

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ
ПРОДУКЦІЇ**

методичні рекомендації для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв 2022

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 24.11.2022, протокол № 3

Укладачі:

Руденко Андрій – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Мардзявко Віталій – асистент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Чурило Руслан – майстер виробничого навчання кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Рецензенти:

Гавриш Валерій док. екон. наук., професор кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу Миколаївського національного аграрного університету.

Ставинський Андрій док. тех. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки МНАУ.

Зміст

Зміст.....	3
Вступ.....	4
Загальні положення.....	5
Лабораторна робота №1.....	6
Лабораторна робота №2.....	10
Лабораторна робота №3.....	17
Лабораторна робота №4.....	20
Лабораторна робота №5.....	24
Лабораторна робота №6.....	31
Лабораторна робота №7.....	35
Лабораторна робота №8.....	42
Рекомендована література.....	49

Вступ

Основна мета методичних вказівок полягає у наданні допомоги студентам у засвоєнні матеріалу з дисципліни "Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції" під час виконання лабораторних робіт. Матеріал, наведений у даних методичних рекомендаціях, складено у відповідності до вимог галузевого стандарту вищої освіти України –Освітньо — професійна програма підготовки бакалаврів, навчального плану дисципліни

–Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції для підготовки фахівців вищих аграрних учбових закладів напряму 6.100101

«Енергетика та електротехнічні системи в агропромисловому комплексі», затвердженої Департаментом кадрової політики, аграрної освіти та науки Міністерства аграрної політики та продовольства України, і робочою навчальною програмою дисципліни, розробленою на кафедрі електротехнологій і електропостачання та затвердженою Вченою радою Миколаївського національного аграрного університету.

Загальні положення

Порядок допуску студента до виконання лабораторних робіт

Перед початком виконання лабораторних робіт студент зобов'язаний пройти інструктаж з охорони праці і техніки безпеки (відповідно до затверджених інструкцій), ознайомитись з положенням про лабораторію новітніх електротехнологій кафедри електротехнологій і електропостачання Миколаївського НАУ, та знати правила надання першої медичної допомоги.

До виконання лабораторної роботи студент повинен мати при собі чистий бланк протоколу вимірювань, схему лабораторної установки, знати принцип дії схеми лабораторної установки та вміти працювати з вимірювальними пристроями, що використовуються в даній роботі.

Вимоги до оформлення звіту

Виконання лабораторної роботи студентом передбачає поглиблене вивчення матеріалу в межах самостійної роботи студента, що передбачена навчальним планом та робочою програмою дисципліни. До більшості лабораторних робіт студент додатково отримує завдання на розрахунок параметрів електротехнологічного обладнання. Під час виконання розрахунків студент повинен використовуючи літературу самостійно обрати оптимальну методику та програмне забезпечення для вирішення поставленої задачі.

Звіт виконується по структурі наведеній в методичних рекомендаціях до лабораторних робіт та у відповідності до вимог ЄСКД. Обсяг теоретичних відомостей у звіті до лабораторної роботи має бути мінімальним та відображати основну проблематику даної роботи.

Джерела інформації

В ході підготовки до лабораторних робіт студент має використовувати статті фахових видань України та провідних наукових зарубіжних видань, статті яких проходять рецензування. Орієнтовний перелік видань, окремо по кожній темі видається викладачем та доповнюється студентом. В методичних рекомендаціях використовуються посилання на інформацію відповідно до списків (окремо по кожній роботі), що знаходяться у викладача.

Лабораторна робота №1

Тема: Дослідження електрофізичних характеристик зернової продукції

Мета: 1. Вивчити основні електрофізичні властивості зернової продукції та методику їх визначення.

2. Визначити вплив температури та напруженості електричного поля на питому електропровідність зернової маси.

Короткі теоретичні відомості

Із загальної кількості параметрів, які впливають на електропровідність зернової маси, слід виділити температуру й вологість. Температура внаслідок дії цілої низки факторів (неоднорідності, хімічного складу, біохімічних і ферментативних процесів) впливає не тільки на форму зв'язку вологи, а і на ступінь теплової дисоціації іонів.

Вплив температури на питому електропровідність зернової маси. Температура, також як і вологість, переводить зернову масу з одного електрофізичного стану в інший, тобто з діелектрика в напівпровідник або навпаки. Це пояснюється тим, що з підвищенням температури в зерні зростає швидкість руху іонів із більш сильними зв'язками, що призводить до збільшення її питомої електропровідності. Таким чином, режим обробки зернової маси в значній мірі має залежати від температури.

Відомо, що протягом зберігання насіннєвого матеріалу його температура постійно змінюється. Тому зернова суміш у різні періоди року, місяця і навіть тижня буде оброблятися при різній температурі, а тому вона матиме різні електрофізичні властивості (зокрема, питому електропровідність) під час обробки. З метою розробки в подальшому оптимальних режимів обробки (як для стимуляції біологічних властивостей, так і для зберігання) в роботах необхідно досліджувати вплив температури на питому електропровідність зернової суміші.

Під час досліджень впливу температури на електричні властивості сільськогосподарських матеріалів використовується насіння

сільськогосподарських культур. Дослідження електропровідності зернової масивконується на спеціально розробленій лабораторній установці (рис. 1).

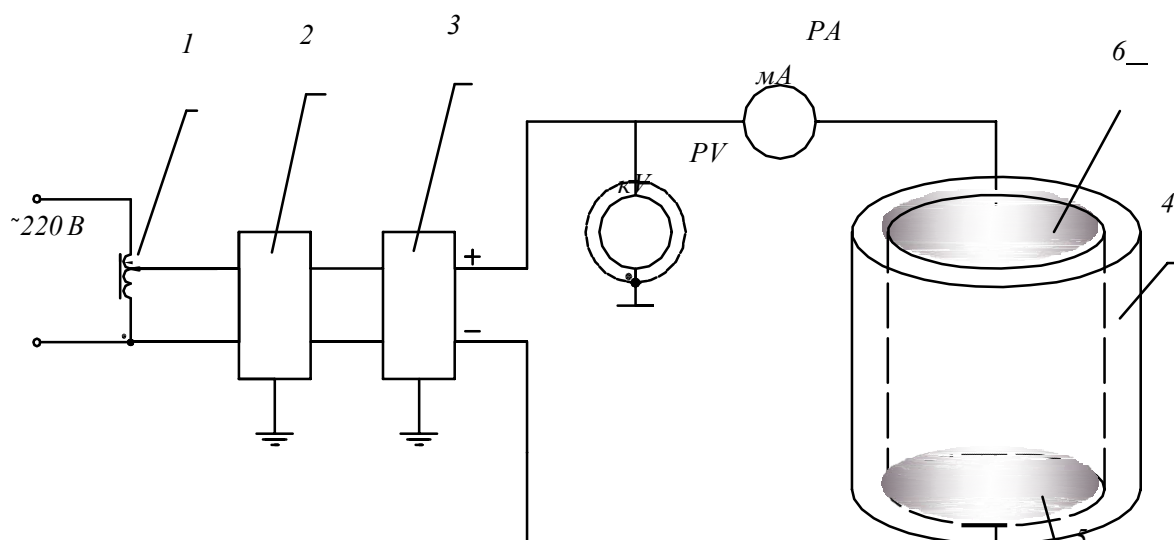


Рис. 1 — Дослідна установка: 1 — автотрансформатор; 2 — підвищувальний трансформатор; 3 — каскадний двополярний помножувач напруги; 4 — циліндр із діелектричного матеріалу; 5 — нижній пластинчастий електрод; 6 — верхній пластинчастий електрод.

Установка складається з автотрансформатора типу ЛАТР — 2М 220 В, 6,6 А, підвищувального трансформатора, каскадного двополярного помножувача напруги, циліндра з діелектричного матеріалу з високим питомим опором (у даній роботі фторопласт), нижнього та верхнього пластинчастих електродів, кіловольметра типу С96, мікроамперметрів типу М2027 — 2 та М265М.

Контроль температури дослідної зернової маси виконується за допомогою нелінійного об'ємного опору типу КМТ у комплекті з терморегулятором ПТР — 2 (або аналогічним з точністю вимірювань 0,1°C). Введений у вимірювальну комірку термістор надає однозначні значення температури в режимі теплового обміну між середовищем і чутливим елементом. Термістор розміщується в центральній зоні вимірювальної комірки і, таким чином, визначається середня температура матеріалу.

Похибка вимірювання температури за рахунок теплових втрат є мінімальною, оскільки термістор розміщується в товщі зернової маси, а

вимірювальна комірка виготовлена з матеріалу з малою питомою теплопровідністю (фторопласт).

Питому електропровідність зернової маси для даних умов можна визначити за формулою:

$$\gamma = \frac{I \cdot H}{U \cdot S} \quad (1)$$

де I — струм, який проходить через зернову масу, А; U — напруга прикладена до зернової маси, В; S — внутрішня площа поперечного перерізу циліндричної комірки, м²; H — висота стовпчика зернової маси, м.

Відомо, що під час прикладання до зернової маси напруги виникає ефект поляризації. І зі збільшенням напруги на електродах датчика час поляризації зернової маси зменшується і через неї починає проходити наскрізний струм, який визначається її електропровідністю.

При проведенні досліджень напруга на електродах датчика подається такого значення, щоб час поляризації був у межах 2 секунд.

На рис. 2 наведено отримані в [1] залежності питомої електропровідності зернової маси ячменя сорту "Нева" від температури. Подібного плану залежності отримані і для ячменю сорту "Толар".

$\gamma \cdot 10^{-7}$, См/м

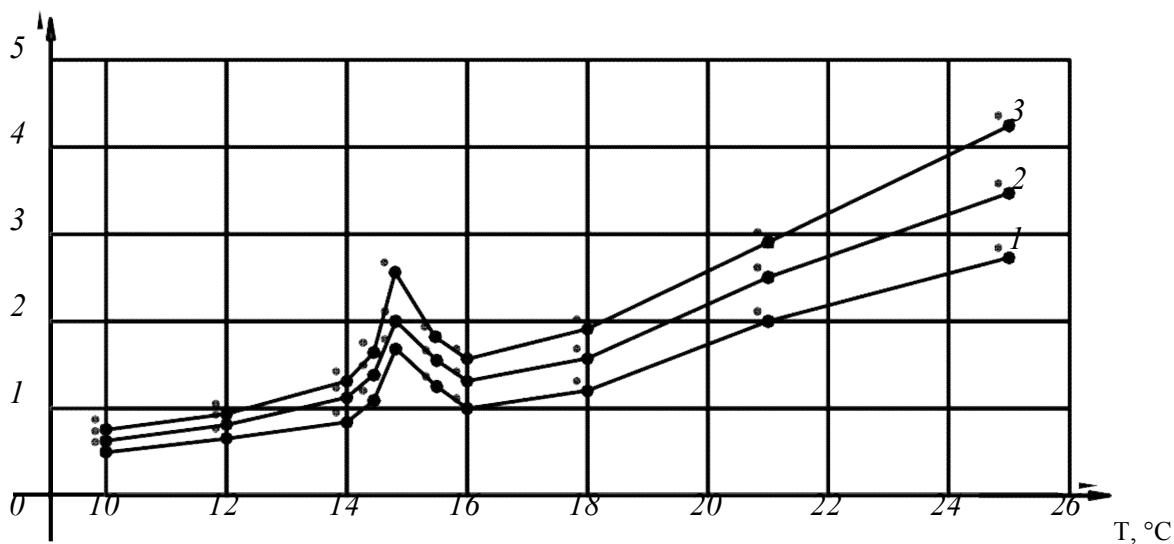


Рис. 2 — Температурна залежність питомої електропровідності зернової маси ячменя сорту "Нева": 1 — напруженість поля 2 кВ/см; 2 — напруженість поля 2,66 кВ/см; 3 — напруженість поля 3,33 кВ/см.

Порядок проведення дослідів

1. Зібрати схему лабораторної установки
2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача
3. Подати живлення на експериментальну установку
4. Виконати вимірювання та занести їх в протокол вимірювань

При заданій температурі зернової маси провести вимірювання та встановити залежність питомої електропровідності зернової маси від параметрів електричного поля, для різних сільськогосподарських культур. Протокол вимірювань складається за формою табл. 1. В даній таблиці прийняті наступні позначення:

$t, ^\circ\text{C}$ – температура зернової маси;

$U_1, \text{В}$ – напруга на виході ЛАТРа;

$U_2, \text{кВ}$ – напруга на виході підвищувального трансформатора;

$I_1, \text{мА}$ – струм в первинному колі підвищувального трансформатора;

$I_2, \text{мА}$ – струм на виході підвищувального трансформатора;

$S, \text{м}^2$ – внутрішня площа поперечного перерізу циліндричної комірки;

$H, \text{м}$ – висота стовпчика зернової маси;

$\gamma \cdot 10^{-7}, \text{См/м}$ – питома електропровідність;

$E, \text{кВ/см}$ – напруженість електричного поля.

Табл. 1

Вимірювання								Розрахунки	
Культура, сорт	$t, ^\circ\text{C}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{кВ}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$S, \text{м}^2$	$H, \text{м}$	$\gamma \cdot 10^{-7}$ См/м	E кВ/см

5. Сповістити викладача про завершення виконання дослідів, та після отримання дозволу відключити установку

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками
5. Залежність питомої електропровідності від напруженості електричного поля.
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Вкажіть основні електрофізичні параметри зернової продукції?
2. Поясніть поняття діелектричної проникності зернової маси та зернової субстанції.
3. Вкажіть необхідність аналізу впливу температури на електрофізичні властивості сільськогосподарської продукції.
4. З якою метою на практиці визначається діелектрична проникність зерна?
5. Правила техніки безпеки під час виконання даної роботи.
6. Чи впливають геометричні розміри зернини на діелектричну проникність зернової маси, та яким чином.

Лабораторна робота №2

Тема: Електроплазмоліз плодів сільськогосподарських культур та аналіз мікроструктури їх клітин

Мета: 1. Ознайомитися з методами реалізації електроплазмолізу та зняття характеристик струму розряду.

2. Виконати аналіз впливу електричного струму на оболонку клітин.

Короткі теоретичні відомості

Плодово—овочева сировина являє собою дуже важливу і цінну базу для отримання продуктів здорового харчування. Плоди та овочі, будучи джерелами

легкозасвоюваних вуглеводів, вітамінів, харчових волокон та природних антиоксидантів, сприяють регулювання найважливіших фізіологічних функцій організму. Тому технології переробки плодів і овочів повинні бути орієнтовані на раціональне використання сировинних ресурсів з максимальним збереженням фізіологічно цінних компонентів сировини та збільшенням гарантійних термінів зберігання готової продукції.

З точки зору безпеки одержуваних продуктів переваги мають технології переробки з використанням безреактивних фізичних впливів. Використання різних електрофізичних впливів дозволяє значно інтенсифікувати технологічні процеси, а іноді отримувати результати не досяжні під час традиційної обробки. Таким чином для забезпечення інтенсивного розвитку агропромислового комплексу необхідно розробляти нові і вдосконалювати існуючі електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції.

Електроконтактні методи обробки здійснюються шляхом безпосереднього контакту електричного струму з продуктом. Застосовуються ці методи для нагріву і електроплазмолізу рослинної сировини. **Електроплазмоліз** — метод впливу на об'єкти змінним електричним струмом різної частоти і електричними імпульсами певної частоти. Цей метод є перспективним способом підготовки рослинної сировини до екстрагування. При дії електричного струму на плодоовочеву сировину збільшується проникність рослинних клітинних мембран, що призводить до підвищення соковіддачі плодоовочевої сировини [1, 5, 6].

Електромагнітний метод обробки рослинної сировини використовується для зниження нітратів в овочах і фруктах, знищення мікроорганізмів і для збільшення терміну їх зберігання [7]. Гукетлова О.Х. досліджувала вплив електромагнітного поля низької частоти в інтервалі 18—30 Гц на зниження мікробного обміненія овочів і встановила практичну стерильність поверхні овочів після обробки в режимі резонансної частоти 22,3 Гц [8]. Зниження ймовірності мікробного псування соку, так само спостерігається при пропусненні подрібненої сировини між парними електродами [9].

Для консервування та пастеризації рідких харчових продуктів застосовують імпульсне електричне поле, а для збільшення терміну зберігання харчові продукти обробляють полем високої напруги [10].

До основних переваг електрофізичних методів обробки плодоовочевої сировини, порівняно з традиційними методами, відносять високу швидкість процесів і компактність промислових пристроїв, до недоліків — відносну складність і високу вартість промислових пристроїв.

До акустичних методів обробки харчових продуктів відносять обробку з використанням ультразвукових і звукових коливань. Ультразвук це пружні коливання і хвилі з частотою від 15—20 кГц до 109 кГц. Ультразвукові хвилі володіють великою енергією і здатні поширюватися в твердих, рідких і газоподібних середовищах. Ультразвукова обробка може викликати коагуляцію білків, інактивацію ферментів, розпад високомолекулярних сполук, руйнування мікроорганізмів. Руйнування клітинних структур за допомогою ультразвуку застосовується для екстрагування внутрішньоклітинних сполук і для інактивації мікроорганізмів.

При певній інтенсивності звуку спостерігається явище кавітації. Кавітація — утворення в рідині пульсуючих бульбашок (каверн, порожнин), заповнених паром, газом або їх сумішшю. У ультразвукової хвилі під час напівперіодів розрідження виникають кавітаційні бульбашки, які різко закриваються після переходу в область підвищеного тиску. Процес нагадує кипіння, але при цьому не супроводжується відчутним нагріванням рідини. При цьому рідина, зокрема вода, на певний час набуває всі властивості, притаманні окропу з температурою поблизу точки кипіння. У рідині виникають такі фізико—хімічні явища, як акустична кавітація, інтенсивне перемішування, змінний рух частинок, інтенсифікація масообмінних процесів. Така вода є потужним розчинником солей, активно вступає в реакцію гідролізу біополімерів харчової сировини, інтенсивно екстрагує, тобто витягує з нього вітаміни та інші корисні речовини [11].

Також при цьому виникають ударні хвилі з великою амплітудою тиску, що є причиною руйнівної дії ультразвуку [12, 13]. Найбільш характерним

наслідком обробки харчової сировини ультразвуком є зміна її структури, що виявляється в диспергуванні в системі тверде тіло—рідина, рідина—рідина (одержання суспензій, емульсій, селективне руйнування клітин і мікроорганізмів в суспензіях), коагуляція.

Розглянуті методи обробки можуть значною мірою скоротити тривалість технологічних процесів, знизити енерговитрати і збільшити продуктивність. При цьому, щоб вплив був специфічним і цілеспрямованим, необхідно ретельно вивчати вплив виду обробки на складові компоненти речовини і на кінцеві властивості готового продукту.

Напруга, що застосовується для електричної обробки рослинної тканини різна по величині і формі. Залежно від величини напруженості електричного поля, що виробляється блоком живлення, при якому обробляється сировина, процес електроплазмолізу необхідно підрозділяти на високовольтний ($E > 1000$ В/см) і низьковольтний ($E < 1000$ В/см).

Ефективне значення напруженості поля в рослинній масі при контактній обробці сировини рівне:

$$E_{ef} = E/\epsilon,$$

— діелектрична проникність сировини.

Величина E_{ef} — градієнт потенціалу між електродами і на практиці його розділяють на три ступені:

низький градієнт (до 500 В/см); помірний градієнт

(500—1000 В/см); високий градієнт (більше 1000 В/см).

Електроплазмоліз сировини зв'язаний функціональною залежністю з відношенням основних фізичних величин, що характеризують процес:

$$A = \sigma_{сер} \cdot E^2 \cdot \tau_p$$

де A — питома робота, необхідна для електроплазмолізу, Дж/м³;

E — напруженість прикладеного електричного поля, В/м;

$\sigma_{сер}$ — середня електропровідність сировини, См/м;

τ_p — час обробки, с.

Аналіз схем підключення електродів до електричних мереж.

Відзначимо [7, 18] деякі варіанти можливих схем підключення систем електродів для контактної дії на сировину.

При з'єднанні електродів в трикутник між фазними електродами тече струм плазмолізу (I_p — струм навантаження), але, крім цього струму, через сировину від крайніх електродів до заземлюючого електроду нуля силового трансформатора протікатиме струм витоку I_e . Цей струм обумовлює втрати енергії.

Якщо електроди з'єднуються в зірку з чергуванням фазних і нульових електродів, підключених до заземлюючого нуля трансформатора, то така схема з погляду безпеки найбільш прийнятна, при цьому навантаження більш

симетричне. Проте час електроплазмолізу τ_p збільшується, в середньому в три рази і, отже, в стільки ж разів знижується продуктивність апарату.

У разі включення основних електродів в трикутник, коли додаткові, по краях, сполучені із заземленим нулем трансформатора, вони стають з позиції електричної безпеки екрануючими. Але тут через асиметрію фаз інтенсивність процесу на крайніх міжелектродних проміжках знижується значніше, ніж на інших (основних). Це можна усунути при зміні відстані між екрануючими

електродами і основними, зменшивши її на $\sqrt{3}$.

Зовнішній вигляд експериментальної установки наведено на рис.2. Вона складається з лабораторного автотрансформатора Т1, двох тиристорів VD1 і VD2 включених зустрічно паралельно, вимірювального шунта R1 з обмежувачими резисторами, осцилографа і робочих електродів. За рахунок керування тиристорами ми можемо в заданих межах регулювати тривалість обробки.

За допомогою вищевказаної установки необхідно зняти залежність струму від часу при обробці рослинної сировини. Дані цих досліджень представлені на рис. 3. Масштаб по горизонтальній осі 10 мс на поділку, а по вертикальній 0,01 А на одну поділку. Так ми бачимо, що внаслідок процесів які відбуваються в клітинах змінюється характер проходження електричного

струму через досліджуваний зразок. Таким чином можна розробити автоматичну систему моніторингу стану обробки рослинної маси.

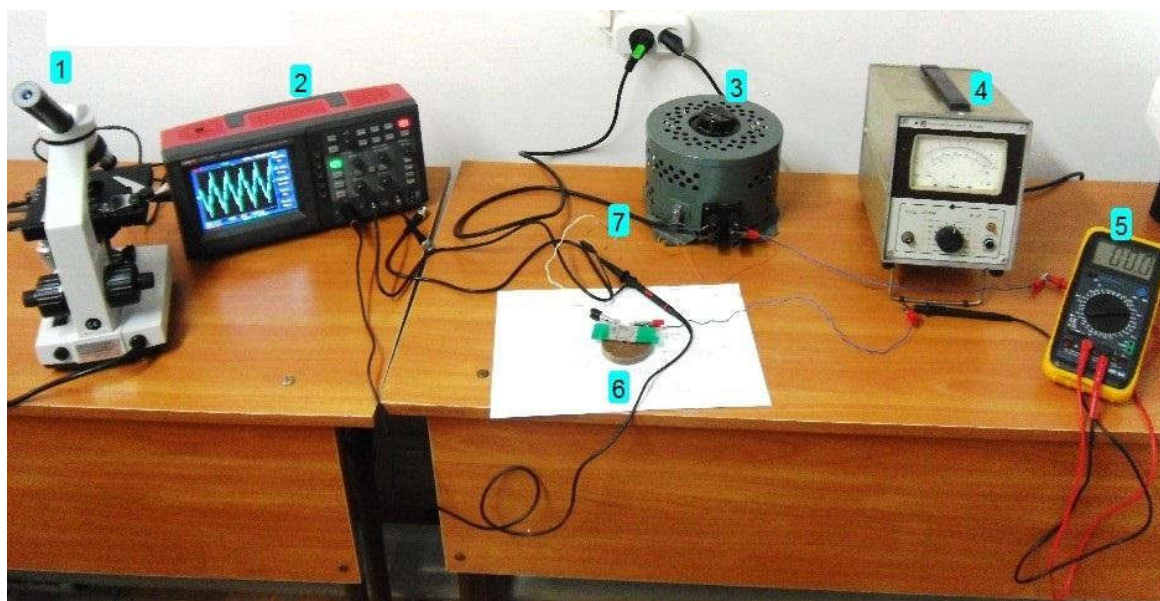
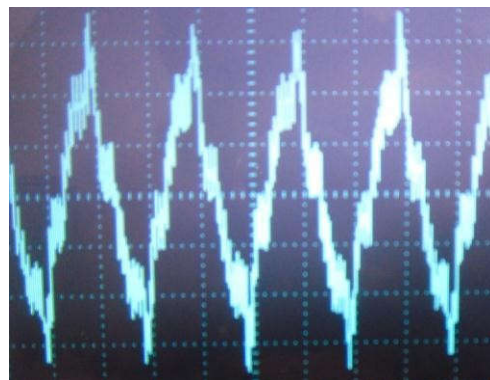


Рис. 2 — Зовнішній вигляд експериментальної установки для дослідження електроплазмолізу: 1 – біологічний мікроскоп MICROMED; 2 – цифровий осцилограф; 3 – лабораторний автотрансформатор; 4 – мілівольтметр; 5 – мультиметр цифровий МУ—64; 6 – дослідний зразок рослинної сировини; 7 – шунт для вимірювання струму.



а



б

Рис. 3 — Осцилограма струму: а – на початку процесу електроплазмолізу; б – в кінці обробки електричним струмом зразка клітин цибулі

Обробка результатів експерименту проводиться за допомогою біологічного мікроскопа і цифрової камери рис. 3. Ці дані свідчать про наявність явища електроплазмолізу при проходженні електричного струму через рослину сировину, так як спостерігається часткова деформація або повне руйнування оболонки клітин, що в свою чергу призводить до вивільнення вологи.

Порядок проведення досліду

- 1. Зібрати схему лабораторної установки відповідно до рис. 2*
- 2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача*
- 3. Подати живлення на експериментальну установку*
- 4. Виконати вимірювання та занести їх в протокол вимірювань*

В протоколі вимірювань необхідно вказати дані всіх вимірювальних приладів, параметри напруги живлення, струму та напруги електроплазмолізу, вид оброблюваного матеріалу.

5. Сповістити викладача про завершення виконання досліду, та після отримання дозволу відключити установку

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками
5. Осцилограма струму розряду та фото клітин оброблюваного матеріалу до та після обробки.
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Поясніть сутність явища електроплазмолізу
2. Поясніть, чому установки електроплазмолітичної обробки сільськогосподарських матеріалів не мають широкого впровадження в технологічні процеси виробництва соків?
3. Вкажіть основні електрофізичні методи обробки продукції для подальшого отримання соків.

4. Види електроплазмолізу.
5. Сфера застосування електроплазмолізу в сільському господарстві.

Лабораторна робота №3

Тема: Ознайомлення з будовою та принципом дії генератора Маркса

Мета: 1. Ознайомитися зі схемою генератора імпульсних напруг Маркса

2. Виконати розрахунок високовольтних вузлів електротехнологічного обладнання за допомогою програмного забезпечення FEMM 4.2.

Короткі теоретичні відомості

Аналіз сучасного стану високовольтної апаратури для створення електричних розрядів в суцільних середовищах для різних технологічних застосувань свідчить про те, що для отримання високих напруг (вище 100 кВ) переваги мають схеми на основі генератора Маркса, згідно з якою в процесі заряджання відносно низькою напругою конденсатори ємнісного накопичувача розрядно—імпульсної установки ввімкнені паралельно, що дозволяє для реалізації процесу накопичення енергії в ємнісному накопичувачі використовувати джерело заряджання з відносно низькою напругою (порядку 20...40 кВ). Після закінчення заряджання конденсатори перемикаються з паралельного з'єднання на послідовне. За рахунок цього дуже швидко зростає напруга на вихідних зажимах генератора, прямо пропорційно кількості ступенів переключення конденсаторів. Розглянемо електричну схему генератора імпульсних напруг, зображену на рис. 4.

Генератор імпульсних напруг підключається до джерела живлення *Uзар*. Імпульс напруги, що подається на вхід 5 запускає керований розрядник генератора імпульсної напруги (ГН). В результаті конденсатори першого і другого ступеню виявляються підімкненими послідовно. Це спричиняє подвоєння напруги на наступному некерованому комутаторі, який пробивається підвищеною напругою.

В результаті цього пробою вже три конденсатори відімкнені послідовно, що створює умови для комутації наступного розрядника. Таким чином,

відбувається швидке переключення паралельно включених конденсаторів в послідовне з'єднання.

Розділовий конденсатор 9 захищає генератор 5 від напруги на об'єкті 2. Дроселі 6 обмежують швидкість зростання струму в об'єкті 2 під час пробою в ньому і перешкоджають розряду генератора 5 через фільтри джерела або устаткування, що захищається.

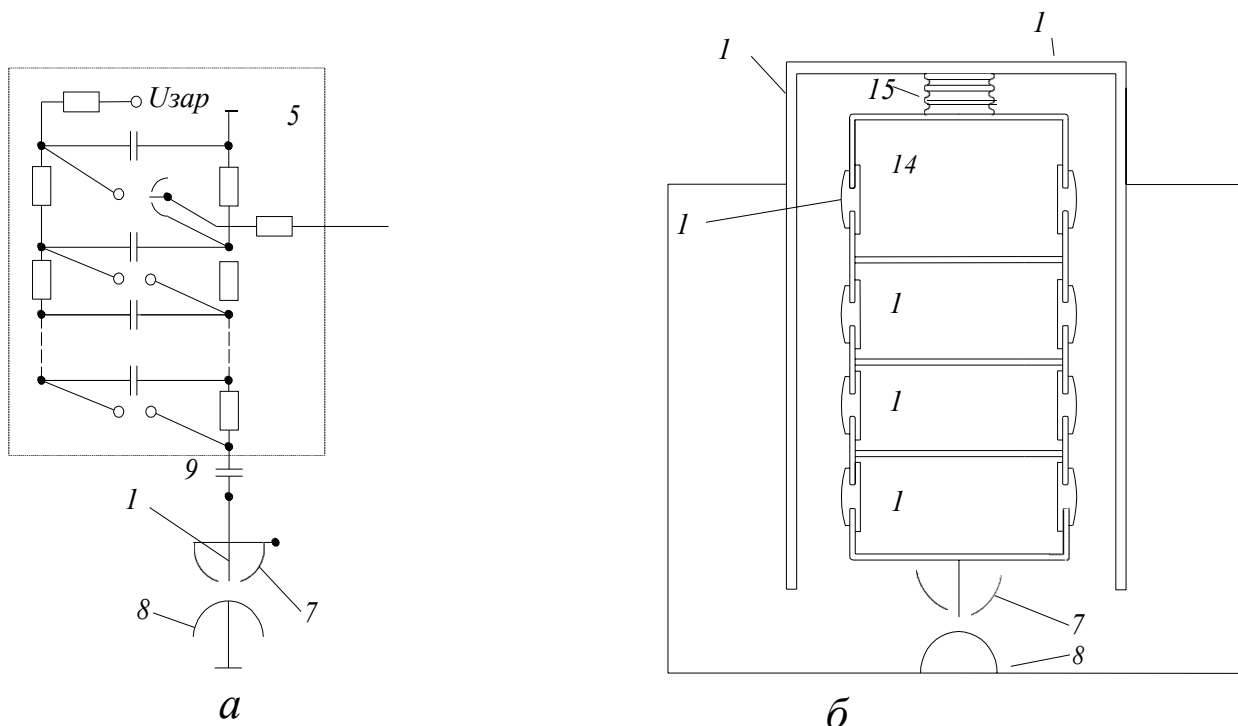


Рис. 4 — Генератор імпульсних напруг за схемою Ірвіна Маркса: а) принципова схема; б) конструкція; U_{zap} — джерело високої напруги;

йє5 — пусковий електрод; 9 — розділова ємність; 11 — електрод ініціювання розряду; 12 — ізолятори; 13 — корпус пристрою; 14 — секції; 15 — ізолятор міжкорпусом та секціями; 16 — кришка

Для усунення статистичного розкиду і зменшення часу формування пробою в захисному проміжку останній опромінюється розрядом в допоміжному зазорі між електродами 11 і 7. Напруга для пробою цього зазору виробляється у момент комутації генератора за рахунок заряджання ємності між електродами 7 і 8 через резистор 10.

Розрядники генератора двохелектродні, за винятком розрядника першого ступеня, який є керованим трьохелектродним розрядником тригатронного типу. Електроди розрядників виготовлені зі сталі, що не іржавіє. Розрядники

генератора працюють в повітрі атмосферного тиску. Максимальна амплітуда вихідної напруги становить 200 кВ. Вона залежить від напруги заряджання конденсаторів в кожному ступені, з'єднаних паралельно в цьому режимі, та від кількості ступенів генератора, що переключаються з паралельного з'єднання на послідовне. Значення необхідної вихідної напруги визначається розмірами розрядної камери та умовами реалізації незавершеного пробоем коронного розряду, які найбільш точно обчислюються на основі комп'ютерного моделювання, обгрунтованого натурним експериментом.

Порядок проведення досліду

- 1. Зібрати схему живлення лабораторної установки*
- 2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача*
- 3. Подати живлення на експериментальну установку*
- 4. Сповістити викладача про завершення виконання досліду, та після отримання дозволу відключити установку*
- 5. Зняти технічні дані конструктивних елементів лабораторної установки та занести їх в протокол вимірювань*

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками та результатами математичного моделювання розподілу характеристик електричного поля в об'ємі генератора імпульсних напруг (дані для моделювання студент отримує в ході виконання лабораторної роботи від викладача). Вказівки до роботи в програмному середовищі FEMM 4.2 видає викладач.
5. Табличне та графічне зображення результатів моделювання
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Призначення та види генераторів імпульсних напруг
2. Наведіть схему генератора Маркса та поясніть її принцип дії.
3. Назвіть переваги та недоліки схеми генератора Маркса

4. Поясніть необхідність математичного моделювання розподілу електричного потенціалу та напруженості поля в об'ємі високовольтного обладнання.

5. Основні можливості програмного забезпечення FEMM 4.2?

Лабораторна робота №4

Тема: Ознайомлення з будовою та принципом дії резонансного генератора імпульсних напруг

Мета: Вивчити принцип дії та методи розрахунку резонансних повітряних генераторів імпульсних напруг

Короткі теоретичні відомості

Найбільш прийнятним, для задоволення даного завдання, варіантом генератора імпульсних напруг є схема трансформатора Тесла який являє собою резонансний трансформатор без феромагнітного осердя. Принцип дії даного трансформатора полягає в створенні резонансу первинного і вторинного кіл трансформатора. Схема електрична принципова якого наведена на рис. 5.

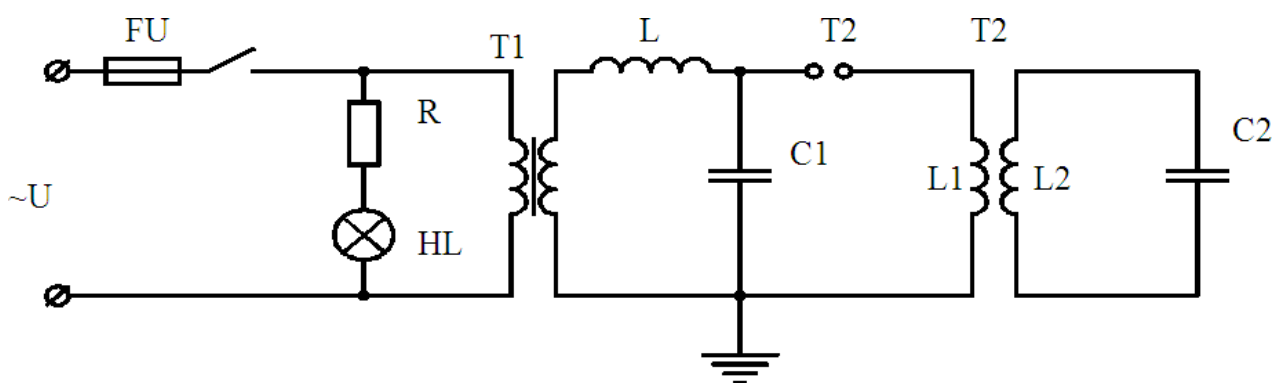


Рис. 5 — Резонансний повітряний трансформатор

Дана схема містить два коливальних контури взаємною індуктивністю. При замиканні комутатора обмотки L_1C_1 виникають вільні коливання, передаються в коло вторинної обмотки трансформатора. Для отримання максимальної ефективності передачі енергії з первинного кола в коло вторинної

L_1C_1 і L_2C_2 пов'язані K в колі первинної які через індуктивний зв'язок

Для отримання

обмотки необхідно щоб значення частоти коливань контурів

$$L_1 C_1 \text{ і } L_2 C_2$$

співпадали. Основним недоліком даної схеми є наявність газового комутатора який зменшує ресурс установки та створює складнощі при регулюванні вихідної напруги. Тому постає необхідність детального аналізу роботи схеми тарозробки установки з напівпровідниковими комутаторами.

Аналіз перехідних процесів в експериментальному генераторі імпульсних напруг

Спрощена схема повітряного резонансного трансформатора наведена на рис. 6. На первинну обмотку трансформатора з індуктивністю L_1 розряджається батарея конденсаторів ємнісного накопичувача енергії C_1 , а вторинна обмотка з індуктивністю L_2 підключається до терміналу з ємністю C_2 яка включає в себе розподілену ємність вторинної обмотки. Після замикання комутатора F в первинному коливальному контурі $L_1 C_1$ виникають вільні коливання які передаються в контур $L_2 C_2$. При відсутності навантаження енергії, накопичена в C_1 , передається в C_2 поки повністю не розсіється на опорах R_1 та R_2 , які в свою чергу представляють активний опір елементів генератора імпульсних напруг.

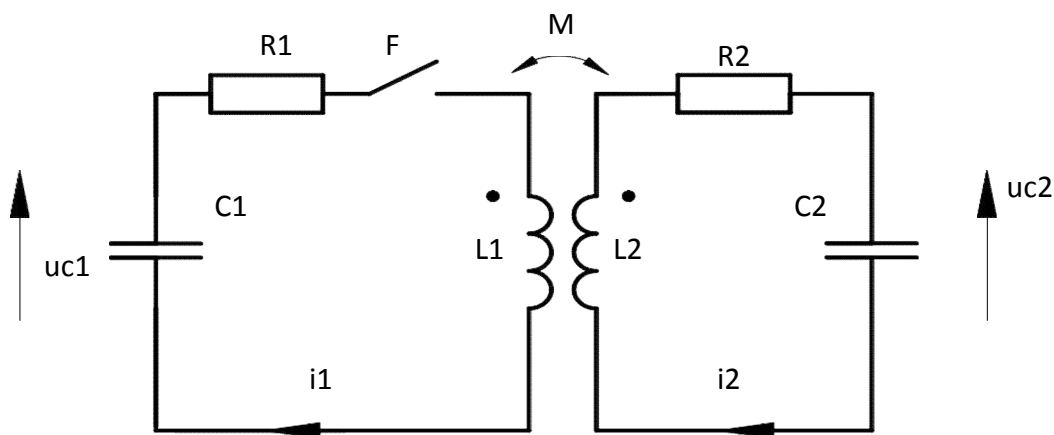


Рис. 6 — Спрощена схема повітряного резонансного трансформатора

Відомо, що необхідною умовою утворення вільних коливань власної частоти контурів повинні співпадати, тобто:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_1 \cdot C_1}} = f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \sqrt{L_2 \cdot C_2}} \quad (1)$$

Однією з найважливіших характеристик повітряних трансформаторів є значення взаємної індукції обмоток, яке безпосередньо впливає на значення коефіцієнта зв'язку між первинною та вторинною обмотками трансформатора. Так як первинна і вторинна обмотки резонансного повітряного трансформатора являють собою одношарові обмотки, скористаємось формулою для визначення взаємної індукції концентричних соленоїдів різної довжини:

$$M = \frac{\pi}{8} \mu_0 \cdot w \cdot W \cdot \frac{d^2}{B} \left[\frac{1}{8} \frac{D^2 \cdot b^2}{B^4} \cdot (\xi^2 + \xi \eta \cdot \beta^2 + \xi \eta \cdot \beta^4 + \xi \eta \cdot \beta^6) \right] \quad (2)$$

де β , b , B — коефіцієнти, що враховують геометричні розміри обмоток:

$$B = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 + A^2}, \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{2} \sqrt{d^2 + a^2}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{b}{B}, \quad (5)$$

ξ і η коефіцієнти з відповідними індексами знаходяться за таблицями [5].

Коефіцієнт зв'язку між обмотками визначається за формулою:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}, \quad (6)$$

де M — значення взаємної індукції обмоток, Гн;

L_1 — індуктивність первинної обмотки, Гн;

L_2 — індуктивність вторинної обмотки, Гн.

Для аналізу перехідного процесу в повітряному трансформаторі слід розв'язати систему диференціальних рівнянь (7)—(10) складену по законам

Кірхгофа:

$$\begin{cases} 0 = U_{C1} + R_1 \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - M \frac{di_2}{dt}; & (7) \\ 0 = U_{C2} + R_2 \cdot i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} - M \frac{di_1}{dt}; & (8) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_1 = C_1 \frac{dU_{C1}}{dt}; & (9) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_2 = C_2 \frac{dU_{C2}}{dt}. & (10) \end{cases}$$

де U_{C1} — амплітудне значення напруги на конденсаторі C_1 , В;

U_{C2} — амплітудне значення напруги на конденсаторі C_2 , В;

i_1, i_2 — значення струму в колі первинної та вторинної обмоток

трансформатора, А;

C_1 — ємність конденсатора первинного кола, Ф;

C_2 — ємність вторинного кола, Ф;

Для розв'язку даної системи за допомогою ЕОМ представимо системурівнянь (11)–(14) в формі Коши:

$$\begin{cases} \frac{di_1}{dt} = -\frac{R_1}{L_1(1-k^2)} \cdot i_1 - \frac{M \cdot R_2}{L_2 \cdot L_1(1-k^2)} \cdot i_2 - \frac{1}{L_1(1-k^2)} \cdot U_1 - \frac{M}{L_2 \cdot L_1(1-k^2)} \cdot U_2; & (11) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{di_2}{dt} = -\frac{M \cdot R_1}{L_2 \cdot L_1(1-k^2)} \cdot i_1 - \frac{R_2}{L_2(1-k^2)} \cdot i_2 - \frac{M}{L_2 \cdot L_1(1-k^2)} \cdot U_1 - \frac{1}{L_2(1-k^2)} \cdot U_2; & (12) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dU_{C1}}{dt} = \frac{1}{C_1} \cdot i_1; & (13) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dU_{C2}}{dt} = \frac{1}{C_2} \cdot i_2. & (14) \end{cases}$$

Розв'язуючи дану систему численным методом Рунге—Кутти отримуємо залежності напруги на конденсаторі C_2 від часу при різних значеннях коефіцієнта зв'язку.

Порядок проведення дослідів

1. Зібрати схему лабораторної установки
2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача
3. Подати живлення на експериментальну установку
4. Сповістити викладача про завершення виконання дослідів, та після отримання дозволу відключити установку
5. Зняти технічні дані конструктивних елементів лабораторної установки та занести їх в протокол вимірювань

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості

2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками перехідних процесів резонансного трансформатора (вихідні дані для розрахунку видаються під час виконання лабораторної роботи).
5. Табличне та графічне зображення результатів розрахунків

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Переваги використання трансформаторів без феромагнітного осердя.
2. Принцип дії резонансного трансформатора.
3. Основні вимоги техніки безпеки під час виконання даної лабораторної роботи?
4. Порівняйте конструкції генератора Маркса та резонансного трансформатора.
5. Наведіть систему диференціальних рівнянь для аналізу перехідних процесів в трансформаторі.
6. Від чого залежить значення взаємоіндукції обмоток даного трансформатора?
7. Яким чином впливає частота на габарити трансформатора?
8. Як визначити енергію, що виділяється під час проходження одного імпульсу високої напруги?

Лабораторна робота №5

Тема: Ознайомлення з будовою дільників напруг

Мета: Виконати порівняльний аналіз конструкцій дільників напруги та особливостей їхнього розрахунку

Короткі теоретичні відомості

1 Ємнісний дільник напруг

Слід зазначити, що останнім часом дедалі більше зростає інтерес до впровадження в сільськогосподарське виробництво різноманітних електротехнологічних установок призначених для покращення якості та

підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції. В такому обладнанні досить часто для виконання технологічного процесу застосовуються електророзрядні технології, тому постає проблема розробки компактного обладнання для контролю параметрів розрядного кола.

Одним з основних параметрів розрядного кола є параметри імпульсу високої напруги. При цьому слід зазначити, що номінальна напруга установки, для якої розробляється пристрій, 100 кВ. Тому при розрахунку дільника необхідно враховувати вплив предметів розташованих безпосередньо біля дільника напруг на точність вимірювань.

Конструктивно конструкція (рис. 7) являє собою ємнісний дільник. Високовольтне плече дільника утворене конденсатором C_1 який виготовлений з відрізка коаксіального кабеля та конденсатора C_2 виготовленого з двох пластин розділених діелектриком. Коефіцієнт ослаблення даного дільника залежить від ємності конденсаторів низького плеча та конфігурації високовольтного конденсатора.

Слід зазначити, що для правильності визначення коефіцієнту ослаблення необхідно в схемі заміщення враховувати паразитну ємність та індуктивність конденсаторів та ємність конструкції дільника відносно землі.

Для розрахунку реакції даного дільника на прямокутний імпульс можна використати схему заміщення наведену на рис. 8. Дана схема враховує такі параметри як: L' — індуктивність; R' — опір; C' — ємність конденсаторів; C'_p , C'_e — паразитні ємності.

Дільник складається із великого числа послідовно підключених конденсаторів C' , у яких враховано власні індуктивності L' та опір R' . Опір R' чисто ємнісного дільника малий: він обумовлений втратами в ізоляції та металі обмоток.

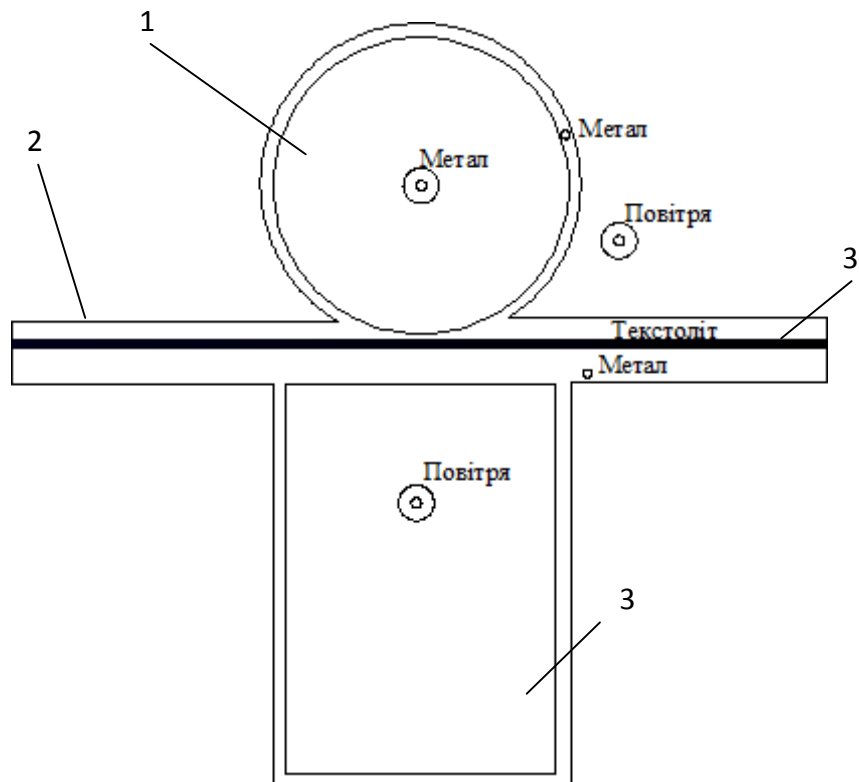


Рис. 7 – Ємнісний дільник: 1, 2 – високовольтне плече дільника напруг; 3 – екран для низьковольтного плеча дільника; 4 – текстолітова ізоляційна пластина

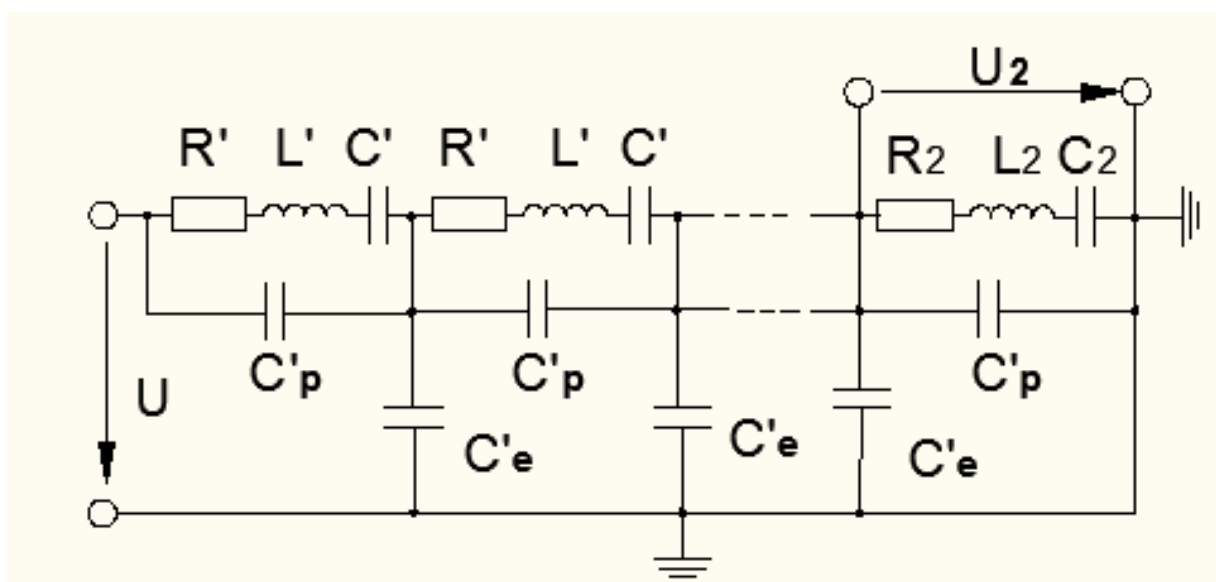


Рис. 8 – Схема заміщення ємнісного дільника

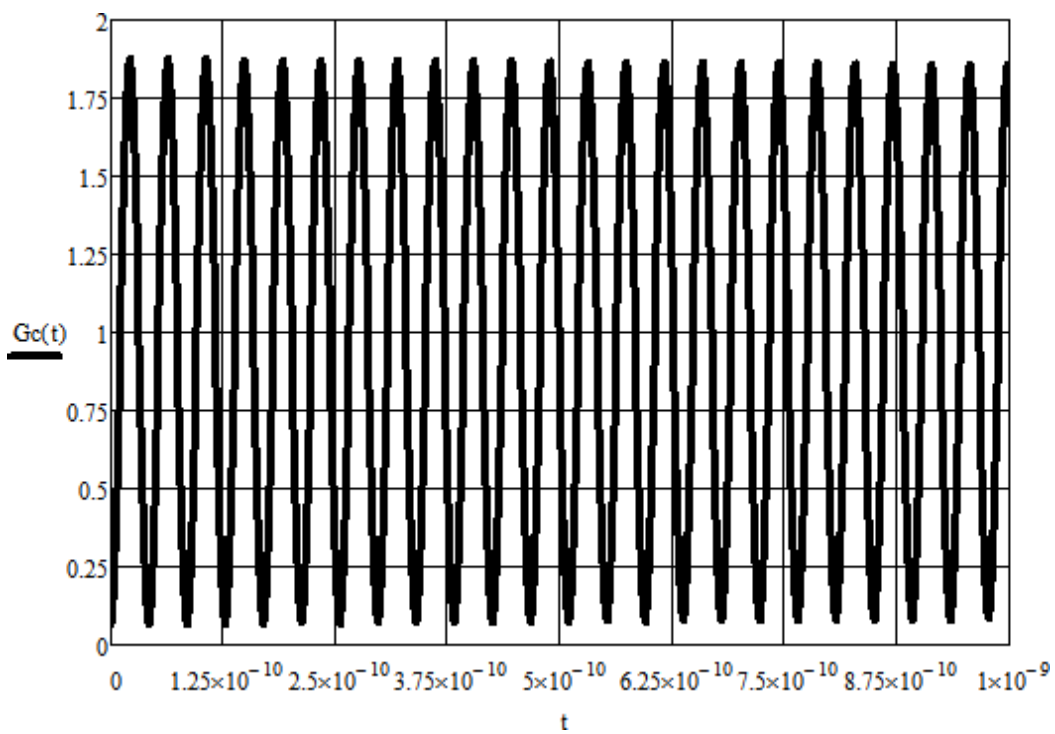
Провівши аналіз схеми, для визначення реакції дільника на прямокутний імпульс можна використати вираз (1) взятий з [3].

$$G_t = 1 - \frac{C_e}{6(C+C_p)} + 2e^{\alpha} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k \frac{ch(b_k t) + \frac{\alpha_k}{b_k} sh(b_k t)}{A \cdot B}, \quad (1)$$

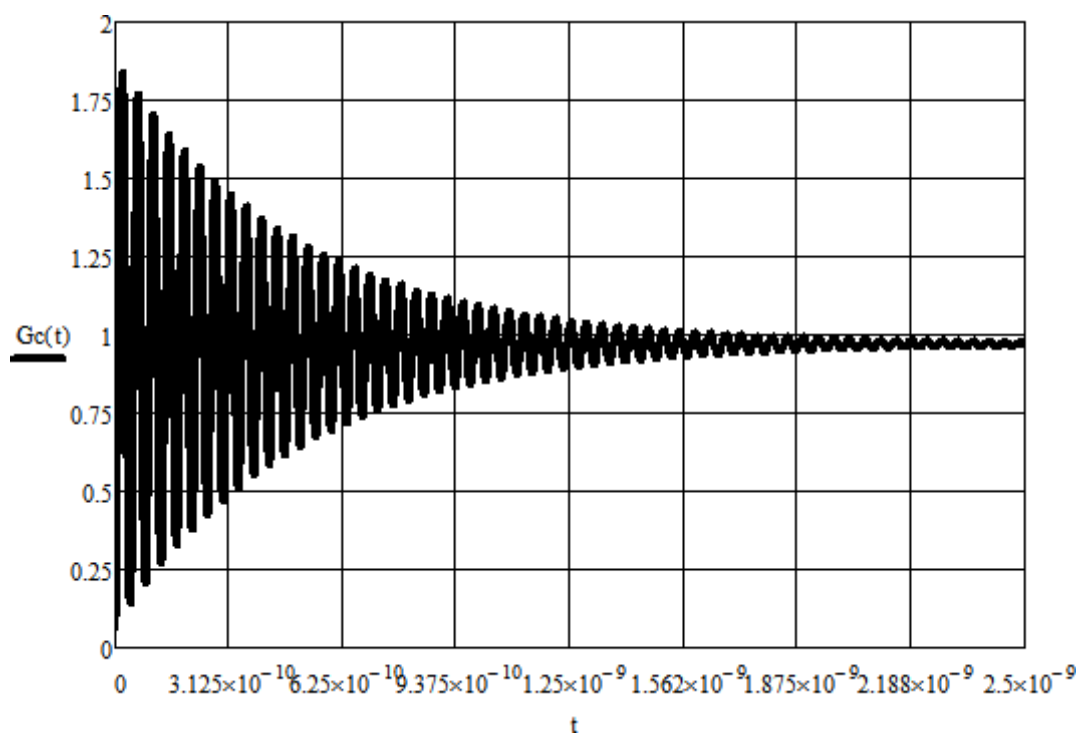
де $A = \left(1 + \frac{C_p}{C} + \frac{C_e}{C \cdot k^2 \cdot \pi^2} \right)$; $\alpha = \frac{R}{2 \cdot L}$; $B = \left(1 + \frac{C_p \cdot k^2 \cdot \pi^2}{C_e} \right)$; $b_k = \sqrt{\alpha^2 - \frac{k^2 \cdot \pi^2 \cdot A}{L \cdot C_e \cdot B}}$.

Розрахункову реакцію на прямокутний імпульс спроектованого дільника наведено на рис. 9. З даного розрахунку видно, що на реакцію дільника на прямокутний імпульс суттєво впливає значення демпферного резистора, так оптимальний результат можна досягти з номіналом резистора 2400 Ом, в результаті чого даний дільник має час реакції $1 \cdot 10^{-10}$ секунд. Це дає можливість використовувати дану конструкцію для реєстрації високочастотних імпульсних напруг.

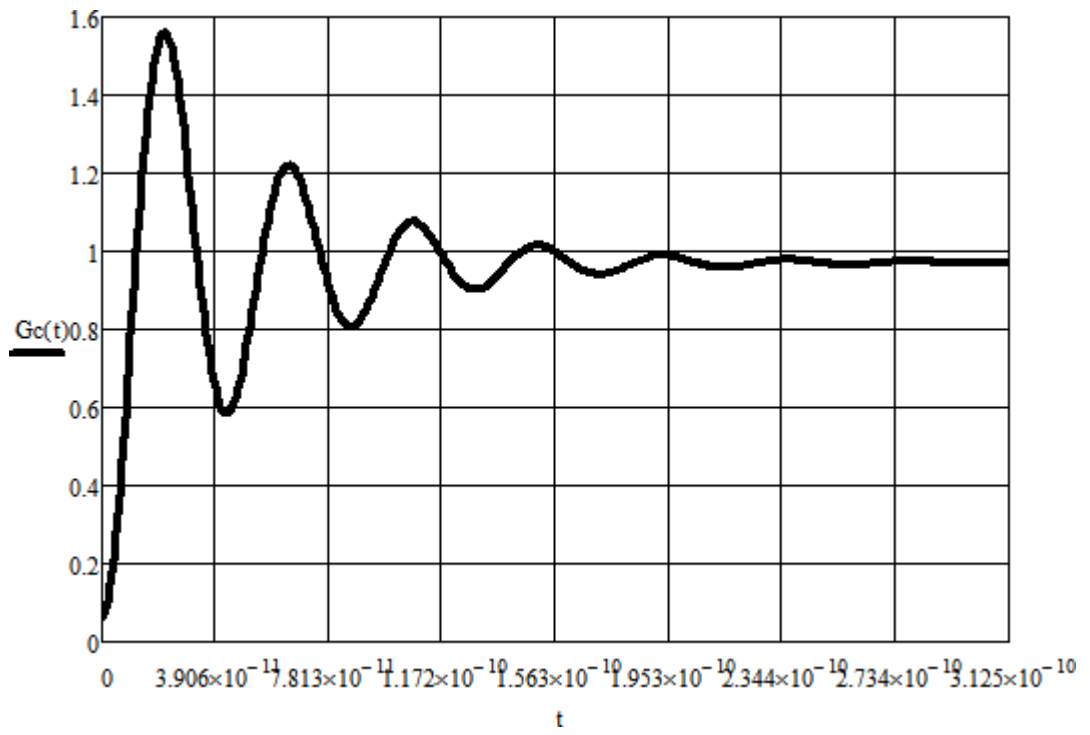
Для підключення дільника напруги слід враховувати його розміщення відносно деталей корпусу, проте завдяки тому, що корпус дільника виготовлений з металу та заземлений його можна встановлювати в безпосередній близькості до обладнання. Для підключення дільника в імпульсне вимірювальне коло запропоновано використати схему наведену на рис.10 [3].



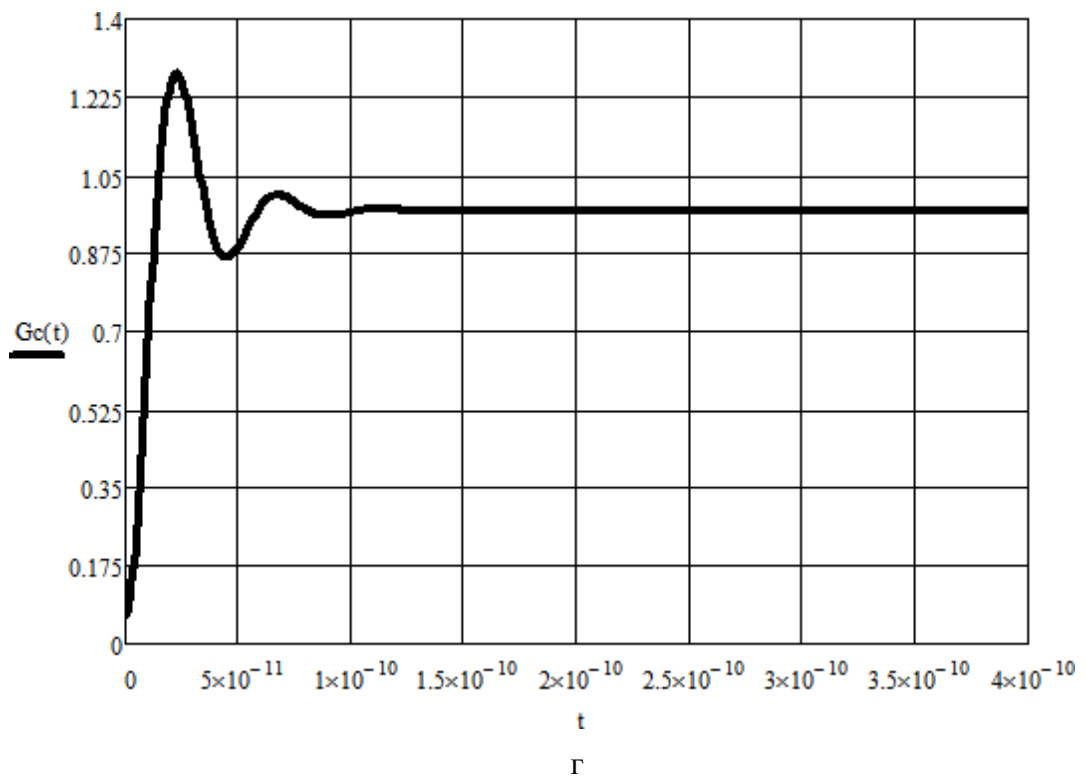
a



б



В



Г

Рис. 9 Розрахункова реакція на прямокутний імпульс спроектованого діляника напруг при значенні опору демпферного резистора R_2 : а – 1 Ом, б –

100 Ом, в – 1000 Ом, г – 2400 Ом

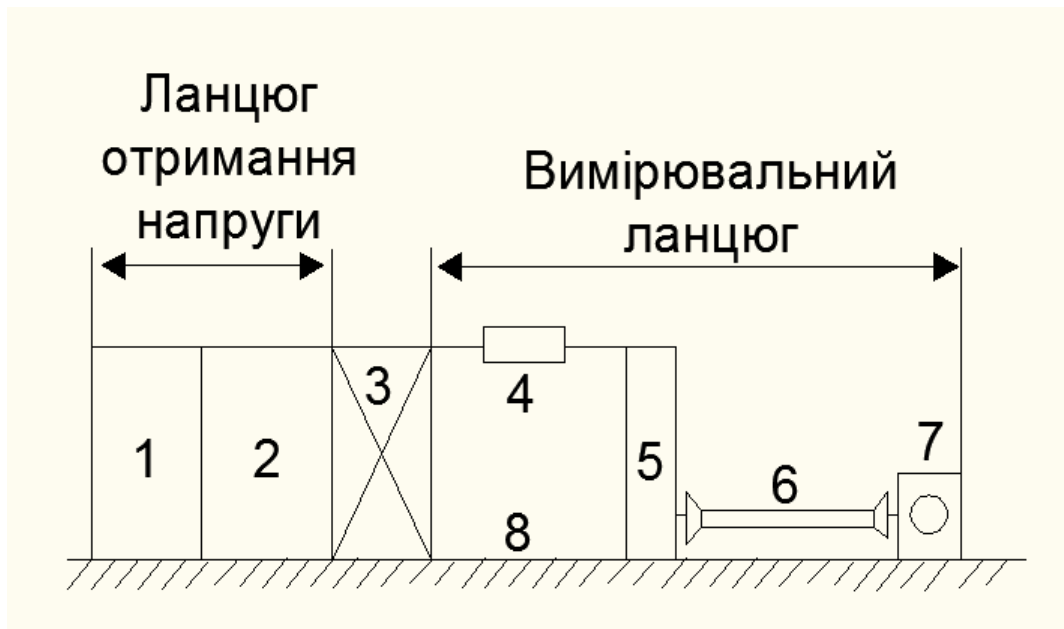


Рис. 10 Дільник напруги у вимірювальному колі

1 — генератор імпульсних напруг; 2 — з'єднувальний провід; 3 — об'єкт; 4 — з'єднувальний провід з демпфінним резистором; 5 — дільник напруги; 6 — вимірювальний коаксіальний кабель; 7 — вимірювальний прилад низької напруги; 8 — земля

Порядок проведення дослідів

1. Зібрати схему лабораторної установки
2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача
3. Подати живлення на експериментальну установку
4. Виконати вимірювання напруги на виході дільника та занести їх в протокол вимірювань
5. Сповістити викладача про завершення виконання дослідів, та після отримання дозволу відключити установку

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками реакції дільника напруг на прямокутний імпульс (вихідні дані для моделювання видаються під час виконання лабораторної роботи).

5. Табличне та графічне зображення результатів досліду
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Наведіть основні способи вимірювання високих напруг
2. Порівняйте переваги та недоліки відомих конструкцій дільників напруг.
3. Поясніть особливості вимірювання напруг амплітудою 100 кВ і вище.
4. Наведіть схему заміщення ємнісного дільника напруги
5. Від чого залежить реакція дільника на прямокутний імпульс?
6. Як визначається коефіцієнт ослаблення сигналу?

Лабораторна робота №6

Тема: Знезараження зернової продукції імпульсними коронними розрядами

Мета: *Ознайомитися з обладнанням для бактерицидної та інсектицидної обробки зернової продукції імпульсними коронними розрядами*

Короткі теоретичні відомості

Близько 85% збудників найбільш небезпечних хвороб злакових культур є грибовими мікроорганізмами, з них майже 80% є токсикогенами. Особливо швидко відбувається процес зараження зерна злакових культур токсинотворними грибами видів *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Trichoderma*, *Cladosporium* і ін.. Шкідливість таких патогенів обумовлена їх здатністю змінювати біохімічний склад зерна і забруднювати його мікотоксинами, створює серйозну проблему для підприємств харчової промисловості. Небезпечна також інгаляція спор грибів. Ситуація ускладнюється тим, що на сьогодні не існує біологічно прийнятних і економічно ефективних способів детоксикації зерна. За час зберігання (від 3 до 6 місяців) в несприятливих умовах поверхневе зараження зернатоксикогенними грибами може збільшитися в 35...40 разів, внутрішньосемінне

— в 3 ...4 рази. При цьому різко зростає зараженість комплексом *Fusarium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*.

Наслідком ураження збіжжя грибковими хворобами часто є зміна категорії товарного зерна з продовольчого на фуражне. Цим багато в чому визначаються також й фінансові втрати країни від експортного продажу зернової продукції [1].

Тому знезараження є однією з основних операцій післяжнивної й передпосівної обробки зерна. Існують різні способи знезараження зернової продукції: хімічні, термічні, електрофізичні. Відомі методики хімічного знезараження зерна ґрунтуються на проведенні газациї різними екологічно небезпечними хімічними сполуками (хлорпікрином, маталилхлоридом, фостоксином, вітаваксином та ін.). Для знищення шкідливих комах в зерні в даний час використовуються методи фізичної і хімічної дезинсекції на основі газоподібних отрутохімікатів та їх комбінацій. Для знищення фітопатогенних мікроорганізмів і їх токсинів використовуються методи детоксикації фунгіцидами. Таким чином, наприклад, в Україні щорічно піддаються обов'язковому хімічному знезараженню сотні тисяч тонн зерна, що експортується.

Істотними недоліками методів хімічної дезинсекції, дезинфекції і детоксикації є те, що вони небезпечні для персоналу, вимагають тривалого часу процес знезараження з вимушеною зупинкою підприємства. Чималі матеріальні витрати потрібні на виконання заходів щодо придбання, транспортування і зберігання дезінсектантів, інсектицидів і фунгіцидів. Після фумігації в зерні залишаються отруйні речовини, вірогідність попадання яких в їжу людини лишається високою, одночасно відбувається забруднення навколишнього середовища. Слід зазначити, що щорічно всі великі елеватори, хлібоприймальні пункти, млини, круп'яні і комбикормові заводи також піддаються знезараженню отруйними газами.

Для впровадження нових електрофізичних технологій спрямованих на підвищення ефективності виробництва та зменшення втрат при зберіганні

в – заражена токсинотворними грибами зернина після обробки імпульсним коронним розрядом
Результати даної роботи свідчать про ефективність обробки зараженого зерна імпульсним коронним розрядом.

Порядок проведення дослідів

1. Зібрати схему лабораторної установки рис. 12

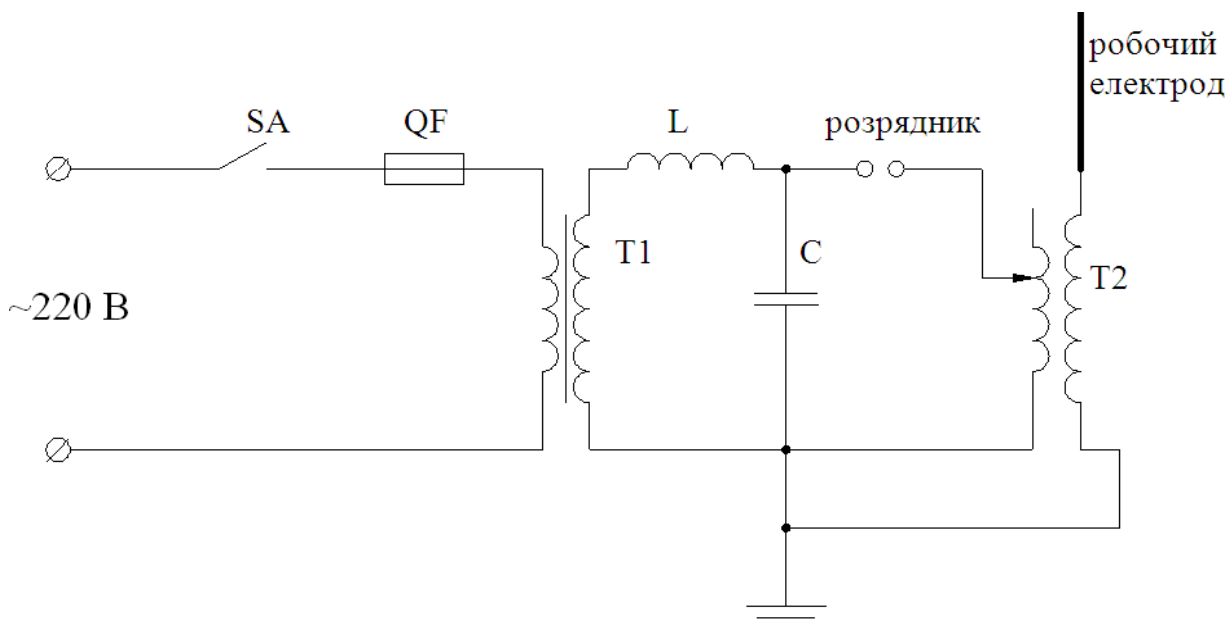


Рис. 12 – Схема електрична принципова лабораторної установки для незараження зернової продукції

2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача
3. Подати живлення на експериментальну установку
4. Сповістити викладача про завершення виконання дослідів, та після отримання дозволу відключити установку
5. Зняти технічні дані конструктивних елементів лабораторної установки та занести їх в протокол вимірювань
6. Зробити фот о зараженого зерна до та після обробки

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками

5. Зображення фото результатів досліду
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Назвіть методи знезараження зернової продукції
2. Поясніть, що означає бактерицидна та інсектицидна обробка?
3. Переваги застосування озону для знезараження?
4. Поясніть принцип дії схеми лабораторної установки
5. Поясніть механізм впливу озону на бактерії?

Лабораторна робота №7

Тема: Дослідження електротехнологічної установки для знезараження яєць

Мета: 1. *Ознайомитися з особливостями розрахунку камери озонатора*

2. *Навчитися розробляти обладнання для знезараження яєць сільськогосподарських птахів*

Короткі теоретичні відомості

Застосування озону в птахівництві

Озон відрізняється високим окислювальним потенціалом (поступається лише фтору і нестабільним радикалам), простотою, доступністю і можливістю отримання шляхом електросинтезу з повітря в необхідному місці і кількості. Але особливо важливим є те, що озон екологічно сумісний, і він один (крім кисню) бере участь у біологічних процесах навколишнього середовища. Він володіє багатьма властивостями: бактерицидним, фунгіцидним, віруліцидним, дезодоруючим, інсектицидним, демеркуризаційним, стимулюючими та ін. Це різноманіття властивостей, властивих озону, відкриває великі можливості його широкого застосування в сільському господарстві.

1. **Дезінфекція інкубаційних та харчових яєць озоном:** в результаті досягається високий ступінь знезараження шкаралупи від різних видів мікрофлори, в тому числі від сальмонел. Застосування інших засобів для знезараження яєць небезпечно для здоров'я: формалін канцерогенний, хлор дає побічні ефекти, багато миючих засобів містять ПАР і мають кумулятивну дію.

У цьому зв'язку для знезараження харчових яєць на сьогоднішній день найкращим засобом є обробка їх озоном.

2. Стимуляція ембріонального розвитку: обробка яєць озоном ($\sim 10\text{мг} / \text{м}^3$) підвищує вивід молодняку з подальшою високою життєздатністю. У процесі інкубації яєць в замкнутому просторі інкубатора виникає ймовірність кисневого голодування ембріонів, а відсутність природнього фону аеріонів знижує газообмін. Озон, як похідна кисню, будучи похідною аеріонів покращує повітряне середовище в інкубаторі і проникаючи крізь шкаралупу живить ембріони киснем.

Таким чином при обробці яєць озоном досягається 92—98% ефект дезінфекції, підвищується вивід, молодняку і його збереження на 0,8—2,0%. В даний час застосування озону для дезінфекції яєць впроваджується на птахофабриках із загальнорічним обсягом інкубації більше 300 млн. яєць.

3. Знезараження кормів. Мікрофлора взагалі та цвілеві грибки зокрема виробляють токсини

які створюють загрозу здоров'ю птиці. Обробка кормів озоном дозволяє значно знизити наявність в них мікрофлори і токсинів, підвищує біологічну цінність кормів.

4. Озонування м'яса птиці і виробів з неї значно підвищує їх збереження і знижує втрати в процесі переробки і зберігання, пов'язані з діяльністю мікрофлори.

Після озонування термін зберігання м'яса в охолодженому вигляді ($+ 4^\circ \text{C}$) збільшується в 4 рази. За 20—30 днів збереження м'ясо зберігає свою первісну свіжість і ніжність та не має запаху. Без обробки озоном воно набувало зеленуватий колір і затхлий гнильний запах вже через 5 днів зберігання.

5. Очищення стічних вод

Стічні води сільськогосподарського виробництва містять велику кількість шкідливих речовин і не можуть бути скинуті у водоймища. До числа найбільш шкідливих речовин, присутніх у стічних водах, відносяться неорганічні сульфіді, сірковмісні органічні сполуки мерканти, азотисті сполуки та ін., які

дуже токсичні і не можуть бути повністю знешкоджені звичайними методами при біологічному очищенню. В зв'язку з цим озонування стічних вод сільськогосподарських підприємств (свинокомплекси, птахофабрики, ферми та ін.) виявилось ефективним засобом для очищення з наступним скиданням у водойму.

6. Дезінфекція, дезодорація та очищення повітря тваринницьких приміщень

При утриманні тварин і птиці з високою концентрацією поголів'я на одиницю площі, повітря приміщень значно забруднюється неорганічним та органічним пилом, органічними сполуками аміаком, сірководнем, вуглекислим газом та іншими шкідливими речовинами. В даний час звичайним способом видалення шкідливих речовин з тваринницьких приміщень є примусова вентиляція, що тягне за собою великі витрати енергоносіїв.

Розроблено схеми з використанням озону в замкнутому циклі вентиляції пташника, з використанням промивних систем для видалення неорганічних і органічних сполук. При використанні такої схеми сірковмісні сполуки переходять в сульфатну форму азотисті в нітратну, пил осідає у відстійнику і використовується як добриво.

Сульфатні і азотисті сполуки і двоокис вуглецю в подальшому переводяться в карбонатні содово—лужні сполуки які використовуються якміючі засоби. В результаті застосування такої схеми по повітрообміну створює замкнутий безвідходний цикл. При випробуванні такої схеми повітрообміну в замкнутому циклі з використанням озону були отримані позитивні результати

При добавці $0,01 \text{ м}^3$ озонованого повітря на 1 м^3 очищеного повітря на першій ступені в очищеному повітрі вміст аміаку, сірководню і двоокису вуглецю було нижче ГДК, пил повністю віддалялася промивальному пристрої. Розрахунки, вироблені за цією схемою, показують, що за 1 годину в стандартному пташнику ($18 \times 96 \text{ м}$) осідає до 65 кг карбонатів, 18 кг нітрату амонію.

Спільна розчинність зазначених амонійних солей як показують розрахунки, дозволяє за рік отримати до 400 тис. м3 амонійних добрив у рідкому вигляді. Таким чином вищенаведені технології використання озону показую широкі можливості ефективного його застосування в сільськогосподарському виробництві.

Аналіз іонізаційних процесів в камері озонатора

Іонізаційні процеси можна підрозділити на неінтенсивні й інтенсивні.

Неінтенсивна іонізація характеризується нестійкістю процесу, вона то зникає, то з'являється знову. Інтенсивні іонізаційні процеси, які розвиваються при більш високій напрузі, є стійкими.

Напруга початкової (нестійкої) іонізації $U_{поч}$ — це найменша напруга, при якій у зерновій масі можуть існувати іонізаційні процеси слабкої інтенсивності (відповідає $E_{поч}$).

Напруга стабільної (стійкої) іонізації $U_{ст}$ — це найменша напруга, при якій у зерновій масі можуть розвиватися іонізаційні процеси значної інтенсивності (відповідає $E_{поч}$).

Напруга початкової іонізації $U_{поч}$ є важливим параметром, який необхідно знати при обробці зернового матеріалу в електричних полях високої напруги. Перевищення напруги над початковою буде визначати інтенсивність процесу іонізації.

В загальному вигляді напругу початкової іонізації можна представити виразом:

$$U_{поч} = f(H, W, \Phi_z, \delta), \quad (1)$$

де H — відстань між пластинами;

δ — відносна густина повітря

Формула Піка (1929 р.) встановлює емпіричну залежність для критичної напруженості поля запалення корони E_c , кВ/см, в повітрі навколо електроду радіусу R , см :

$$E_c = 30\delta \left[1 + \frac{0,3}{(\delta \cdot R)^{\frac{1}{2}}} \right] \quad (2)$$

де $\delta = N/N_0$; N, N_0 — щільність газу при існуючих і нормальних умовах відповідно. Для того, щоб запалилася корона, максимальна напруженість біля коронуючого електроду повинна перевищувати критичну напруженість E_c .

Відомо вираз для визначення початкової напруженості утворення корони навколо циліндричних або сферичних електродів радіусу R ($0,01\text{см} < R < 20\text{см}$), яке дещо відрізняється від формули Піка :

$$E_c = E_0 \cdot \delta \left\{ 1 + \left[\frac{\ln Q}{A} \cdot \frac{1}{E_0 \cdot \delta \cdot R} \right]^{\frac{1}{2}} \right\}^2 \quad (3)$$

де $E_0 = 24,72 \text{ кВ/см}$ — межа для позитивної іонізації; $N_0 = 2,5 \cdot 10^{19} \text{ см}^3$,
 Q, A — коефіцієнти, $A = 0,012 \text{ В}^{-1}$.

Після підстановки констант і деяких спрощень даний вираз має вигляд

$$E_c = 25\delta \left[1 + \left(\frac{0,03}{\delta \cdot R} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 = 25\delta \left[1 + \frac{0,35}{(\delta \cdot R)^{\frac{1}{2}}} + \frac{0,03}{\delta \cdot R} \right] \quad (4)$$

Причому $Q=10^4$ — кількість електронів в лавині, достатня для іонізації (відповідає щільності зарядів близько 10^{10} см^3), визначається із загального критерію пробую :

$$\exp\left(\int \alpha' \cdot dr\right) = Q, \quad (5)$$

де α' — різниця між коефіцієнтом іонізації α і коефіцієнтом прилипання

γ .

Домінуючими при утворенні корони є процеси непрямого утворення електронів, тобто розділення негативних метастабільних іонів, пряма електронна іонізація метастабільних станів, іонізація в результаті зіткнень між метастабільними, а також коливально обуреними молекулами. На думку авторів вказаної роботи, це підтверджує той факт, що початкові умови для виникнення позитивної і негативної корони практично однакові. Відзначається,

що випромінювання з довжиною хвилі 337 нм є характерним для розрядів в повітрі.

Таким чином із викладеного вище можна зробити висновки, що під дією електричних полів високої напруги між пластинчастими електродами, при відповідній нарузі починають відбуватися іонізаційні процеси. В результаті цих часткових розрядів, які проходять у повітряних включеннях, повітря підлягає впливу як хімічних продуктів іонізації (хімічно активний озон і окислювач).

Указані процеси є одними з визначальних параметрів у режимі обробки куриних яєць при запропонованому електрофізичному способі впливу.

Для визначення розподілу напруженості електричного поля у камері озонатора потрібно розв'язати проблему теорії електричного поля. Її можна сформулювати як знаходження функції потенціалу, що задовольняє еліптичному рівнянню в часткових похідних другого порядку (6). Для вирішення поставленого завдання застосовано чисельний метод верхньої релаксації [1]. Реалізоване на основі цього методу програмне забезпечення [2] успішно використовувалося для аналізу роботи різних вузлів високовольтного устаткування [2 — 3]. В декартовій системі координат

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\epsilon \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) = 0, \tag{6}$$

де σ — питома електропровідність середовища; $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$ — діелектрична проникність; x, y — декартові координати.

За відомим розподілом потенціалу вектор напруженості електричного поля

E та її модуль визначаються з використанням рівнянь (7), (8).

$$\underline{E} = -\text{grad}\varphi = - \left(i \frac{\partial \varphi}{\partial x} + j \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right), \tag{7}$$

$$|E| = \left[\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right]^{0.5} \tag{8}$$

Трикутниками на схемі (рис. 13) показано розбиття розрахункової області

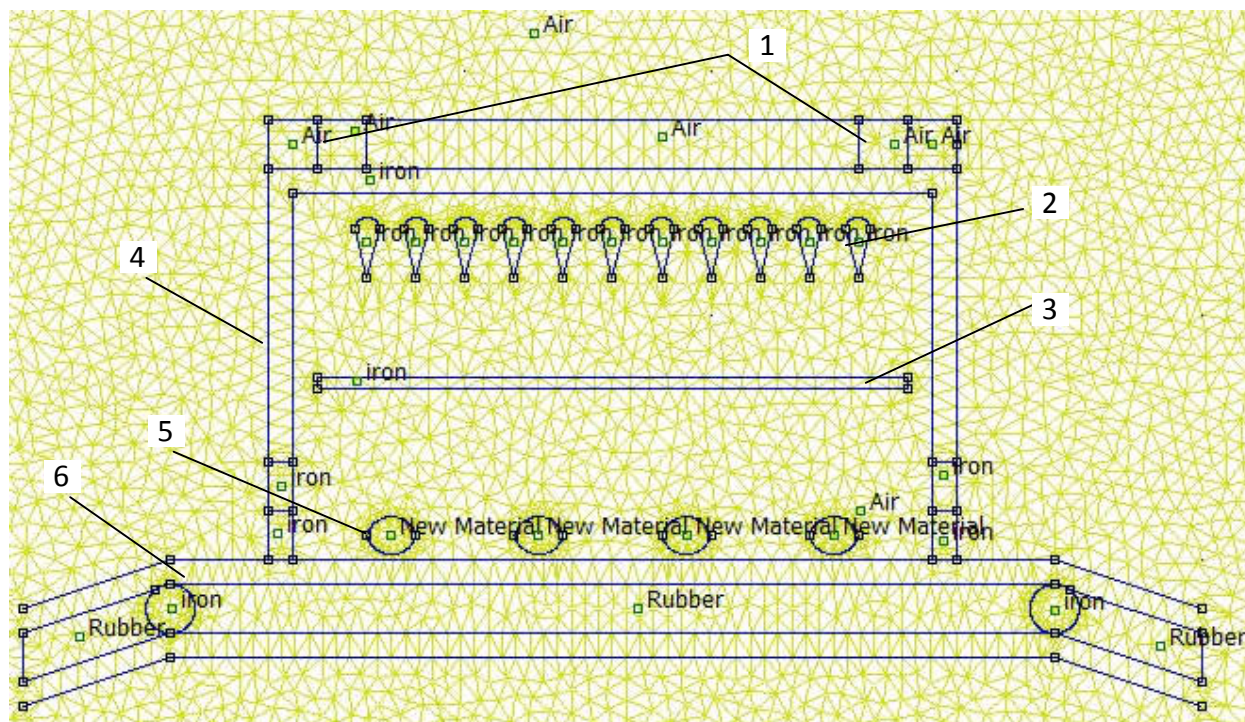


Рис. 13 – Спрощена розрахункова схема пристрою для озонування куриних яєць: 1— канали для доступу повітря; 2 – система коронуючих електродів; 3 – некородуючий електрод; 5 – курині яйця; 6 – транспортер

Порядок проведення дослідів

1. Зібрати схему лабораторної установки
2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача
3. Подати живлення на експериментальну установку
4. Сповістити викладача про завершення виконання дослідів, та після отримання дозволу відключити установку
5. Зняти технічні дані конструктивних елементів лабораторної установки та занести їх в протокол вимірювань

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань

4. Робочий листок з розрахунками параметрів електричного розряду (розрахунки проводяться відповідно до отриманих від викладача параметрів електродної системи)
5. Табличне та графічне зображення результатів досліду
6. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Переваги застосування озону в птахівництві
2. Поясніть конструктивні особливості лабораторної установки
3. Поясніть механізм утворення озону в плазмі коронного розряду
4. Особливості розробки камер озонаторів

Лабораторна робота №8

Тема: Дослідження установки для знезараження питної води

Мета: *Ознайомитися з принципом дії електротехнологічного обладнання для знезараження та очистки води*

Короткі теоретичні відомості

Електричний розряд є одним із способів генерації хімічно активних часток. Найчастіше електричний розряд використовується для отримання озону. Однак озон є селективним окислювачем, є багато сполук, які практично не взаємодіють з озоном. Тому генерування універсальних високо активних окислювачів, до числа яких відносяться гідроксильні радикали, представляє великий інтерес. Гідроксильні радикали з великою ймовірністю гинуть на місці утворення при взаємодії між собою. Наявність в числі активних часток гідроксильних радикалів принципово змінює хід окислювальних процесів в рідині, так як радикали ініціюють ланцюгові реакції. Підтримання ланцюгових процесів в обробленій рідині дозволяє, незважаючи на малий абсолютний вихід радикалів, отримати результати, недосяжні за допомогою озонування. У даній роботі розглянуті конструктивні особливості приладу, що реалізує принципи генерації активних часток, запропоновані в огляді [6] і патентах [4, 5, 9].

Холодна плазма спалахо—коронного електричного розряду, при негативній полярності високої напруги на розрядному електроді, утворюється в області високої напруженості електричного поля. Якщо вибрати робочу напругу, що забезпечує початок утворення лавин, і обмежувати струм в розрядному колі, то на електроді виникають імпульси Трічела [10]. Під час утворення лавини струм в ланцюзі починає зростати. Обмеження струму на баластному резисторі призводить до падіння високої напруги, яке зменшується нижче порогу утворення лавини. При цьому струм розряду падає і напруга знову підвищується. Утворюються імпульси струму амплітудою ~ 200 мА, з частотою ~ 100 кГц. Тривалість імпульсу близько 0,1 мкс. Напруженість електричного поля при виникненні імпульсів Трічела досягає 300 кВ/см [11]. Якщо розряд відбувається на повітрі в присутності парів води, то утворюються первинні активні частинки: озон, радикали OH^{\cdot} і H^{\cdot} .

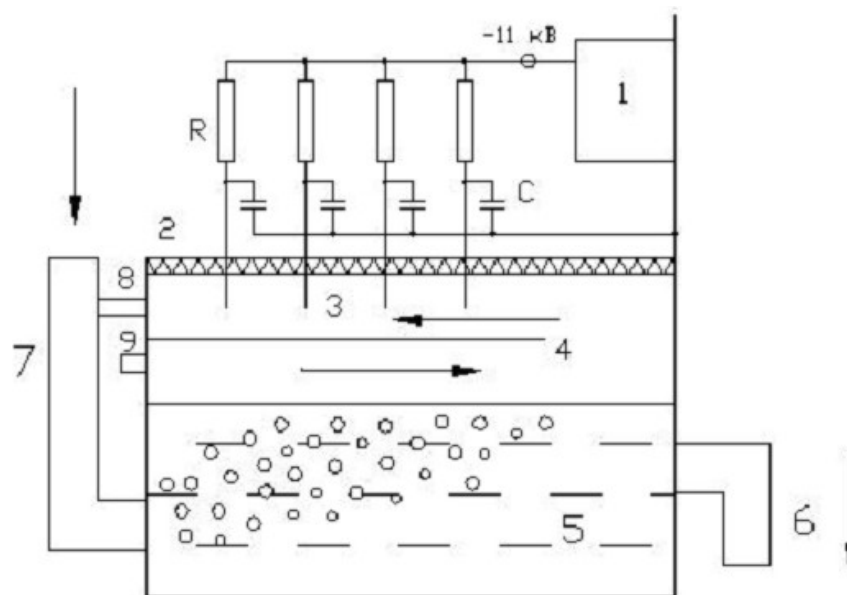


Рис. 14 – Ескіз генератора. 1 — джерело живлення; 2 — ізолятор;
 3 — розрядні електроди; 4 — заземлений електрод; 5 — оброблювана вода; 6 — злив обробленої
 води; 7 — ежектор; 8 — трубка виведення активних
 частинок; 9 — трубка подачі свіжого повітря або кисню

Ескіз генератора представлений на рис. 14. Прилад складається з корпусу, в якому знаходиться оброблювана вода 5, розрядні електроди 3 і заземлений електрод 4. Розрядні електроди закріплені у фторопластовому ізоляторі 2

товщиною 5 мм. На кожен розрядний електрод 3 через RC—ланцюжок подається висока напруга 11 кВ негативної полярності від джерела живлення 1. RC—ланцюг ($R = 20 \text{ МОм}$, 6 шт по 3,3 МОм типу С 2—33 м, 1 Вт; $C = 34 \text{ пФ}$, послідовно 2 шт 68 пФ типу С 5—15, 6,3 кВ) використовується для формування розряду необхідного типу. Джерело живлення являє собою генератор струму, що забезпечує в робочому режимі ($V = -11 \text{ кВ}$, $I = 4 \text{ мА}$) динамічний вихідний опір $0,5 \text{ МОм}$.

Спалаховий коронний електричний розряд виникає між розрядними електродами 3 і заземленим електродом 4. Струм розряду з кожного електрода $70 - 100 \text{ мкА}$. Величина розрядного проміжку 6 мм. Для того, щоб забезпечити концентрацію поля на кожному електроді, відстань між електродами повинна складати не менше 25 мм, а довжина кожного електрода не менше 25 мм. Діаметр розрядних електродів 2 мм. Матеріал електродів — дріт з нержавіючої сталі. Електроди спеціально не заточувалися, досить вістря, що виникає на краях при обрізанні дроту. Фотографія розряду, що утворюється між електродами 3 — 4 усередині камери генератора, приведена на рис. 15.

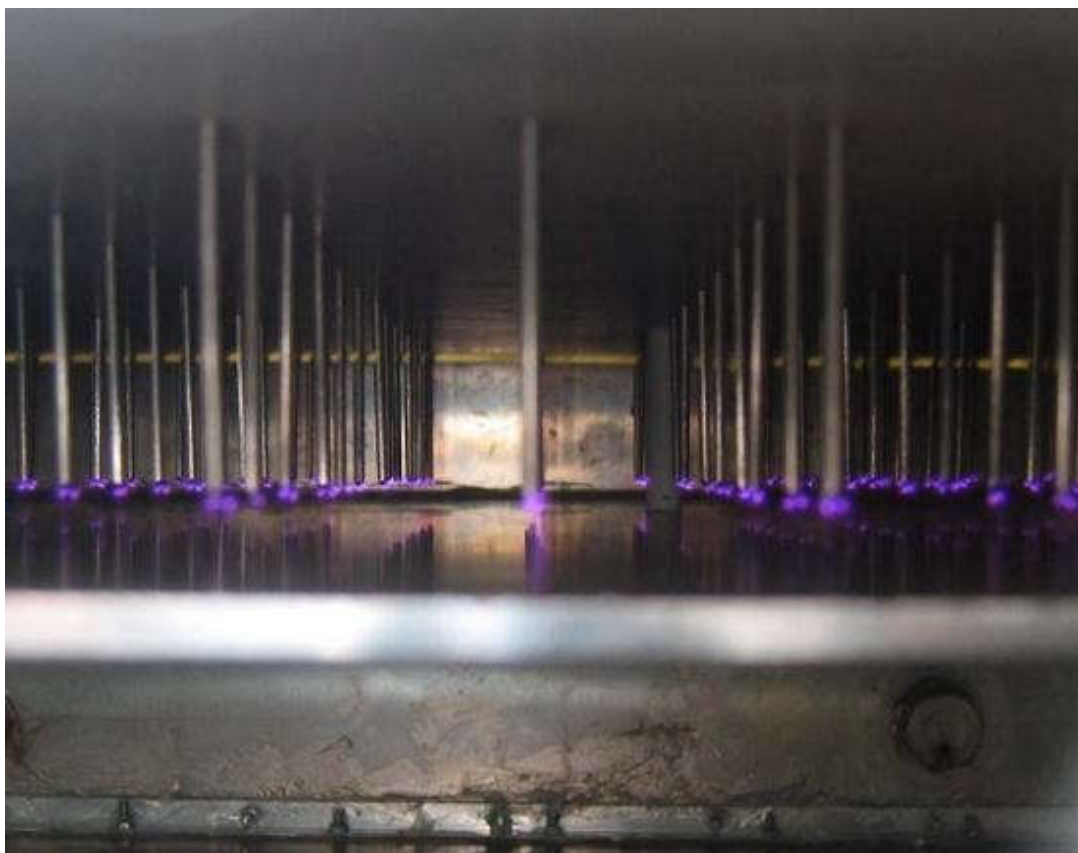


Рис. 15 – Вид розряду в камері генератора

Схема обробки питної води генератором холодної плазми.

Ескіз установки для додаткового очищення водопровідної води представлений на рис. 16. Установка складається з генератора холодної плазми і додаткового вугільного (коксового) фільтру, призначеного для нейтралізації активних часток після обробки парів води плазмою. Перед подачею в генератор вода проходить фільтр, властивості якого залежать від складу і якості води. Якщо вода сильно забруднена, і містить залізо (більше 0,5 мг/л), солі жорсткості значно більше ГДК та ін, необхідно використовувати техніку, орієнтовану на видалення саме цієї домішки. Для водопровідної води досить використовувати піщаний фільтр. При обробці водопровідної води подача кисню в камеру генератора не обов'язкова. Примусова подача кисню (повітря) бажана в разі сильного насичення води хлором, що відбувається зазвичай влітку в спеку. За всіх умов, подача кисню поліпшить якість води, дозволить підвищити концентрацію розчиненого кисню і зробить її особливо корисною.

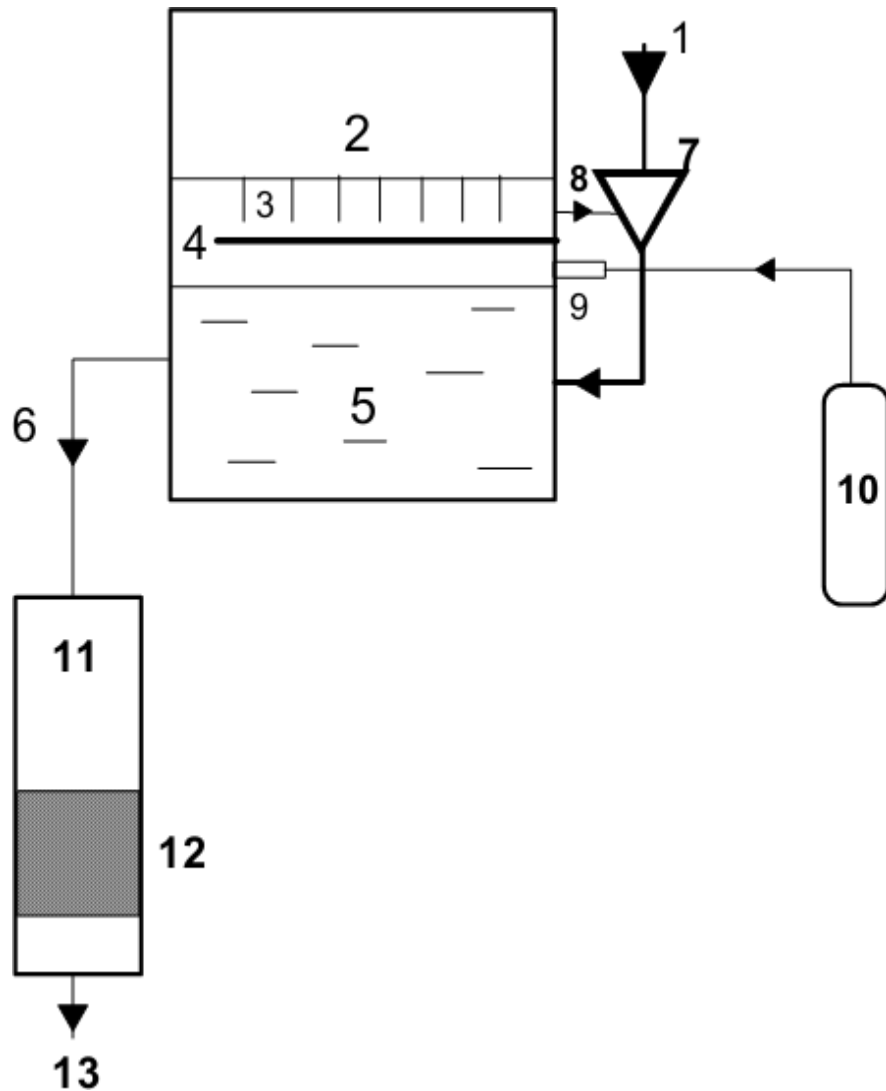


Рис. 16 – Ескіз ого електричного розряду: 1 — вхід оброблюваної води; 2 — резисторна матриця; 3 — розрустановки для обробки питної води

холодною плазмою спалахо—короннядні електроди; 4 — земляний електрод; 5 — резервуар з оброблюваною водою; 6 — вихідна труба; 7 — ежектор; 8 — всмоктувальна трубка; 8 — зворотній повітряний клапан, через який може подаватися кисень; 10 — кисневий балон; 11 — фільтр; 12 — кокс; 13 — вихід обробленої води

Оброблювана вода по трубі 1 подається на вхід ежектора 7. Якщо вода забруднена механічними домішками, то на вході потрібен додатковий фільтр з порами розміром 1 — 2 мкм. Якщо обробляється водопровідна вода, яка містить хлор, то для його видалення на вході потрібен піщаний фільтр, на виході якого хлор переходить з розчину в газову фазу. Холодна плазма

утворюється в зоні розряду в насиченому парами води повітрі або кисні між електродами 3 та 4 і відкачується з області розряду ежектором 7 через трубку 8. У ежекторі газ перемішується з водою у співвідношенні 1:1. Водо—газова суміш надходить в резервуар 5. Час знаходження води в резервуарі 5 близько 2 — 3 хвилин. Тут майже всі гази відокремлюються від води і через розрядну порожнину (зазор між електродами 3 і 4) знову всмоктуються в ежектор. Тому при великому вмісті розчинених у воді газів необхідна примусова подача в камеру повітря або чистого кисню. Його кількість також визначається витратою на окислення і винесенням з потоком води. При витраті води 0,5 м³/год подача кисню повинна бути близько 10 л/год. Надлишкова подача кисню неприпустима, оскільки вона призводить до видування активних частинок з генератора, що означатиме зниження ефективності приладу і появу запаху озону в приміщенні, де знаходиться прилад.

Невитрачений озон використовується повторно, його концентрація в газовій фазі після включення високої напруги зростає і досягає стаціонарної концентрації приблизно через 15 хвилин. По мірі використання кисню (і озону) на окислення домішок води і винесення з потоком води в розчиненому вигляді, тиск у камері генератора зменшується, і свіже повітря надходить через зворотний клапан 9. Клапан являє собою довгу трубку, через яку вільно проходить повітря, а у зворотний бік дифундує озон. Довжина трубки обрана досить великою, так що озон не може витікати з камери генератора з помітною ймовірністю, так як озон, що дифундує, захоплюється назад засмоктуючим повітрям. Повітря в приміщенні, з об'єму якого засмоктується повітря в генератор, має бути чистим, інакше буде відбуватися вторинне забруднення води. Відділення газів від води продовжується і в трубці, що з'єднує генератор і фільтр 6. В одну сторону (вниз) через трубу йде вода, у зворотний (вгору) — озоно—повітряна суміш. Тому труба повинна мати великий діаметр. Проходячи через шар вуглецю (коксу), вода звільнюється від найбільш реакційно—здатних часток (радикалів), які витрачаються у взаємодіях з вуглицем. Розчинений у воді озон і кисень окислюють вуглець, утворюються карбонат—іони CO₃²⁻. При взаємодії цих іонів з іонами металів, які можуть

бути у воді, утворюються нерозчинні з'єднання. У розчині залишаються тільки карбонати лужних металів. Тому оброблена вода часто має більш лужну реакцію, ніж вихідна. Відстоювання води від сполук, що випадають в осад можна здійснювати в проміжній ємності, де буде накопичуватися оброблена вода. Таким чином, вугілля витрачається, проте його запасу вистачить на весь термін служби приладу.

Порядок проведення досліду

- 1. Зібрати схему лабораторної установки*
- 2. Отримати дозвіл на включення схеми від викладача*
- 3. Подати живлення на експериментальну установку*
- 4. Сповістити викладача про завершення виконання досліду, та після отримання дозволу відключити установку*
- 5. Зняти технічні дані конструктивних елементів лабораторної установки та занести їх в протокол вимірювань*

Зміст звіту

1. Короткі теоретичні відомості
2. Схема лабораторної установки
3. Протокол вимірювань
4. Робочий листок з розрахунками
5. Висновки

Контрольні питання до захисту лабораторної роботи

1. Наведіть та поясніть схему генератора холодної плазми
2. Наведіть структурну схему процесу знезараження питної води
3. Вкажіть основні способи очистки питної води
4. Поясніть механізм утворення озону в електричному розряді
5. Від чого залежить продуктивність установки для знезараження води?

Література

1. Kundenko M., Rudenko A. Аналіз існуючих методів обробки зернового матеріалу від комірних шкідників. *Енергетика і автоматика*. 2021. Т. 6. С. 75–87.
2. Stability of self-consistent states of flow in a short-circuited diode in a mode with a through passage of particles / A. Rudenko etc. *IEEE fifth international conference on information and telecommunication technologies and radio electronics*, Kyiv, 2021 p. Kyiv, 2021. С. 275–278.
3. Електрофізичні методи обробки сільськогосподарської продукції : методичні рекомендації для виконання самостійної роботи здобувачами вищої освіти ступеня «бакалавр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» денної форми навчання / Д. О. Захаров, С. Є. Бясов. Миколаїв : МНАУ, 2017. 39 с.
4. Кунденко М. П., Руденко А. Ю. Аналіз сучасних методів обробки зернових за критерієм ефективності. *Вісник Приазовського державного технічного університету*. 2020, Вип.41. Технічні науки. С. 136- 144.
5. Кучугуров М. В. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Процеси механічної обробки та їх еволюція» для студентів всіх форм навчання спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія». Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 116 с.
6. Правила улаштування електроустановок. Київ : НПЦР ОЕС України, 2017. 617 с.
7. Червінський Л. С., Чміль А. І. Електротехнічні системи електроспоживання. Київ, 2018. 670 с.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ОБРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ
методичні рекомендації для здобувачів початкового рівня (короткий цикл) вищої освіти ОПП
«Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Укладачі: **Мардзявко Віталій Анатолійович**

Руденко Андрій Юрійович

Чурило Руслан Євгенійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 3,1.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.