відцентрові очисники.

Висновки. Сирі і нерафіновані соняшникові олії, очищаються тільки від твердих домішок фізичними і механічними способами, зберігають при виробництві всі корисні складові, проте недостатня якість очищення, що складається здебільшого з процесів центрифугування і відстоювання, знижує споживчі властивості, прискорює процеси окислення і псування.

Використовувані технології фільтрації та осаджування мають такий недолік, як низька якість очищення. При цьому вибірково виводяться лише відносно великі тверді складові олії, дрібні частинки в вигляді суспензії з щільністю, яка незначно відрізняється від щільності очищувального середовища, не виводяться. Все це веде до накопичення первинних і вторинних продуктів окислення, розвитку вільнорадикальної реакції і до псування олії навіть в ранні терміни зберігання.

При малотоннажному виробництві сирової і нерафінованої соняшникової олії використання додаткового дорогого обладнання різко підвищить собівартість продукту і знизить його конкурентоспроможність. У зв'язку з цим в роботі передбачалося рішення таких технічних завдань:

- дослідити і вдосконалити процес фільтрації олії від суспензії частинок, первинних і вторинних продуктів окислення;
- підвищити активність і проникність рідкого середовища і рушійну швидкість віброакустических мікропотоків крізь фільтраційну перегородку;
- встановити якісні показники очищених сирих і нерафінованих соняшникових олій, режимні показники установки і розробити рекомендації щодо термінів регенерації олії при зберіганні.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Методика дослідження кількості зважених речовин в оброблюваній олії

ДСТУ 5063:2008 Олії. Методи визначання нежирових домішок і відстою [16] поширюється на рослинні олії та встановлює методи визначення частки нежирових домішок і об'ємної частки відстою, утвореного осадкою твердих частинок. У наших дослідженнях більший технологічний інтерес викликають показник проникності адсорбенту, його забрудненість і очищення від продуктів відстою в залежності від часу обробки олії в шарі адсорбенту.

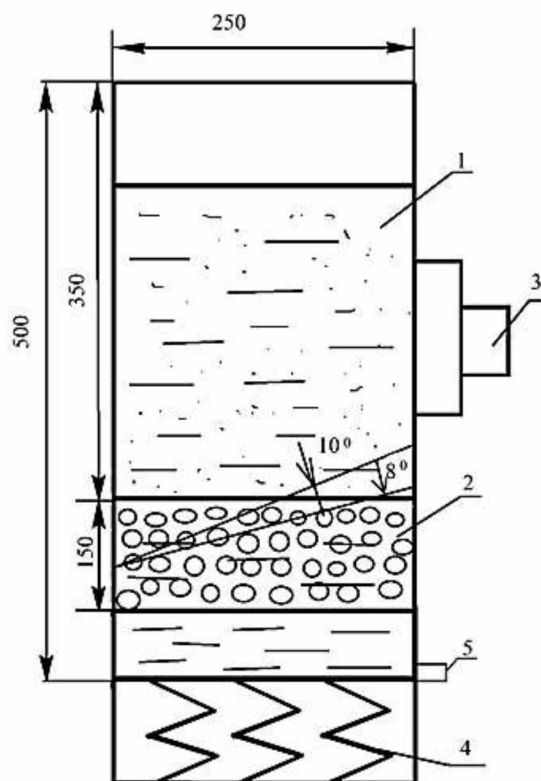
В якості сорбенту досліджували мінеральні матеріали доломіт і опоку:

- доломіт фракцією до 10 мм, промитий, просушений і прокалений при температурі 500 ° С;
- опока фракцією до 10 мм промита, просушена і прокалена до 200 ° С;
- співвідношення олія-сорбент - 10-15% загальної маси сорбенту до маси олії;
- співвідношення маси доломіт-опока - 50:50%.

При дослідженнях використовували лабораторну установку, загальний вигляд якої представлений на рисунку 2.1.

Забрудненість олії перевіряли після її пропускання крізь шар адсорбенту з впливом акустичних мікропотоків і вібраційних пульсацій картриджа. У мірну ємкість після 10, 15, 20, 30 і 40 хв. фільтрації з зливного патрубку відбирали проби об'ємом 100 см³. Кількість зважених речовин в досліджуваних пробах контролювали приладом контролю чистоти рідини ПКЖ-904А [17], призначеним для вимірювання кількості зважених речовин, що містяться в контрольованому об'ємі рідини.

Даний прилад в автоматичному режимі дозволяє розрахувати кількість зважених речовин, що припадають на 100 см³ олії. Забрудненість



1 – ємкість з оброблюваною олією; 2 – фільтруючий елемент (картридж);
3 – ультразвуковий збуджувач; 4 – вібраційний механізм; 5 – зливний патрубок

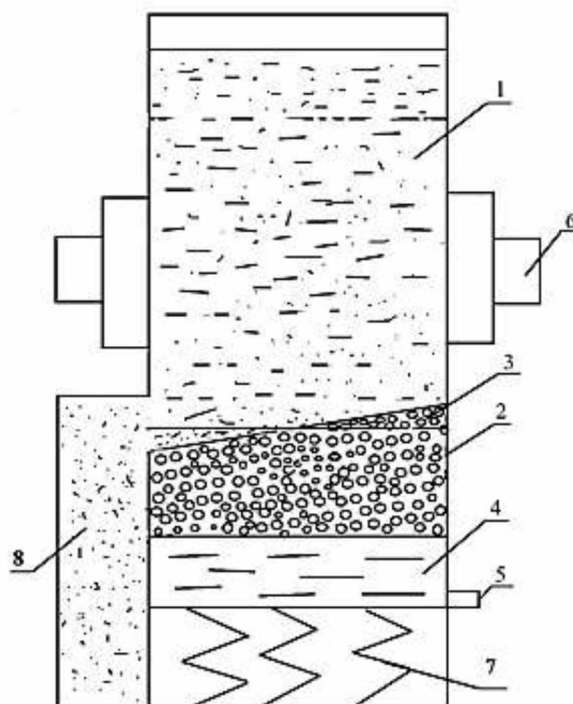
Рисунок 2.1 – Схема лабораторної установки

фільтрувальної перегородки при дослідженнях не враховували, об'єм олії 100см^3 приймали незалежно від часу наповнення мірної ємкості.

2.2 Методика дослідження проникності фільтрувальної перегородки в залежності від її забруднення

Ефективність роботи установки для очищення олії залежить від його виробничих і якісних показників після зберігання. Виходячи з цього продуктивність установки оцінювали кількістю очищеної олії в одиницю часу. Цей показник залежить від забруднення фільтраційної поверхні скоагульованого твердими частинками осаду, адгезованих в сорбент і закупорюючих його пори.

Проникність адсорбенту оцінювали за допомогою наступної методики. Для зменшення кількості олії, що пропускається крізь фільтраційний матеріал лабораторна установка виготовлена з певною товщиною сорбенту і можливістю регулювання кількості виходу очищувального продукту (рис. 2.2).



1 – ємкість з оброблюваною олією; 2 – картридж з адсорбентом;
3 – фільтруюча перегородка; 4 – очищена олія; 5 – зливний патрубок;
6 – ультразвуковий збуджувач; 7 – вібраційний механізм; 8 – ємкість-відстійник

Рисунок 2.2 – Експериментальна установка для визначення концентрації забруднювачів очищувальної олії

Експерименти проводили з використанням нерафінованої олії після 3-х місячного зберігання, виробленого за загальноприйнятою схемою: пресування - осадження - центрифугування. Олію заливали в ємкість (1) в кількості 20 л, на дні ємкості в прийнятій пропорції встановлювали адсорбуючу фільтруючу перегородку (3), показник проникності якої визначали в залежності від ступеня забруднення її поверхні скоагульованими твердими частинками. Зміну тривалості перетікання олії крізь адсорбент фіксували вимірами її об'єму в

одиницю часу. Кількість постійно перетікаючої олії на початковий період встановлювали 1000 см³/год. регулюванням витрати зливним патрубком (5).

Перевірку пропускної здатності фільтрувальної перегородки здійснювали в режимах:

- ультразвукове очищення, що здійснювалося тільки за рахунок акустичних потоків з горизонтально розташованої поверхнею фільтруючої перегородки;
- ультразвукововібраційне очищення, що здійснювалося за рахунок переміщення осаду акустичними потоками і підйому з горизонтальної поверхні фільтрувальної перегородки вібропульсуючими коливаннями осаду;
- ультравібраційне очищення, що здійснювалося за рахунок позовжнього переміщення осаду акустичними потоками і перенесення осаду в ємкість-відстійник (8) з нахилом фільтруючої перегородки до горизонталі на кути 10° і 15°.

2.3 Методика визначення кислотного числа і токоферолу антиоксиданту

Згідно з визначенням, кислотне число - це фізична величина, яка дорівнює масі гідроксиду калію, необхідного для нейтралізуємих лугом супутніх тригліцеридів речовин, що містяться в 1 г олії.

Відповідно до ДСТУ 4350:2004 Олії. Методи визначання кислотного числа [118] сутність методу полягає в розчиненні певної кількості олії в розчинниках з наступним титруванням вільних жирних кислот водним або спиртовим розчином гідроксиду калію або натрію.

У дослідженнях використовували титриметричний метод з візуальною індикацією, довірча ймовірність - 0,95. Спирто-ефірну суміш нейтралізували розчином гідроксиду калію молярної концентрації $KOH = 0,1 \text{ моль/дм}^3$. Обробку результатів досліджень проводили за встановленою ДСТУ формулою:

$$X = \frac{5,61VK}{m}, \quad (2.1)$$

де V - об'єм розчину КОН, витраченого на титрування, см³;

K - відношення дійсної концентрації розчину КОН до номінальної;

m - маса наважки, г.

Відомо, що вітамін Е, в який включена велика група природних речовин, об'єднаних в загальну назву токоферол, є активним антиоксидантом і стримує окислювальні процеси як в організмі людини, так і в готовому продукті.

Токоферолі досліджуються кількома методами. Відповідно до ДСТУ 4492:2017 Олія соняшникова. Технічні умови [19] визначається масова частка вітаміну Е методом тонкошарової хроматографії з довжиною хвилі $\lambda = 520$ нм. Досліджується зміна вмісту токоферолу як антиоксиданту в олії при його виробництві, зберіганні та очищенні. Кількість токоферолу визначається шляхом вимірювання швидкості окислення кумолу в мікрокалориметрі та періоду індукції. Кількість токоферолу обчислюється за формулою:

$$[I_{\text{п}}H]_0 = \frac{W_i \tau_0}{f_0}, \quad (2.2)$$

де W_i - початкова швидкість інгібування, л/моль·с;

τ_0 - час дії інгібітору з урахуванням розпаду ініціатора, с;

f_0 - стехіометричний коефіцієнт інгібітору, $f_0 = 2$.

2.4 Методика визначення перекісного числа

Перекісне число, згідно ДСТУ 4570:2006 Растительные жиры и масла. Метод определения перекисного числа [21], характеризує вміст в олії активного кисню в діапазоні значень 0,1-40 ммоль/кг. Метод його визначення полягає в окисленні йодистого калію, наявного в зразку, перекісями і гідроперекісями в розчині оцтової кислоти і хлороформу і в подальшому титруванні йоду, який виділився, розчином тіосульфату натрію. При цьому всі

використовувані реактиви і вода звільнялися від розчиненого кисню. Для кожної використовуваної проби виконували два виміри.

Перекісне число в мілімолях активного кисню (ммоль АО) на 1 кг проби вираховували за формулою:

$$X = \frac{(V_1 - V_0)c \cdot 1000}{m}, \quad (2.3)$$

де V_1 - об'єм тіосульфату натрію, використаний при вимірюванні, см³;

V^0 - об'єм розчину тіосульфату натрію, використаний при контрольному вимірі, см³;

c - концентрація використаного розчину тіосульфату натрію, моль/дм³;

m - маса досліджуваної проби, г.

За результат приймалося середнє арифметичне значення двох паралельних випробувань.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Теоретичні дослідження

3.1.1 Інтенсифікація процесу очищення олій

Ефективність технології очищення сирих та нерафінованих соняшникових олій від первинних та вторинних продуктів окислення залежить від багатьох факторів і насамперед:

- від якості очищення, обумовленої ступенем впливу на навколишнє середовище;
- від продуктивності, енергоємності та собівартості процесу очищення.

Дослідженням ультразвукового акустичного впливу на оброблювану олію [10] встановлена можливість отримання високої якості очищення. У подальших дослідженнях при аналізі роботи установки з певними технологічними режимами виявлено недоліки, що обмежують можливості способу та установки за параметрами продуктивності, енергоємності та собівартості. Нерівномірність поширення акустичних коливальних переміщень та їх згасання пов'язано з такими фізичними явищами, як заломлення, відображення, розсіювання, дифракція, інтерференція та поглинання. Розсіювання звуку залежить від показників середовища. Чим більше перешкод у середовищі, тим багаторазовіше розсіювання. Відмінність стисливості середовища призводить до пульсації тіла, що розсіюється, причому переріз розсіювання базової бульбашки в рідині при його резонансних коливаннях у багато разів перевищує його поперечний переріз. Розсіювання акустичної хвилі на неоднорідностях середовища викликає розпльовування звукового пучка, що призводить до його згасання. Особливо це позначається на периферійних від збудника ультразвуку ділянках установки для очищення олій.

Підвищення технологічних можливостей очищення сирих та нерафінованих олій пов'язано з ефектом подрібнення повного або часткового

агрегатного стану, фізико-хімічних властивостей суцільної фази, дроблення або коагуляції дисперсних частинок, гомогенізації середовища [107]:

$$I = \frac{M}{St}, \quad (3.1)$$

де M - кількість перенесеної речовини;

S - одиниця площі або об'єму, крізь яку переноситься речовина, m^2 ;

t - час перенесення речовини, с.

Відповідно до закономірностей термодинаміки реальних процесів інтенсифікація аналізованого процесу очищення олії може бути забезпечена за лінійним законом переносу:

$$\frac{dM}{dt} = kSF, \quad (3.2)$$

де k - коефіцієнт швидкості технологічного процесу;

F – рушійна сила процесу перенесення, Н·м.

З виразів (3.1) і (3.2) випливає, що кількість перенесеної речовини M пропорційно площі установки S і рушійній силі F . Звідси, тепло-, масообмінний процес можна інтенсифікувати шляхом додаткового перемішування та створення мікропотоків [11], що забезпечують активний вплив на рух рідини, газу та твердих частинок.

Зазначені недоліки акустичного впливу на очищувальну олію обумовлюють необхідність використання декомпозиційного методу з режимно-технологічною та апаратурно-конструктивною інтенсифікацією процесу. При цьому оптимальним прийнято рішення про розширення енергетичних впливів для створення в рідкому середовищі сукупної системи, що покращує мікродинамічну обстановку в масштабі установки для очищення олії.

Головними особливостями макродинамічної обстановки є можливість створення кількох видів фізичних впливів, спрямованих на зміну стану оброблюваного середовища.

Класифікацією енергетичних впливів прийняті механічні, акустичні, електричні, магнітні, теплові та радіаційні фізичні поля. Найбільш близьким до

акустичного за факторами та результатами впливу є механічне поле (табл. А1 додатку А).

Загальними для інтенсифікації очищення рідкого середовища в акустичних та механічних видів впливів є пульсації тиску, швидкості та прискорення потоків; активація. У гідромеханічних процесах акустичні хвилі інтенсифікують відстоювання, флотацію, диспергування, перемішування, а масообмінних – адсорбцію, екстракцію, вилуговування.

Механічні впливи супроводжуються тепловими та акустичними ефектами, що також інтенсифікує процеси відстоювання, флотації, перемішування та в цілому прискорює фізико-хімічні та масообмінні явища.

3.1.2 Підвищення ефективності очищення олій

Підвищення ефективності очищення сирих та нерафінованих соняшникових олій за рахунок використання додаткових вібраційних коливань здійснюється за допомогою підвищення швидкості фільтрування внаслідок зниження опору фільтраційної перегородки у функції часу очищення. Зниження опору пояснюється руйнуванням структури осаду, створенням суспензії пульсуючих тисків, що перешкоджають закупорці пор сорбенту. При цьому на сорбент мають накладатися гармонічні вібраційні коливання, нормальні до поверхні фільтрування.

Інтенсивність звукової хвилі (середня за часом енергія, що переноситься звуковою хвилею через одиничний майданчик, перпендикулярний до напрямку поширення хвилі в одиницю часу) визначає ефективність ультразвукових коливань.

Для інтенсифікації процесу очищення рослинної олії адсорбцією [6] пропонувалося пропускати очищувальну рідину крізь кристали сорбенту впливом акустичних випромінювачів. Однак, процес загасання хвиль в обсязі рідини негативно позначається на якості очищення, відповідно, вимагає великих витрат часу. Тому прийнято рішення використати додаткові джерела

створення коливальних хвиль [18], що створюють кінематичне збудження середовища. Координата точки, що коливається, в рідкому середовищі визначається за формулою:

$$j = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (3.3)$$

де A – амплітуда коливань, мм;

ω – кутова частота вібрацій, рад/с; $\omega = 2\pi f$;

t – поточне значення часу, с;

φ – початкова фаза коливань або кут зсуву середнього переміщення шару сорбенту від кінематичного збудження середовища, град.

З рівняння (3.3) можна визначити швидкість v і прискорення α вібрацій, які є конструктивно-режимними показниками:

$$V = y = A\omega \cos(\omega t + \varphi) = A\omega \sin(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}); \quad (3.4)$$

$$\alpha = y = -A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi) = A\omega^2 \sin(\omega t + \varphi + \pi). \quad (3.5)$$

Звідси їх амплітудні значення:

$$V_{max} = A\omega; \quad \alpha_{max} = A\omega^2. \quad (3.6)$$

Подальшими розрахунками досліджували рух одиничних частинок в оліях. Механічні вібраційні коливальні рухи в олії характеризуються як гармонійні поздовжні, що залежать від швидкості та прискорення переміщення частинок у середовищі з різними показниками щільності, що створюють опір рушійній силі. Механічний коливальний вплив на процес очищення олії здійснювався від пружинного віброзбудника. Власна частота додаткових коливань на пружних опорах:

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C}{m_0}}, \quad (3.7)$$

де C – жорсткість пружини, Н/м;

m_0 – маса частин апарату, що піддається вібрації, кг.

Аналіз закономірності розподілу акустичних ультразвукових коливань показав, що мікропотоки під дією сил опору середовища загасають, що веде до зниження ефективності очищення олії та забруднення сорбенту фільтратом. Цей технічний недолік усувається за рахунок створення механічного

вібраційного коливального руху. Розрахункова формула коефіцієнта поглинання коливального середовища має вигляд:

$$\alpha = \frac{2\eta f^2 + f_0^2}{3\rho c^3} = \frac{2\eta f^2 + \frac{\alpha}{4\pi^2} \cdot \frac{c}{m_0}}{3\rho c^3}, \quad (3.8)$$

де η - в'язкість олії, $\eta = 0,0598$ Па · с;

f – частота акустичних коливань, згідно з рекомендаціями [9],

приймається $f = 10 f_0$ с⁻¹;

ρ – щільність очищувальної олії, $\rho = 920$ кг/м³;

c – коефіцієнт стисливості олії, $c = 20,5$.

При подальших розрахунках з конструктивних міркувань жорсткість пружини приймалася $c = 800$ Н/м, маса елементів збудника та картриджа з сорбентом $m_0 = 3,5$ кг.

Для встановлення раціональної амплітуди коливань враховували розміри сорбенту, при дослідженнях використовували сорбент у суміші доломіту та опоки з розміром $d_c = 6-10$ мм. Об'єм ємності приймається рівним 25 л. Виходячи з цього встановлена амплітуда коливань $A = 1,5$.

Критерієм Рейнольдса: $Re = \frac{v d_c}{\nu}$ при кінетичній в'язкості соняшникової олії $\nu = 60,6 \cdot 10^{-6}$ м²/с при температурі середовища 20...30° С встановлений ламінарний характер обтікання частинок сорбенту очищувальною олією. Ця обставина підтверджує гіпотезу про більш ретельне проникнення олії в пори сорбенту.

Ефективність очищення олії від твердих частинок при її проходженні крізь фільтраційну перегородку залежить від маси та розмірів сорбенту. Виходячи з цього і прийнявши коефіцієнт опору середовища сорбенту $P_c = 1500$ кг/м² отримали необхідну масу сорбенту, що забезпечує високу ефективність очищення:

$$m_c = \varepsilon V P_c, \quad (3.9)$$

Конструктивні розміри картриджа з сорбентом прийняті із співвідношення його висоти до діаметру $\frac{h_k}{d_k} = 1$:

$$\frac{\pi d_k^2}{4} - h_k = V. \quad (3.10)$$

Із виразу (3.10) значення діаметра та висоти картриджа:

$$d_k = \sqrt[3]{\frac{2V}{\pi}}; \quad h_k = 2d_k. \quad (3.11)$$

Для забезпечення основної умови фільтрації встановлено величину перепаду тиску в матеріалі сорбенту:

$$\Delta P_c = \varepsilon \frac{l}{d_{\Pi}} \frac{V^2 \rho}{2}, \quad (3.12)$$

де l - довжина пори сорбенту, приймається $l = 2h_k$, мм;

d_{Π} - діаметр пори сорбенту, $d_{\Pi} = 0,2$ мм;

ε - опір середовища вібраційним впливам.

Розрахунками встановлено, що за кімнатної температури перепад тиску становить 745 Па, а при нагріванні до 30 °С він досягає 903 Па.

Важливим конструктивно-технологічним параметром при очищенні олії є сила опору середовища поширенню коливальних рухів:

$$F_c = \Delta P_c S, \quad (3.13)$$

де S - площа опору поперечного шару картриджа, м²:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} \varepsilon. \quad (3.14)$$

Для завершення конструктивних розрахунків апарату для очищення олії визначений привід віброзбуджувача:

$$F_a = \frac{m_c(\omega_0^2 - \omega^2)A}{\cos \varphi}, \quad (3.15)$$

де m_c - наведена сумарна маса системи, кг; $m_c = 22,5$ кг;

$\omega_0 = 2\pi f_0$ - кутова частота власних коливань, рад/с;

$\omega = 2\pi f$ - кутова частота вібрацій, рад/с;

φ - кут зсуву середнього переміщення шару від фази вимушеної сили, $\varphi \approx 160^\circ$.

Статичний момент маси дебалансу щодо осі його обертання визначається за формулою:

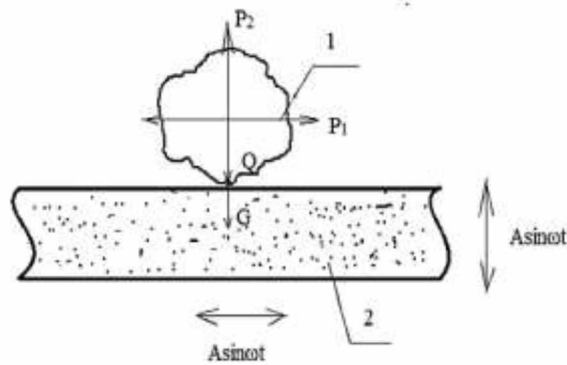
$$K = \frac{F_a}{\omega^2}. \quad (3.16)$$

Дані розрахунків зведені в **таблицю А2 додатку А**.

3.1.3 Очищення фільтраційної перегородки

Очищувальна олія являє собою гетерогенну дисперсну систему з поверхнями розділу між фазами: рідкою – олія, твердою – частинки насіння та газоподібної – первинні продукти окислення (Р-Т-Г). Вібраційні коливання, впливаючи на дисперсну систему, сприяють появі у ній надмірної вільної енергії, підвищеної хімічної активності, термодинамічної нестійкості. Дослідженнями [14] встановлено залежність зовнішніх механічних впливів та зчеплення між частинками твердої фази. У нашому випадку вібраційні коливання досліджували також і для знімання осаду з фільтраційної перегородки. Швидкість фільтрації залежить від забрудненості поверхні сорбенту осадом. Останній у дисперсній системі Р-Т-Г має коагуляційний характер контакту між твердими частинками.

Коагуляція твердих частинок, що перебувають у зваженому стані олії, яка протікає в акустичному та коливальному середовищі за рахунок зближення і укрупнення злипанням частинок та газових бульбашок. Коагуляція газових бульбашок у рідині викликає їх злиття. В результаті зникають розділові кордони та бульбашки схлопуються. Осад у вигляді суспензії відкладається на поверхні фільтраційної перегородки. Вібраційні коливання створюють у суспензії пульсуючий тиск, який до досягнення критичної товщини осаду очищає пори сорбенту і регенерує його фільтраційні властивості. Дослідженнями [13,14] встановлено, що опір осаду пропорційний висоті шару. На цій підставі особливе значення з позиції ефективності очищення олії набуває умова постійного знімання та винесення матеріалу осаду з поверхні фільтруючої перегородки. Для забезпечення цієї умови необхідне конструктивне забезпечення напрямку вібрації. Від акустичної дії, спрямованої поздовжньо фільтруючої поверхні, виникає горизонтальний напрямок мікропотоків, а від вібраційного, спрямованого поперечно, – вертикальний P_2 (рис. 3.1).



1 – частинка осаду забруднення; 2 – фільтруючий елемент

Рисунок 3.1 – Розрахункова схема направлення акустичних P_1 та вібраційних P_2 потоків

Тверда частинка осаду I масою m утримується на поверхні фільтра силою адгезії Q із силою тяжіння G . При цьому сила інерції від поздовжнього напрямку:

$$P_1 = mA\omega^2 \sin \omega t. \quad (3.17)$$

Оскільки сила адгезії осаду у нормальному та дотичному напрямках однакова, то й умови забезпечення знімання осаду з поверхні фільтра ідентичні. Звідси випливає, що при силі тяжіння частинки I , що відповідає силі адгезії, за нашою схемою, одночасно протікають процеси відриву частинки та її перемішування по поверхні фільтра. Напрямок дії сили інерції P_1 дає змогу цілеспрямовано зрушувати та переміщати осад, що забезпечить очищення поверхні картриджа з сорбентом та ефективний прохід олії крізь адсорбент.

Важливим технічним рішенням є спрямований винос твердих частинок із зони фільтрації олії в порожнину для їх збирання та видалення. Протікаючий масообмінний процес сприяє коагуляції та укрупненню частинок, їх знімання з поверхні картриджа та винесення, що підвищить швидкість переміщення і, відповідно, обсяг олії, що переробляється.

3.1.4 Переміщення та винесення твердих частинок з поверхні фільтраційної перегородки

Відповідно до теорії сепарування, у псевдозрідженому шарі [15] просування сепарованого матеріалу за рахунок повітряного потоку залежить від дії сили тяжіння $G = mg$ та сили опору повітряному потоку. Напрямок швидкості переміщення матеріалу також залежить від кута напрямної поверхні до горизонталі. Його рух розглядається як переносне з повітряним потоком та щодо потоку.

Переміщення осаду по поверхні фільтруючої перегородки у рідкому середовищі аналогічно. Вібраційний відрив осаду та його переміщення здійснюються за рахунок акустичних інерційних мікропотоків. Виходячи з аналізу чинних сил при теоретичному аналізі умов переміщення частинок, приймалося наступне:

- рух частинок осаду – це рух матеріальної точки масою m ;
- опір рідкого середовища – це сила адгезії частинок осаду до поверхні фільтруючої перегородки.

Процес просування частинок осаду, що не деформується, масою m , утримуваного на поверхні фільтруючої перегородки силою адгезії Q , створюваної силою тяжіння G здійснюється за рахунок акустичної сили інерції.

Сила адгезії визначається за такою формулою:

$$Q = \frac{k_1 G}{\eta_{\text{ж}} \delta} (1 + \lambda), \quad (3.18)$$

де k_1 – проникність осаду через адсорбент;

$\eta_{\text{ж}}$ – динамічний коефіцієнт в'язкості олії, Па·с;

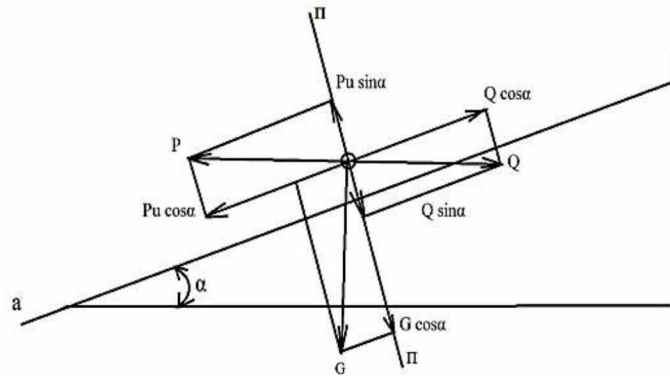
G – сила тяжіння осаду;

δ – висота шару осаду на поверхні фільтруючої перегородки, мм;

λ – інтенсивність коливань, с^{-1} .

Систему сил, що зривають від поверхні осад і переміщують його у встановленому напрямку для очищення адсорбенту від продуктів забруднення

олії з метою підвищення проникності фільтруючої перегородки, аналізували за схемою, представленою рисунку 3.2.



а-а – поверхня фільтруючого елемента; п-п – нормаль до поверхні а-а

Рисунок 3.2 – Схема системи сил, що діють на частинку осаду

Умови переміщення частинки осаду по поверхні а-а забезпечується співвідношенням інерційних сил $P_u \cos \alpha$, сил адгезії частинок осаду в поверхню адсорбенту $Q \cos \alpha$ та сил тяжіння частинок осаду $G \sin \alpha$:

$$P_u \cos \alpha \geq Q \cos - G \sin \alpha. \quad (3.19)$$

Перетворенням виразу (3.19) отримана залежність сили тяжіння частинок від інерційних та адгезивних сил:

$$G \sin \alpha \geq (Q - P_u) \cos \alpha. \quad (3.20)$$

Звідси:

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} \geq \frac{Q - P_u}{G} = \frac{Q}{G} - \frac{P_u}{G}. \quad (3.21)$$

Вирішуючи рівняння (3.20 та (3.21), отримаємо:

$$\tan \alpha \geq \frac{\frac{k_1 G}{\eta_{ж} \delta} (1 + \lambda)}{G} - \frac{mA \omega^2 \sin \omega t}{mg}. \quad (3.22)$$

Виходячи з виразу (3.22), оптимальний кут нахилу поверхні фільтруючої перегородки, що забезпечує переміщення частинок осаду під кутом α :

$$\alpha \geq \arctg \left[\frac{k_1 (1 + \lambda)}{\eta_{ж} \delta} - \frac{A \omega^2}{g} \right]. \quad (3.23)$$

Провівши підстановку даних у вираз (3.23) для олії при $\eta_{ж} = 0,0546 - 0,0998$ Па·с; $k_1 = 5 \cdot 10^{-3}$; $\lambda = 15$ с⁻¹ та $A = 0,001$ мм/с, отримаємо:

$$\alpha \geq \arctg \left[\frac{5 \cdot 10^{-5} (1+15)}{0,55 \cdot 1 \cdot 10^{-2}} - \frac{0,001 \cdot 15^{-2}}{9,81} \right] = 0,122.$$

Виходячи з отриманого значення арктангенсу кута нахилу поверхні фільтруючої перегородки до горизонталі, теоретично оптимальним інтервалом кута, що забезпечує переміщення фільтраційною поверхні та перенесення частинок осаду в накопичувальну ємність установки, слід вважати $\alpha = 12^\circ \dots 15^\circ$.

Отже, використання додаткових механічних коливань забезпечує коагуляцію твердих частинок і газів в об'ємі очищувальної олії, активне очищення поверхні фільтруючої перегородки, розташованої під кутом $12^\circ \dots 15^\circ$ до горизонталі, винос з неї суспензії в накопичувальну ємність, схлопування та винесення газових складових до поверхні олії.

3.2 Експериментальні дослідження

3.2.1 Узагальнення і призначення конструктивних параметрів установки в залежності від критеріальних показників олії

Біологічна і харчова цінність нерафінованої соняшникової олії обумовлена її жирнокислотним складом, структурою тригліцеридів і активних сполук фосфоліпідів, стеролів, вуглеводів, токоферолів і каротиноїдів.

Відомо, що поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) відіграють особливу роль в олії: чим більше в ній ПНЖК, тим більшою харчовою цінністю вона володіє. Одночасно ПНЖК мають підвищену схильність до окислення, а кислоти, перекиси і альдегіди, що з'являються при цьому, є токсичними домішками. Активність їх утворення і розвитку посилюється вільнорадикальною реакцією, що прискорено протікає в період зберігання. В даному випадку вагоме значення в інтенсивності процесу окислення має активний кисень в синглетному стані, утворений при дисоціації молекул атмосферного кисню в фотохімічних реакціях з присутністю сенсibilізаторів [22, 23].

На цій підставі первинною умовою забезпечення збереження ПНЖК в сирих і нерафінованих оліях є мінімізація кислотного і перекісного чисел при виробництві олій. Поряд з цим виникає необхідність призначення термінів регенерації олії, при яких можливо призупинити активність процесу окислення олії та продовжити терміни його використання в харчових цілях.

Хлорофіли і барвники, що входять до складу нерафінованих олій, є фотосенсибілізаторами генерації синглетного кисню.

Токоферол представлений в нерафінованій соняшниковій олії вітаміном Е, що об'єднує в собі велику групу ідентичних по біологічній активності речовин, які складаються з α -токоферолу та 11 його гомологів і стереоізомерів. Поряд з тим, що токоферол відіграє суттєву роль в житті людини як антиоксидант, який перешкоджає старінню клітин і сприяє підвищенню відтворювальних функцій людини, він є потужною натуральною ланкою, що призупиняє окислення олії.

В нерафінованій соняшниковій олії міститься від 51 до 75 мг% токоферолу. Виходячи з цієї кількості, можна судити про її харчову цінність і протікаючи процеси окислення та псування при зберіганні [124].

Відомо, що вітамін Е досить термічно стійкий і його біологічна активність не втрачається при нагріванні до 220 ° С. В процесі рафінування та дезодорування при температурі 250 ° С і вище втрачається до 80% вітамінів. В зв'язку з цим виробниками рафінованих і дезодорованих олій пропонується збагачувати олію купажуванням сумішей зі збалансованим жирнокислотним складом і біологічно активними речовинами і вітамінами [25]. Але це не ефективно, так як більшість позитивних складових спочатку просто знищуються, а в подальшому вводяться їх аналоги, часто синтетичні.

Таким чином, дослідженням кількості токоферолу при виробництві, зберіганні та регенерації олії можна охарактеризувати концентрацію антиоксидантів, що поліпшують продукт. Падіння цього показника обумовлює процес активного окислення.

Вільні жирні кислоти, що знаходяться в складі олії, утворюють нерозчинні мила жирних кислот. При цьому навіть їх нейтралізація при рафінації, знижує концентрацію мил не нижче 0,3%. Накопичення вільних жирних кислот при зберіганні веде до активізації процесу окислення. Простий процес фільтрації та відстою ніяк не сприяє зниженню рівня мил [126]. Виходячи з цього при аналізі роботи установки питанню видалення необхідно приділити увагу.

Гідропероксиди, які є первинними продуктами окислення, утворюються і розвиваються в олії в процесі загального зародження та активізації вільної радикальної реакції. Їх зміст в олії ДСТУ 4570:2006 [21], так як вони істотно впливають на якість і при зберіганні є активатором процесу автоокислення. На цій підставі перекисне число також аналізували при очищенні нерафінованої олії в розробленій установці [12].

Вторинні продукти окислення є альдегіди, при окисленні олії вони утворюють з реагентами продукти конденсації жовтого кольору, інтенсивність якого також формує показник якості олії.

Осад в олії є дисперсною фазою, що складається з механічних включень продуктів подрібнення насіння соняшнику в вигляді частинок мезги, макухи, шроту, залишкових кількостей металів, пестицидів. В процесі переробки вони знаходяться в олії в зваженому стані та протягом всього періоду зберігання коагулюють і під дією сили тяжіння осідають на дні ємкості. Їх перебування в олії небажано з двох причин. По-перше, вони є додатковими осередками окислювальних процесів в олії та ведуть до її ферментації, по-друге, погіршують споживчі властивості товарної продукції.

Поряд з цим в осад випадає віск, що знаходиться у вигляді кульок в сітчастій структурі. Він погіршують якість олії, її органолептичні показники і товарний вигляд.

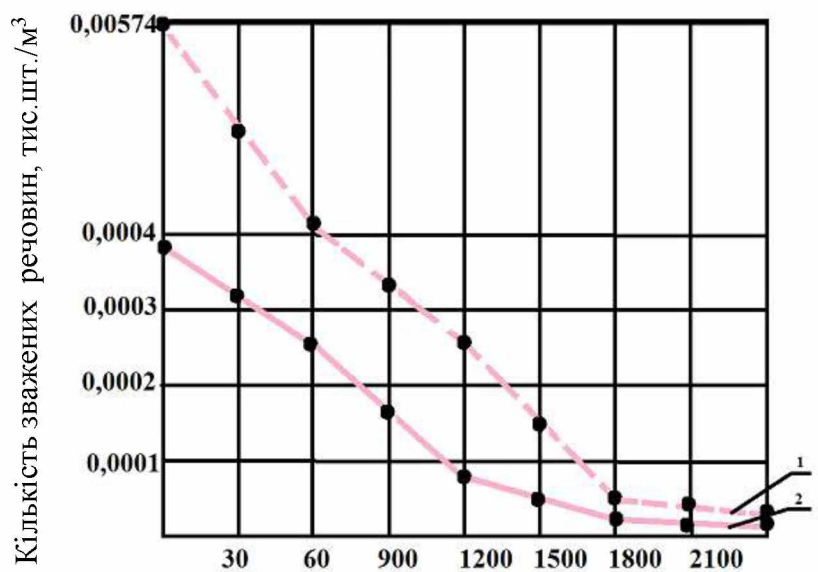
Весь осад, який має тверду структуру, адгезує в поверхню фільтраційної перегородки і затримується в адсорбенті. Це є позитивним явищем, так як олія

ретельно очищається від забруднюючих складових, але при цьому негативним є те, що вони закупорюють прохід олії крізь пори адсорбенту.

Зміна концентрації забруднень в олії в залежності від часу очищення відображена на рисунку 3.3.

З метою підвищення ефективності очищення нерафінованої соняшникової олії використовували адсорбційно-ультразвукову установку [136]. Сорбентом служила опоко-доломітна суміш, що має високу активність, низьку олієємність та хімічну інертність по відношенню до олії.

Для інтенсифікації процесу адсорбції і поліпшення якості очищення застосовували пружні механічні коливання високої частоти в оброблюваному середовищі. Висока результативність обробки ультразвуком спостерігалася у поверхні поділу двох фаз, де активізувався процес диспергування твердих включень в рідкій фазі і відбувалося емульгування жирових включень, що випадають також у вигляді осаду.



Тривалість фільтрування при витраті $5,83 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, с

1 - без центрифугування; 2 - з центрифугуванням

Рисунок 3.3 – Залежність кількості зважених речовин в олії в залежності від тривалості фільтрування при витраті $\text{м}^3/\text{с}$

В процесі очищення олії в місці зіткнення рідини і речовини, що виноситься, утворюються поздовжньо-поперечні кумулятивні акустичні течії. Схема мікротечій поблизу плоского і циліндричного кордонів супроводжується омиванням диспергованого об'єкту з подальшим спрямованим виносом продуктів осаду з прикордонної зони в поверхневий шар адсорбенту, де вони за рахунок пружних вібраційних коливань коагулюють і в подальшому інерційними акустичними силами виносяться на відстійник.

3.2.2 Зміна кількості зважених речовин при очищенні олії

При малотоннажному виробництві сирих і нерафінованих олій виробники в основному використовують дві технологічні схеми їх очищення. Проста схема – сира олія - відстій - товарна олія. Вона не забезпечує належної якості продукту і передбачає швидку реалізацію за низькими цінами. При очищенні за схемою сира олія - відстій - центрифугування - товарна олія підвищується якість очищення від твердих частинок з відносно великою масою. Зважені тверді частинки залишаються в товарній олії та погіршують продукт при зберіганні. Третя технологічна схема очищення - сира олія - відстій - центрифугування – мікрофільтрування - відстій - товарна олія практично не використовується через дороге обладнання, складність і тривалість процесу та високої собівартості кінцевого продукту.

З огляду на багатофункціональність віброакустичного способу очищення, перевірки в експериментальній установці піддавали олію з центрифугуванням і без нього.

Кількість зважених речовин в олії в початковій період без центрифугування становить 57,4 тис. шт. в об'ємі 100 см³. У наступному, у міру збільшення часу очищення цей показник різко знижується, що можна пояснити активізацією процесу осадження частинок з великою масою і, відповідно, більшою гравітаційної силою. Вже до 10 хв. обробки він досягає 4,01 тис.шт./100см³, що відповідає якості олії після центрифугування.

Прийнятних показників олія досягає через 30-40 хв. обробки. При цьому слід вказати, що очищення олії без центрифугування в принципі не неприпустиме, по-перше, через інтенсивне забруднення поверхні фільтраційної перегородки великими твердими частинками і, по-друге, через погіршення проникності сорбенту зі зменшенням продуктивності очищення.

Кількість зважених речовин відцентрифугованої олії в початковий період в 14,6 рази нижче. Вже після 10 хв. обробки воно знижується на 62%, після 20хв. - на 79,4%. При 30-хвилинній обробки частинки розміром 0,005-0,1 мм видаляються до 90%, що за показником забрудненості олію можна вважати рафінованою.

Отримані дані дозволяють прийняти за раціональний режим 30-40-хвилинну обробку олії при встановлених акустичних і вібраційних параметрах.

3.2.3 Дослідження процесу пропускної здатності фільтраційного картриджа

Пропускна здатність фільтруючого елемента характеризується кількістю олії гарантованої якості, що проникає крізь адсорбент у встановлений період часу. Дані дослідження дозволили отримати порівняльну картину осадження і адгезії в фільтруючу перегородку нежирових домішок. Необроблені сирі і нерафіновані соняшникові олії містять більше 2 % загальних домішок, які в тій чи іншій мірі включають в себе мезгу, макуху, шрот, мила, воску, слідові кількості металів, пестицидів, пігментів і інших речовин, що ведуть до активізації процесу окислення та ферментації.

Всі домішки, що знаходяться в олії у вигляді частинок дисперсної фази, мають розміри від 0,005 до 1,5 мм і щільність 1,1-1,4 г/см³ [17] при щільності олії 0,92 г/см³. За рахунок гідромеханічних і гравітаційних сил в олії при її обробці в віброакустичній установці спостерігаються коагуляція частинок і їх осадження на фільтраційній поверхні. При цьому можливе створення статичного процесу з адгезійним характером закупорювання пор сорбенту і

динамічного процесу з видаленням і виносом відкладень потоками полідисперсної системи. Дані досліджень наведені на рисунках 3.4 та 3.5.

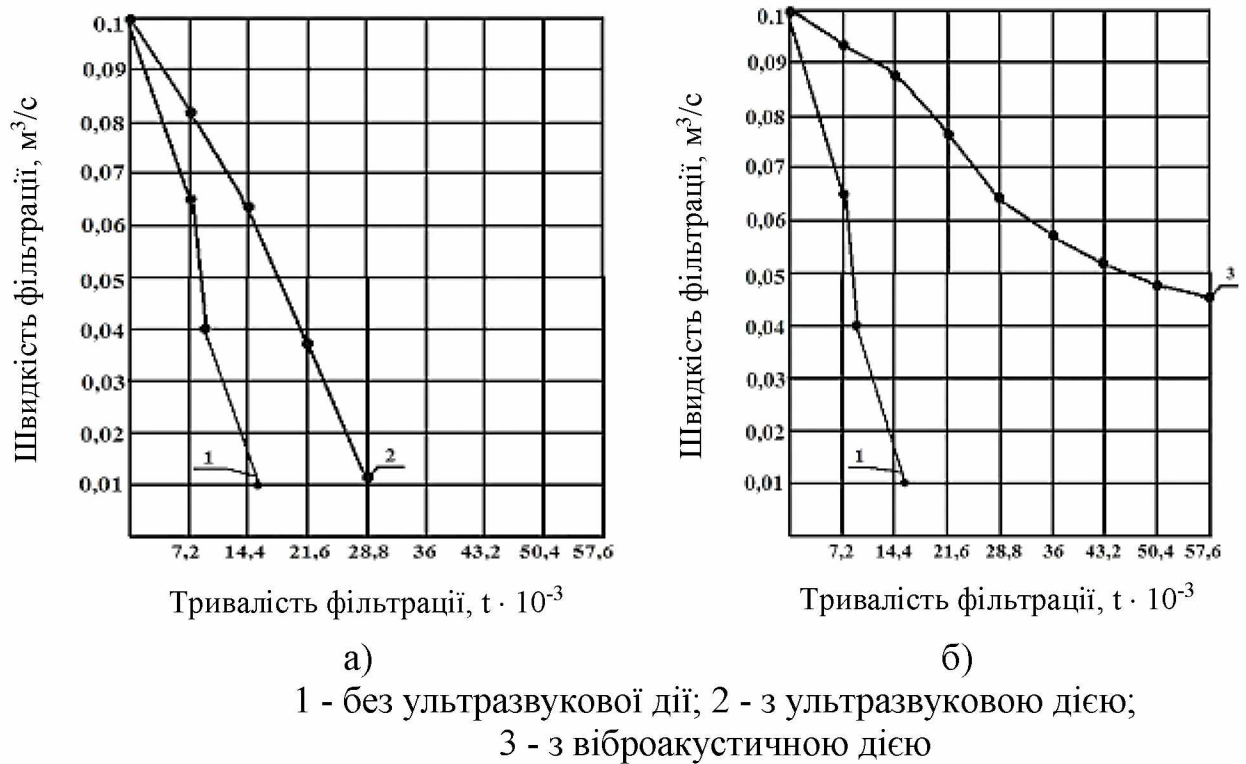


Рисунок 3.4 – Залежність швидкості фільтрації від тривалості при:
а) - ультразвуковій дії; б) - ультразвуковій та віброакустичній дії;

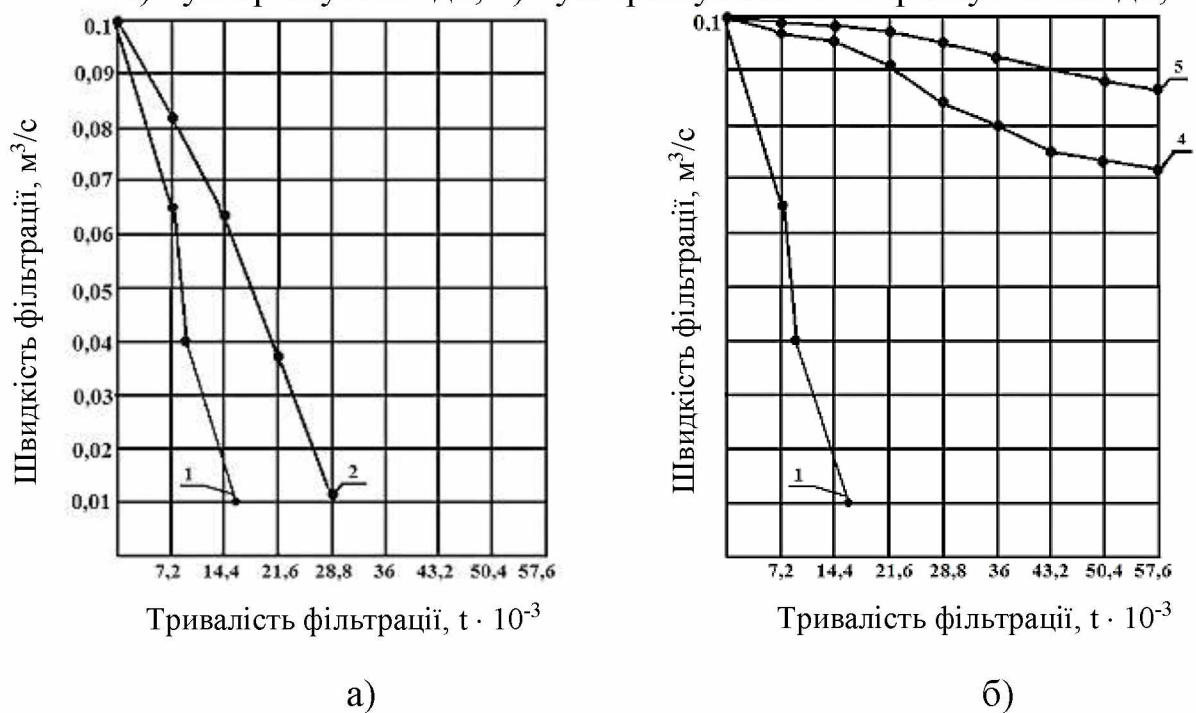


Рисунок 3.5 - Залежність швидкості фільтрації від тривалості при:
а) - ультразвуковій дії; б) - віброакустичній дії;

Швидкість фільтрації в акустичному потоці з горизонтально розташованим картриджем сповільнюється вже в перший 2-годинний цикл дослідження на 18 %, к 8 год. роботи установки вона знижується з $0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ до $0,0111 \text{ м}^3/\text{с}$. Якість очистки не погіршується, але продуктивність зменшується на 90 %. Інтенсивність забруднення поверхні картриджа при віброакустичному впливі на очищувальну олію при горизонтально розташованому картриджі зменшується після 2-годинного циклу на 5,6 %. В подальшому інтенсивність незначно активізується і к 16 год. безперервної роботи досягає 54 %.

Дослідженнями акустичного і гідромеханічного процесів встановлена необхідність створення спрямованих поздовжніх акустичних мікропотоків і поперечних вібраційних пульсуючих коливань. Поряд з цим визначена можливість винесення твердих частинок по похило встановленій поверхні картриджа. Теоретично встановлено інтервал кута нахилу поверхні - $12^\circ \dots 15^\circ$. З цієї причини експериментальній перевірці піддавали два кута нахилу - 10° (нижче встановленого інтервалу) і 15° - максимальний кут інтервалу. Перевищення максимального значення кута небажано через зменшення встановленої товщини картриджа з сорбентом.

Винесення зірваних з похилої поверхні твердих частинок осаду та їх переміщення в ємкість-відстійник забезпечує високе очищення поверхні і, відповідно, проникність фільтрувальної перегородки протягом тривалого часу. У початковий період очищення зміна проникності незначна, в подальшому вона дещо зменшується. Однак навіть після 16-годинного циклу випробувань показник погіршується для кута нахилу 10° на 29 %, а для 15° - на 13%.

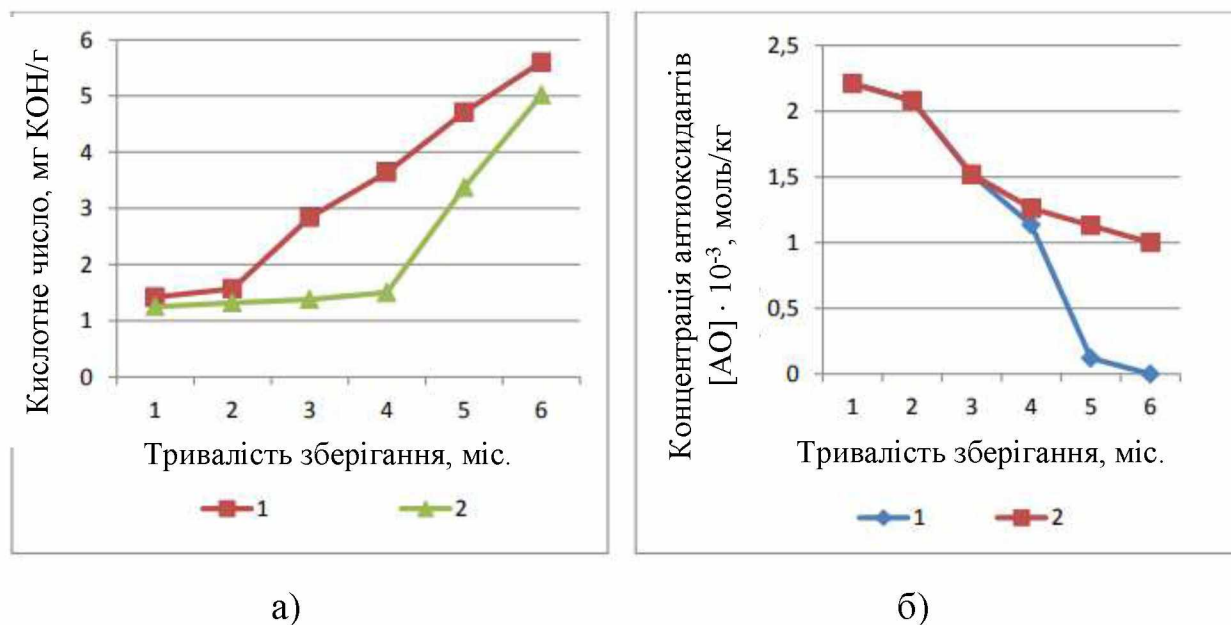
Ці показники цілком задовольняють поставленим цілям забезпечення високої продуктивності установки.

Незначне погіршення продуктивності пояснюється защемленням деякої кількості дрібнодисперсних частинок осаду в проміжках шару сорбенту неправильної геометричної форми та їх накопиченням протягом тривалого періоду часу.

3.2.4 Дослідження процесу псування і регенерації складових якості сирих і нерафінованих олій

Дані аналізу зміни кислотності і концентрації антиоксидантів в сирих і нерафінованих соняшникових оліях відразу після їх виробництва, зберігання і регенерації представлені на рисунку 3.6.

При виробництві сирих і нерафінованих соняшникових олій їх якісні показники в першу чергу характеризуються кислотним числом і наявністю токоферолов. Підвищення кислотного числа свідчить про перебіг процесу псування. Наявність в олії вільних жирних кислот обумовлено технологією його виробництва та очищення. Вже на ранній стадії (рис.3.6, а) вони ведуть до



а) б)
1 - без віброакустичної дії; 2 - з віброакустичною дією

Рисунок 3.6 - Залежність змін: а) - кислотного числа; б) - концентрації антиоксидантів від тривалості зберігання соняшnikової олії

ініціювання ланцюгової вільнорадикальної реакції з утворенням вільного радикалу R_i :



Виходячи із збільшення кислотного числа можна констатувати початок процесу каталізації та її прискорення відразу після виробництва олії та

утворення при цьому гідроксидів, гідроперекисів та гідропероксидів. Будучи високоактивними та нестійкими сполуками, вони, розпадаючись, перетворюються на вільні радикали.

Чинник внутрішнього окисного процесу вільних жирних кислот погіршується при зберіганні та перебігу вторинних реакцій, що утворюють спирти, кетони, альдегіди, ефіри, епоксисполуки, оксикислоти, кетоефіри та інші речовини. Цим пояснюється спочатку незначне зростання кислотного числа від 1,25 до 1,62 мг КОН/г на другий місяць зберігання. Це веде до зниження харчової цінності олії та її переходу з категорії вищого гатунку до першого. Подальше підвищення інтенсивності окислення зумовлене розгалуженням ланцюгової вільнорадикальної реакції та приєднанням вільного радикалу до молекулярного кисню, що протікає за схемою:



Наявність у вільних жирних кислотах протона гідроксильної групи та координаційно насиченого карбонільного атома кисню, що входять до електронодонорного атому кисню з подвійним зв'язком з фосфатидами домішок при атомі кисню та аміногрупи, веде до зниження дії антиоксидантів [136].

Інтенсивність окислення на 3-й місяць зберігання досягає 52,6%, а на 4-й - знаходиться на межі виходу з показників 1-го сорту олії, після чого її вживання в харчових цілях згідно з ДСТУ 4492-2017 «Олія соняшникова. Технічні умови» не допускається.

Аналогічно підвищенню кислотного числа при зберіганні знижується концентрація антиоксидантів, покликаних перешкоджати окислювальному процесу (рис. 3.6, б). Якщо на момент виробництва олії окислювальна стійкість вільних жирних кислот була на достатньому для вищого сорту рівні, що становить $2,21[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг та інтенсивність зниження в період ініціювання вільнорадикальної реакції не перевищувала 6% на 2-й місяць зберігання, то вже на 3-й місяць концентрація антиоксидантів знизилася до $1,52[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг. Це відповідає 32%-й зміні концентрації

антиоксидантів і свідчить про активізацію процесу окиснення в умовах розгалуження ланцюгової вільнорадикальної реакції.

Надалі, при підвищенні терміну зберігання, концентрація антиоксидантів значно знижується: на 4-й місяць на 62%, на 5-й - на 96%, а на 6-й місяць - сягає нульового стану.

Таким чином, виходячи з даних графіка (рис. 3.6) можна стверджувати, що з підвищенням терміну зберігання сирі та нерафіновані соняшникові олії піддаються інтенсивному окисненню і після 4-місячного зберігання вони виходять за межі 1-го сорту та відповідно до вимог, встановлених ДСТУ 4492:2017 [9], можна використовувати лише в технічних цілях.

Концентрація токоферолу в олії після 3-місячного зберігання зменшується вдвічі. Це пояснюється активним окислювальним процесом. Якщо при регенерації олії всі показники кислотного, перекісного, анізидинового та кольорового чисел можна зменшити та використання олії відновити, то токоферол – основний антиоксидант – не відновлюємо. При окисненні олії вже після шести місяців зберігання цей показник досягає нульового значення.

Звідси випливає, що сирі та соняшникові олії слід піддавати регенерації після трьох місяців зберігання.

При очищенні олії у розробленій установці можливе зниження кислотного числа з максимально досягнутого при зберіганні рівня 5,5 мг КОН/г (рис. 3.6, а) до рівня 1,5 мг КОН/г.

На цій підставі випливає, що кислотне число – активна складова окисного процесу – при очищенні сирих та нерафінованих олій віброакустичним способом відновлюється до початкового значення. При цьому зупиняється процес окислення та зменшення концентрації токоферолу. Він становить $3,2[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг, і це свідчить про відновлення високої харчової цінності очищених сирих та нерафінованих соняшникових олій. У разі потреби підвищення концентрації токоферолу можливе купажуванням.

Жирні кислоти легко окислюються під час зберігання. Інтенсивність процесу залежить від ступеня ненасиченості. У цьому зв'язку з метою

забезпечення в сирих і нерафінованих соняшникових оліях раціонального вмісту вільних жирних кислот, що забезпечують харчову та функціональну цінність продукту, необхідні такі технологічні заходи:

1. Більш якісне очищення олій від первинних та вторинних продуктів окислення в процесі його виробництва за схемою:

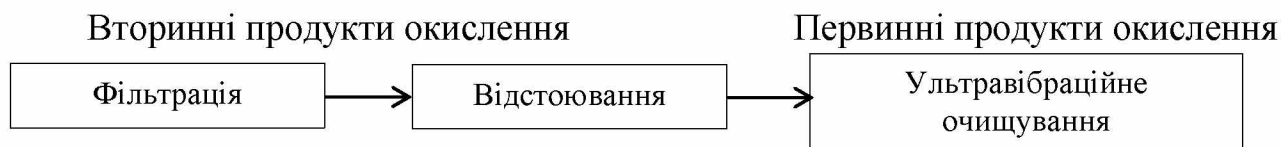


Рисунок 3.7 - Схема очищення олій від первинних та вторинних продуктів окислення

Це дозволить продовжити дію антиоксидантних властивостей жирних кислот та знизити інтенсивність вільнорадикальної ланцюгової реакції.

2. Для забезпечення збереження вільних жирних кислот, що мають властивості незамінних, високу харчову та функціональну цінність та що є природними антиоксидантами, регенерацію олії слід здійснювати після 3-х місячного зберігання. Це дозволить зберегти їх концентрацію на рівні $2,0-3,5[AO] \cdot 10^{-3}$ моль/кг.

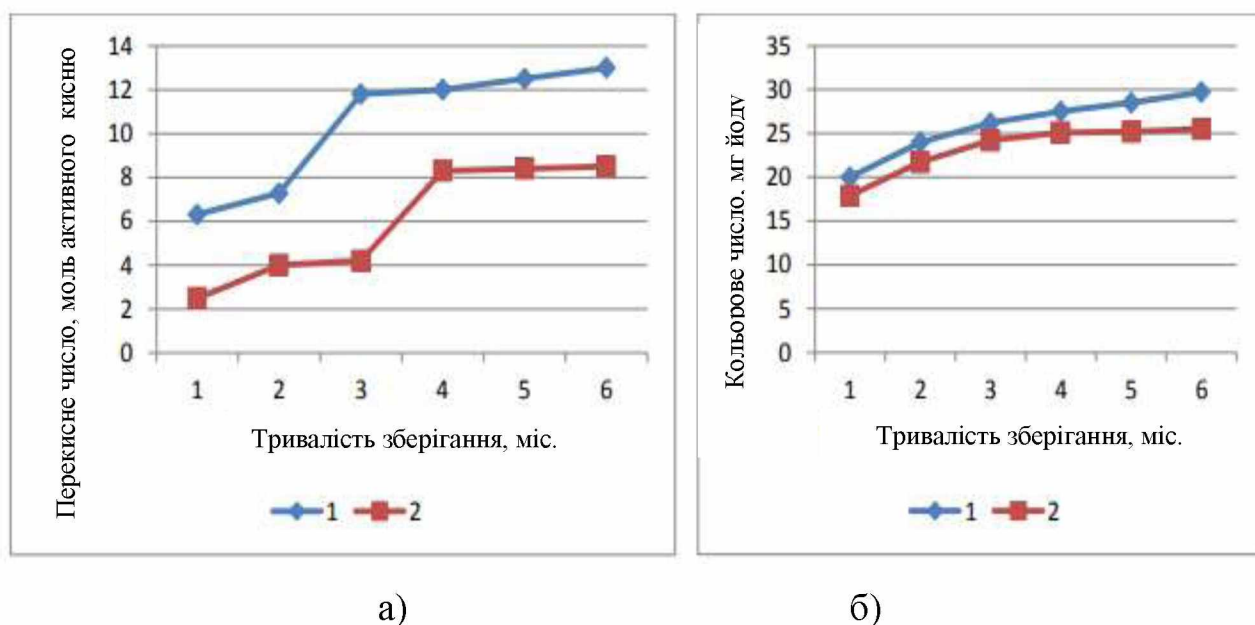
3.2.5 Дослідження перекісного числа та обґрунтування режимів очищення олії

В міру окислення олії в період зберігання жирнокислотний склад, що залежить від вмісту триглицеридів різного ступеня ненасиченості, втрачає свої масові частки, вони втрачаються і виходять за встановлені межі (табл.3.1) [13].

Таблиця 3.1 – Жирнокислотний склад олії

Найменування ненасичених жирних кислот	Масова доля	
	Високо олеїнова	низькоолеїнова
Міристинова	-	до 0,2
Пальмітинова	4,2-4,6	5,6-7,6
Пальмітолеїнова	-	до 0,3
Стеаринова	4,1-4,8	2,7-6,3
Олеїнова	61,0-69,8	14,0-39,4
Лінолева	21,9-28,0	50,0-75,0
Ліноленова	-	до 0,2

Пероксиди та гідроксиди, що утворюються і накопичуються після ініціювання процесу вільнорадикальної реакції супроводжуються зниження концентрації поліненасичених жирних кислот. Відомо [15], що в процесі окислення жирних кислот у соняшниковій олії спостерігається зародження перекісних радикалів. За радикально-ланцюговою реакцією вони породжують високомолекулярні продукти окиснення. Ця обставина також впливає на процес псування олії при зберіганні. Зародження та розвиток гідроперекисів спостерігається вже відразу після 1-го місяця зберігання олії (рис. 3.8).



1 - без віброакустичної дії; 2 - з віброакустичною дією

Рисунок 3.8 – Залежність зміни перекісного та кольорового числа соняшникової олії від тривалості зберігання: а) – перекісне число; б) – кольорове число

Даними рисунку 3.8 підтверджується доцільність віброакустичної фільтрації олії як останньої операції у виробництві олії. Показник перекисного числа при цьому знижується до 2-3 моль активного кисню, після 3-місячного зберігання - з 11,8 до 7,7, що за ДСТУ4492:2017 відповідає олії вищого гатунку. Після 5-місячного зберігання перекисне число досягає 12,7 моль активного кисню, що відповідає олії для промислової переробки. Після очищення олія досягає рівня першого гатунку - 8,3 моль активного кисню.

Відповідно до ДСТУ4492:2017 кольорове число олії характеризує його показники якості з позиції органолептики та візуальних споживчих властивостей. Прозорість олії при зберіганні залежить від часу. Якщо в період виробництва прозорість становить 15 мг йоду, то надалі вона зазнає явного погіршення. Після першого, другого, третього та четвертого місяців зберігання вона становить 17,9; 21,7; 24,2 та 25,1 мг йоду відповідно.

Ці показники не дуже критичні, тому що в результаті вони не перевищують показники першого гатунку, але процес погіршення кольоровості явний.

Висновки

Експериментальними дослідженнями технології очищення сирих та нерафінованих соняшникових олій у віброакустичній установці визначено таке.

1. Теоретично обґрунтовані характеристики механічних і акустичних впливів на олію, що очищається, прийняті в якості конструктивних, робочих та технологічних параметрів, відповідають поставленій меті та забезпечують вирішення встановлених завдань.

2. У процесі очищення в місці зіткнення олії та виносних речовин утворюються поздовжньо-поперечні пульсуючі та акустичні течії. Вони супроводжуються спрямованим перенесенням олії крізь фільтруючу перегородку та виносом диспергованих частинок, що забруднюють і погіршують проникність адсорбенту.

3. Концентрація забруднень олії у вигляді твердих частинок залежить від часу його очищення. Після 10 хв. вона зменшується на 62 %, після 20 хв. - на 79,4%, після 30 хв. - на 97%. Це свідчить про високий, технічно прийнятний ступінь очищення при 30 хв. роботи установки.

4. Найбільш переважно одночасний вплив на олію віброакустичних пульсацій та течій при куті нахилу фільтруючої перегородки 15° до горизонталі зі зниженням проникності на 15,4% та часом очищення 16 год. Тільки при акустичній дії вона зменшується на 99,1%, а при віброакустичному без нахилу - на 46,4%.

5. Зміна якісних показників олії:

- підвищення кислотного числа олії без віброакустичного очищення спостерігається вже після 2 місяців зберігання. Це веде до її переходу з категорії найвищого в перший гатунок. Після 4 місяців цей показник збільшується на 58%, і вона перетворюється на категорію 1-го гатунку. Після очищення олія до 4 місяців зберігання знаходиться у категорії вищого гатунку, проте за концентрацією антиоксидантів, які не поповнюються після очищення, циклічність кожного чергового очищення необхідно встановити 3 місяці;

- перекісна кількість необробленої олії зростає безперервно і після 3 місяців зберігання вона досягає 37,2%, а після 4 місяців - 48,8%. Після очищення вона зменшується по відношенню до вихідного на 14,4% після 3 місяців зберігання зменшується на 22,6, олія знаходиться в категорії вищого гатунку;

- кольорове число під час очищення олії після 3 місяців зберігання покращується на 25%, що також свідчить про її повернення до категорії вищого гатунку.

6. Наведені дані свідчать про доцільність використання при виробництві сирих та нерафінованих соняшникових олій технології віброакустичного очищення, а при зберіганні – її регенерації після 3 місяців зберігання.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рекомендовано використання результатів досліджень при виробництві рослинних олій, а саме використовувати віброакустичну установку при фільтруванні нерафінованої олії з метою очищення після 3-х місячного зберігання.

4.1 Екологічна експертиза

Завданням законодавства про екологічну експертизу є регулювання суспільних відносин в галузі екологічної експертизи для забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, раціонального використання і відтворення природних ресурсів, захисту екологічних прав та інтересів громадян і держави [21].

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єкта.

Основними завданнями екологічної експертизи є:

- 1) визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;
- 2) організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- 3) встановлення відповідності об'єктів експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;
- 4) оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей і якість природних ресурсів;

- 5) оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища і здоров'я людей;
- 6) підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Охорона навколишнього середовища і раціональне використання її ресурсів в умовах бурхливого зростання промислового виробництва стала однією з найактуальніших проблем сучасності.

Рідкі, тверді та газоподібні відходи завжди продукуються внаслідок процесів виробництва і повністю їх уникнути практично неможливо. Крім того, вони спричиняють забруднення довкілля і створюють екологічні проблеми, що також призводить до значної втрати придатних для використання матеріалів та енергії і вимагають додаткових коштів на проведення контролю відходів і вирішення екологічних проблем, тобто очищення забруднених територій і повітря.

Попередження забруднень включає заходи, спрямовані на зниження кількості забруднення з його джерела або інші заходи, які зменшують кількість або усувають повністю появу забруднюючих речовин до того, як вступають в дію інші заходи по управлінню відходами.

Технології зменшення відходів повинні бути ключовим компонентом будь-якої рентабельної, досконалої програми виробництва. Ці складові виробничих процесів не обов'язково повинні базуватися на високих технологіях або потребувати значних капіталовкладень. Технології зменшення відходів можуть і повинні бути застосовані до будь-якого процесу, від найпростішого до складних виробничих процесів.

Шляхи зменшення відходів у переробній галузі можуть бути поділені на 4 основні групи:

- 1) управління використанням сировини і матеріалів;
- 2) модифікація і вдосконалення процесів виробництва;
- 3) зменшення об'ємів відходів;
- 4) утилізація відходів.

Для будь-якого виробництва першим кроком процесу вдосконалення операцій для мінімізації відходів є оцінка наявного виробничого процесу з метою виявлення шляхів вдосконалення його ефективності. Огляд повинен включати всі складові виробничого процесу, від поставки сировини через виробництво до зберігання готової продукції.

Засоби зменшення кількості шкідливих відходів:

- зменшення кількості відходів на джерелі, де вони продукуються, через зменшення кількості матеріалів, які використовуються для виробництва, їх заміну, внесення змін до виробничих процесів чи їх заміну більш екологічно безпечними, внесення змін до виробничого ланцюга. Необхідно визначити, на якому з етапів виробничого процесу продукуються шкідливі відходи, прослідкувавши виробничий процес в зворотному порядку від стадії обробки відходів;

- повторне використання у виробничому процесі: з усієї кількості отриманих відходів відділяється сировина, яка повертається на використання у цьому ж процесі. В межах підприємства відділяються ті, які мають певну цінність і можуть бути використані для інших галузей чи підприємств;

- замкнений цикл – ідеальна ситуація, коли всі відходи виробництва в повному обсязі повторно використовуються в цьому ж процесі;

- нульові викиди – ситуація, при якій у всіх відходах певного виробництва вміст шкідливих речовин нижчий від тих, які можна зареєструвати наявними засобами аналітичного контролю;

- реєстр токсичних речовин – підприємства повинні подавати відомості про викиди та транспортування з підприємств токсичних речовин і ця інформація повинна бути доступна для громадськості;

- засоби мінімізації шкідливих відходів обов'язково повинні передбачати постійний аналітичний контроль виробничих відходів. В ідеалі корисним є такий контроль на вході і виході кожного окремого технологічного процесу, а не загальний «контроль на виході», в якому основна увага приділяється обробці викидів підприємств, а не превентивним заходам;

- продукти, які є відходами одного виробничого процесу, відділяють і вони можуть служити сировиною для інших виробничих процесів.

4.2 Охорона праці

Перехід суспільства до широкого використання ринкових відносин, виникнення різноманітних форм власності потребують розроблення нових підходів до побудови сучасної моделі управління охороною й безпекою праці на національному, регіональному й виробничому рівнях. У суспільстві із соціально орієнтованою економікою охорона праці має бути одним з найважливіших завдань соціально-економічної політики як держави, так і кожного підприємства та організації.

Проте нинішній рівень науково-технічного прогресу та соціально-економічні орієнтири розвитку сучасного суспільства не спроможні створити сприятливі умови для забезпечення добробуту людини, збереження її здоров'я. Особливо гостро ця проблема постає на виробничих підприємствах, де зберігається переважно застаріла матеріально-технічна база виробництва при незадовільних обсягах фінансування заходів з охорони праці. Усе це призводить до високого рівня травматизму і, як наслідок, до збільшення видатків підприємства та держави на виплати й компенсації потерпілим. Тому вкрай необхідним є вдосконалення системи охорони праці як важливого фактора підвищення ефективності виробництва на підставі детального дослідження економічних і соціальних її аспектів

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Охорону праці і здоров'я громадян віднесено до пріоритетних напрямків соціальної політики України [22].

Домінуючими причинами формування несприятливих умов праці залишаються недосконалі технології, машини і механізми, їхня несправність,

невикористання засобів захисту, порушення правил техніки безпеки, режимів праці і відпочинку.

Охорона праці в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

В роботі проводилися дослідження технологічного процесу фільтрування нерафінованої соняшникової олії. Розглянемо вимоги безпеки при виробництві соняшникової олії.

До роботи, ремонту та технічного обслуговування допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли навчання, відповідний інструктаж по охороні праці, про що повинен бути зроблений запис в журналі обліку з охорони праці.

Щоденно необхідно візуально перевіряти справність контуру заземлення.

Вмикання електродвигуна здійснюється через апарат теплового захисту.

Всі роботи по обслуговуванню та усуненню несправностей шнекового прес-екструдера проводять на непрацюючій установці при вимкненому двигуні.

З метою запобігання термічних опіків забороняється братися руками за ці нагріті елементи конструкції та підставляти руки під стікаючу олію. Не допускати розтікання олії.

Якщо не можливо припинити подачу електроенергії, то допускається розрив електричних ланцюгів особам в захисних окулярах, діелектричних рукавицях та в гумовому взутті чи стоячи на ізоляційній підставці.

Усі захисні засоби при прийманні їх в експлуатацію перевіряють, а потім періодично проводять контрольні випробування на напругу, величина якої не менше ніж в 3 рази перевищує робочу напругу мережі.

Перевірку справності заземлення на електроустановках з напругою до 1000В проводять не рідше 1-го разу на рік з чергуванням: один рік - літом при

найбільшому просиханні ґрунту, другий рік - взимку, при найбільшому промерзанні ґрунту.

Забороняється виконувати роботу по ремонту та монтажу обладнання, якщо воно знаходиться в при піднятому стані.

До навантажувально-розвантажувальних робіт допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичне обстеження. Завантаження, розвантаження і переміщення важких та громіздких вантажів необхідно здійснювати під керівництвом спеціально визначеної особи.

Виконання вимог безпеки сприяє зниженню травматизму до мінімуму.

З метою запобігання виробничого травматизму необхідно посилити контроль за дотриманням вимог безпеки при виконанні робіт; проводити своєчасне навчання з питань охорони праці; поновляти засоби колективного захисту, забезпечувати працюючих засобами індивідуального захисту; проводити своєчасно медичні огляди; застосовувати штрафні санкції за порушення вимог безпеки.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Собівартість соняшникової олії залежить від технології її виробництва та очищення з поділом на нерафіновану та рафіновану.

У початковій стадії після віджиму в пресі олія піддається відстоюванню, фільтрації та центрифугуванню з метою видалення з неї механічних домішок. При цьому вона класифікується як нерафінована. За останніми статистичними даним відпускна вартість наливної нерафінованої олії становить 41,3 тис. грн/т. Вона складається з витрат на обладнання, оборотних коштів, виробничих площ, оплати персоналу та оподаткування. Витрати виготовлення 5 т олії представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Витрати на виробництво олії

Найменування витрат	Денний виробіток, кг	Вартість, грн/кг	Виробіток за зміну, грн	Виробіток за місяць, грн
Нерафінована олія				
Насіння	11846	18	213228	6396840
Електроенергія, кВт/добу	1500	1,1	1650	49500
Собівартість, грн			214878	6446340
Рафінована олія				
Вугілля	500	3,2	1600	48000
Вода, м ³	15	30	450	11280
Сода	30	15	450	13500
Відбілюючий агент	592	0,5	296	8880
Собівартість, грн			217599	6528075

Виходячи з таблиці 4.1, собівартість нерафінованої соняшникової олії на 81735 грн (2 %) нижче за собівартість рафінованої.

При виробництві сирих та нерафінованих соняшникових олій пропонується ввести додаткову операцію – віброакустичну фільтрацію. Вона забезпечує більш ретельне очищення олії від первинних і вторинних продуктів окислення, що ведуть до зниження її якості після виробництва та протягом оптимального терміну зберігання.

Хоча у роздрібній торгівлі не передбачається перекваліфікація сортності олії, але чисто з позиції харчової цінності перехід з вищого в перший ґатунок при зберіганні несе в собі певне зниження якості продукту. У ньому погіршуються антиоксидантні властивості та окислюються корисні складові. Підвищення якості олії при її виробництві дозволяє зберегти показник вищого ґатунку на 3 місяці, що за рахунок його збереження забезпечить високу вартість товару.

При регенерації олії після тримісячного зберігання відновлюється її продуктова цінність ще на три місяці, що важливо не тільки з позиції його ціни, а й з позиції харчової та фізіологічної цінності.

Витрати на регенерацію властивостей олії Z_{po} в зміну складаються з витрат на виробництво олії Z_o , амортизацію обладнання Z_a , на електроенергію Z_e , на ремонт та обслуговування обладнання Z_{po} , на охорону праці $Z_{оп}$:

$$Z_{po} = Z_a + Z_e + Z_{po} + Z_{оп}. \quad (4.1)$$

Витрати виробництва олії наведені у таблиці 4.1.

Витрати на амортизацію обладнання:

$$Z_a = \frac{B_{co} H_a}{100 \sum C_m}. \quad (4.2)$$

де B_{co} - балансова вартість обладнання (110 тис.грн для додаткової віброакустичної установки);

H_a - норма амортизаційних відрахувань (12%);

$\sum C_m$ - кількість робочих днів на рік.

$$Z_a = \frac{110000 \cdot 12}{100 \cdot 200} = 66 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються виходячи з встановленої потужності віброакустичної установки, робочих годин в зміні, вартості 1кВт·год. та коефіцієнт використання обладнання:

$$Z_e = P_{уст} t_{зм} C_e K_{об}, \quad (4.3)$$

$$Z_e = 1,58 \cdot 8 \cdot 1,1 \cdot 0,7 = 9,7 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт та обслуговування обладнання 7% від балансової вартості обладнання. Витрати на охорону праці – 4% від балансової вартості обладнання:

$$Z_{po} = \frac{110000 \cdot 7}{100 \cdot 200} = 38,5 \text{ грн,}$$

$$Z_{оп} = \frac{110000 \cdot 4}{100 \cdot 200} = 22 \text{ грн.}$$

Отже, витрати на додаткову віброакустичну фільтрацію олії:

$$Z_{po} = 66 + 9,7 + 38,5 + 22 = 136,2 \text{ грн.}$$

Додаткова технологічна операція віброакустичної фільтрації олії підвищить собівартість 5 т нерафінованої олії на 136,2 грн, а на 1 тону 27,2грн, що суттєво не впливає на вартість готової продукції.

Основна ефективність віброакустичного очищення обумовлена тим, що продовжується показник вищого гатунку олії в період 3-місячного зберігання та можливістю регенерації властивостей з забезпеченням харчової цінності продукту.

Дохідна частина від регенерації властивостей 1 т нерафінованої олії розраховується за формулою:

$$E = C_o \cdot Q_o - Z_{po}, \quad (4.4)$$

де C_o – ціна 1 т нерафінованої соняшникової олії, грн;

Q_o – кількість регенованої олії, т.

$$E = 41,2 \cdot 1000 - 136,2 = 41063,8 \text{ грн.}$$

Необхідна кількість регенованої олії, що дозволить окупити витрати на віброакустичну установку:

$$B_o = \frac{K}{E}, \quad (4.5)$$

де K – капітальні витрати на віброакустичну установку (110 тис.грн).

$$B_o = \frac{110000}{41063,8} = 2,7 \text{ т,}$$

При вартості 1 т нерафінованої олії 41,2 тис.грн отримаємо 111,2 тис.грн за 2,7 т нерафінованої олії підвищеної якості.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники
(регенерація властивостей 1 т олії)

Показники	Значення
Капітальні витрати на установку, тис.грн	110
Витрати на амортизацію обладнання, грн.	66
Витрати на електроенергію, грн	9,7
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн	38,5
Витрати на охорону праці, грн	22
Витрати на додаткову віброакустичну фільтрацію олії, грн.	136,2
Економічний ефект регенерації властивостей 1 т олії, грн	41063,8
Необхідна кількість регенованої олії, щоб окупити витрати на віброакустичну установку, т	2,7
Вартість 2,7 т регенованої нерафінованої олії, тис.грн	111,2

Отже, економічний ефект регенерації властивостей 1 т нерафінованої олії складе 41063,8 грн. Окупність капітальних витрат досягається при регенерації 2,7 т олії.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено систематизацію та аналіз інформації щодо забруднення нерафінованої соняшникової олії первинними та вторинними продуктами окислення при зберіганні понад 3 місяці.

2. Розроблено математичну модель, яка враховує віброакустичний (поздовжній і поперечний) вплив на соняшкову олію при її фільтруванні.

3. Розроблено експериментальну установку для фільтрування нерафінованої соняшникової олії із застосуванням віброакустичних впливів з амплітудою коливань ($A = 4,52-5$) 10^6 м та частотою коливань $f=18...18,15$ кГц та можливістю регулювання кута нахилу фільтруючого елементу. Розроблена конструкція дозволяє підвищити ефективність очищення олії.

4. Експериментально отримано кінетичні закономірності процесу фільтрування з використанням віброакустичних впливів нерафінованої соняшникової олії. Доведено підвищення ефективності фільтрування нерафінованої соняшникової олії, за рахунок використання віброакустичного впливу на фільтруючий елемент (картридж).

5. Встановлені режими віброакустичного впливу на оброблювану олію, що забезпечують зниження кислотного числа з 5,5 до 1,5 мг КОН/г; перекісного числа - з 12,7 до 8,3 моль активного кисню; концентрації забруднень – на 97%. Визначено гранично допустимий тримісячний термін зберігання до регенерації олії, що забезпечує повернення його властивостей у вихідний стан збереженням концентрації антиоксиданту (токоферолу).

6. Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності використання установки для фільтрування нерафінованої соняшникової олії з застосуванням віброакустичної дії. Показано, що за рахунок зниження концентрації продуктів окислення та твердих мікрочастинок при виробництві та регенерації, забезпечення та відновлення високої харчової цінності олії та підвищення продуктивності установки річний економічний ефект складе 41063,8 грн на 1 т олії, окупність капітальних витрат при регенерації 2,7 т олії.