

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра Технології та обладнання переробних і харчових  
виробництв**

-

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

на тему: «Удосконалення процесу екстрагування соняшникової олії із  
застосуванням імпульсного електричного поля»

Виконав: здобувач вищої освіти за  
освітньо-професійною програмою  
Технології і засоби механізації  
сільськогосподарського виробництва  
спеціальності 208 Агроінженерія  
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3  
Михайлов І.В

Керівник: Костенко О.М.

Рецензент: Горбенко О.В.

**Полтава – 2021 року**

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 59 сторінок, 21 рисунок, 9 таблиць, 25 джерел.

Об'єктом досліджень є процес екстрагування екстрактивних речовин з олійних матеріалів насіння соняшнику з застосуванням дії імпульсного електричного поля.

Предмет досліджень - характеристики процесу масопереносу у олійних матеріалах при зовнішніх електрофізичних впливах. Методи досліджень – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання, емпіричний метод.

Мета дослідження – удосконалення процесу екстрагування олійних матеріалів на основі застосування електрофізичної дії.

Методи досліджень – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання, емпіричний метод.

В результаті досліджень встановлено основні фактори обробки імпульсним електричним полем: напруженість електричного поля, величина струму, частота прямування імпульсів, маса обробки матеріалу та їх залежності; визначено найбільший вихід екстрактивних речовин під час екстракції біоетанолом із застосуванням електрофізичного впливу ІЕП; ефект руйнування цілісності мембран насіння обробкою ІЕП; запропонована установка імпульсного електричного поля для попередньої обробки подрібненого насіння на стадії підготовки до процесу екстракції.

Ступінь впровадження – результати досліджень були впроваджені в технологічному процесі екстрагування олії.

Галузь застосування – переробна галузь.

В результаті впровадження результатів дослідження у виробництво очікується річний економічний ефект 9367 тис.грн.

ЕКСТРАКЦІЯ ОЛІЇ, ІМПУЛЬСНЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ, ОБРОБКА, БІОЕТАНОЛ, БЕЗПЕКА, ЕКОНОМІЧНИЙ ЕФЕКТ.

## ЗМІСТ

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП . . . . .                                                                                      | 7  |
| 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                 | 10 |
| 1.1 Проблеми вилучення екстрактивних речовин із<br>рослинних матеріалів . . . . .                    | 10 |
| 1.2 Сучасні способи отримання олії . . . . .                                                         | 11 |
| 1.3 Загальна характеристика екстракції із застосуванням нових<br>фізичних методів . . . . .          | 14 |
| 1.4 Метод екстрагування із застосуванням впливу імпульсного<br>електричного поля . . . . .           | 16 |
| 1.4.1 Перспективи використання обробки імпульсними<br>електричними полями . . . . .                  | 16 |
| 1.4.2 Базові принципи обробки ІЕП . . . . .                                                          | 18 |
| 1.4.3 Параметри обробки ІЕП. . . . .                                                                 | 19 |
| 1.4.4 Імпульсна техніка для екстрагування видобутих речовин . . . . .                                | 21 |
| 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                     | 23 |
| 2.1 Установка для обробки матеріалів в імпульсному<br>електричному полі . . . . .                    | 23 |
| 2.2 Підготовка олійного матеріалу та екстрагента для дослідження<br>процесів екстрагування . . . . . | 25 |
| 2.3 Методика планування експерименту із застосуванням<br>обробки ІЕП . . . . .                       | 26 |
| 2.4 Методика проведення експерименту . . . . .                                                       | 27 |
| 2.5 Методика дослідження ефективності впливу ІЕП. Індекс<br>дезінтеграції . . . . .                  | 28 |
| 3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                                    | 29 |
| 3.1 Основний ефект обробки ІЕП . . . . .                                                             | 29 |
| 3.2 Вплив обробки ІЕП на кінетичні залежності процесу екстракції . . . . .                           | 31 |

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3. Індекс дезінтеграції та зміни показника електропровідності<br>оброблюваного матеріалу після впливу ІЕП . . . . . | 35 |
| 3.4 Мікроскопічний аналіз структури насіння соняшника<br>після дії ІЕП . . . . .                                      | 37 |
| 3.5 Вплив ефектів параметрів ІЕП на показник виходу олії . . . . .                                                    | 39 |
| 3.6 Оцінка енергетичних витрат на дію ІЕП . . . . .                                                                   | 43 |
| 3.7 Технологічна схема екстрагування олійних матеріалів з<br>застосуванням обробки ІЕП . . . . .                      | 44 |
| 3.8 Розробка камери безперервної обробки ІЕП . . . . .                                                                | 46 |
| 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ . . . . .                                                        | 49 |
| 4.1 Екологічна експертиза . . . . .                                                                                   | 49 |
| 4.2 Охорона праці . . . . .                                                                                           | 52 |
| 4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень . . . . .                                                             | 54 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ . . . . .                                                                                           | 57 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ . . . . .                                                                                  | 59 |



## ВСТУП

*Актуальність теми.* Енергетична криза, збільшення попиту на продукцію з покращеними та екологічно безпечними якостями викликали необхідність розвитку нових технологій вилучення екстрактивних речовин з рослинних (зокрема, олійних) матеріалів, які знаходять своє застосування в харчовій промисловості (масложирова галузь, харчові добавки), косметології (екстракти олії та різні комплексні препарати), хімічної промисловості (природні барвники та ін.). Особливий інтерес представляють екстрактивні речовини (олії), які є безпечними для навколишнього середовища та не мають шкідливого впливу на здоров'я людини, про що свідчать численні роботи авторів [11].

Обсяги олійної сировини, зокрема насіння соняшнику є однією з найбільш вирощуваних культур, що говорить про велике потенціал отримання екстрактивних речовин. Удосконалення технології екстрагування олійної сировини з метою підвищення виходу олії із збереженням її якості, є необхідною ланкою розвитку науково-технічних підходів до інтенсифікації процесів масопереносу. При визначенні інноваційних методів ведення процесу екстрагування, що тягнуть за собою вилучення олії та супутніх компонентів, слід врахувати досвід застосування традиційних методів та вивчити наявні нетрадиційні методи («зелених технологій») екстрагування речовин із матеріалів рослинного походження [23], а також сучасні технології, які стали доступними завдяки розвитку високоточних приладів та обладнання [14].

Аналіз літературних даних свідчить, що процеси екстрагування для речовин у системах рідина-тверде тіло, складають основу найважливіших виробництв харчової, хімічної, нафтохімічної, мікробіологічної та інших галузей промисловості [16], та вимагають сучасні підходи.

Для обґрунтування нових технологій та процесів екстрагування необхідним є проведення комплексних досліджень, які включають: проведення аналізу результатів теоретичних та експериментальних робіт, присвячених дослідженню процесів перенесення маси при різних умовах взаємодії з екстрагованим матеріалом з боку екстрагента та зовнішніх сил.

Оцінка пропонованих сучасних напрямів обґрунтування нових інтенсивних методів екстрагування, оптимізація режимів, побудова кінетичних залежностей та отримання даних, узгоджених з експериментом необхідні для оцінки на їх основі ефективності ведення процесу.

Узагальнюючи вищевикладене, можна стверджувати, що дослідження в галузі електрофізичних впливів, а саме імпульсних електричних полів на рослинні матеріали з метою інтенсифікації процесів масо переносу є актуальними в існуючих умовах розвитку енергетично доцільних та ефективних за продуктивністю технологій.

**Мета дослідження** – визначення та розвиток науково-технічних підходів до вдосконалення процесів масопереносу у процесах вилучення екстрактивних речовин з олійних матеріалів, що супроводжуються обробкою імпульсним електричним полем (ІЕП).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- вивчити вплив температури та наявності рідкої фази розчинника на електричні, діелектричні та реологічні властивості екстрагованого матеріалу;
- визначити характер залежностей діелектричних та електричних властивостей від частоти в діапазоні від 12 Гц до 100 кГц для діелектричної проникності та від 100 Гц до 1 МГц для показника електропровідності та температури у діапазоні від 25 до 55 °С;
- вивчити зміни показника електричних властивостей екстрагованого матеріалу в діапазоні частот від 100 Гц до 1 МГц при додаванні рідкої фази до 50 %;
- вивчити електричні властивості олійного матеріалу з урахуванням структурних властивостей ядра насіння та зовнішньої фази клітини методом імпедансної спектроскопії;
- дослідити реологічні властивості суспензій подрібненого насіння соняшнику у біоетанолі;
- експериментально порівняти різні види розчинників (гексан, етанол, біоетанол) по виходу екстрактивних речовин і супутніх компонентів екстракт;

- дослідити кінетичні залежності етанолу та вуглеводневих розчинників при екстракції макухи соняшника з різною підготовкою;
- експериментально вивчити процес екстрагування олійного матеріалу насіння соняшнику із застосуванням електрофізичного впливу в широкому діапазоні змін фізичних параметрів, визначити режими, що забезпечують вилучення екстрактивних речовин із максимальним виходом;
- дослідити структуру насіння соняшнику після електрофізичного дії із застосуванням електронної мікроскопії;
- дати енергетичну оцінку обробці ІЕП у процесі екстрагування олійних матеріалів;
- вивчити вплив обробки ІЕП на вихід супутніх компонентів при екстрагування олійного матеріалу;
- розробити застосування електрофізичного впливу імпульсним електричним полем на олійний матеріал у технологічному процесі екстрагування.

**Об'єкт досліджень** – процес екстрагування екстрактивних речовин з олійних матеріалів насіння соняшнику з застосуванням дії імпульсного електричного поля.

**Предмет дослідження** – характеристики процесу масопереносу у олійних матеріалах при зовнішніх електрофізичних впливах.

**Методи досліджень** – методи аналізу та синтезу, інтерпретації отриманих результатів, моделювання, емпіричний метод.

**Теоретична та практична значущість.** Розроблені методи отримання екстрактивних речовин з олійних матеріалів для використання в харчовій промисловості, як альтернатива застосовуваним традиційним методам екстрагування.

Удосконалений процес екстрагування олійних матеріалів із застосуванням імпульсного електричного поля, що дозволяє збільшити вихід кінцевого продукту, прискорити процес вилучення, забезпечуючи високу якість одержуваного продукту, за рахунок застосування «зелених технологій» та екологічно безпечних розчинників.

## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Проблеми вилучення екстрактивних речовин із рослинних матеріалів

Вилучення олії з олійних матеріалів в екстрагент є основною стадією отримання екстракційної олії. Від ефективності вилучення олії залежить ступінь отримання отриманого продукту, його якісні показники та собівартість [12]. У зв'язку з цим, пошук сучасних, ефективних методів вилучення екстрактивних речовин та їх аналіз представляє величезний як теоретичний, так і практичний інтерес.

Основні проблеми, що виникають при вилучення олії з олійного матеріалу, полягають у наступному: процес екстрагування зазвичай є тривалим, що змушує займатися пошуком методів, що інтенсифікують вихід кінцевого продукту [22-23] і в більшості випадків отримувати результати, які не досягнуті при застосовуваних методах (наприклад, пресуванні), які є трудомісткими та витратними [16, 20, 24]. У складі екстрагованих речовин крім основних компонентів олії міститься ряд компонентів (вільні жирні кислоти, фосфоліпіди тощо). У зв'язку з цим постає завдання – екстрагування повинно забезпечувати селективність речовин, що екстрагуються.

Спосіб виробництва рослинної олії екстракцією розчинником з олійної сировини є основним в масложировій промисловості як в нашій країні, так і за кордоном [22]. Залежно від вмісту олії в структурі олійної сировини, може бути використана пряма екстракція для низькоолійних видів сировини (бобів сої) та екстракція у поєднанні з попереднім віджиманням для високоолійних видів сировини (насіння соняшнику, ріпаку, бавовнику) [19, 24].

Для проведення екстрагування безпосередньо з крупки, одержують матеріал після попереднього віджимання з подальшим дробленням [25]. В цьому випадку олія знаходиться на зовнішніх і внутрішніх поверхнях частинок

матеріалу і в незруйнованих клітинах, а також у вторинних структурах, що утворилися при вологотепловій обробці та пресуванні мезги [18].

Швидкість і повнота знежирення матеріалу залежать від стану олії в олійному матеріалі, підготовленому до процесу екстрагування [25].

Вільна олія легко видаляється при хорошому контакті з розчинником, а для видалення зв'язаної олії необхідне проникнення розчинника через клітинні стінки та вторинні структури, як у прямому, так і зворотному напрямі [8].

Технологія екстракції базується на експериментальних даних та виробничому досвіді, який узагальнює уявлення про вплив різних факторів на процес екстракції.

## **1.2 Сучасні способи отримання олії**

Для отримання олії, в промисловості, одним з основних способів є механічне пресування, що забезпечує високу якість одержуваного продукту. Для здійснення механічного пресування застосовуються шнекові преси і раніше використовувалися гідравлічні преси [12, 15, 16, 17, 18]. Однак при механічному пресуванні речовини, що містяться в матеріалі, видаляються не повністю (до 70-80% вмісту олії [18]), що потребує проведення додаткового процесу екстрагування.

Перевагою екстракції з використанням розчинника є більш глибоке вилучення (до 95% олії, що міститься в матеріалі). Однак використання розчинника призводить до зниження якості одержуваної олії, що пов'язаного з наявністю небажаних компонентів у кінцевому продукті та додатковими тепловими процесами регенерації розчинників.

В даний час способи отримання олії в олійноекстракційному виробництві, це безперервні великотоннажні виробництва, в яких на стадії екстракції застосовуються способи протиточного занурення та багатоступінчастого протиточного зрошення [22].



У різних галузях промисловості та лабораторних умовах застосовується широке розмаїття методів екстрагування речовин з використанням розчинника, це відомі методи, такі як мацерація, перколяція, сокслет-екстрагування [18], сучасні інтенсивні методи, такі як надкритична флюїдна екстракція, субкритична екстракція водою та екстракція із застосуванням сприяючих процесу різних фізичних методів [16, 17, 18,]. Кожен із зазначених методів має свої переваги і недоліки.

Значимість процесу екстрагування пояснюється його здатністю забезпечити вилучення екстрагованих речовин при невисокій температурі, що є запорукою отримання олії високої якості. Цим пояснюється інтерес до вивчення та вдосконалення процесу екстрагування у численних дослідників. В даний час пильна увага в дослідженнях процесу екстрагування з розчинником спрямована на використання екологічних, енергетично ефективних технологій, що базуються на використанні безпечних видів розчинників [17]. Розробка «зелених технологій» екстрагування на сьогоднішній день є широко обговорюваною тематикою в міждисциплінарних галузях хімії, біотехнологій тощо [23].

Загальне визначення «зелених технологій» полягає у розробці та застосуванні матеріалів та процесів здатних скоротити або виключити використання небезпечних, шкідливих для людини речовин. Дане визначення може бути модифіковано у формулювання: «зелені технології» засновані на відкриттях та розробках екстракційних процесів, здатних скоротити кількість споживаної енергії, використовувати безпечні альтернативні види розчинників та забезпечувати отримання безпечного високоякісного продукту/екстракту».

Слід зазначити деякі принципи екстракції «зелених технологій», взяті за основу [17]:

- використання альтернативних видів розчинників, що забезпечують безпеку та екологічність процесу;
- скорочення споживаної енергії у процесі екстракції, за рахунок використання енергозберігаючих та інноваційних технологій.

### 1.3 Загальна характеристика екстракції із застосуванням нових фізичних методів

Для вилучення екстрактивних речовин зі структури матеріалу може використовуватися процес екстрагування із застосуванням нових фізичних методів. У деяких галузях харчової промисловості процес екстрагування із застосуванням цих методів зосереджується на тому, щоб вилучати екстрактивні речовини з різних рослинних матеріалів і макухи, таких як, наприклад, насіння соняшнику.

При екстрагуванні твердий зразок, занурений в розчинник піддається впливу новими фізичними методами, і вилучений компонент починає виділятися в розчин аж до встановлення екстракційної рівноваги. Ефективність екстракції може бути збільшена, використовуючи інтенсифікуючі методи впливу, такі як НВЧ нагрівання, ультразвук, накладення електричних полів і розрядні технології, які застосовуються в процесі екстракції [1].

Представлені методи з використанням нових фізичних методів інтенсифікації створюють унікальні переваги і особливості, необхідні для процесу вилучення в певних умовах. Ці нетрадиційні методи екстракції, замінюють звичайні методи екстракції. При цьому змінюються механізми і кінетика процесу, що є основою для моделювання та оптимізації процесу.

При математичному моделюванні процесу вилучення необхідно врахувати безліч чинників, перш за все спосіб і механізм процесу екстракції. Опубліковано велику кількість оглядових даних про математичне моделювання процесу екстракції з використанням нетрадиційних методів обробки. Серед нетрадиційних можна назвати електрофізичні методи і акустичні методи обробки. До електрофізичних методів обробки відносять обробку змінним електричним струмом, обробку в електростатичному полі, електроконтактні, високочастотну і надвисокочастотну обробки [1].

Процес екстракції починається, коли розчинник проникає в структуру матеріалу. На початку процесу екстракції, швидкий етап (промивання),

відповідає постійній швидкості екстракції. Під час повільного етапу екстракції, компоненти, що екстрагуються, дифундують від внутрішньої структури клітини і розчиняються в розчиннику. Вихід екстракції під час цього етапу залежить від кількості клітин, які залишаються неушкодженими після підготовки до екстракції. Фактично, особливості етапів промивання і дифузії в екстракції можуть бути визначені співвідношенням розкритих і непошкоджених клітин після типової підготовки, наприклад, процесу подрібнення.

Процес подрібнення і первинного замочування в розчиннику, зазвичай застосовується до процесу екстракції, для зменшення розміру частинок, а також для поліпшення умов дифузії і збільшення глибини проникнення розчинника в структуру матеріалу. Прискорення процесу екстракції може бути досягнуто, використовуючи попередню обробку матеріалу, таку як вакуумний вибух, за рахунок різкого зниження тиску в камері. Дані методи попередньої обробки утворюють пори в структурі матеріалу, за рахунок різкого скидання тиску в камері. Даний процес покращує умови екстракції і збільшує ступінь вилучення розчинної речовини в розчинник.

Для здійснення процесу екстрагування існують різні варіанти конструкцій. Типова установка, представлена на рисунку 1.1, яка складається з посудини з мішалкою і водяною бані для контролю процесу [2].

Дана установка забезпечує конвективний рух в зовнішньому обсязі розчинника. Це дозволяє зменшувати опір переміщенню маси на поверхні матеріалу, що екстрагується і прискорює процес екстракції. В деяких конструкціях конденсатор підключається до верхнього патрубку посудини для запобігання втрат розчинника від випаровування під час процесу екстракції.

Недоліками звичайної техніки екстракції є тривалість процесу екстрагування, а також використання великої кількості розчинника. Використання різних фізичних впливів дозволяє значно інтенсифікувати технологічні процеси, а іноді отримувати результати не досяжні при традиційній обробці. До традиційних фізичних методів обробки в технології



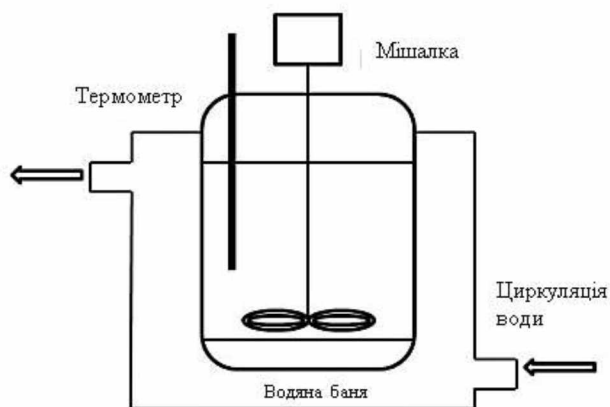


Рисунок 1.1 – Схема типової установки для екстракції

олійножирового виробництва відносять подрібнення, пресування, перемішування, відстоювання, фільтрацію і теплову обробку. Серед нетрадиційних можна назвати електрофізичні методи і акустичні методи обробки. До електрофізичних методів обробки відносять обробку НВЧ енергією, електричними розрядами, електричними імпульсами високої напруги. До акустичних методів обробки відносять обробку з використанням ультразвукових і звукових коливань.

Інтенсифікуючи процеси повинні бути включені в процес екстрагування або бути використані в якості попередньої обробки матеріалу перед процесом екстракції.

## **1.4 Метод екстрагування із застосуванням впливу імпульсного електричного поля**

### **1.4.1 Перспективи використання обробки імпульсними електричними полями**

Численними роботами вчених та їх даними підтверджується, що одним з перспективних методів інтенсифікації екстрагування з використанням електрофізичного методу обробки є обробка матеріалу імпульсним

електричним полем (ІЕП), яка може бути застосована до речовин, що за фізичною природою є полярними діелектриками [16].

Аналіз застосування обробки ІЕП як метод інтенсифікації процесу екстракції знайшов широке поширення при обробці фруктів та овочів [9, 11]. Дана технологія показала високу ефективність при обробці яблук, винограду, буряків та інших фруктів та овочів [14].

Застосування обробки ІЕП для інтенсифікації процесу екстракції олії з структури олійного насіння, а також численних супутніх функціональних компонентів, що містяться в їх складі, досліджувалося деякими авторами, якими було відзначено збільшення виходу олії застосуванням методу обробки ІЕП як процесу попередньої обробки зародка кукурудзи та оливок [22] на 32,4% та 7,4%. При дослідженнях з насінням льону було відзначено збільшення виходу олії на 4,9% порівняно з методом без обробки ІЕП [12]. При дослідженні застосування впливу ІЕП для збільшення виходу олії, а також деяких супутніх компонентів з структури твердого насіння ріпаку було [13] наголошено на необхідності попередньої підготовки зразків перед обробкою ІЕП, такої як підвищення величини електропровідності зразків за рахунок підвищення вологості насіння.

Таким чином, метод обробки ІЕП визнаний перспективним для вилучення екстрактивних речовин із структури олійних матеріалів по наступних причинах: скорочення часу процесу екстракції; зниження витрати розчинника; підвищення виходу екстракту.

До недоліків обробки ІЕП відносять наступне: широкий діапазон режимів обробки, що потребує постійної оптимізації; для його реалізації потрібна високоточна, потужна електронна техніка, конструкція якої має бути узгоджена з властивостями оброблюваного матеріалу. Отже, є необхідність розробки вузла обробки ІЕП олійного матеріалу з урахуванням електричних, діелектричних та реологічних показників матеріалу.

### 1.4.2 Базові принципи обробки ІЕП

Обробка імпульсним електричним полем – це безтемпературна обробка харчового продукту, отримана в результаті енергоефективного, якісного технологічного процесу. Даний метод заснований на впливі імпульсного електричного поля на матеріал, розташований між двома пластинчастими електродами, що призводить до утворення пор на поверхні мембран клітин, що в свою чергу призводить до більш швидкого і легкого виведення внутрішньоклітинних компонентів з структури рослинного матеріалу.

Метод ІЕП був позначений як нетеплова, енергозберігаюча обробка харчових продуктів, що дозволяє отримувати екологічно чисті та якісні харчові продукти [5].

Під час процесу електропороутворення, має місце явище молекулярної орієнтації, де полярні молекули, орієнтуючись вздовж силових ліній електричного поля, переміщуються до межі мембрани. Електричний потенціал, створюваний на поверхні мембрани, розриває її, утворюючи пори. Даний ефект призводить до утворення тимчасових або постійних пор, супроводжуваних зміною електропровідності мембран (рис.1.2), що відбувається без теплового впливу на мембрану. Зміна величини електропровідності мембран, а також утворення пор, залежать від величини критичної сили електричного поля (1-2кВ/см), розмірів оброблюваної клітини (40-200 мкм) та її електричних

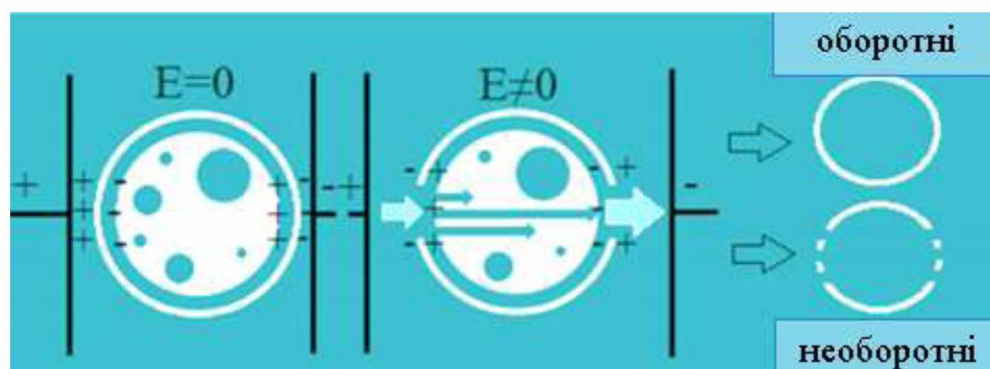


Рисунок 1.2 – Процес пороутворення мембран клітин

властивостей. Вплив ІЕП може істотно збільшити величину масопереносу в процесах екстрагування рослинних матеріалів, так само, як і швидкість екстракції під час етапу десорбції та етапу дифузії [3,5].

В якості моделей клітин можуть бути одношарові і багатшарові діелектричні оболонки [1], всередині і зовні яких знаходиться поляризоване середовище. В основному клітини представлені в якості двошарової моделі. Діелектрична проникність середовища поза клітиною являється оброблюваним середовищем. Оболонка клітини відповідає клітинній мембрані, а діелектрична область під нею – цитоплазмі. Електричний пробій оболонки служить однією з причин електропороутворення клітини. Тому напруженість електричного поля і потенціал напруги на мембрані – важливі характеристики впливу імпульсного електричного поля на клітину.

Клітинна мембрана, може бути представлена як резистор, а клітинна цитоплазма як конденсатор. Коли електричне поле впливає на мембрану заряджені частинки скупчуються на внутрішній і зовнішній стороні мембрани. Клітинна мембрана поляризується і утворюється трансмембранний потенціал, значення якого становить приблизно 1 В [1].

#### 1.4.3 Параметри обробки ІЕП

Формування пор на поверхні мембрани після впливу ІЕП відбувається, коли перевищується певна порогова величина трансмембранного потенціалу в 1В. Було встановлено, що критична напруженість поля сильно залежить від розміру клітини, а також орієнтації клітин в електричному полі. Зі зменшенням розміру клітини, необхідна величина сили електричного поля різко зростає, що призводить до значного збільшення значення напруженості  $E$ .

Величина напруженості поля визначається з урахуванням застосовуваної напруги  $U$  і відстанню між електродами  $d$  та може бути виражена рівнянням:

$$E = \frac{U}{d}. \quad (1.1)$$



Підвищення напруженості електричного поля призводить до подальшого зростання ефективності обробки, але обмежена діелектричної постійної оброблюваного продукту в діапазоні від 60 до 80 кВ/см. Подальше збільшення значення напруженості може викликати електричну дугу з протіканням струму в вузькому каналі, створюючи небажані електрохімічні реакції, утворення бульбашок і ерозії електродів. Це може бути припинено за рахунок оптимізації розподілу електричного поля в камері, зміни геометрії вузла обробки, а також проведення обробки шляхом дегазації або під вакуумом для запобігання утворення бульбашок [1].

Енергія імпульсу для всіх видів форм сигналів, заснована на показниках напруги поля і сили струму, визначається рівнянням:

$$W_{\text{ім}} = \int U(t) \cdot I(t) \cdot dt. \quad (1.2)$$

Величина енергії одного одиночного прямокутного імпульсу  $W_{\text{ім}}$  може бути визначена рівнянням:

$$W_{\text{ім}} = U \cdot I \cdot t, \quad (1.3)$$

де  $U$ - напруга імпульсу, В;

$I$  – стум, що проходить крізь оброблюване середовище, А;

$t$  – тривалість імпульсу, с.

Рівняння (1.2) може бути використано як для експоненціального характеру сигналу, так і для прямокутних імпульсів.

Грунтуючись на кількості оброблюваних імпульсів, спрямованих на продукт, можна розрахувати повну затрачену енергію обробки ІЕП. Для тривалої обробки число імпульсів залежить від частоти імпульсів, які подаються, і маси оброблюваного матеріалу, а енергія може бути виражена рівнянням:

$$W_{\text{ІЕП}} = \frac{W_{\text{ім}} \cdot f \cdot 3,6}{m}, \quad (1.4)$$

де  $m$ - маса завантаження, кг;

$f$  – частота проходження імпульсів, Гц.



#### 1.4.4 Імпульсна техніка для екстрагування видобутих речовин

Установки обробки імпульсним електричним полем поділяються по принципу дії: періодичної (камерного типу) та безперервної дії [19]. Установки періодичного типу простіші у виконанні, одним з основних недоліків є низька продуктивність у зв'язку з вимогами до величини напруженості електричного поля, що впливає матеріал. Складністю є також необхідність виконання корпусу всієї установки з діелектрика. Як основа в техніці генератора імпульсів використаний генератор Маркса. Для генерації імпульсів прямокутної форми використовується схема, показана на рисунку 1.3. На відміну від існуючих схем експонентних імпульсів прямокутні імпульси відрізняються високою енергоефективністю, а також можливістю регулювання основних режимів обробки в широкому діапазоні [18].

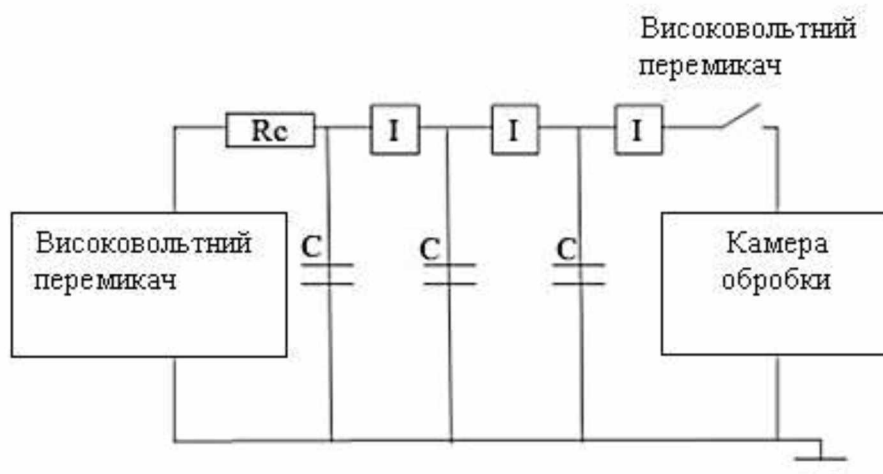


Рисунок 1.3 – Обладнання для генерування високовольтних імпульсів прямокутної форми

Приклад промислового екстрактора, який призначений для вилучення оливкової олії продуктивність 330 кг/год., розробленого Henry Jager представлено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Установка обробки імпульсним електричним полем оливки:  
 А – генератор; В – транспортер; С – подрібнювач; D – камера обробки

*Висновки:* Аналіз літературних джерел показав, що метод обробки ІЕП, який сприяє скороченню часу процесу екстракції, зниженню витрати розчинника, підвищенню виходу екстракту визнаний перспективним для вилучення екстрактивних речовин із структури олійних матеріалів. Не дивлячись на це даний метод не знайшов широкого поширення в обробці олійних матеріалів, внаслідок недостатньо вивчених механізмів переносу маси, енергетичних розрахунків і електричних параметрів оброблюваного середовища. Це і обґрунтовує вибір дослідження.

Отже, для ефективного вилучення олії необхідна розробка вузла безперервної обробки з урахуванням електричних і діелектричних характеристик матеріалу і речовин.

## 2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Установка для обробки матеріалів в імпульсному електричному полі

Для проведення експериментів з дослідження екстрагування олійного матеріалу із застосуванням впливу імпульсного електричного поля застосовувалася установка камерного типу. Принципова схема установки, що представляє собою генератор імпульсів, високовольтний підсилювач, камеру обробки, обладнання для аналізу характеристик імпульсів (осцилограф), аналізатор імпедансу для аналізу параметра електропровідності та ПК для аналізу та збору даних, представлена на рисунку 2.1.

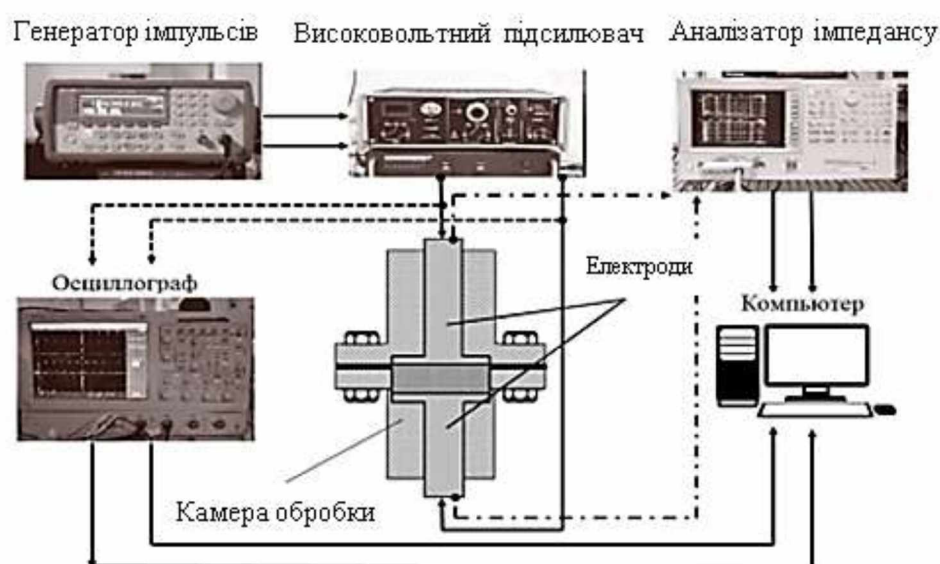


Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки обробки ІЕП

Обробка ІЕП проводилася за кімнатної температури 20 °С. У робочу камеру, виконану у вигляді двох фланців циліндричного перерізу, внутрішнім діаметром 40 мм і зовнішнім діаметром 60 мм, завантажуються оброблюваний олійний матеріал разом з розчинником у заданому співвідношенні міжелектродний простір. Для визначення початкового показника електропровідності електроди камери обробки з'єднуються з аналізатором імпедансу. Далі аналізатор імпедансу від'єднується і до електродів

приєднується вихід з високовольтного підсилювача, з'єднаного у свою чергу з функціональним генератором. Функціональний генератор дозволяє встановлювати амплітуду, частоту та тривалість сигналу, необхідну для ефективної обробки. Починається процес обробки. У структуру оброблюваного матеріалу надходить високовольтний імпульс від функціонального генератора та посиленого високовольтним підсилювачем за показником напруги в 1000 разів. Оброблюваний матеріал, подрібнене насіння соняшнику міститься в робочу камеру між електродами, виконаними з титану для зменшення корозійних процесів. У процесі обробки ІЕП показники імпульсів, що надходять, аналізуються і записуються за допомогою осцилографа з використанням множника PNV 621 для зчитування високовольтних сигналів (400 MHz,  $\times 100$ ). Після завершення обробки контакти високовольтного підсилювача від'єднуються, а контакти аналізатора імпедансу знову приєднуються, для визначення показника електропровідності після обробки ІЕП. Далі дані з осцилографа та аналізатора імпедансу надходять до ПК для подальшої обробки.

Для встановлення необхідного режиму обробки показники амплітуди імпульсу регулювалися за допомогою функціонального генератора, в діапазоні від 0,5 до 3,5, при цьому напруга на виході з високовольтного підсилювача становило від 500 до 3500 відповідно. Запасу потужності високовольтного підсилювача (до 10 кВ) було достатньо, для збереження постійної конструкції камери обробки.

Камера обробки була виготовлена з діелектрика (фторопласт). Зазор 5мм між електродами був вибраний для створення необхідного показника напруженості поля в камері. Обсяг завантаження матеріалу становив 16 см<sup>3</sup>, достатній для проведення процесу екстракції. Як електроди використовувалися два пластинчасті титанові електроди діаметром 40 мм.

Для створення паралельності між електродами у процесі обробки камера повністю заповнюється подрібненим насінням соняшника та скріплюється за допомогою болтового з'єднання (рис.2.2).

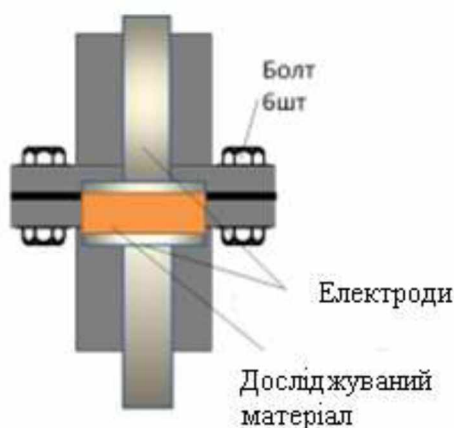


Рисунок 2.2 – Камера обробки експериментальної установки

## 2.2 Підготовка олійного матеріалу та екстрагента для дослідження процесів екстрагування

Для оцінки умов інтенсифікації процесу вилучення екстрактивних речовин та енергоефективності методу електрофізичної обробки в дослідженнях використовували насіння соняшнику. Насіння зберігалося у захищеному від світла місці, за температури 4 °С до подальшого використання.

Як екстрагент і присадка для збільшення показника електропровідності оброблюваного матеріалу застосовувався біоетанол у різних співвідношеннях. Таким чином, електропровідність зразків становила  $15 \cdot 10^{-6}$ ,  $22,5 \cdot 10^{-6}$ ,  $30 \cdot 10^{-6}$ ,  $35 \cdot 10^{-6}$  та  $75 \cdot 10^{-6}$  См/м для вмісту величини розчинника (біоетанол) 10, 20, 30, 40 і 50 мас% відповідно. Електропровідність зразків була виміряна за допомогою аналізатора імпедансу.

Для дослідження процесу екстракції, насіння соняшника було подрібнене до розміру частинок менше 1 мм в агатовій ступці механічним способом. Вміст вологості насіння було визначено гравіметричним методом [13].



## 2.3 Методика планування експерименту із застосуванням обробки ІЕП

Варіація електричних параметрів ІЕП представлена на рисунку 2.3.

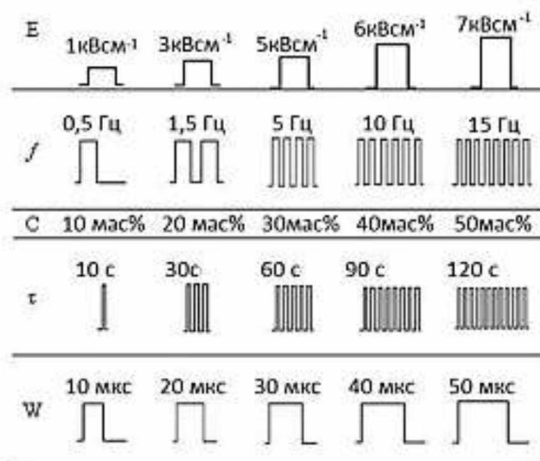


Рисунок 2.3 – Варіація параметрів ІЕП обробки

Діапазон вибраних параметрів напруженості електричного поля (1, 3, 5, 6, 7 кВ/см), частоти проходження імпульсів (0,5; 1,5; 5; 10; 15 Гц), вмісту розчинника (10, 20, 30, 40, 50 мас%), часу обробки (10, 30, 60, 90, 120 с) та тривалості імпульсу (10, 20, 30, 40, 50 мкс) було визначено на підставі робіт по ІЕП обробці олійних культур, таких як оливки [13], ріпаку [12] та кунжуту [16]. Дробний факторний експеримент (ДФЕ) [5] був сформований на основі стандартного гіпергреко-латинського квадрата 5х5 (5 факторів та 5 рівнів), представленого в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Гіпергреко-латинський квадрат

|    | b1             | b2             | b3             | b4             | b5             |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| a1 | c1<br>d1<br>e1 | c2<br>d2<br>e2 | c3<br>d3<br>e3 | c4<br>d4<br>e4 | c5<br>d5<br>e5 |
| a2 | c3<br>d4<br>e5 | c4<br>d5<br>e1 | c5<br>d1<br>e2 | c1<br>d2<br>e3 | c2<br>d3<br>e4 |
| a3 | c5<br>d2<br>e4 | c1<br>d3<br>e5 | c2<br>d4<br>e1 | c3<br>d5<br>e2 | c4<br>d1<br>e3 |
| a4 | c2<br>d5<br>e3 | c3<br>d1<br>e4 | c4<br>d2<br>e5 | c5<br>d3<br>e1 | c1<br>d4<br>e2 |
| a5 | c4<br>d3<br>e2 | c5<br>d4<br>e3 | c1<br>d5<br>e4 | c2<br>d1<br>e5 | c3<br>d2<br>e1 |

В таблиці 2.1 гіпергреко-латинський квадрат  $5^5$   $a_i$  – напруженість електричного поля 1 кВсм<sup>-1</sup>(a1), 3 кВсм<sup>-1</sup>(a2), 5 кВсм<sup>-1</sup>(a3), 6 кВсм<sup>-1</sup>(a4), 7 кВсм<sup>-1</sup>(a5);  $b_i$  – частота 0,5 Гц (b1), 1,5 Гц (b2), 5 Гц (b3), 10 Гц (b4), 15 Гц (b5);  $c_q$  – вміст розчинника 10 мас% (c1), 20 мас% (c2), 30 мас% (c3), 40 мас% (c4), 50мас% (e5);  $d_k$  – час обробки 10 (d1), 30 (d2), 60 (d3), 90 (d4), 120 (d5);  $e_m$  – ширина імпульсу, 10 мкс (e1), 20 мкс (e2), 30 мкс (e3), 40 мкс (e4), 50мкс(e5).

## 2.4 Методика проведення експерименту

Насіння соняшника подрібнювали до розміру частинок менше 1 мм в агатовій ступці механічним способом і використовували для екстрагування. Послідовність проведення експерименту із застосуванням обробки ІЕП подрібненого насіння соняшника: олійний матеріал подрібнюється; зважується задана кількість подрібненого насіння (2 г); наважка засипається у камеру обробки; додається розчинник у потрібній пропорції; камера закривається і стягується болтовим з'єднанням; вимірюється показник електропровідності суміші на аналізаторі імпедансу; починається процес обробки імпульсним електричним полем; після обробки ще раз заміряється показник електропровідності; далі суміш вирушає на екстракцію.

Оброблене насіння соняшнику занурювалися в тубу 50 мл, в яку попередньо було внесено розчинник біоетанол, у співвідношенні 1:20. Далі туба ретельно перемішувалась на шейкері, при частоті 400 хв<sup>-1</sup> протягом 3 годин. Після завершення процесу екстрагування, місцела профільтровувалася через фільтрувальний папір. Остаточний відгін розчинника проводився під залишковим тиском на випарному насосі, що дорівнює 10 кПа.

Після завершення процесу екстрагування дані заносяться до таблиці, а одержана олія охолоджується і проводиться аналіз якості супутніх компонентів.

## 2.5 Методика дослідження ефективності впливу ІЕП. Індекс дезінтеграції

Показник руйнування клітинної мембрани, спричиненої електричною обробкою імпульсами, визначався за допомогою вимірювання показників електропровідності зразків на різних частотах, до та після обробки.

Цей показник дозволяє визначити кількість розкритих електричним імпульсом мембран клітин у матеріалі. Показник дезінтеграції клітини  $Z$  може бути визначений наступним рівнянням:

$$Z = \frac{\sigma - \sigma_i}{\sigma_d - \sigma_i} \quad (2.1)$$

де  $\sigma$  – електропровідність зразка після обробки;

$\sigma_i$  – початкова електропровідність зразка (значення близьке до нуля);

$\sigma_d$  – електропровідність максимально зруйнованих клітин зразків.

$Z = 0$  визначається для незруйнованих мембран клітин;

$Z = 1$  для повністю зруйнованих мембран клітин.

### З РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1 Основний ефект обробки ІЕП

На основі даних матриці планування гіпергреко-латинського квадрата 5x5 (5 факторів та 5 значень), представленої в таблиці 3.1, отримані дані по 25 експериментах. Дані експериментів занесені до таблиці 3.2. Ці дані зіставлені зі стандартним значенням виходу олії, рівним 39%, при однакових умовах без обробки ІЕП. Показник виходу олії показує зростання зі збільшенням номера експерименту. Дані у графічному форматі представлено на рисунку 3.1.

Таблиця 3.1 – Гіпергреко-латинський квадрат 5x5

|         | 0,5 Гц  | 1,5 Гц  | 5 Гц    | 10 Гц   | 15 Гц   |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 кВ/см | 10 %    | 20 %    | 30 %    | 40 %    | 50 %    |
|         | 10 сек  | 30 сек  | 60 сек  | 90 сек  | 120 сек |
|         | 10 мкс  | 20 мкс  | 30 мкс  | 40 мкс  | 50 мкс  |
| 3 кВ/см | 30 %    | 40 %    | 50 %    | 10 %    | 20 %    |
|         | 90 сек  | 120 сек | 10 сек  | 30 сек  | 60 сек  |
|         | 50 мкс  | 10 мкс  | 20 мкс  | 30 мкс  | 40 мкс  |
| 5 кВ/см | 50 %    | 10 %    | 20 %    | 30 %    | 40 %    |
|         | 30 сек  | 60 сек  | 90 сек  | 120 сек | 10 сек  |
|         | 40 мкс  | 50 мкс  | 10 мкс  | 20 мкс  | 30 мкс  |
| 6 кВ/см | 20 %    | 30 %    | 40 %    | 50 %    | 10 %    |
|         | 120 сек | 10 сек  | 30 сек  | 60 сек  | 90 сек  |
|         | 30 мкс  | 40 мкс  | 50 мкс  | 10 мкс  | 32 мкс  |
| 7 кВ/см | 40 %    | 50 %    | 10 %    | 20 %    | 30 %    |
|         | 60 сек  | 90 сек  | 120 сек | 10 сек  | 30 сек  |
|         | 20 мкс  | 30 мкс  | 40 мкс  | 50 мкс  | 10 мкс  |

Дані експериментів обробки ІЕП перебувають у діапазоні від 39,1 до 48,2% з максимальним значенням виходу олії 48,2% для 22-го експерименту з параметрами ІЕП: напруженість 7 кВ/см, частота імпульсів 1,5 Гц, масовий вміст розчинника 50%, час обробки 90 с і тривалість імпульсу 30 мкс.

Таблиця 3.2 – Результати експериментів по гіпергреко-латинському квадрату

| № експерименту | $E$<br>(кВ/см) | $f$<br>(Гц) | $C$<br>(%) | $\tau$<br>(с) | $W$<br>(мкс) | $Y$<br>(%) |
|----------------|----------------|-------------|------------|---------------|--------------|------------|
| 1              | 1              | 0,5         | 10         | 10            | 10           | 38,1       |
| 2              | 1              | 1,5         | 20         | 30            | 20           | 40,1       |
| 3              | 1              | 5           | 30         | 60            | 30           | 38,4       |
| 4              | 1              | 10          | 40         | 90            | 40           | 40,5       |
| 5              | 1              | 15          | 50         | 120           | 50           | 42,4       |
| 6              | 3              | 0,5         | 30         | 90            | 50           | 39,6       |
| 7              | 3              | 1,5         | 40         | 120           | 10           | 45,4       |
| 8              | 3              | 5           | 50         | 10            | 20           | 44,2       |
| 9              | 3              | 10          | 10         | 30            | 30           | 46,3       |
| 10             | 3              | 15          | 20         | 60            | 40           | 41,8       |
| 11             | 5              | 0,5         | 50         | 30            | 40           | 47,3       |
| 12             | 5              | 1,5         | 10         | 60            | 50           | 40,5       |
| 13             | 5              | 5           | 20         | 90            | 10           | 43,2       |
| 14             | 5              | 10          | 30         | 120           | 20           | 40,0       |
| 15             | 5              | 15          | 40         | 10            | 30           | 47,4       |
| 16             | 6              | 0,5         | 20         | 120           | 30           | 44,2       |
| 17             | 6              | 1,5         | 30         | 10            | 40           | 44,3       |
| 18             | 6              | 5           | 40         | 30            | 50           | 47,8       |
| 19             | 6              | 10          | 50         | 60            | 10           | 45,1       |
| 20             | 6              | 15          | 10         | 90            | 20           | 45,6       |
| 21             | 7              | 0,5         | 40         | 60            | 20           | 47,3       |
| 22             | 7              | 1,5         | 50         | 90            | 30           | 48,2       |
| 23             | 7              | 5           | 10         | 120           | 40           | 47,0       |
| 24             | 7              | 10          | 20         | 10            | 50           | 44,8       |
| 25             | 7              | 15          | 30         | 30            | 10           | 47,2       |



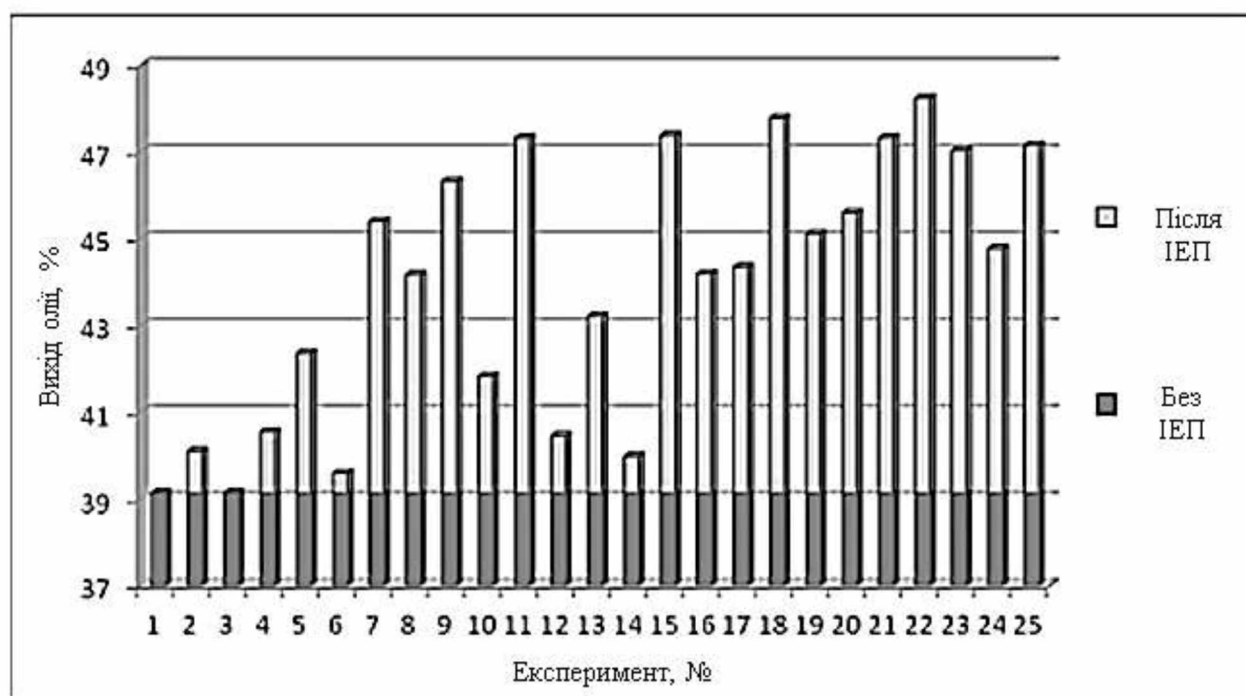


Рисунок 3.1 – Графік результатів екстракції 25 експериментів: до і після ІЕП обробки

Графічне зображення результатів екстрагування олійного матеріалу разом із застосуванням обробки ІЕП наочно показує збільшення виходу екстрактивних речовин із зростанням показника напруженості поля.

### 3.2 Вплив обробки ІЕП на кінетичні залежності процесу екстракції

Використані результати лабораторних порівняльних досліджень екстракції подрібненого насіння соняшнику біоетанолом без та після обробки ІЕП наведених у таблиці 3.2.

Матеріалом для екстракції було два зразки:

- 1-й зразок – пластина безлушпинного ядра соняшнику, товщиною 1 мм.
- 2-й зразок – пластина безлушпинного ядра соняшнику після обробки ІЕП завтовшки 1мм.

У загальному вигляді кінетика екстракції у системі тверде тіло - рідина аналітично описана рівнянням [18]:

$$E = \frac{c_0 - c}{c_0 - c_m} = \frac{1}{1 + \beta} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 D t / R^2) \quad (3.1)$$

де – концентраційний симплекс;

$c_0$  і  $c$  – відповідно початкова та поточна концентрація екстрактивних речовин у поровому обсязі, кг/м<sup>3</sup>;

$c_m = c_{\text{ин}}$  – концентрація екстрактивних речовин в об'ємі фази розчинника, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta$  – співвідношення порового об'єму та зовнішнього об'єму розчинника;

$D$  – коефіцієнт внутрішньої дифузії, м<sup>2</sup>/с;

$t$  – поточний час, с;

$R$  – характерний розмір частинок твердої фази (для пластини – половина товщини пластини; для циліндра – радіус; для кулі – радіус), м;

$\mu_n$  – коріння характеристичного рівняння.

Завдання даної роботи визначити для різних розчинників та видів частинок соняшникового матеріалу параметри кінетичного рівняння:  $\beta$ ,  $\mu_1$  та  $D$ .

Для регулярної стадії процесу екстрагування корені характеристичних рівнянь можна визначити для пластинчастої форми частинок за рівнянням:

$$\mu_1^2 = \frac{2 - B\beta(1 + \beta)}{B} \quad (3.2)$$

Визначення коефіцієнта дифузії можливе за співвідношенням:

$$D = C \frac{R^2}{\mu_1^2} \quad (3.3)$$

Отримано дві порівняльні картини екстракції: розчинником біоетанолом пелюстки соняшнику до та після ІЕП обробки (рис. 3.2).

Експериментальні дані оброблені для регулярної стадії у вигляді:

$$K = A - B \exp(-Ct) \quad (3.4)$$

де  $K$  – вихід екстрактивних речовин;

$t$  – поточний час, с;

$A$ ,  $B$  та  $C$  – коефіцієнти кінетичного рівняння.

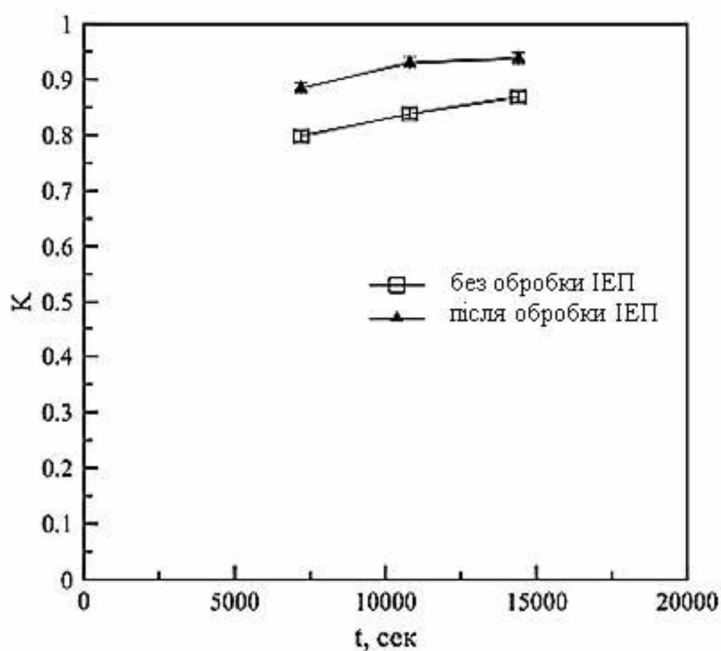


Рисунок 3.2 – Результати екстракції пелюстки соняшнику біоетанолом

Для визначення значення коефіцієнта  $A$  побудований графік залежності концентраційного симплексу від зворотного часу та визначено нульову точку (точка перетину з віссю концентраційного симплекса (рис. 3.3)).

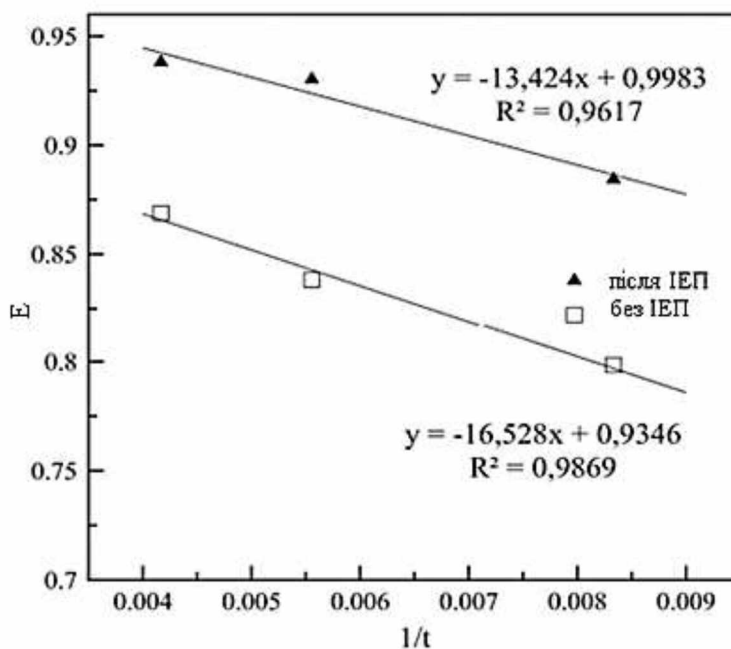


Рисунок 3.3 – Залежність концентрованого симплекса від зворотного часу

Для порівняння двох кривих прирівняємо значення  $\beta$  через рівняння [4]:

$$B' = \frac{B \cdot C' \cdot \beta' \cdot (1 + \beta)^2}{C \cdot \beta \cdot (1 + \beta')^2}; \quad (3.5)$$

$$C' = \frac{C}{1 - B \cdot \frac{(1 + \beta)(\beta - \beta')}{\beta(1 + \beta')}}; \quad (3.6)$$

Значення коефіцієнтів  $A$ ,  $B$  та  $C$  за даними на рисунку 3.2 та 3.3 представлені у таблиці 3.4. Зв'язок між концентраційним симплексом  $E$  та вилученням  $K$  можна представити виразом:

$$E = 1 - K. \quad (3.7)$$

Так як у всіх випадках різної форми матеріалу, що екстрагується,  $A \neq B$  то значення критерію Біо ( $Bi_m$ ), що є відношенням інтенсивності зовнішньої та внутрішньої масовіддачі [22]  $Bi_m \rightarrow \infty$  і це визначає вибір відповідних залежностей до розрахунку параметрів кінетичного рівняння.

Таблиця 3.4 – Значення коефіцієнтів по експериментальних даних (рис.3.2) та розрахункові параметри кінетичних залежностей

| Без обробки ІЕП |             | Після обробки ІЕП |             |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------|
| $A$             | 0,9869      | $A$               | 0,9983      |
| $B$             | 0,301864    | $B$               | 0,031295    |
| $C$             | 6,54219E-05 | $C$               | 5,16688E-05 |
| Без обробки ІЕП |             | Після обробки ІЕП |             |
| $\beta$         | 0,031274    | $\beta$           | 0,001703    |
| $\mu$           | 6,61206     | $\mu$             | 7,473085    |
| $D$             | 9,8943E-12  | $D$               | 11,5504E-11 |

На рисунку 3.2 представлені порівняльні кінетичні залежності екстракції пелюстки соняшнику без обробки ІЕП та після обробки ІЕП та в таблиці 3.4 показані розрахункові параметри кінетичних залежностей згідно яких можна зазначити, що коефіцієнт дифузії зменшується в ряду сумісно з ІЕП > без ІЕП.

### 3.3. Індекс дезінтеграції та зміни показника електропровідності оброблюваного матеріалу після впливу ІЕП

Обробка імпульсним електричним полем сприяє руйнуванню цілісності клітинних мембран насіння соняшнику. При значеннях напруженості електричного поля вище 1 кВ/см тимчасові пори утворюються на поверхні мембран (рис. 3.4) і відбувається процес зворотної дезінтеграції клітин, ефект якого впливає на ефективність процесу екстракції.

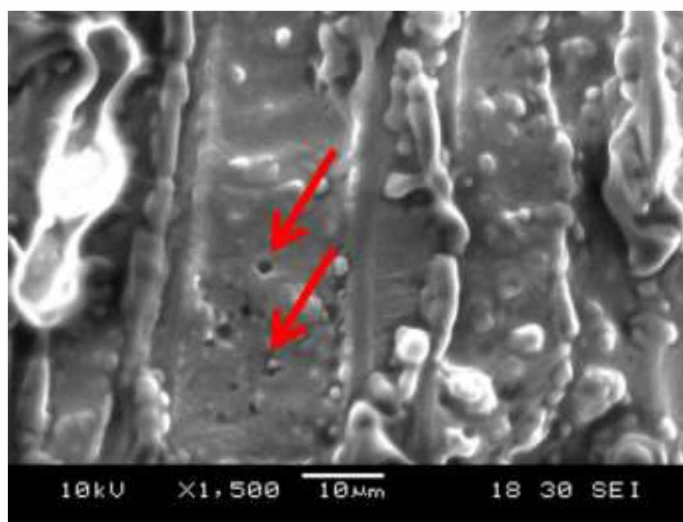


Рисунок 3.4 – Утворення пор на поверхні мембрани клітин після дії ІЕП

На рисунках 3.5 та 3.6 представлені залежності імпедансу та електропровідності олійного матеріалу від частоти при різних масових співвідношеннях розчинника від 10 до 50 % (фактор  $C$ ) до і після обробки ІЕП, при однаковій силі напруженості поля  $7 \text{ кВ} \cdot \text{см}^{-1}$ . Дані залежності показують, що основне відхилення значень імпедансу олійного матеріалу до та після обробки ІЕП відбувається на низьких частотах (до 10 кГц) (рис. 3.5), в той же час для значень електропровідності зміна в показниках до та після обробки ІЕП представлені на високих частотах (понад 10 кГц). Таким чином, знаючи величини показників електропровідності, можна виразити величину ефективності впливу ІЕП на руйнування клітини, використовуючи показник індексу дезінтеграції  $Z$ .



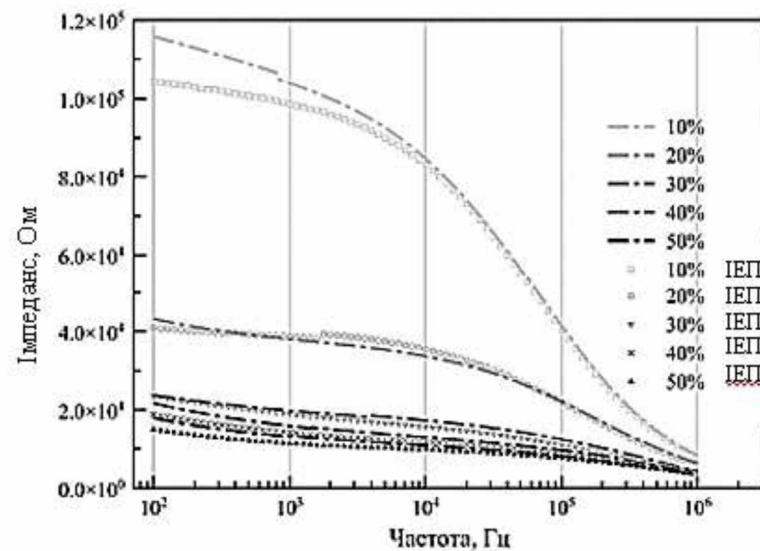


Рисунок 3.5 – Залежність імпедансу обробленого та не обробленого ІЕП подрібненого насіння соняшника від частоти при співвідношенні маси розчинника 10, 20, 30, 40 та 50 мас%

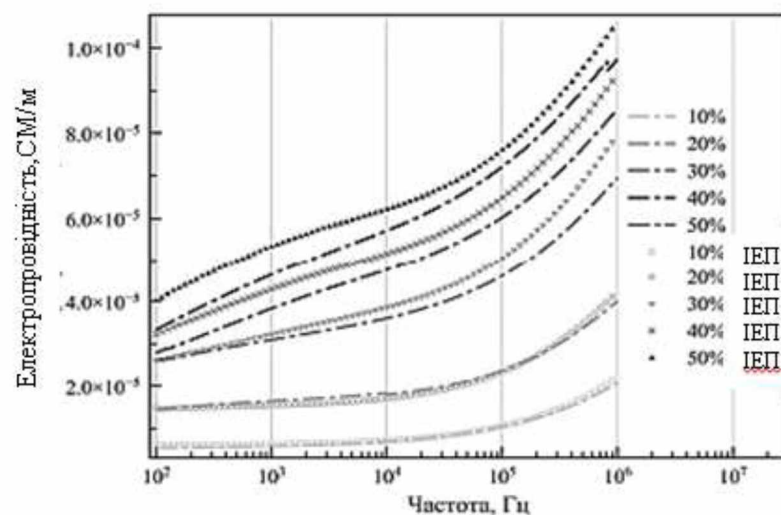


Рисунок 3.6 – Залежність електропровідності обробленого і не обробленого ІЕП подрібненого насіння соняшника від частоти при співвідношенні маси розчинника 10, 20, 30, 40 і 50 мас%

На рисунку 3.7 представлено графік залежності індексу дезінтеграції від напруженості поля в досліджуваному діапазоні побудований за даними експериментів № 5, 8, 11, 19 і 22 (табл. 3.2) після ІЕП обробки частоти діапазон 100 Гц -1МГц з напруженістю електричного поля 7 кВ/см.



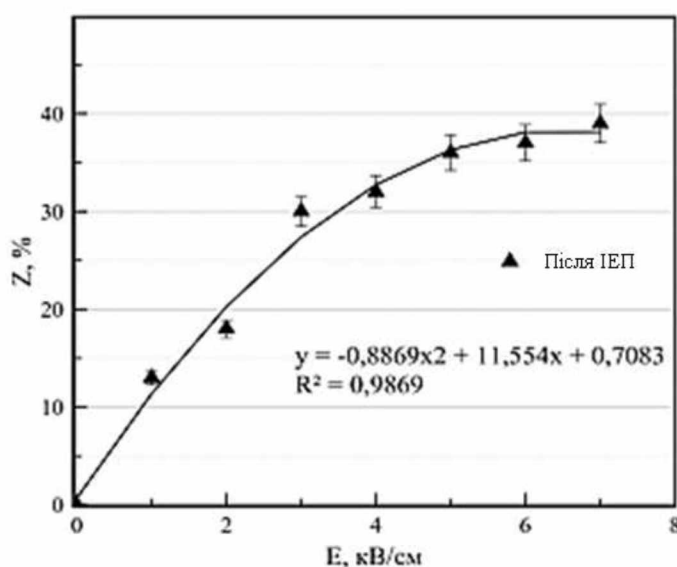


Рисунок 3.7 – Залежність індексу дезінтеграції від напруженості поля

Зі збільшенням значення напруженості поля показник індексу дезінтеграція зростає досягаючи максимуму 41% при значенні напруженості поля 7 кВ/см.

Дезінтеграція (розкриття) клітин, викликана ІЕП обробкою, дозволяє прискорити або полегшити вихід внутрішньоклітинних компонентів, таким чином прискорюючи процес екстракції.

### 3.4 Мікроскопічний аналіз структури насіння соняшника після дії ІЕП

Мікроскопічний аналіз структури насіння соняшника показує чіткий поділ ядра на дві сім'ядолі, які мають досить щільну структуру та високе зрощення насіння.

Рисунок 3.8 демонструє особливості морфологічної структури гібридів насіння соняшнику. Показано, що всередині сім'ядолі ядра клітини циліндричної витягнутої форми, що характеризуються чітко вираженими ліпідними сферосомами та білковими глобулами, дифузно розташованими в об'ємі клітин і об'єднані цитоплазмовою матрицею. Орієнтація довгої осі клітин – радіальна, упаковка досить щільна (рис.3.9).

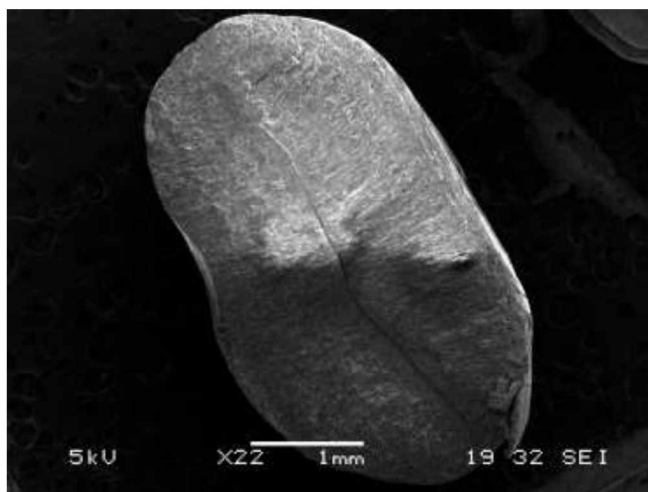


Рисунок 3.8 – Зображення структури зрізу ядра насіння соняшнику при напрузі електронів 5 кВ

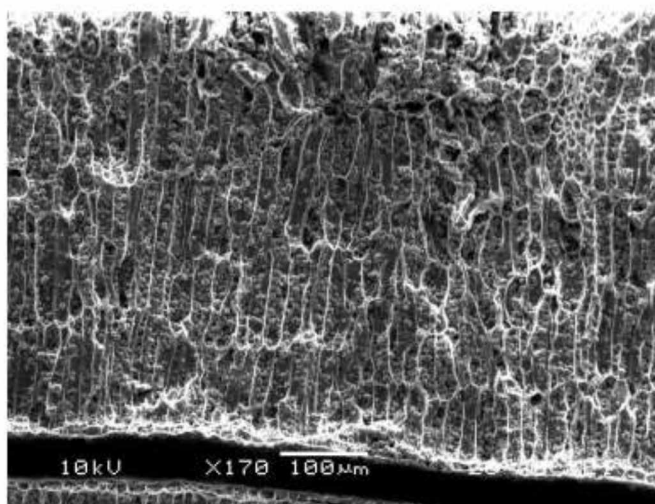


Рисунок 3.9 – Структура внутрішньої структури клітин насіння соняшнику при  $U = 10$  кВ

Зображення типової будови пор насіння соняшнику сучасної селекції, отриманої за допомогою мікроскопа.

Встановлено, що для структури насіння соняшника сучасної селекції характерна наявність пор середнім розміром від 7 до 75 мкм, форма якого варіюється від правильного кола до каверн різної форми. Слід відзначити, що основні технологічні властивості матеріалу такі як дифузійна проникність, гідродинамічний опір, фільтруюча здатність, розвиненість внутрішньої

поверхні та сорбційні властивості в визначальному ступені залежать від характеристик капілярно-пористої структури ядра.

Обробку ІЕП також було розглянуто на клітинному рівні. Фотографії, отримані за допомогою трансмісійного електронного мікроскопа показують на зразках структури клітин соняшнику (рис. 3.10), ефект обробки ІЕП внутрішньоклітинних капсул олії за рахунок руйнування мембрани.

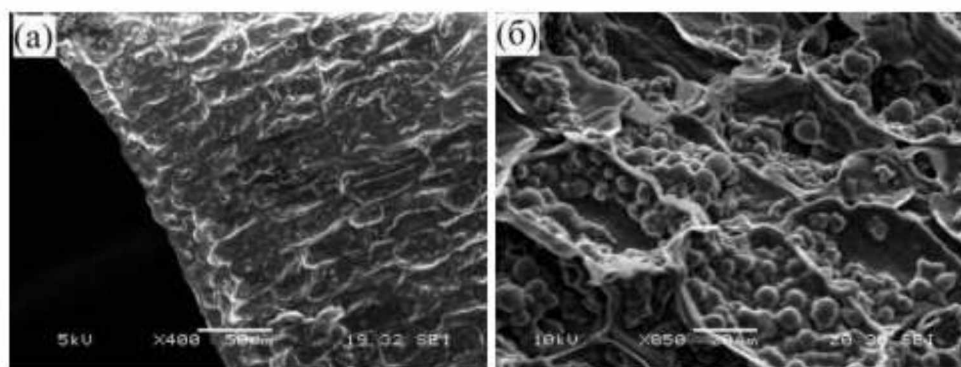


Рисунок 3.10 – Структура клітин насіння соняшнику: (а) – без обробки ІЕП; (б) – після обробки ІЕП

Після обробки ІЕП спільно з процесом екстракції була отримана зміна цілісності мембрани клітин. На рисунку 3.10б видно, що після впливу ІЕП цілісність структури поверхні клітин насіння соняшнику була порушена. ІЕП сприяло виділенню внутрішньоклітинних капсул олії на поверхню клітини, за рахунок руйнування мембрани клітини та утворення пор на поверхні мембрани.

### 3.5 Вплив ефектів параметрів ІЕП на показник виходу олії

Показники виходу олії (табл. 3.2) були проаналізовані, використовуючи програмне середовище ANOVA. Результати аналізу представлені у таблиці 3.5. Значення впливу ефектів було перевірено, використовуючи критерій Фішера, виражене рівнянням:

$$F = SA_{SOV} / SA_{Error} > F_{table} \quad (3.8)$$

де  $SA_{SOV}$  – середній квадрат джерела варіацій;

$SA_{\text{Error}}$  – середній квадрат помилки;

$F_{\text{table}}$  – табличне значення критерію Фішера, який вибирається залежно від ступеня свободи  $F_{0,95}(f_1, f_2) = 3,26$ , де  $f_1$  і  $f_2$  ступінь свободи 4 та 12 відповідно за даними з таблиці 3.5.

Для проведення LSD тесту отриманих даних використовуємо формулу :

$$LSD_{0,05} = 2,04 \cdot \sqrt{5805,5 \cdot \frac{2}{3}} = 126,9 \quad (3.9)$$

Таблиця 3.5 – Дисперсний аналіз значень показника виходу олії

| Джерело варіації (SOV) | Ступінь свободи (DF) | Квадрат суми (SS) | Квадрат середніх значень (SA) |
|------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|
| A                      | 4                    | 5,533             | 1,383                         |
| B                      | 4                    | 0,336             | 0,084                         |
| C                      | 4                    | 2,187             | 0,546                         |
| D                      | 4                    | 1,051             | 0,262                         |
| E                      | 4                    | 0,429             | 0,107                         |
| Помилка                | 12                   | 46425,03          | 5803,1                        |
| Разом                  | 28                   | 4643,57           | 5605,5                        |

За отриманими даними, використовуючи модель греко-латинський квадрат, отримаємо вираз виходу олії [5]:

$$\gamma_{ijq} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_q + \delta_k + \zeta_m + \varepsilon_{ijq} \quad (3.10)$$

де  $\mu$  – це середнє значення за всіма показниками виходу олії;

$\alpha_i, \beta_j, \gamma_q, \delta_k$  та  $\zeta_m$  – значення ефектів факторів ІЕП;

$\varepsilon_{ijq}$  – випадкова експериментальна помилка.

Для розрахунку значень рівняння виходу олії використовуємо такі рівняння:

$$\begin{aligned} \mu &= \text{average}(Y) \\ \alpha_i &= Y_i - \text{average}(Y) \\ \beta_j &= Y_j - \text{average}(Y) \\ \gamma_q &= Y_q - \text{average}(Y) \\ \delta_k &= Y_k - \text{average}(Y) \\ \zeta_m &= Y_m - \text{average}(Y) \end{aligned} \quad (3.11)$$

де  $\text{average}(Y)$  – це середнє значення  $Y$  за всіма експериментам;

$Y_i$  – середнє значення  $Y$ , для яких  $a = i, i=1,...,5$ ;

$Y_j$  – середнє значення  $Y$ , для яких  $b = j, j=1,...,5$ ;

$Y_q$  – середнє значення  $Y$ , для яких  $c = q, q=1,...,5$ ;

$Y_k$  – середнє значення  $Y$ , для яких  $d = k, k=1,...,5$ ;

$Y_m$  – середнє значення  $Y$ , для яких  $e = m, m=1,...,5$ .

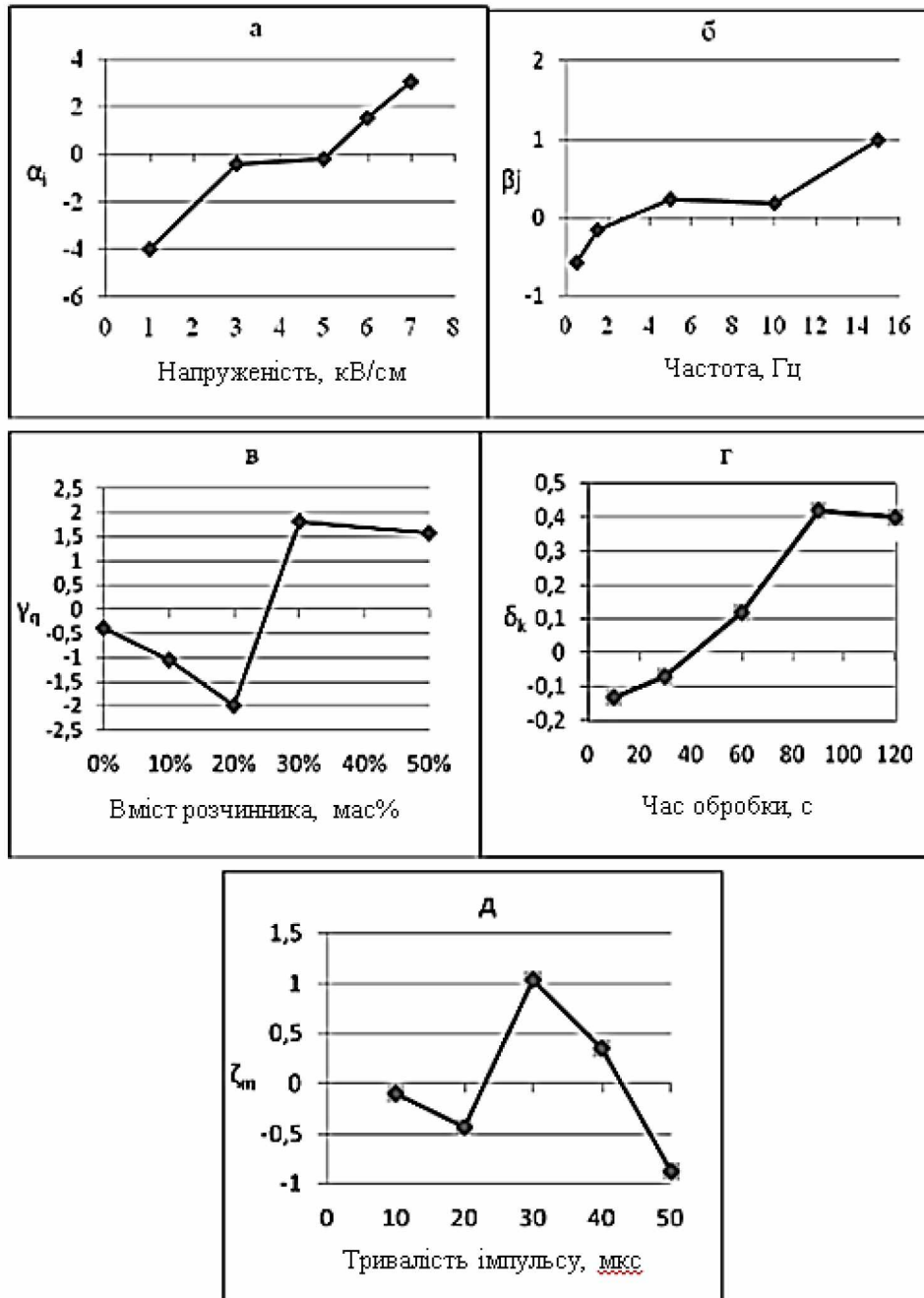


Рисунок 3.11 – Дані ефектів параметра ІЕП на вихід олії: напруженості поля (а), частоти обробки (б), вмісту розчинника (в), часу обробки (г) та тривалості імпульсу (д)



Графіки значень ефектів параметрів обробки ІЕП із рівняння 3.11 показано на рисунку 3.11. Нульове значення  $Y$  на графіках відповідає значенню  $\mu = 43,85$ . За даними графіків (рис.3.11) видно що найбільший позитивний ефект на показник виходу олії має значення напруженості електричного поля  $\alpha_k$  (рис.3.11а), далі вміст розчинника  $\gamma_q$  (рис.3.11в) та час обробки ІЕП  $\delta_k$  (рис.3.11г).

З отриманих даних найбільш значущими для показника виходу олії є параметри:

- напруженість електричного поля – має монотонно зростаюче значення по всьому діапазону дослідження. За отриманим даними найбільшому позитивному ефекту на значення виходу олії відповідає значення напруженості 7 кВ/см (рис.3.11а);

- частота електричного поля – представляє також монотонно зростаючу залежність, однак значення ефекту фактора частоти занадто мало для врахування (<1%). Максимальне значення відповідне значенню частоти 15 Гц (рис.3.11б);

- значення ефекту вмісту розчинника було відзначено з максимумом 40 мас% (рис.3.1в);

- максимальне значення ефекту часу обробки на показник виходу олії, відповідне значення 30с (рис.3.1г) ;

- максимальне значення ефекту тривалості імпульсу відповідає значенню 30 мкс.

Після визначення максимальних ефектів від параметрів обробки ІЕП на показник виходу олії були отримані наступні параметри:  $E = 7$  кВ/см,  $f = 15$  Гц,  $C = 40\%$ ,  $t = 90$  с,  $W = 30$  мкс.

### 3.6 Оцінка енергетичних витрат на дію ІЕП

У застосуванні ІЕП для інтенсифікації процесів екстракції олії з насіння соняшника, основним параметром є витрата енергії. Екстракція насіння соняшника проводилася з використанням чистого розчинника біоетанолу. Для прикладу у випадку з подрібненим насінням соняшника визначено, що підвищення показника напруженості поля заданої електропровідності зразків має монотонно зростаючу ступеневу залежність (рис. 3.12).

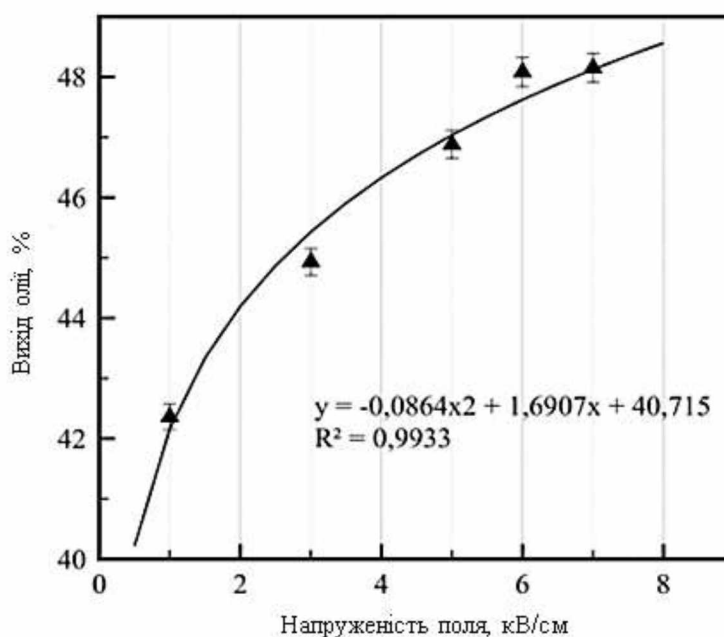


Рисунок 3.12 – Залежність виходу олії від напруженості поля

Однак подальше збільшення показника напруженості  $E$ , не значно збільшує показник виходу олії. Енергія, що витрачається (56,7 кДж/кг), для 7 кВ/см є найбільш оптимальною для підсумкового показника виходу олії в 48,5%, що було встановлено експериментальним шляхом. Рівняння виходу олії мало вигляд:

$$\text{Вихід} = -0,0864E^2 + 1,6907E + 40,715 \quad (3.12)$$

де  $E$  – напруженість поля, кВ/см, з коефіцієнтом регресії ( $R^2$ ) = 0,9933.

Залежність величини енергії, що витрачається, від виходу олії, при однаковому часі обробки побудована, виходячи з даних, представлених у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Енергетичні показники обробки ІЕП

| Напруженість поля, $E$ , кВ/см | Струм, $I$ , А | Частота імпульсів, Гц | Маса завантаження, кг | Енергія імпульсу, $W_{\text{імп}}$ , кДж/кг | Повна енергія, $W_{\text{ІЕП}}$ , кДж/кг |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1                              | 0,12           | 1,5                   | 0,002                 | 0,0018                                      | 4,86                                     |
| 3                              | 0,14           | 1,5                   | 0,002                 | 0,0063                                      | 17,0                                     |
| 5                              | 0,16           | 1,5                   | 0,002                 | 0,0120                                      | 32,40                                    |
| 6                              | 0,2            | 1,5                   | 0,002                 | 0,0180                                      | 48,60                                    |
| 7                              | 0,2            | 1,5                   | 0,002                 | 0,0210                                      | 56,70                                    |

Отримана залежність виходу олії від енергії, що витрачається, показує збільшення виходу олії зі збільшенням енергії обробки (рис. 3.13).

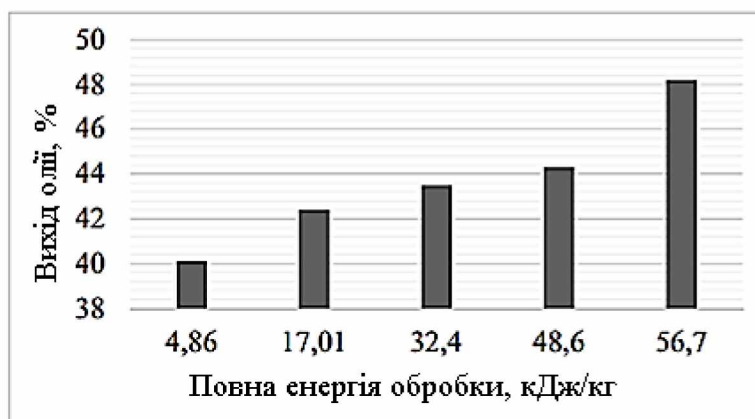


Рисунок 3.13 – Залежність показника виходу олії від енергії, що витрачається

### 3.7 Технологічна схема екстрагування олійних матеріалів з застосуванням обробки ІЕП

На основі результатів ефективності використання методу підготовки олійного матеріалу до процесу екстрагування розроблено спосіб обробки матеріалу імпульсним електричним полем в безперервному режимі. На рисунку 3.14 зображено структурну схему процесу обробки олійного матеріалу перед екстракцією, що складається з 2-х етапів: подрібнення та обробки ІЕП.

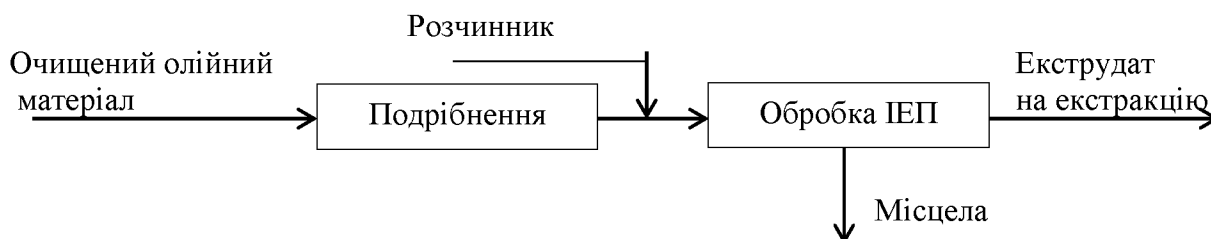


Рисунок 3.14 – Структурна схема попередньої підготовки олійного матеріалу перед екстракцією

Олійний матеріал подається в завантажувальну камеру екструдера, де відбувається подрібнення матеріалу до розміру фракцій менше ніж 1 мм. Після подрібнення матеріал надходить у камеру обробки, що складається з шнекового транспортера та вузла обробки ІЕП. Попередньо в об'єм матеріалу подається розчинник у масовому співвідношенні 50% від маси завантаження. Цією операцією досягаються такі цілі: підвищення площі контакту розчинника з матеріалом, збільшення величини електропровідності оброблюваного матеріалу, що призводить до інтенсифікації процесу подальшої обробки.

Отримана суспензія обробляється імпульсним електричним полем (ІЕП) для електропорації (руйнування) клітинних стінок та вивільнення олії, що знаходиться в закапсульованих капілярах олійної клітини.

Обробка ІЕП здійснюється при наступних режимах, залежно від сировини, що обробляється:

- напруженість поля 5-20 кВ/см;
- частота імпульсів 0,1-20 Гц;
- масовий вміст розчинника 50%;
- час обробки до 90 с;
- тривалість імпульсу 30 мкс;
- температура 20 °С.

На рисунку 3.15 представлена схема процесу обробки ІЕП.

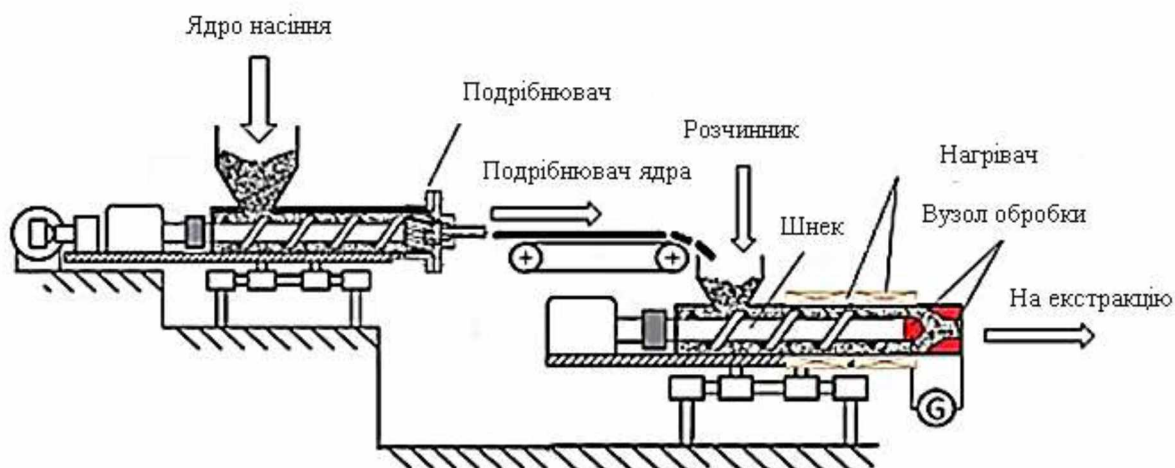
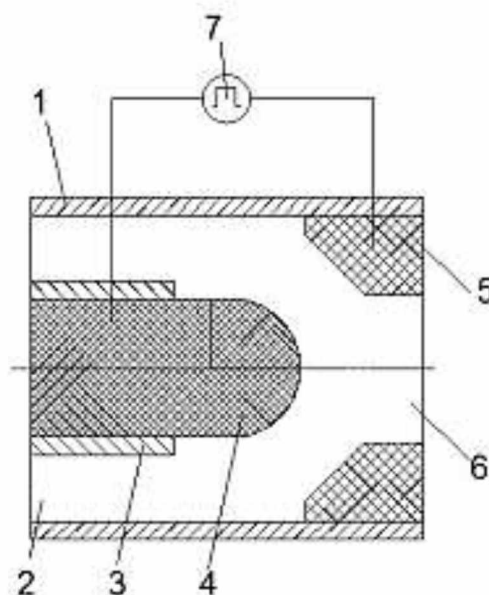


Рисунок 3.15 - Схема процесу обробки ІЕП

Для олійного матеріалу є необхідність в збільшенні продуктивності, а отже, і габаритних розмірів камери, що призведе до збільшення показника пікової напруги і енергії імпульсу.

### 3.8 Розробка камери безперервної обробки ІЕП

У зв'язку з необхідністю відпрацювання процесів обробки безперервним способом, необхідне створення імпульсної робочої камери зі збільшеною продуктивністю. Основний пристрій для екстрагування сировини представлено на рисунку 3.16, який містить робочу імпульсну камеру 1, що складається з корпусу, оснащеного патрубком 2 для введення оброблюваної суспензії та патрубком 6 для відведення обробленої суспензії, а також електродну систему у вигляді двох електродів, підключених до генератора імпульсів 7, при цьому електрод 4 виконаний у вигляді стрижня зі сферичним закінченням і встановлений у різьбовому з'єднанні циліндричного тримача 3 внутрішньої порожнини робочої імпульсної камери 1, а електрод 5 виконаний у вигляді кільця з формою зрізаного конуса, встановленого на внутрішній стінці патрубку 6 для відведення обробленої суспензії, та встановлений у внутрішній порожнині робочої імпульсної камери 1.



1 - корпус; 2 - патрубок завантаження; 3 - циліндричний утримувач;  
4 - високовольтний електрод; 5 - електрод; 6 - патрубок вивантаження

Рисунок 3.16 – Пристрій обробки ІЕП:

Пристрій працює наступним чином. Підготовлену суспензію, що складається з матеріалу і розчинника, подають через патрубок 2 введення оброблюваної суспензії в робочу імпульсну камеру 1. Для встановлення оптимальної величини напруженості поля в електродній системі відстань між електродами 4 і 5 регулюють шляхом переміщення електрода 4, виконаним у вигляді стрижня зі сферичним закінченням, за рахунок поступально обертального руху всередині різьбового з'єднання циліндричного тримача 3 відносно електрода 5, що виконаний у вигляді кільця, при цьому мінімальна відстань між електродами складає 10 мм. Далі оброблюваний матеріал надходить у робочу зону між електродами 4 і 5, з'єднаних з генератором імпульсів 7. Обробку суспензії проводять імпульсним електричним полем, створеним прямокутними позитивними сигналами, напруженістю поля 8-15 кВ/см протягом 5 с (величина змінюється в залежності від типу оброблюваного матеріалу). Оброблений матеріал відводиться через патрубок 6 для відведення обробленої суспензії.



Розміри імпульсної камери були визначені на основі показника електричного опору  $R_o$ :

$$R_o = \frac{d}{S \cdot \sigma}, \quad (3.13)$$

де  $d$  – зазор між електродами, мм;

$\sigma$  – електропровідність оброблюваного матеріалу, См/м;

$S$  – поверхова площа електродів, м<sup>2</sup>.

Після обробки ІЕП генерованими імпульсами електричного поля, струм, що протікає в оброблюваному матеріалі, може значно зрости більш ніж в 10 разів і вище за своє початкове значення.

*Висновки.* Найбільший вихід екстрактивних речовин при екстракції біоетанолом із застосуванням ІЕП 48,2% отримано при значеннях напруженості поля 7 кВ/см, частоти проходження імпульсів 1,5 Гц, масового вмісту розчинника 50 мас%, часу обробки 90 с і тривалості імпульсу 30 мкс. Найбільший ефект на вихід екстрактивних речовин надає фактор напруженості електричного поле. Величина коефіцієнта дифузії при екстрагуванні з застосуванням ІЕП у 1,5 рази вище, ніж без застосування ІЕП.

Встановлено, що для структури насіння соняшнику характерна наявність пор розміром від 7 до 75 мкм, форма якої варіюється від правильного кола до каверн різної форми. Обробка ІЕП сприяє руйнуванню цілісності мембран насіння соняшнику. Ефект руйнування спостерігається, починаючи з напруженості електричного поля 1 кВ/см та досягає найбільшого значення при 7 кВ/см.

Оцінка енергетичних витрат показників обробки з урахуванням основних факторів: напруженість електричного поля, величина струму, частота прямування імпульсів, маса обробки матеріалу показала прямий зв'язок виходу екстрактивних речовин від витрат енергії.

Запропонована камера безперервної обробки ІЕП в технологічному процесі екстрагування олійних матеріалів.

## 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

Рекомендовано застосування в технологічних лініях виробництва сояшикової олії установки імпульсного електричного поля для попередньої обробки подрібненого насіння сояшнику на стадії його підготовки до процесу екстракції, що сприяє прискоренню процесу екстракції та зниженню часу на процес екстрагування, підвищенню якості готового продукту.

### 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 процесу екстрагування соняшникової олії у технологічному процесі її виробництва. 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**

Відповідно до вирішуваного в роботі технологічного завдання пропонується проводити обробку ІЕП на стадії підготовки подрібненого насіння до процесу екстракції, що дозволяє збільшити кількість розкритих клітин, прискорити процес екстракції та знизити часові витрати на весь процес екстрагування. Для цього лінія комплектується пристроєм для обробки імпульсним електричним полем. У розділі виконано розрахунки необхідних капітальних вкладень, собівартість сировини та показників економічної ефективності. Характеристика основних технічних показників запропонованого обладнання наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика установки

| Показник                             | Значення | Показник                                   | Значення      |
|--------------------------------------|----------|--------------------------------------------|---------------|
| Продуктивність, кг/год.              | 560      | Частота обертання шнеку, хв. <sup>-1</sup> | 5             |
| Споживання електроенергії, кВт/год.  | 4,25     | Кількість імпульсів, од.                   | 150           |
| Вмісткість установки, м <sup>3</sup> | 0,4      | Потужність генератора імпульсів, кВт       | 0,15          |
| Тривалість обробки, с                | 10       | Габаритні розміри установки, мм            | 1600x450x1200 |

До складу капітальних вкладень входять витрати на придбання обладнання, витрати на транспортування та встановлення (20% від вартості обладнання), а також необхідний для цього інструмент та інвентар (3% від вказаної вартості). Орієнтуючись на ринкові ціни генератора імпульсів, високовольтного підсилювача, розмір капітальних вкладень, потрібних на купівлю, доставку та встановлення відповідного технічного обладнання прийнято рівним 462,5 тис.грн.

Для розрахунку фактичного часу роботи обладнання із розрахункової тривалості роботи вираховано час, що витрачається на простой пристрою при ремонті, включаючи час на його налагодження. Внутрішньозмінні простой розраховані виходячи з нормативу простоїв за одну зміну ( $\approx 50$  хв.). Таким чином, у рік з обліком робочих, вихідних та святкових днів, а також тривалості однієї зміни, що дорівнює 7 годин, фонд робочого часу склав 242 дні. Річний баланс робочого часу одного співробітника при цьому становив 1327,5 год. Виходячи з діючих на підприємстві годинних тарифних ставок робітників загальний тарифний фонд річної заробітної плати операторів та ремонтників прийнятий рівним 241,1 тис. грн.

Виходячи із загальної річної витрати електроенергії, що дорівнює 7199,5 кВт·год. з врахуванням тарифів, що становлять 1,68 грн, річна вартість електроенергії становитиме 12,1 тис. грн. Кошторис витрат на утримання та експлуатацію обладнання, що впроваджується, з урахуванням раніше наведених цифр дорівнює 344,9 тис.грн на рік.

Собівартість річного обсягу готової продукції становить приблизно 1668,1 тис.грн. Таким чином, за вирахуванням собівартості продукції підприємство від продажу зможе виручити 309,4 тис.грн на рік. Відповідний цьому доходу термін окупності пропонованого устаткування за його вартості 375 тис.грн складе близько 1,1 року.

Таблиця 4.2 – Основні техніко-економічні показники

| Показники                                                          | Значення |
|--------------------------------------------------------------------|----------|
| Капітальні вкладенні, тис.грн                                      | 462,5    |
| Річний фонд заробітної плати операторів та ремонтників, тис.грн    | 241,1    |
| Витрати на електроенергію, тис.грн                                 | 12,1     |
| Витрати на утримання та експлуатацію обладнання, тис.грн           | 344,9    |
| Всього витрат, тис.грн                                             | 1061     |
| Річний об'єм готової продукції, т                                  | 948      |
| Собівартість виробництва річного обсягу готової продукції, тис.грн | 33180    |
| Вартість реалізованої продукції, тис.грн                           | 43608    |
| Прибуток, тис.грн                                                  | 10428    |
| Річний економічний ефект, тис.грн                                  | 9367     |

Отже, за рахунок комплектування технологічної лінії виробництва соняшникової олії пристроєм для обробки імпульсним електричним полем подрібненого насіння соняшнику на стадії його підготовки до процесу екстракції, що сприяє прискоренню процесу екстракції та зниженню часу на процес екстрагування. Це дозволяє отримати більший об'єм готової продукції покращеної якості. Очікуваний економічний ефект 9367 тис.грн.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі сформульовано підхід до вирішення завдання, пов'язаного з розробкою нових інтенсивних та енергоефективних фізичних методів вилучення екстрактивних речовин із структури олійного матеріалу із застосуванням обробки імпульсним електричним полем. Отримані в роботі результати можна розглядати як основу для створення енергоефективної «зеленої технології» екстрагування олійних матеріалів насіння соняшнику біоетанолом.

1. Електричні (електрична провідність), діелектричні (діелектрична проникність та діелектричні втрати) та реологічні властивості екстрагованого матеріалу залежать від частоти та параметрів процесу екстрагування (температури, наявності рідкої фази – біоетанолу).

2. Характер залежності діелектричних властивостей матеріалу, що екстрагується, від частоти та температури має при низьких частотах збільшення зростанням температури, а при значеннях частот вище 1 кГц вплив температури та частоти відсутня. Залежність електропровідності від частоти за відсутності рідкої фази та варіювання температури відзначається зростанням на частотах більше  $10^3$  Гц. Температурна залежність електропровідності матеріалу, що екстрагується, має характер рівняння Антуана.

3. Додавання рідкої фази змінює характер електропровідності матеріалу, що екстрагується, яка лінійно залежить від вмісту рідкої фази. При низьких частотах із зростанням температури відзначається зростання електропровідності, а при частоті вище  $10^3$  Гц електропровідність від частоти та температури практично не змінюється.

4. Електричний імпеданс біологічного об'єкта дозволяє визначити електричні властивості з урахуванням структури ядра насіння олійного матеріалу та зовнішньої фази клітини.

5. Найбільший вихід екстрактивних речовин під час екстракції біоетанолом із застосуванням електрофізичного впливу (імпульсного

електричного поля (ІЕП)) 48,2% отримано при значеннях напруженості поля 7кВ/см, частоті проходження імпульсів 1,5 Гц, масового вмісту розчинника 50мас%, часу обробки 90 с і тривалості імпульсу 30 мкс. Найбільший ефект на вихід екстрактивних речовин надає фактор напруженості електричного поля. Величина коефіцієнта дифузії при екстрагуванні з застосуванням ІЕП у 1,5 рази вище, ніж без застосування ІЕП.

6. Встановлено із застосуванням електронної мікроскопії, що для структури насіння соняшнику характерна наявність пор розміром від 7 до 75мкм, форма якої варіюється від правильного кола до каверн різної форми. Обробка ІЕП сприяє руйнуванню цілісності мембран насіння соняшнику. Ефект руйнування спостерігається, починаючи з напруженості електричного поля 1кВ/см та досягає найбільшого значення при 7 кВ/см.

7. Оцінка енергетичних витрат показників обробки з урахуванням основних факторів: напруженість електричного поля, величина струму, частота прямування імпульсів, маса обробки матеріалу показала прямий зв'язок між виходом екстрактивних речовин і витратою енергії – збільшення виходу олії зі збільшенням енергії обробки.

8. Запропонована установка імпульсного електричного поля для обробки подрібненого насіння соняшнику на стадії його підготовки до процесу екстракції, що сприяє прискоренню процесу екстракції та зниженню часу на процес екстрагування, підвищення якості готового продукту.

9. Розрахунок економічної доцільності впровадження досліджень показав очікуваний економічний ефект 9367 тис.грн.