

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота

на правах рукопису

**ТАРАСЮК ОЛЕКСАНДР ВАЛЕРІЙОВИЧ**

УДК 621.359.4

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Аналіз систем очищення повітря в тваринницькому приміщенні та розробка  
(тема роботи)  
енергоефективної системи на базі електрофільтра

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент кафедри електрифікації,

автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2020

## АНОТАЦІЯ

Тарасюк О.В. Аналіз систем очищення повітря в тваринницькому приміщенні та розробка енергоефективної системи на базі електрофільтра. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Робота присвячена проблемі підвищення ефективності комплексного очищення рециркуляційного повітря у тваринницькому приміщенні за рахунок використання електрофільтра.

У роботі проведений аналіз систем очищення повітря у тваринницьких приміщеннях, описано процес електричного очищення повітря та обґрунтовано функціональну схему стенда з очищення повітря і наведено показники ефективності вловлювання пилових і аерозольних частинок.

**Ключові слова:** ефективність, електрофільтр, повітря, тваринницьке приміщення, енергозбереження.

## ABSTRACT

Tarasyuk O.V. Analysis of food purification systems in the building of energy efficient systems on the basis of an electric filter. Qualification of the robot for the purpose of the educational stage of the master for specialization 141 - Electrical power engineering, electrical engineering and electrical engineering – Polissia National University, Zhitomir, 2020.

The robot has been assigned to the problem of increasing the efficiency of the complex cleaning of recirculating liquor in the Ukrainian household for the cleaning of the electric filter.

In the course of the analysis of the cleaning systems of the food in the households, the process of electrical cleaning of the food is described and the functional diagram of the stand for cleaning the food has been described and the indicators of the efficiency of the cleaning of the saw and aerosol parts have been introduced.

Key words: efficiency, electrofilter, povitrya, tvarinnytske primischennya, energy saving.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ	7
1.1. Основні вимоги до параметрів мікроклімату тваринницьких приміщень	7
1.2. Аналіз існуючих систем комплексного очищення рециркуляційного повітря	10
1.3. Аналіз процесу електричного очищення повітря	13
Висновки по розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРОМ	17
2.1. Розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів електрофільтра	17
2.2. Математична модель розрахунку забрудненого повітря	20
2.3. Ефективність очищення повітря електрофільтром	21
Висновки по розділу 2	23
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРОМ	24
3.1. Результати дослідження кородуючої системи електрофільтра	25
3.2. Результати дослідження ефективності очищення повітря від пилових і аерозольних частинок	26
3.3. Дослідження ефективності додаткового вловлювання пилових і аерозольних частинок	27
Висновки по розділу 3	28
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	30

## ВСТУП

Тваринництво – є однією із важливих галузей сільського господарства, що задовольняє потреби населення в продуктах харчування, а також забезпечує сировиною різні галузі промисловості.

У сучасному промисловому тваринництві однією із невирішених проблем залишається створення оптимальних умов утримання тварин. При високих концентраціях поголів'я на одиницю площі стан і склад повітря погіршується.

Мікроклімат тваринницьких приміщень визначаються комплексом фізичних факторів (вологість, температура, швидкість руху повітря, атмосферний тиск, сонячна радіація, освітленість тощо), газовим складом повітря (вуглекислий газ, сірководень, аміак, кисень та ін.), кількістю зважених частинок пилу, аерозолі, а наявністю мікроорганізмів, бактерій та вірусів.

Тому однією з найважливіших умов підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції є створення і підтримання заданого мікроклімату у тваринницькому приміщенні. Для забезпечення цих умов потрібні значні енергетичні витрати, які збільшують загальну енергоємність виробництва тваринницької продукції та валового внутрішнього продукту, який у порівнянні з показником країн Європи з аналогічними кліматичними умовами, більший у декілька разів [1]. Розроблення енергоефективних електротехнологічних засобів для забезпечення нормативного повітряного середовища у тваринницькому приміщенні є важливою актуальною задачею.

Не варто забувати про те, що тваринництво є і однією із енергоємною галуззю сільського господарства. Щорічно споживання енергії в тваринництві зростає: в структурі собівартості свинини і продукції птахівництва затрати на енергоресурси складають 10-15% і 7-9% при виробництві молока [2]. Внаслідок цього важливою задачею у розвитку тваринництва є застосування енергозберігаючих технологій. Значна частина енергії, близько 50% витрачається на підтримку нормованого мікроклімату [3]

Вентиляційне повітря, що надходить у тваринницьке приміщення в холодний період року необхідно підігрівати. В той же час, з приміщення крім шкідливих речовин з вентиляційним повітрям в атмосферу викидається значна кількість теплоти. Основні тепловтрати в тваринницькому приміщенні – це тепловтрати на повітрообмін, які складають біля 90% від загальних тепловтрат [4].

Таким чином в умовах інтенсивного розвитку промислового тваринництва важливою інженерною задачею є створення таких вентиляційно-опалювальних систем, які забезпечували необхідні умови утримання тварин у відповідності з комплексом наукових і практичних заходів, що знижуватимуть енергозатрати на створення мікроклімату.

Перспективним способом підвищення економічності вентиляційно-опалювальних систем є утилізація теплоти, що видаляється із приміщення з вентиляційним повітрям. Одним із методів утилізації теплоти тваринницького приміщення є рециркуляція повітря, але при цьому виникає накопичення пилу, мікроорганізмів і шкідливих газів у повітряному середовищі приміщення, а також вологи і вуглекислого газу. Тому, необхідно проводити високоефективне очищення і знезаражування рециркуляційного повітря від забруднень.

У дослідженнях проведених Андрєєвим Л.Н. [5], Астафьєвим Д.В. [6], Возмиловим А.Г.[7], Дельом М.В. [8], Івановим С.А. [9], Гічов Ю.О. [10]. Розглянуто і проаналізовано способи очищення рециркуляційного повітря тваринницьких ферм від пилу, мікроорганізмів і шкідливих газів. Одним із новим розробок в даному напрямку є мокрий однозонний електрофільтр [11], випробовування якого показали високу ефективність очищення рециркуляційного повітря від пилу і аерозольних частинок (95,4%), мікроорганізмів (77%), аміаку (83,8%), і сірководню (50,0 %) [12-14]. Ці результати були отримані при відносно низькій швидкості руху повітря, що проходило через електрофільтр, в діапазоні 0,5...2,5 м/с, що не дозволяло знизити споживання свіжого повітря, а як наслідок, зменшити затрати на опалення і вентиляцію тваринницького приміщення.

Відповідно до викладеного, у кваліфікаційній роботі сформульовано **мету дослідження**: підвищення ефективності комплексного очищення рециркуляційного повітря тваринницького приміщення за рахунок використання двохступінчатого електрофільтра при одночасному зниженні енергоспоживання приточно-витяжної вентиляційної системи.

**Об'єкт дослідження**: процес очищення рециркуляційного повітря тваринницького приміщення за допомогою електрофільтра.

**Предмет дослідження**: закономірності процесу очищення повітря від пилу і аерозольних частинок, мікроорганізмів і газів в мокрому електрофільтрі, в залежності від його конструктивних і технологічних параметрів.

**Методи дослідження**: теоретичні обґрунтування конструктивних і технологічних параметрів двохступінчатого електроду проводилось з використанням відомих положень теоретичних основ електротехніки, фізики електричного заряду в газах, теплотехніки, зоотехніки, теорії планування експерименту.

**Публікації**. За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві» та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020».

**Обсяг та структура роботи**. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 33 сторінках машинописного тексту, містить 3 таблиці, 12 рисунків, списку використаних джерел з 44 найменувань.

# РОЗДІЛ 1.

## ОГЛЯД СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ

### 1.1. Основні вимоги до параметрів мікроклімату тваринницьких приміщень

Більшу частину року тварини і птиці знаходяться у тваринницьких приміщеннях, тому для кращого їх фізіологічного комфорту необхідно створювати такі умови утримання, які би відповідно впливали на стан здоров'я тварин, їх продуктивність і якість продукції.

Санітарно-гігієнічні та зоотехнічні вимоги щодо утримання тварин і птиці заключаються в тому, щоб усі покази мікроклімату в приміщенні безсумнівно дотримувалися в межах відповідних норм при технологічному проектуванні. Відповідно, до параметрів мікроклімату відносяться: температура і відносна вологість повітря, швидкість його руху, хімічний склад, а також наявність у ньому пилу і мікроорганізмів [16-18].

Мікроклімат у тваринницькому приміщенні формується параметрами повітряного середовища — температурою, відносною вологістю, хімічним складом, механічною та бактеріологічною забрудненістю, швидкістю переміщення потоків повітря [19-22].

Таблиця 1.1. - Параметри мікроклімату тваринницьких приміщень

Приміщення	Оптимальна температура всередині приміщення, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Освітленість, лк
Корівник	8-10	80	0,5	50 - 70
Приміщення для молодняку ВРХ на відгодівлі	8-10	75	0,3	20 - 30
Свинарник-маточник	18-22	70	0,5	75
Свинарник-відгодівельник	16	75	0,3	50
Вівчарня	6-10	75	0,5	30
Пташник для курей-несучок за утримання	12-18	70	0,3	15
Напільного кліткового	16-18	70	0,3	20

Під час оцінювання хімічного складу повітря насамперед визначають вміст шкідливих газів: аміаку, сірководню, вуглекислого газу, наявність яких знижує опірність організму тварини захворюванням [19-22].

Таблиця 1.2. - Гранично-допустимі концентрації шкідливих газів у повітрі тваринницьких і птахівничих приміщень

Шкідливий газ	Приміщення	
	тваринницьке	птахівниче
Вуглекислий газ, л/м <sup>3</sup>	2,5	2,0
Аміак, мг/ м <sup>3</sup>	20	15
Сірководень, мг/ м <sup>3</sup>	10	5

Відхилення або недотримання параметрів мікроклімату, в приміщенні де утримуються тварини, від норм призводить до зниження надоїв на 10 – 20 %, зменшення приросту маси на 20 – 30 %, збільшення відходу молодняку до 5 – 40 %, зниження яйценосності курей на 30 – 35 %, до витрат додаткової кількості кормів, зниження опірності тварин різним захворюванням [23].

З витяжним повітрям в навколишнє середовище викидається велика кількість теплової енергії. Для видалення шкідливих газів, що утворюються у тваринницькому приміщенні, на вентиляцію витрачається близько 2 млрд. кВт\*год електроенергії в рік, на обігрів приміщення додатково витрачається ще 1,5 млрд. кВт\*год. [24]. Втрати дозволяється знизити, при використанні вентиляційних систем з теплообмінниками, але враховуючи їх недоліки (низький ККД, швидке погіршення експлуатаційних витрат у процесі використання), вони не знайшли в сільському господарстві широкого розповсюдження.

Внаслідок великих викидів у навколишнє середовище різних забруднень і теплової енергії сучасне промислове тваринництво отримало ряд проблем, без вирішення яких неможливий подальший розвиток даної галузі. Це, перш за все проблема очищення і знезараження повітря (рис. 1.1).



Вирішення якої дозволить здійснити:

- енерго- і ресурсозбереження;
- захист комплексів від проникнення і розповсюдження інфекційних захворювань;
- захист навколишнього середовища в зоні розміщення тваринницького комплексу.



Рис. 1.1. – Очищення і знезараження повітря у тваринницькому приміщенні

Одним із шляхів зниження витрат енергії на потреби теплопостачання сільськогосподарських виробничих приміщень є утилізація теплоти і вентиляційного повітря і його рециркуляція [25]. Використання теплообмінної системи дозволяє скоротити витрату теплоти, що надходить на підігрів приточного повітря, на 60% і більше, але наявність у повітря великої кількості пилу не дозволяє використовувати теплообмінні системи з максимально можливим ефектом. У процесі експлуатації теплообмінник забивається пилом, що призводить до зниженню його продуктивності [26].

Найбільш ефективним і перспективним способом зниження концентрації пилу, мікроорганізмів і шкідливих газів – це рециркуляція повітря всередині приміщення з одночасним його очищенням і знезараженням.

## **1.2. Аналіз існуючих систем комплексного очищення рециркуляційного повітря**

В умовах інтенсивного розвитку сучасного тваринництва на промисловій основі значну роль у створенні зони максимальної продуктивності тваринницьких приміщень грають технічні засоби забезпечення мікроклімату [27]. Основним призначенням останніх є підтримка в приміщеннях певних зоотехнічних і санітарно-ветеринарних умов утримання поголів'я шляхом асиміляції надлишків тепла й вологи, видалення шкідливих газів і пилу, нагрівання або охолодження приточного повітря. Створення нормативного мікроклімату у тваринницьких приміщеннях здійснюється, насамперед, за рахунок вентиляції [28]. При всьому різні систем вентиляції, які використовуються у тваринницькому приміщенні, за характером технологічних процесів та ін. можна класифікувати за такими характерними ознаками [29]:

1. За способом створення тиску для переміщення повітря: із природним і механічним поєднанням.
2. За призначенням: проточні й витяжні.
3. По зоні обслуговування: місцеві й загальнообмінні.
4. За конструктивним виконанням: каналні й безканалні.

У більшості типових проектів корівників і телятників 80-90-х років, передбачалася механічна вентиляція з підігрівом приточного повітря в холодний час [30]. Для реалізації традиційної технологічної схеми механічної системи вентиляції необхідні наступні елементи: приточний агрегат, приточний вентилятор, витяжний вентилятор, теплообмінник, повітропроводи, електродвигуни, регулятори швидкості, теплоутилізатори, система керування, датчики, органи керування, виконавчі механізми.

У таких системах, за необхідністю, повітря піддають різним видам обробки (очищенню, нагріванню, зволоженню тощо) [30]. Такі системи використовують близько 75% установлених енергетичних потужностей тваринницьких приміщень, крім цього недоліком механічної вентиляції є висока вартість устаткування, його монтажу й експлуатації [30]. Робота даного устаткування в хімічно несприятливому середовищі (підвищена вологість і загазованість) веде до швидкого виходу його з ладу.

На практиці в більшості "старих", вибудуваних за типовими проектами корівники, механічна вентиляція з багатьох причин не працює, і будівлі експлуатуються в режимі неорганізованої природної вентиляції.

В даний час ведеться реконструкція існуючих приміщень для утримання ВРХ. Практично всі вони мають природну систему вентиляції. Механічна система вентиляції як, правило, передбачається тільки в доїльних залах, опалення застосовується тільки в приміщеннях для утримання молодняку ВРХ. Це обумовлюється різким подорожчанням енергоносіїв. Змінилися й самі будівлі для утримання ВРХ, збільшився загальний обсяг за рахунок збільшення висоти будинків, застосовуються нові будівельні матеріали. Змінилася технологія утримання тварин, широко застосовується безприв'язне утримання [31].

Формування мікроклімату у тваринницькому приміщенні в основному досягається за рахунок приточно-витяжної системи вентиляції, яка є найбільш енергоємною та працює в режимі внутрішньої рециркуляції з безперервним очищенням повітря. Температура приточного повітря збільшується шляхом домішування до нього рециркуляційного повітря, що попередньо пройшло комплексне очищення від шкідливих газів та пилу [32, 33].

Для очищення рециркуляційного повітря можуть застосовуватись фільтри на основі різних фільтруючих компонентів і конструкцій. Основними параметрами фільтрів є: аеродинамічний опір (початковий та кінцевий), ефективність очищення, питоме повітряне навантаження, пилоємність [34].

За призначенням фільтри поділяють на [35]:

- фільтри загального призначення (грубе та тонке очищення);
- фільтри, що забезпечують спеціальні вимоги повітря у приміщенні;
- фільтри високої ефективності та фільтри надвисокої ефективності.

Найбільш доцільними засобами для очищення рециркуляційного повітря у тваринницькому приміщенні є вологі електрофільтри [36], в яких очищення повітря здійснюється під дією електричних сил [37]. Ефективність роботи електрофільтрів полягає в тому, що вони вловлюють частинки розміром менш 1 мкм [38]; діапазон робочих швидкостей знаходиться в межах 1,5...4 м/с [39]; початковий аеродинамічний опір електрофільтрів практично не змінюється протягом всього терміну служби, що є їх основною перевагою; вторинне винесення часток при роботі на номінальних швидкостях мінімальне; мале споживання електроенергії; не потребує заміни фільтруючих елементів, так як відбувається їх регенерація [36].

Аналіз закордонних джерел [40-42] показав, що в інших країнах електрофільтри використовуються у вугільній, металургійній промисловості і паливно-енергетичному комплексі для очищення газів, що викидаються в атмосферу. В сільському господарстві електрофільтри не використовуються, а проблема зниження енергозбереження вирішується іншим способом [43, 44].

Для звичайних фільтрів, що заповненні фільтруючим матеріалом, характерний ефект виділення волокон або частинок даним матеріалом, яке може бути винесена із фільтра повітряним потоком. Степінь втрати волокон залежить від цільності структури фільтруючого матеріалу, пилових навантажень і швидкості повітря, що діють на фільтр протягом терміну служби. Також при збільшенні кількості пилу, вловленим фільтром, ефект вторинного виносу частинок буде проявляється в більшій мірі, так як при звуженні прохідних отворів всередині фільтруючого матеріалу швидкість повітря буде збільшуватись і відбувається винесення вже вловлених частинок.

В електрофільтрі уловлювальні частинки в результаті дії на них іонів заряджаються і під дією сил електричного поля рухаються до осаджуючих електродів та осідають на них. Видалення осаджених частинок з осаджуючого

електрода здійснюється шляхом змивання їх з поверхні електрода рідиною, з коронуючих електродів – при проведенні періодичного обслуговування електрофільтра.

Таким чином, найбільш прийнятними засобами для очищення рециркуляційного повітря у тваринницькому приміщенні є вологі електрофільтри [36].

### 1.3. Аналіз процесу електричного очищення повітря

При надходженні в електрофільтр забрудненого повітря, частинки набувають практично максимального заряду за доли секунди. Оскільки такі частинки в межах електрофільтра знаходяться протягом декількох секунд, тоді можна вважати, що її заряд не залежить від часу і визначається величиною частинки і напруги електричного поля.

На заряджену частинку в електрофільтрі діють сили:

- сила земного тяжіння ( $F_m$ );
- сила обумовлена дією електричного поля на заряджену частину (сила кулона) ( $F_k$ );
- сила обумовлена нерівномірністю розподілом напруги електричного поля ( $F_e$ );
- сила опору середовища руху частинки ( $F_{on}$ ).

Результуюча сила, що діє на заряджену частинку, визначається як векторна сума вектори всіх перерахованих сил:

Сили, що діють на заряджену частинку в електрофільтрі, схематично наведені на рис. 1.2.

$$\bar{F} = \bar{F}_m + \bar{F}_k + \bar{F}_e + \bar{F}_{on}. \quad (1.1)$$

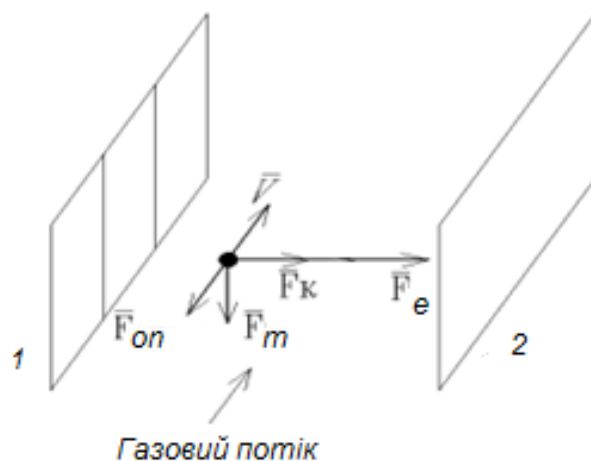


Рис. 1.2 Сили, що діють на заряджену частинку в електрофільтрі: 1 – коронуючий електрод; 2 – осаджуючий електрод

Коронний розряд представляє собою специфічну форму електричного розряду, що виникає в різко неоднорідному електричному полі поблизу електродів з великою кривизною поверхні. В даних зонах відбувається іонізація і збудження частинок газу при їх зіткненні з електронами. Сила струму коронного розряду залежить від прикладеної до електродів напруги, відстанню між електродами, їх формою, густиною і складом газу.

За формою прикладної напруги розрізняють корону на постійному струмі та змінному струмі. При постійній нарузі розрізняють два види коронного розряду: біполярний і уніполярний. При біполярному коронному розряді проходить біля електродів обох знаків і у зовнішній зоні рухаються один до одного позитивні та негативні іони. При уніполярному коронному розряді відбувається біля електроду тільки одного знаку і у зовнішню зону рухаються іони цього ж знаку. Для електроочищення повітряного середовища найбільшого значення має уніполярний коронний розряд.

Процес електричного очищення повітря в електрофільтрі полягає в наступному: забруднене повітря проходить через систему із заземлених осаджувальних електродів і розміщених на деякій відстані коронуючих електродів, до яких підводиться випрямний струм високої напруги (рис. 1.3)

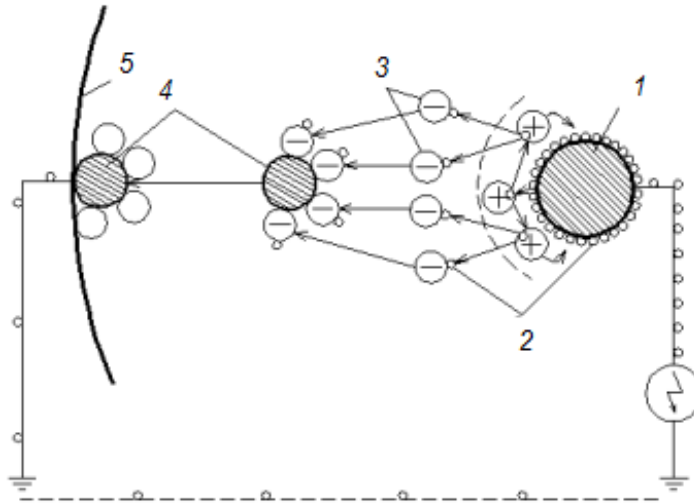


Рис. 1.3. Механізм заряджування і осадження частинок в електрофільтрі:  
 1- коронуючий електрод; 2 – електрони; 3 – іони; 4 – частинки пилу; 5 – осаджувальний електрод

Структура зони іонізації залежить від полярності, типу та величини прикладеної наруги, тиску і складу газів, розмірів та форми коронуючого електроду.

### Висновки по розділу 1

На основі проведеного аналізу існуючих джерел, проблема очищення і знезараження рециркуляційного повітря у тваринницькому приміщенні є актуальною і стосується вирішенням наступних задач:

- ресурсо- і енергозбереження;
- захист тварин від проникнення і знезараження інфекційних хвороб повітряних шляхом;
- захист навколишнього середовища в зоні розміщення тваринницької ферми.

Для отримання максимально можливого ефекту від впровадження системи електрофільтрації рециркуляційного повітря необхідно розробити заходи з підвищення ефективності системи електрофільтрації з очищення

рециркуляційного повітря від забруднень, які б найбільш відповідали зоотехнічним нормам і технологічним вимогам, а також були надійними в експлуатації та мали низьку вартість.

На основі проведеного аналізу були сформульовані наступні задачі:

1. Провести теоретичний аналіз процесу очищення рециркуляційного повітря електрофільтром.
2. Розробити методику розрахунку основних конструктивних і технологічних параметрів електрофільтра.



## РОЗДІЛ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРИЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРОМ

#### **2.1. Розрахунок основних конструктивних і технологічних параметрів електрофільтра**

При проектуванні систем електрофільтрації повітря тваринницького приміщення потрібно вирішити дві задачі. Перша полягає в тому, що при наявності конкретної установки з електрофільтрації повітря і вихідних параметрів забрудненого навколишнього середовища необхідно визначити ефективність даної установки з очищення повітря.

Друга задача полягає в тому, що необхідно розрахувати основні геометричні і конструктивні параметри електрофільтра, який очищав повітряне середовище з відповідною енергоефективністю.

Енергоефективність комплексного очищення може бути підвищена за допомогою електрофільтра, що складається із корпусу 1, осажувального електроду; 3 – коронуєчих електродів; валу 4 на якому розміщені осажувальні електроди, ізоляційна плита 5 та зливний бак 6

Вибір форми осажувального електроду електрофільтра ґрунтувався на можливості обертання їх навколо своєї вісі та безперервній регенерації в поїцесі робот. Осажувальний електрод виготовлявся у вигляді диску (рис. 2.2), в якому осадження аерозолей здійснювалось у верхній частині, який при обертанні занурювався у рідину.

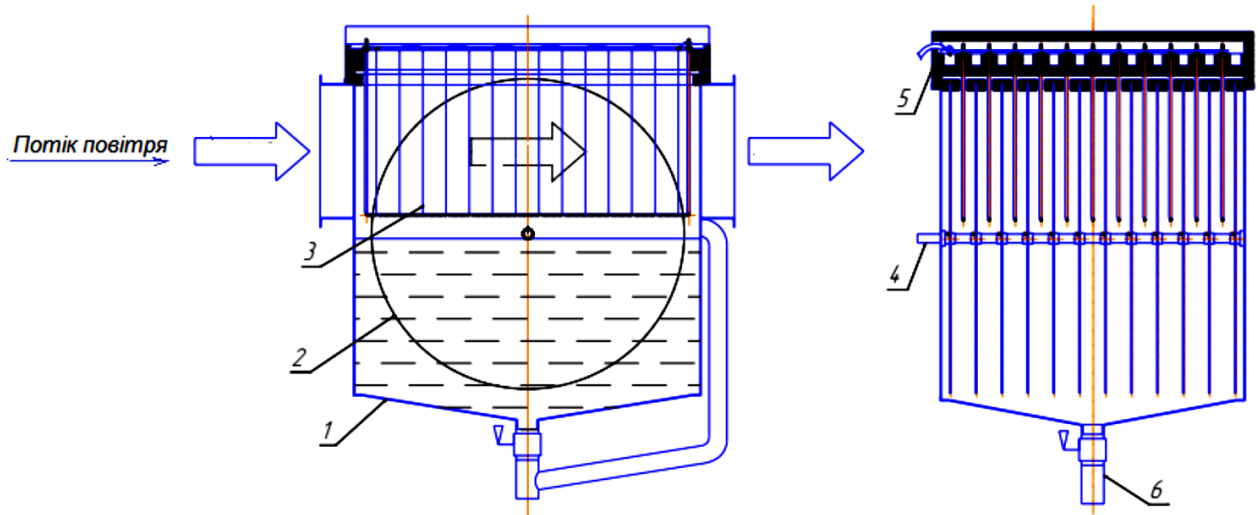


Рис. 2.1. Конструкція електрофільтра

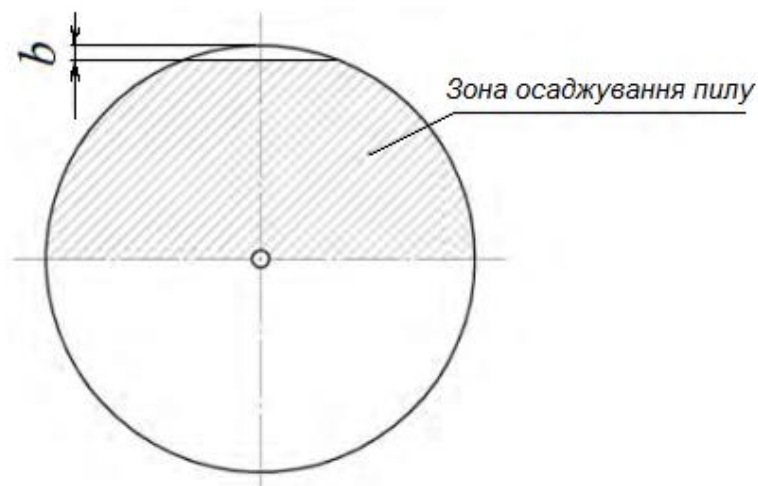


Рис. 2.2. Осажувальний електрод

За конструктивним особливостям верхня частина диску розміщена в направляючій, яка забезпечує постійну міжелектродну відстань при обертанні осажувальних електродів. Величина  $b$  заглиблення в направляючій приймається в межах  $0,005 \dots 0,01$  від радіусу осажувальних електродів.

Зона осажування аерозоля має геометричну форму, що не дозволяє визначити середню довжину осажувального електроду. У зв'язку з цим замінюємо її прямокутником з площиною  $S_2 = l \times (R - b)$ , що рівна площині зони осажування пилу  $S_1$ . Таким чином, визначивши площину  $S_1$  можна визначити активну довжину  $l$  через радіус  $R$  (рис. 2.3).

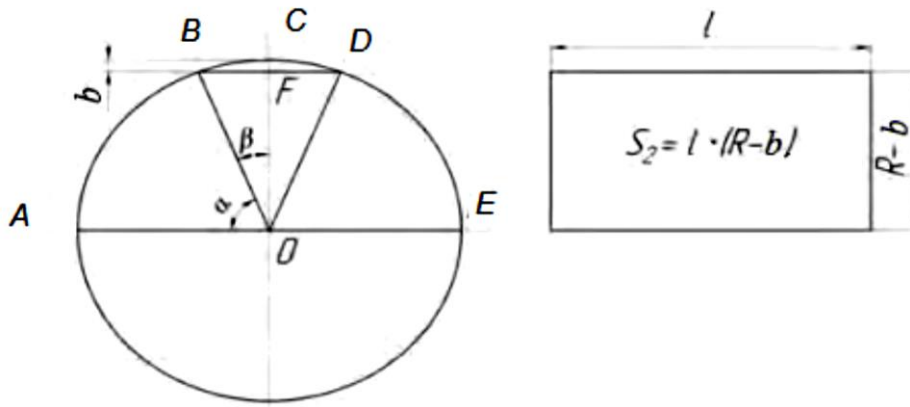


Рис. 2.3. Розрахунок активної довжини осадувального електроду

Для визначення площини  $S_1$  потрібно розбити активну зону осадження на геометричні фігури, площини яких визначаються за відомими формулами. Таким чином площа  $S_1$  буде визначатись за виразом:

$$S_1 = 2S_{OABO} + S_{ODB}, \quad (2.1)$$

де  $S_{OABO}$  – площа сектора  $OABO$ ;

$S_{ODEO}$  – площа трикутника  $ODB$ .

Площа сектора  $S_{OABO}$  визначається за формулою:

$$S_{OABO} = \pi R^2 \frac{\alpha}{360}, \quad (2.2)$$

Кут  $\alpha$  визначається через кут  $\beta$ :

$$\alpha = 90 - \beta, \text{ де } \cos\beta = \frac{R-b}{R} \quad (2.3)$$

Тоді кут  $\alpha$  буде рівний:

$$\alpha = 90 - \arccos \frac{R-b}{R} \quad (2.4)$$

В даному випадку площа сектора визначається як:

$$S_{OABO} = \pi R^2 \frac{90 - \arccos \frac{R-b}{R}}{360} \quad (2.5)$$

Площа рівнобедреного трикутника визначається за формулою:

$$S_{ODB} = \frac{1}{2} a \sqrt{R^2 - \frac{a^2}{4}}, \quad (2.6)$$

Де  $a=BD$  – основа трикутника.

За теоремою Піфогора:

$$a^2 = R^2 - (R - b)^2 \quad (2.7)$$

$$\text{Тоді} \quad a = \sqrt{2Rb - b^2} \quad (2.8)$$

Підставивши вираз 2.9 у 2.7 отримаємо формулу для визначення площини трикутника через  $R$  і  $h$ .

$$S_{ODB} = \frac{1}{2} \sqrt{2Rb - b^2} \times \sqrt{R^2 - (Rb - b^2)/4} \quad (2.9)$$

Звідси

$$S_1 = 2\left(\pi R^2 \frac{90 - \arccos \frac{R-b}{R}}{360}\right) + \frac{1}{2} \sqrt{2Rb - b^2} \times \sqrt{R^2 - (Rb - b^2)/4}$$

Так як  $S_1 = S_2$ , а  $S_2 = l \times (R - b)$ , тому

$$l = \frac{2\left(\pi R^2 \frac{90 - \arccos \frac{R-b}{R}}{360}\right) + \frac{1}{2} \sqrt{2Rb - b^2} \times \sqrt{R^2 - (Rb - b^2)/4}}{R - b}$$

де  $R$  – радіус осажувального електроду,  $R = 0,4$  м;  $b$  – глибина фіксації оса жувального електроду,  $b = 0,005$  м.

Отриманий вираз дозволяє розрахувати основні конструктивні і режимні параметри електрофільтра за відомими методиками.

## 2.2. Математична модель розрахунку забрудненого повітря

Для розрахунку концентрації домішок у повітряному середовищі використовували модель, що основана на балансі мас домішок у визначеному об'ємі [16], яка є більш універсальна і надає точні результати.

Дана модель, основана на балансі потоку домішок, в якості яких приймаємо сірководень, в об'ємі приміщення та із нього, включаючи рециркуляцію, внутрішні джерела і втрати (рис. 2.4).

Рівняння балансу об'єму повітря має вигляд:

$$v_0 + v_2 = v_3 + v_4, \quad (2.10)$$

де  $v_0$  – об'єм приточного повітря, м<sup>3</sup>/с;  $v_2$  – об'єм інфільтрованого повітря, м<sup>3</sup>/с;  $v_3$  – об'єм збільшувального повітря, м<sup>3</sup>/с;  $v_4$  – об'єм витяжного повітря, м<sup>3</sup>/с.

Рівняння балансу об'ємів домішок, що змінюють концентрацію домішок в залежності від часу  $t$ , має вигляд:

$$V \frac{dC_i}{dt} = kv_0C_0(1 - \eta_0) + kv_1C(1 - \eta_1) + kv_2C_2(1 - \eta_2) - k(v_0 + v_1 + v_2)C_i + S - R, \quad (2.11)$$

де  $V$  – об'єм приміщення;  $m^3$ ;  $C_i$  – концентрація домішок в приміщенні;  $mg/m^3$ ;  $C_0$  – концентрації домішок в приточному повітрі,  $mg/m^3$ ;  $k$  – коефіцієнт, що враховує неповне переміщення повітря;  $\eta_0$  – ефективність фільтра для очистки приточного повітря;  $\eta_1$  – ефективність фільтра для очищення рециркуляційного повітря;  $S$  – генерація домішок,  $mg$ ;  $R$  – втрати домішок,  $mg$ .

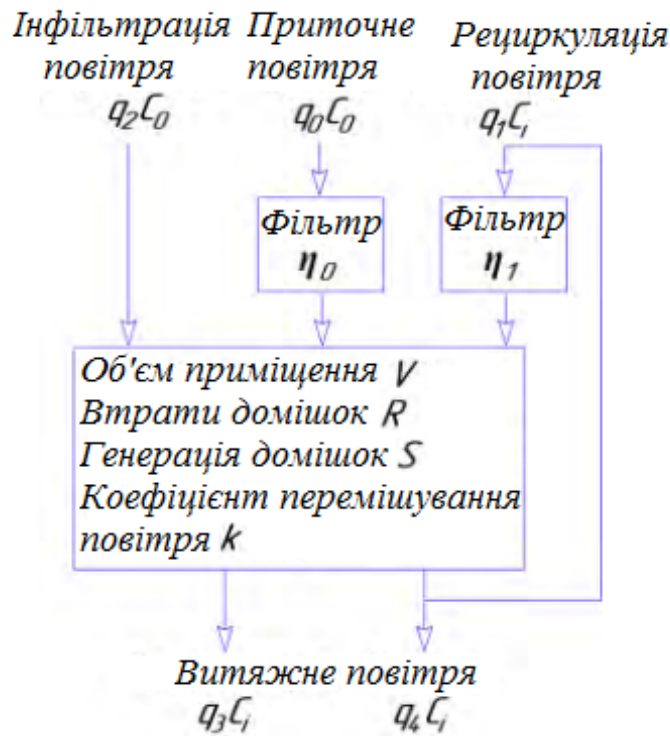


Рис. 2.4. Модель системи вентиляції повітря

Вирішивши рівняння (2.11) при початкових даних  $C_i$  і  $t=0$ , отримаємо:

$$C_i = \frac{k(v_0(1-\eta_0)+v_2)C_0+S-R}{k(v_0+v_1+v_2)} \left(1 - e^{-\frac{k}{V}(v_0+v_1+v_2)t}\right), \quad (2.12)$$

При проведенні дослідів з визначення коефіцієнта абсорбції сірководня омивальною рідиною електрофільтра в математичній моделі (2.12) прийняті наступні вихідні дані:

- коефіцієнт, що враховує неповне переміщення повітря,  $k$  вибираємо в межах 0.5...1 [16]:

- об'єм приточного повітря  $v_0$ , об'єм інфільтрованого повітря, генерацію домішок  $S$  і концентрацію домішок в приточному повітря приймаємо рівним нулю.

З врахуванням вихідних даних рівняння прийме вигляд:

$$C_i = \frac{-R}{kv_1\eta_1} (1 - e^{\frac{k}{v}(v_1\eta_1 t)}), \quad (2.13)$$

Проведення дослідів дозволить визначити ефективність електрофільтра.

### 2.3. Ефективність очищення повітря електрофільтром

Ефективність очищення повітря від пилу визначається за формулою Дейча:

$$\eta = 1 - e^{(-\frac{wl}{hu})}, \quad (2.10)$$

де  $w$  – швидкість дрейфу частинок, м/с;  $h$  – між електродна відстань, м;  $u$  – швидкість повітря, м/с.

Розрахунок степені очищення повітря, що містить частинки різного розміру, проводиться за фракціями. Для цього весь діапазон розмірів частинок розбиваються на ряд інтервалів, в межах кожного проводиться розрахунок за середнім розміром, потім для кожної фракції ефективність вловлювання сумується у відповідності з часткою кожної фракції у вихідному газі:

$$\eta = \sum \eta_j g_j, \quad (2.11)$$

де  $\eta_j$  – ефективність очищення  $j$ -ї фракції аерозоля;  $g_j$  – відносна частка  $j$  – і фракції аерозоля.

Відповідно до вимог системи очищення рециркуляційного повітря [20-23] зазначено, що очищення проводиться від пилу розміром 1 мкм і більше, для яких швидкість руху заряджених частинок визначається за формулою:

$$w = 0.118 \cdot 10^{-10} (E^2 \times R_{\text{час}}) / 2\mu, \quad (2.12)$$

$R_{\text{час}}$  – розмір частинок;  $E$  – напруга поля коронного розряду, мкм;  $\mu$  – динамічна вязкість повітря;  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-6}$  Па\*с.

Якщо враховувати, що напруженість поля коронного розряду складає – 6,8кВ/см, а динамічна вязкість повітря  $1,8 * 10^{-6}$  Па\*с, то швидкість дрейфу частинок розміром 1мкм буде більше 0,15 м/с.

Підставивши значення швидкості дрейфа частинок, активної довжини осаджувальних електродів, міжелектродної відстані і рекомендуємої швидкості повітряного потоку, що рівна 0,55м/с, у формулу (2.10), отримаємо значення ефективності електрофільтра з очищення повітря від пилу, що рівна 0,94.

## **Висновки по розділу 2**

В даному розділі наведена методика розрахунку основних конструкційних і технологічних параметрів електрофільтра, що дозволяє підбирати необхідну швидкість повітряного потоку і кількість аналів електрофільтра, що забезпечить необхідну повітряну продуктивність системи очищення рециркуляційного повітря з заданою ефективністю.

### РОЗДІЛ 3.

## УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ПОВІТРЯ ЕЛЕКТРОФІЛЬТРОМ

Експериментальні дослідження процесу очищення рециркуляційного повітря проводились в лабораторних умовах.

Програмою роботи передбачалось:

- дослідження коронуючої системи електрофільтра;
- дослідження ефективності вловлювання пилових і аерозольних частинок розміром 0,5; 1; 2; 5; 10 мкм.

Параметри коронуючих електродів і між електродна відстань були прийняті аналогічно [5, 14]. Кількість повітряних каналів складало п'ять. Осаджувальні електроди були виконані із дюралюмінію товщиною 1,5 мм у вигляді дисків діаметром 390 мм.

Обертання дисків осаджувальних електродів здійснювалось асинхронним двигуном ( $P=300$  Вт,  $U=220$  В) з редуктором МПК-13И-5.

Для запобігання пробоїв між електродного проміжку по поверхні ізоляторів використовувались ізоляційні плити. Схема експериментального стенда з використанням вимірювальних приладів наведена на рис. 3.1. і рис. 3.2.

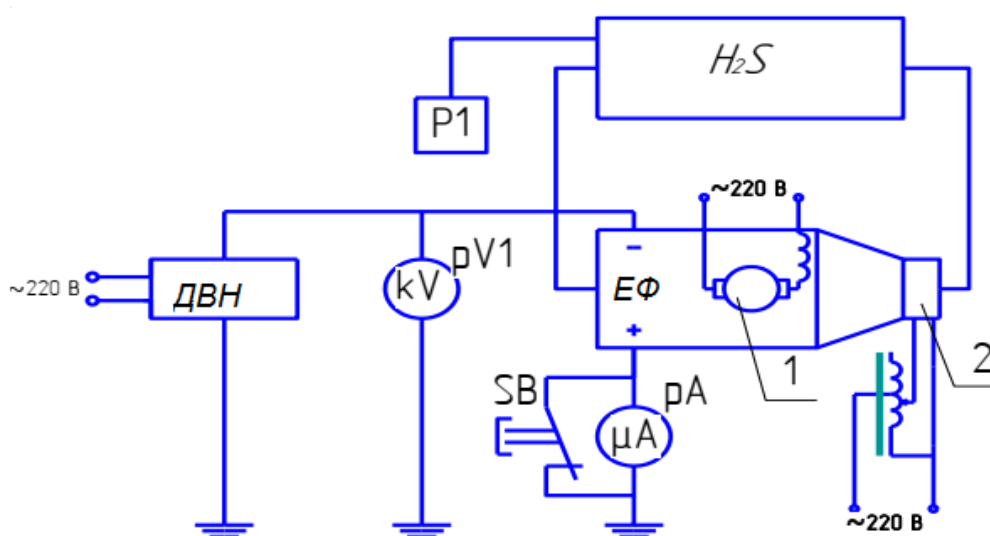


Рис. 3.1. Електрична схема стенду з очищення повітря: 1- електродвигун привода обертання осаджувальних електродів; 2 – вентилятор; ДВН – джерело високої напруги; pV1 – кіловольт мер С-196; SB – розмикаючий контакт; pA – міліамперметр М109/1; ЕФ – електрофільтр; P1 – газоаналізатор сірководню.



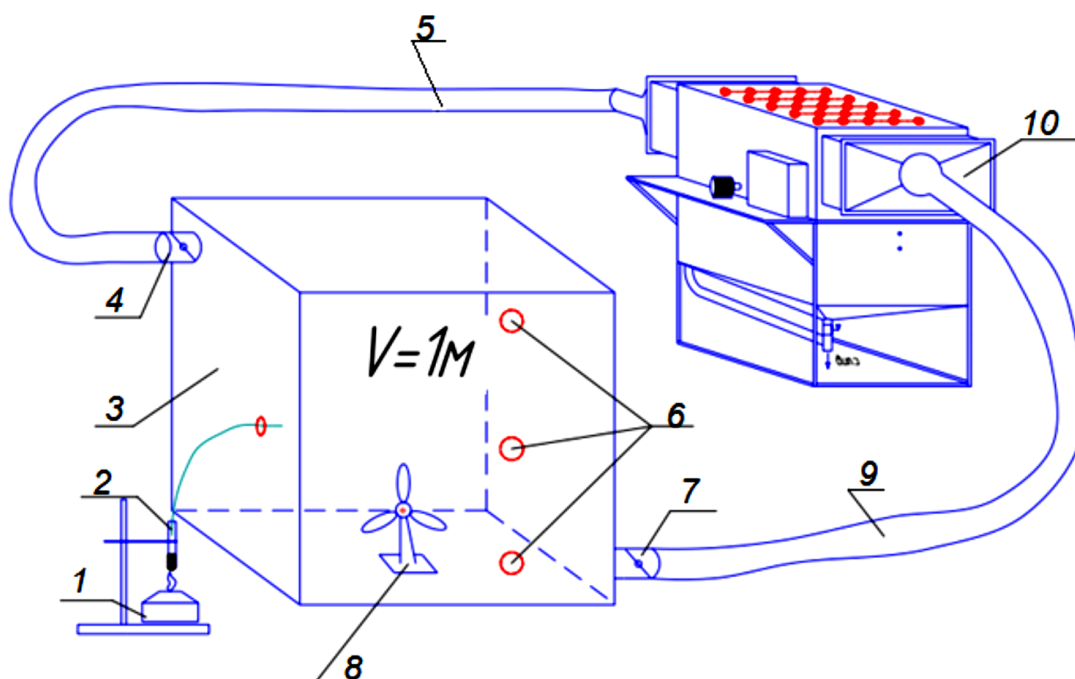


Рис. 3.2. Функціональна схема станда: 1 – газова горілка; 2 – пробірка з фосфором і сіркою; 3 – герметичний накопичувальний резервуар; 4, 7 – клапан; 5, 9 – гофровані з’єднувальні повітропроводи; 6 – точки забору проб повітря; 8 – вентилятор; 10 – електрофільтр

Приладне оснащення станда включало:

- джерело високої напруги: ПВС-60/10;
- кіловольтметр С-196 (клас точності 1,5 межа виміру  $U=0\dots30$  кВ);
- міліамперметр М109/1 №3699 (клас точності 2, межа виміру  $I=0\dots3$  мА);
- вольтметр Э 378 (клас точності 1,5, межа виміру  $0\dots250$  В);
- газоаналізатор сірководню ПГА-200 (діапазон виміру  $0\div100$  мг/м<sup>3</sup>).

### 3.1. Результати дослідження кородуючої системи електрофільтра

Для дослідного зразка мокрого електрофільтра знімались вольтамперні характеристики, результати яких наведені на рис. 3.3.

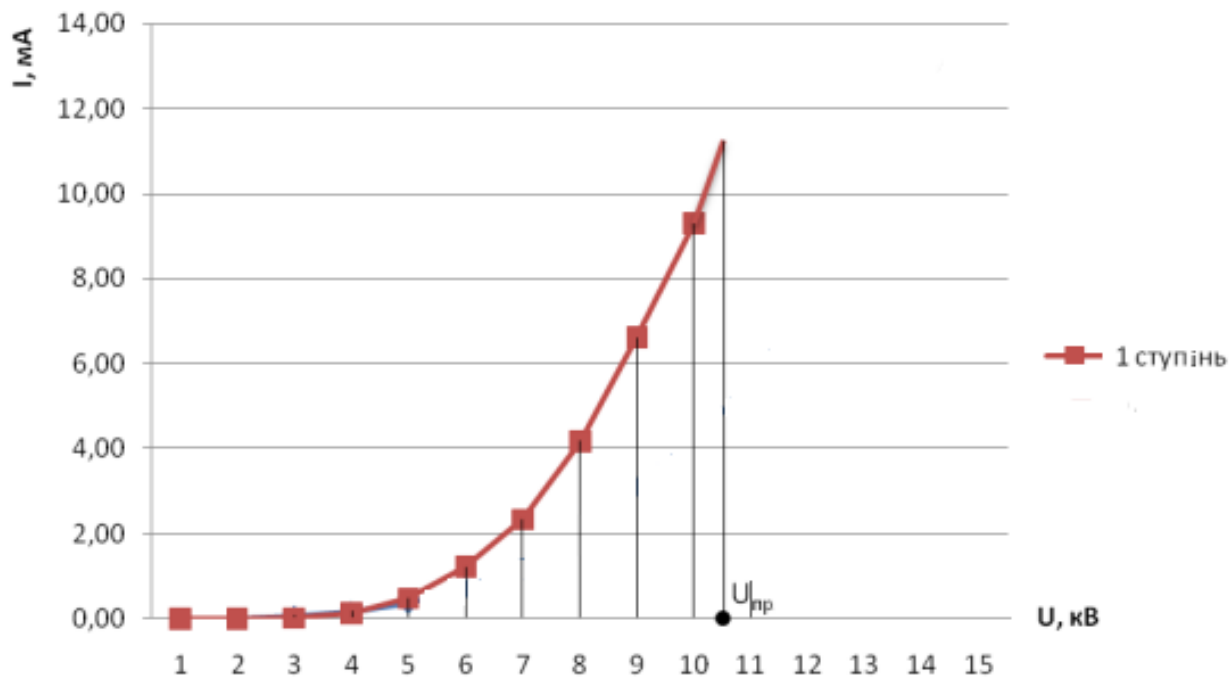


Рис. 3.3. Вольтамперні характеристики першого ступеня очищення електрофільтра:  $U_{пр}$  – напруга пробою для першого ступеня електрофільтра

Встановлені залежності розрядного струму від напруги на кородуючій системі  $I = f(U)$ . Напруга пробою складає 14,5 кВ для першого ступеня очищення електрофільтром.

### 3.2. Результати дослідження ефективності очищення повітря від пилових і аерозольних частинок

Дослідження проводились при температурі повітря всередині приміщення  $+20^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 50%.

На рис. наведені результати замірів концентрації пилових частинок розміром 0,5 мкм...10 мкм.

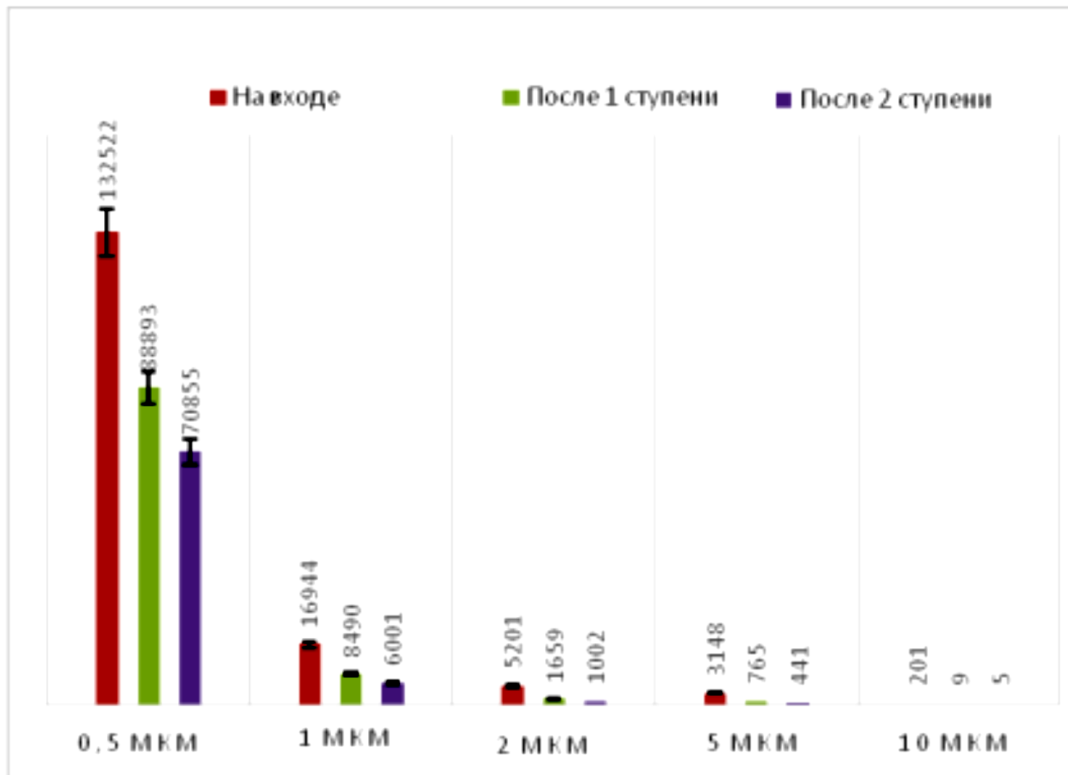


Рис. 3.4. Результати замірів концентрації пилових частинок розміром 0,5 мкм...10 мкм

### 3.3. Дослідження ефективності додаткового вловлювання пилових і аерозольних частинок

Довжину з'єднувального повітропроводу зменшували від 1 м до 0,1 м з шагом 0,1 м. Результати дослідження наведені на рис. 3.5. і в табл. 3.1.

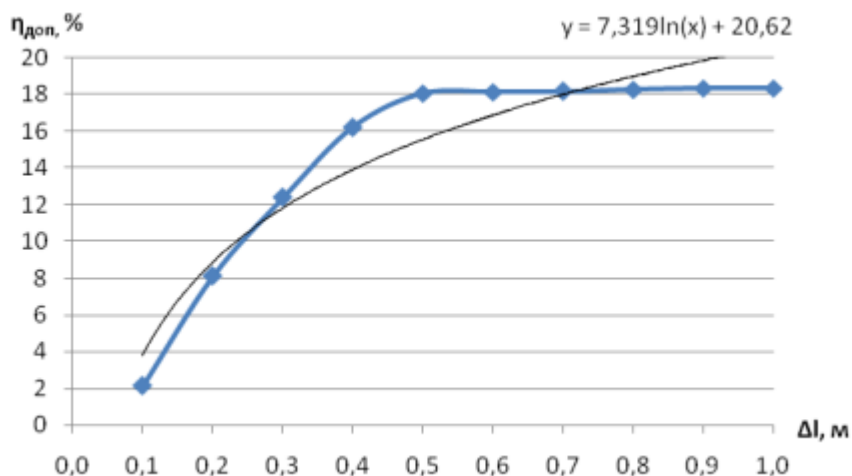


Рис. 3.5. Залежність додатково уловлювальних пилових і аерозольних частинок від довжини з'єднувального повітропроводу:  $\eta_{\text{доп}}$  – ефективність додатково вловлювальних пилових і аерозольних частинок, %;  $\Delta l$  – довжина з'єднувального повітропроводу, м.

Таблиця 3.1. Основні технологічні і технічні показники

Довжина з'єднувального повітропроводу, $\Delta l$	Ефективність очищення ( $\eta$ )	Ефективність додаткового уловлювання частинок ( $\eta_{\text{дод}}$ )
0,1	77,09	2,12
0,25	79,39	12,12
0,5	80,83	18,04
0,75	80,85	18,18
1,0	80,89	18,37

Відповідно до отриманого графіку було побудовано лінію і визначено її математичний опис. Таким чином, залежність ефективності додаткового уловлювання пилових і аерозольних частинок від довжини з'єднувального повітропроводу визначалось наступним виразом:

$$\eta_{\text{дод}} = 7,319 \cdot \ln(\Delta l) + 20.65$$

Зважаючи на представлену залежність можна зробити висновок, що для дослідного зразка електрофільтра найбільша ефективність додаткового уловлювання пилових частинок (18,04 %) досягається при відстані 0,5 м.

### Висновки по розділу 3

Робоча наруга, при якій стабільно і ефективно працює електрофільтр складає 13 кВт. Напруга пробою складає 14,5 кВ.

Очищення повітря від пилових і аерозольних частинок в основному проходить на першій ступені електрофільтра (ступінь грубого очищення). Ефективність очищення якої складає 80,89% для відповідних розмірів частинок. Найбільш ефективним є додаткове уловлювання пилових і аерозольних частинок (18,04 %) було досягнуте при довжині повітропроводу, з'єданого з електрофільтром рівним 0,5 м.

## ВИСНОВКИ

1. Суттєве підвищення показників проточно-витяжної вентиляційної системи тваринницьких приміщень можливо досягнути в режимі внутрішньої рециркуляції з використання мокрого електрофільтра.

2. Конструктивні і технологічні параметри електрофільтра можуть бути розраховані на основі отриманих аналітичним виразом, що дозволяє оцінити степінь комплексного очищення рециркуляційного повітря від пилових і аерозольних частинок.

3. Розроблена методика розрахунку основних конструкційних і технологічних параметрів електрофільтра дозволяє підібрати необхідну швидкість повітряного потоку, кількість каналів і забезпечить необхідну повітропродуктивність системи очищення рециркуляційного повітря із заданою ефективністю.

4. Експериментально встановлена довжина повітропроводу між ступенями чищення електрофільтра, що забезпечує найбільшу ефективність додаткового уловлювання пилових і аерозольних частинок 18,04 % , як було досягнуте при довжині повітропроводу з'єднаного з електрофільтром рівним 0,5 м.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих помещениях. Научный аналитический обзор. Н.П. Мишуров, Т.Н. Кузьмина. М. 2004. 106с.
2. [www.sae.gov.ua/](http://www.sae.gov.ua/) Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України.
3. Маслак О. Скотарство України: реалії сьогодення /О. Маслак// Агробізнес сьогодні. 2012. №3 (226). С.14-16.
4. Система технологій та машин для виробництва молока і яловичини / за ред. М.В. Присяжнюка, В.Ф. Петриченка. – К.: Аграр. наука, 2013. 336 с.
5. Андреев Л.Н. Перспективы развития систем очистки вентиляционного воздуха на основе мокрых электрофильтров. Технические науки. 2016. С. 132-135. <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-razvitiya-sistem-ochistki-ventilyatsionnogo-vozdruha-na-osnove-mokryh-elektrofiltrov/viewer>
6. Возмилов А.Г. Результаты производственных исследований мокрого электрофильтра / Возмилов А.Г., Жеребцов Б.В., Астафьев Д.В., Дмитриев А.А.. Вестник КрасГАУ, 2013. №8. С. 185 – 191.
7. Возмилов А. Г. Результаты исследований мокрого однозонного электрофильтра /Возмилов А. Г., Мишагин В. Н., Андреев Л. Н. / Техника в сельском хозяйстве. 2009. № 3. С. 20-22.
8. Возмилов А.Г. Электрофильтр с трибоэлектрическим генератором для очистки воздуха. Техника в сельском хозяйстве. 2007. №5. С. 20-22.
9. Файн В.Б., Иванова С.А., Смирнов Д.А. Определение необходимого количества рециркуляционных электрофильтров для обеспыливания воздуха в помещении // Вестник ЧГАУ. Челябинск, 2002. -Т.37,- с. 47-50.
10. Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина II: Конспект лекцій. – Дніпропетровськ НМетАУ, 2015. – 46с.
11. Пат. 2343362. Российская Федерация, МПК F24F3/16. Мокрый однозонный электрофильтр/Возмилов А.Г., Мишагин В.Н., Андреев Л.Н., Астафьев Д.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное

образовательное учреждение высшего профессионального образования «Челябинский государственный агроинженерный университет». -№ 2007124044/06; заяв. 26.06.2007; опубл. 10.01.2009; приор. 26.06.2007.

12. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Пиловловлювання та очищення промислових викидів» для студентів заочної форми навчання за напрямом 6.050601 – «Теплоенергетика» /Укл. Глущенко О.Л. - Кам'янське, ДДТУ, 2018. - 33 с.

13. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1977, 456 с.

14. Ужов В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. 344 с.

15. Левитов В.И. Дымовые электрофильтрыю – М.: Энергияю 1986. - 448 с.

16. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М (авт. Науменко О.А., Бойко І.Г., Грідасов В.І., Дзюба А.І. та інші) Харків ХНТУСГ, 2009. 429 с.

17. Сафонов В.В., Приешкин В.П. Оборудование для создания микроклимата в помещениях животноводческих комплексов. М.: высшая школа, 1981. 104 с.

18. Журавльов Є.П. Екологічний вектор розвитку енергетики. //Экология и промышленность. – 2005. - № 32(3). — С. 26-31.

19. Посібник. Машини для тваринництва та птахівництва. За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УКрНДІПВТ ім. Погорілого. 2009. 207 с.

20. ВНТП-АПК-01.05 Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). – К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 111 с.

21. ВНТП-АПК-02.05 Відомчі норми технологічного проектування. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). – К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 98 с.

22. ВНТП-АПК-03.05 Відомчі норми технологічного проектування. Вівчарські і козівничі підприємства.– К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 87 с.
23. ВНТП-АПК-04.05 Відомчі норми технологічного проектування. Підприємства птахівництва. – К.: Міністерство аграрної політики України, 2005. – 90 с.
24. Микроклимат в животноводческих помещениях [Электронный ресурс] /Режим доступа: [http://www.activestudy.info/mikroklimat\\_-v-zhivotnovodcheskix-pomeshheniyax/](http://www.activestudy.info/mikroklimat_-v-zhivotnovodcheskix-pomeshheniyax/).
25. Моніторинг у тваринництві за 2019 рік. – НДІ «Украгропродуктивність», 2020. - \_\_ с.
26. Карпис Е.Е. Энергосбережение в системах кондиционирования воздуха.- М.: Стройиздат, 1986. - 269 с.
27. Курсове та дипломне проектування по механізації тваринницьких ферм [Текст] /І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; за ред. О.В. Нанки. – Харків: НМЦ ХНТУСГ, 2003. – 356с.
28. Деркинбаев СМ. Влияние способов содержания телят на их рост и развитие // Животноводство. - 1984. - №3. - С. 20-21.
29. Ананьев В.А., Балужева Л.Н., Гальперин А.Д., и др. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Евроклимат, 2003. - 416 с.
30. Машины та обладнання для тваринництва: підручник [Текст] /О.А. Науменко, І.Г. Бойко, О.В. Нанка, В.М. Полупанов та ін.; за ред. І.Г. Бойка. – Том 1. – Харків: Видавництво ЧП «Черв'як», 2006. – 225с.
31. Машины та обладнання для тваринництва: підручник [Текст] /О.А. Науменко, І.Г. Бойко, В.І. Грідасов, А.І. Дзюба та ін.; за ред. І.Г. Бойка. – Том 2. – Харків: Видавництво ЧП «Черв'як», 2006. – 279с.
32. Пчелкін Ю.М Машины та обладнання для створення мікроклімату на фермах /Ю.М. Пчелкін, В.К. Мурзін. К. Урожай, 1977. 112 с.
33. Сафонов В.В. Оборудование для создания микроклимата в помещениях животноводческих комплексов / В.В. Сафонов, В.П. Приешкин. М. Высшая школа. 1981. 104 с.



34. Зайцев А.М. Микроклимат животноводческих комплексов /А.М. Зайцев, В.И. Жильцов, А.В. Шавров. М.:Агропромиздат. 1986. 192 с.
35. Ковальчук В. Як зробити скотарство рентабельним? / В. Ковальчук, М. Геймор // Пропозиція. 2002. №7. С. 32-34.
36. Лаврищев О.О.,Сукманюк О.М., Тарасюк О.В. Вплив конструкції електрофільтра на ефективність очищення повітря у тваринницькому приміщенні Матеріали IV міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи», 29 травня 2020 р. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. С. 186 – 188.
37. Николаев М. Ю., Есимов А. М., Леонов В. В. Электрофильтры: принцип работы и основные достоинства // Технические науки - от теории к практике: сб. ст. XLI междунар. науч.-практ. конф. 2014. №12. С. 59-66.
38. Elektrofilter: Prozeßgas- und Abgasreinigung / VDI-Verlag. - VDI 3678 Bl.1. -Düsseldorf. - 1996. – 136 с.
39. Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б. И. и др. Справочник по пыле- и золоулавливанию. М.: Энергоатомиздат. 1983. 312 с.
40. Мелер А. Постройки и оборудование для содержания крупного рогатого скота / А. Мелер, В. Хейниг; пер. с нем. М.:Колос,. 1974. 560 с.
41. Elektrofilter: Prozeßgas- und Abgasreinigung / VDI-Verlag. - VDI 3678 Bl.1. - Düsseldorf. - 1996. – 136 с.
42. Мурусидзе Д.Н. Устнаовка для создания микроклимата на животноводческих фермах / Д. Н. Мурусидзе, А.М. Зайцев, Н.А. Степанова и др. Изд. 2-е перераб. и доп.: Колос. 1979. 327 с.
43. Energy-saving measures on pig farms / Andres Annuk, Heinar Nurste, S/ophie SkauDamskier. - Energy Efficiency in Intensive Livestock. – Estonia. - 5 July2004. – 52 с.
44. <http://www.agroscope.admin.ch/agrartechnische-systeme/06516/06922/index.html?lang=en>.