

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Шадура Володимир Петрович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення ефективності очищення повітря в сільськогосподарських
малооб'ємних приміщеннях на основі використання рециркуляційних
електрофільтрів**

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
Палійчук В.К.
к.т.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Шадура Володимир Петрович. Підвищення ефективності очищення повітря в сільськогосподарських малооб'ємних приміщеннях на основі використання рециркуляційних електрофільтрів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі встановлено, що найбільш перспективним засобом очищення повітря від пилу у сільськогосподарських малооб'ємних приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти є рециркуляційні електричних фільтрів. При роботі іонного вентилятора-фільтра ступінь очищення повітря у фільтрі та ступінь очищення повітря в приміщенні вище, а озонвиділення нижче, ніж при роботі апарату "Супер-плюс". Таким чином іонний вентилятор-фільтр має перевагу перед "Супер-плюс" за всіма дослідженими параметрами.

Між швидкістю електричного вітру та ступенем очищення повітря у приміщенні існує, як показав кореляційний та регресійний аналіз, сильний та значущий зв'язок (коефіцієнт кореляції $r=0,81\dots 1,00$). Це дозволяє отримати за допомогою рівняння регресії поле ступенів очищення повітря в приміщенні за відомими значеннями швидкості електричного вітру.

Найкращий спосіб встановлення іонного вентилятора-фільтра – горизонтальне розташування на столі; при цьому відстань від стіни до вхідного отвору має бути не менше 0,5 м, а перед вихідним отвором повинна бути горизонтальна частина довжиною близько 0,4 м.

Ключові слова: іонний вентилятор-фільтр, очищення, повітря, мікроклімат.

ANNOTATION

Shadura Vladimir Petrovich. Improving the efficiency of air purification in low-volume agricultural premises based on the use of recirculation electrostatic precipitators. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis it is established that the most promising means of cleaning the air from dust in low-volume agricultural premises with high requirements for cleanliness are recirculating electric filters.

During the operation of the ionic filter-fan, the degree of air purification in the filter and the degree of air purification in the room is higher, and ozone release is lower than when the device "Супер-плюс". Thus, the ionic filter-fan has an advantage over the "Супер-плюс" in all the studied parameters.

As shown by correlation and regression analysis, there is a strong and significant relationship between the speed of electric wind and the degree of purification of indoor air (correlation coefficient $r = 0.81...1.00$). This allows you to use the regression equation field of degrees of purification of indoor air at known values of electric wind speed.

The best way to install an ion filter fan is to place it horizontally on a table; the distance from the wall to the inlet should be at least 0.5 m, and in front of the outlet should be a horizontal part about 0.4 m long.

Key words: ionic filter fan, cleaning, air, microclimate.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВСТАНОВЛЕНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	27
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Актуальність теми. В агропромисловому комплексі існує велика кількість малооб'ємних приміщень, чистота повітря яких впливає на якість продукції, яка виробляється там. Це пекарні, цехи з переробки м'яса, яєць, молока. Високі вимоги до чистоти повітря висуваються також до лабораторій з виробництва вакцин, аптек, ветеринарних лікарень.

Аналіз показав, що найбільш поширеним способом підтримання чистоти у вищезгаданих приміщеннях є припливно-витяжна вентиляція та вологе прибирання. Ці заходи не є достатніми, тому потрібні додаткові способи очищення повітря.

Найбільш перспективними на наш погляд є очищення повітря у приміщенні за допомогою рециркуляційних електрофільтрів (ЕФ), зокрема, іонного вентилятора-фільтра (ІВФ). Даний спосіб очищення дозволяє значно знизити концентрацію пилу в приміщенні та не вимагає додаткових витрат на опалення припливного повітря в порівнянні з очищенням за рахунок загальнообмінної вентиляції.

Проаналізувавши літературні дані, ми дійшли висновку, що ефективність знепилення повітря в малооб'ємних приміщеннях рециркуляційними ЕФ вивчена недостатньо, причому це стосується як експериментальних, так і теоретичних досліджень. У зв'язку з вищевикладеним і було обрано тему дослідження.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу очищення повітря від пилу у сільськогосподарських малооб'ємних приміщеннях на основі раціонального використання рециркуляційних ЕФ.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати існуючі способи очистки повітря мало об'ємних приміщень;

2. Експериментально досліджувати кінетику та режим процесу очищення повітря від пилу в приміщенні при роботі рециркуляційних ЕФ.

3. Порівняти ефективність очищення повітря від пилу в приміщенні.

Об'єкт дослідження: процес очищення повітря від пилу в приміщенні рециркуляційним ЕФ.

Предмет дослідження: залежності основних показників процесу очищення повітря в приміщенні від параметрів та способу установки рециркуляційного ЕФ, характеристик приміщення та фізичних властивостей уловлюваних пилових частинок.

Методи дослідження. У роботі використовувалися загальнонаукові та спеціальні методи пізнання. Перевірка адекватності отриманих результатів здійснювалася експериментальними методами із застосуванням сучасних засобів вимірювальної техніки. В експериментальних дослідженнях використовувалися стандартні методики досліджень і обробки результатів.

Перелік публікацій за темою роботи:

2. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадур В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Вивчення електромагнітних процесів приводу с/г машин зворотно-поступального руху на основі лінійного асинхронного двигуна. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 39-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 208-210.

2. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадур В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Тенденція розвитку електроприводів зворотно-поступального руху сільськогосподарського призначення. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 183-184.

3. Палійчук В.К., Кравчук О.М., Шадур В.П., Косоголов І.Б., Сібірук В.А. Особливості вибору трифазного генератора для енергетичної

установки при використанні відновлюваних джерел енергії малих річок. IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція «Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні» (м. Бахмут, 25-26 листопада 2021 р.), Бахмут :ННПП «УПА». С. 53-54

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження ефективності очищення повітря від пилу в сільськогосподарських малооб'ємних приміщеннях рециркуляційними ЕФ можуть бути використані в підприємствах АПК.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 34 сторінок комп'ютерного тексту, містить 13 рисунків.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Тривалість життя та здоров'я людини залежать від низки факторів, одним з яких є якість повітряного середовища житлових та виробничих приміщень.

Пил – це один з основних компонентів, що містяться в повітрі та негативно впливають на життєдіяльність людей.

Пил, що міститься у повітрі приміщень, має різне походження. Тут присутній вуличний пил, що містить важкі метали та органічні речовини, що складаються зі смоли, сажі та токсичних присадок і побутовий пил, що містить, мікрочастинки, що є продуктами життєдіяльності людей і тварин, а саме частки волосся і омертвілої шкіри, частинки різних дрібнодисперсних препаратів – пральних порошків, лаків, фарб, різних аерозолів і навіть волокна тканин, з яких виконані предмети домашнього побуту. Крім того, пил є чудовим абсорбентом, що акумулює всі шкідливі газоподібні речовини, що є в повітрі [1].

Пил є одним із переносників бактерій. Наприклад, у місцях скупчення людей, де багато дрібнодисперсного пилу, в 1 мл повітря кількість бактерій сягає 12 млн. шт. [2].

Експериментально встановлено, що перенесення мікробів повітрям відбувається при розмові, кашлі, чханні. Достатньо мізерно малого руху повітря зі швидкістю 3-4 мм/с, щоб крапельки переносилися з місця на місце і утримувалися в повітрі протягом 5-6 годин.

В даний час в АПК існує велика кількість підприємств із переробки та зберігання сільськогосподарської продукції, якість якої залежить від чистоти повітря. Це цехи з переробки м'яса, молока, яєць, пекарні. Поряд з підприємствами, високі вимоги до повітряного середовища пред'являються у ветеринарних лікарнях та лабораторіях, лабораторіях з виробництва вакцин та лабораторіях аналізу продукції, аптеках.

Перераховані вище підприємства та лабораторії зазвичай розташовуються в приміщеннях невеликого об'єму (до 250 м³), що знаходяться на території або в безпосередній близькості від джерел забруднення [1-4].

Дані приміщення, як правило, відносяться до чистих приміщень (ЧП) [5], тобто до приміщень (кімнатам), в яких лічильна концентрація аерозольних частинок і при необхідності, кількість мікроорганізмів у повітряному середовищі підтримуються в межах не вище заданого, відповідного певному класу чистоти, які можуть містити одну або кілька чистих зон [5].

Чистою зоною (ЧЗ) називається обмежений простір, в якому лічильна концентрація аерозольних частинок і при необхідності, кількість мікроорганізмів у повітряному середовищі підтримуються в межах не вище заданого, що відповідає певному класу чистоти. ЧЗ може бути відкритою або замкненою і може утримуватися так і не утримуватися всередині чистого приміщення [5]. Відповідно до ДСТУ існує десять класів чистоти.

Основними способами підтримки допустимих концентрацій пилу та інших аерозолів у НП малого обсягу, як правило, є сухе та вологе прибирання, провітрювання, припливно-витяжна вентиляція [16].

Оскільки ці приміщення знаходяться на території або поблизу від джерел забруднення, досягти необхідної чистоти повітря без застосування додаткових способів його очищення в багатьох випадках не вдається. У приміщеннях, які ми розглядаємо, такими додатковими способами можуть бути: хімічна або фізична дезінфекція, аероіонізація або очищення повітря за допомогою повітряних фільтрів.

Хімічна дезінфекція включає обробку повітря аерозолями, парами або туманами різних дезінфекційних засобів, а також озонування [7-8], фізична – знезараження ультрафіолетовими променями [10-11]. Дезінфекція та іонізація не набули широкого поширення через властиві їм недоліки. Так, наприклад, дезінфекція повітря хімічними засобами та ультрафіолетовими променями неможлива у присутності людей і тварин, при цьому не відбувається

знепилення повітря та змінюється його газовий склад. При штучній аероіонізації [2-4] заряджений пил не видаляється з приміщення, а осідає на поверхні підлоги, стін, меблів, а отже потрібне додаткове прибирання.

Порівняно з розглянутими способами очищення повітря, фільтрація є кращою, так як при проходженні, через повітряний фільтр пил, що міститься в повітрі затримується в ньому. Причому ступінь очищення повітря в цих апаратах досить висока і може досягати 99%.

В даний час є велика кількість повітряних фільтрів для очищення повітря в приміщеннях, що розглядаються нами [1-2, 3-5].

Повітряні фільтри класифікують [5] за призначенням та ефективністю на:

а) фільтри загального призначення:

- фільтри грубої очистки;
- фільтри тонкого очищення;

б) фільтри, що забезпечують спеціальні вимоги до чистоти повітря, у тому числі для чистих приміщень:

- фільтри високої ефективності;
- фільтри надвисокої ефективності.

Очищення повітря в механічних фільтрах відбувається внаслідок проходження його через фільтруючі матеріали або під дією сил гравітації, інерції, відцентрової сили. Також використовуються рідини, за допомогою яких пил та інші домішки видаляються з повітря [6, 7].

У сучасних очищувачах повітря, які пропонуються для очищення повітря житлових і громадських приміщень, зазвичай є від 2 до 8 ступенів очищення [9, 11].

Так, наприклад, фірмою Philips пропонується очищувач повітря, який забезпечує затримання 99% алергенів, що містяться в кімнатному повітрі. Апарат забезпечує триразове фільтрування кімнатного повітря. Великі пилові частинки затримуються фільтром попереднього очищення, виготовленим із пінопласту. Дрібні зважені частинки затримуються фільтром HEPA (High

Efficiency Particulate Air – високоефективний уловлювач частинок у повітрі). Повітря, пропущене через такий фільтр очищається від механічних домішок на 99,97%. Цей фільтр може служити 6 місяців, а два інших фільтри повинні просто очищатися та промиватися. Максимальна кількість повітря, що очищається, становить 270 м³/год. Апарат призначений для приміщень площею до 50 м². Максимально споживана потужність становить 80 Вт [4].

Випускаються також очищувачі повітря-зволожувачі, які очищають повітря за рахунок осадження пилу у водяній ванні, одночасно повітря ще й додатково зволожується [4].

Електричні фільтри поділяються на короннорозрядні та електростатичні.

У короннорозрядних фільтрах очищення повітря відбувається з допомогою осадження на електродах пилу, зарядженої у полі коронного розряду [3-7].

У електростатичному фільтрі осадження пилу відбувається в електростатичному полі, яке створюється паралельно розташованими пластинами [1-8].

Для приміщень, що розглядаються нами, електричні фільтри (ЕФ) найбільш підходять, так як в порівнянні з іншими видами фільтрів вони мають ряд переваг [9, 10]:

- високий ступінь очищення;
- здатність уловлювати частки розміром менше 0,01 мкм;
- низький аеродинамічний опір;
- мале споживання електроенергії;
- можливість регенерації фільтруючого елемента;
- можливість автоматизації всіх процесів очищення;
- низька собівартість очищення.

Крім цього, при роботі ЕФ, принцип дії яких заснований на коронному розряді, утворюється озон та іони, допустима концентрація яких має дезінфікуючу та дезодоруючу дію [3].

ЕФ може бути встановлений як у системі припливної або витяжної вентиляції, так і всередині приміщення працюючи у системі внутрішньої рециркуляції повітря [4].

ЕФ, що працює в режимі рециркуляції, забезпечує очищення повітря всередині приміщення без розведення його зовнішнім повітрям, що дозволяє скоротити витрати енергії на підігрів та очищення повітря припливу.

Працювати в режимі рециркуляції можуть такі види ЕФ:

- ЕФ з механічним вентилятором;
- ЕФ з іонним вентилятором;
- електростатичний фільтр.

Розглянемо докладніше конструкцію даних апаратів та пов'язані з цим переваги та недоліки при їх роботі.

ЕФ із механічним вентилятором може бути однозонним або двозонним. В однозонному ЕФ зарядження та осадження відбувається в одній конструктивній зоні. Вона складається з коронуючого (як правило, це тонкий дріт або голки) і некоронуючого (паралельно розташовані пластини) електродів. За рахунок примусової вентиляції пилові частинки проходять через поле коронного розряду, заряджаються та осідають на пластинах.

У двозонному ЕФ зарядження та осадження відбуваються у різних конструктивних зонах (зоні зарядки та зоні осадження).

Двзонні ЕФ набули найбільшого поширення в системах очищення припливного та внутрішнього повітря.

У нашій країні розроблено та серійно випускається ЕФ типу ФЕ [6].

Даний фільтр збирався з уніфікованих осередків розмірами 758×250×465 мм та 965×250×465 мм. Максимальна пропускна здатність комірок становить відповідно 1200 та 1700 м³/год. Кожна комірка має зону зарядки з коронуючих дротяних електродів. Коронуючі електроди розділені подовженими виступаючими пластинами осадної зони. За осаджувальним пакетом встановлюється протиуносний пористий фільтр, що є роз'ємною рамкою,

заповненою фільтруючим матеріалом типу ФСВУ або пінополіуретаном. Цей фільтр може бути забезпечений механізованим промивним пристроєм.

В роботі [9] запропонований двозонний ЕФ, коронуючий голчастий електрод якого має на бічних поверхнях загострені виступи.

Використання електродів такого виду дозволяє знизити концентрацію озону в повітрі, що очищається в порівнянні з дротяними електродами. У зоні осадження даного фільтра використовувалася система плоских осаджувальних електродів "метал-діелектрик".

Фірма PlimoVent випускає пересувні фільтровентиляційні агрегати ЕМК-1400 та ЕМК-1600 [3] у яких відбувається двоступінчасте очищення повітря від частинок розміром більше 0,005 мкм. Великі частинки вловлюються в алюмінієвому фільтрі попереднього очищення. Дрібніші заряджаються в іонізаційному осередку, що знаходиться під напругою 12 кВ, а потім осідають на пластинах осадкового осередку, до яких підведено напругу 6 кВ. Максимальна витрата повітря через фільтр 1200-1500 м³/год (залежно від моделі).

У США випускається очищувач повітря, в якому використовується явище коронного розряду [5]. Він має корпус із прямокутним днищем із електроізоляційного матеріалу (пластмаси). На днищі є два анода у вигляді прямокутних пластин з електропровідного матеріалу. По всій довжині між стінами натягнутий дротяний катод. На днищі покладено пилозбірне покриття (папір). На кришці розташовані два ряди круглих отворів для входу повітря в очищувач повітря. На скошених бічних панелях є два входи повітря поблизу анода. До катодів і анодів підводиться висока напруга від джерела постійного струму 8 кВ. Між електродами виникає коронний розряд, частинки поблизу катода заряджаються негативно, притягуються анодом і осідають у пилозбірнику.

Конструкція іонного вентилятора-фільтра (ІВФ) відрізняється від вищеописаного тим, що у ньому відсутній механічний вентилятор, а рух

повітря через апарат здійснюється за рахунок так званого "електричного вітру" [6-10].

"Електричний вітер" виникає наступним чином. Іони в уніполярному коронному розряді, рухаючись від коронуючого електрода до некоронуючого, стикаються з молекулами повітря та передають їм деяку енергію. В результаті молекули починають рухатися, утворюючи течію повітря. Даний ефект використовується у повітроочиснику "Супер-плюс" [7], що представляє собою ряд коронуючих паралельно один одному натягнутих дротів (рис. 1.1), причому полярність напруги, що подається на них чергується і розташовані по обидва боки від них осаджувальні пластини мають також чередуючу полярність.

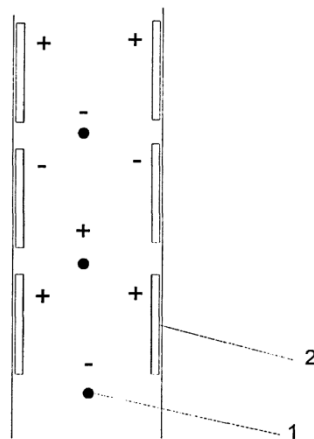


Рис. 1.1 Схема повітроочисника «Супер-плюс»

Іонний вентилятор-фільтр, створений у ХНТУСГ (рис. 1.2), являє собою двозонний електрофільтр, особливістю якого є те, що зона зарядки, яка складається з рамки з коронуючими голками 1 і некоронуючого електрода 2, виконаного у вигляді дротяної сітки, використовується не тільки для заряджання пилових частинок, але і для переміщення їх через електрофільтр. Зона осадження являє собою пакет пластин 3, розташованих паралельно на певній відстані. Через пластини пропущені металеві шпильки, що з'єднують між собою парні та непарні пластини, утворюючи цим дві групи осаджувальних електродів. Крім того, за допомогою шпильок підводиться висока напруга до пластин.

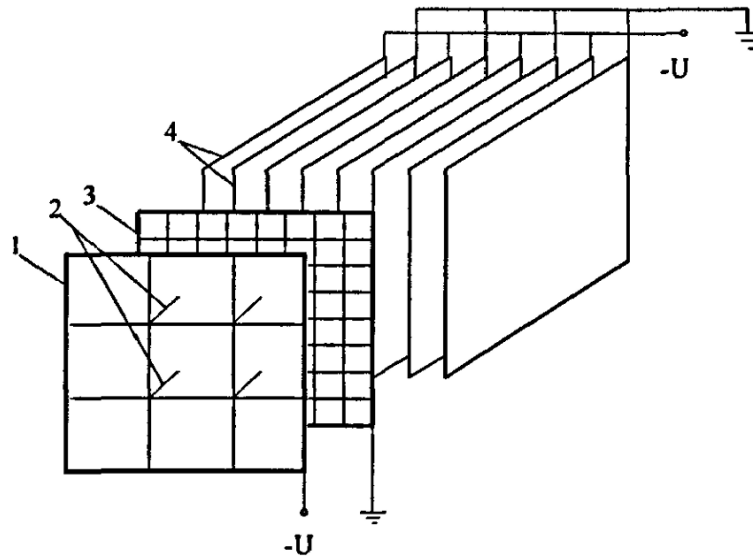


Рис. 1.2. Схема іонного вентилятора-фільтра: 1 – рамка; 2 – коронуючі голки; 3 – некоронуючий електрод; 4 – зона осадження

Порівнюючи цю конструкцію з аналогічною, але яка має механічний вентилятор, можна виділити ряд переваг іонного вентилятора-фільтра:

- вища надійність через відсутність обертових частин;
- менша вартість;
- нижче споживання електроенергії;
- безшумність роботи.

Основним недоліком ІВФ є невисокий тиск, наслідком чого є низька швидкість електричного вітру (близько 1 м/с).

Електростатичний фільтр являє собою ряд пластин, з'єднаних з джерелом високої напруги аналогічно зоні осадження у двозонному електрофільтрі [4]. Як бачимо, у цій конструкції відсутня зона зарядки аерозолі, а осадження його відбувається у електричному полі, яке створює пластини. Автори розробки [10] пропонують встановлювати електростатичні фільтри в місцях конвективних потоків, наприклад, над радіаторами центрального опалення.

Безперечні переваги даного апарату – це його простота, дешевизна, мале споживання електроенергії. Основним недоліком такої конструкції є те, що апарат працює при низькій швидкості повітряного потоку, так як ступінь

очищення повітря у фільтрі різко знижується зі збільшенням швидкості повітряного потоку.

В роботі [5] запропонований ЕФ, що складається з трьох екранів, між якими створюється висока різниця потенціалів. За рахунок цього поляризуються розташовані між екранами волокнисті набивання. На поверхні набивок утворюються позитивні та негативні заряди. Пил між екранами також поляризується і залишається на поверхні набивки.

Висновки по розділу

З усіх розглянутих типів ЕФ для більш докладного розгляду найбільший інтерес представляє іонний вентилятор-фільтр. В порівнянні з іншими ЕФ з таким же ступенем очищення, він має такі основні переваги:

- нижче споживання електроенергії в порівнянні з ЕФ з примусовою вентиляцією;
- можливість ефективно працювати за більш високих швидкостей повітря порівняно з електростатичним фільтром.

Для того щоб рекомендувати даний апарат як основний засіб обезпилювання в сільськогосподарських приміщеннях малого обсягу (лабораторії, цехи з переробки продукції і т.д.), необхідно провести дослідження щодо визначення зони дії ІВФ, найвигіднішого розташування ІВФ у приміщенні, економії енергії при роботі ІВФ в порівнянні з іншими способами очищення повітря.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ ВСТАНОВЛЕНОМУ РЕЖИМІ РОБОТИ

Програма досліджень включала:

1. Визначення впливу розміру пилових частинок на ступінь очищення в апаратах ІВФ і "Супер-плюс".
2. Дослідження озонovidілення при роботі рециркуляційних електрофільтрів;
3. Вимірювання концентрації іонів у повітрі приміщення при роботі іонного вентилятора-фільтра.
4. Отримання полів швидкостей електричного вітру, який створюється у приміщенні рециркуляційними електрофільтрами.
5. Отримання полів ступенів очищення повітря від пилу у приміщенні під час роботи рециркуляційних електрофільтрів.
6. Визначення зв'язку між швидкістю та ступенем очищення повітря у приміщенні під час роботи іонного вентилятора-фільтра.
7. Дослідження розподілу концентрації пилу у повітрі приміщення за його висотою при непрацюючому рециркуляційному електрофільтрі.
8. Визначення оптимального методу установки іонного вентилятора-фільтра в приміщенні.

Для експериментів використовувалася установка, наведена на рис. 2.1.

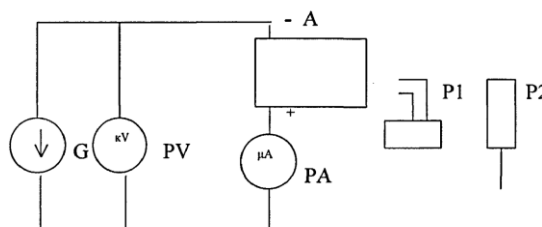


Рис. 2.1. Схема експериментальної установки: G – джерело високої напруги, PV – кіловольтметр, А – ІВФ, PA – мікроамперметр, P1 – лічильник аерозолів, P2 – анеометр

Апаратурне оснащення. Кіловольтметр типу С 196 клас точності 1,0; мікроамперметр типу М 903/1 класу точності 1,5; електроанемометр типу АП-1; лічильник аерозолів ПК.ГТА-0,3-002. Лічильник реєструє аерозольні частинки у шести каналах за розмірами: від 0,3 мкм та вище; від 0,4 мкм та вище; від 0,5 мкм та вище; від 0,6 мкм та вище; від 0,8 мкм та вище; від 1,0 мкм та вище.

Діапазон виміру лічильної концентрації аерозольних частинок від 0 до $3,5 \times 10^5$ частинок в літрі.

ІВФ отримував живлення від високовольтного джерела, виконаного на основі підвищуючого трансформатора і схеми множення напруги.

Дослідження залежності ступеня очищення від розміру пилових частинок ІВФ проводилося в такій послідовності.

1. На ІВФ подавалася напруга 15 кВ.
2. Вимірювалася концентрація пилових частинок у точках, розташованих на відстані 1 см від площин вхідного та вихідного перерізів ІВФ.
3. Для кожного діапазону вимірювань концентрацій пилових частинок була зроблена одна серія з п'яти вимірювань, після чого ці показання усереднювалися і перераховувалися концентрації частинок різних фракцій з відповідним середнім радіусом.
4. Визначали ступінь очищення за загальноприйнятою формулою.

Визначення впливу розміру пилових частинок на ступінь очищення "Супер-плюс" проводилося для двох режимів його роботи: нормального та прискореного.. Вимірювання концентрації пилових частинок в даному експерименті проводилися лічильником аерозолів АЗ-5, що має діапазон виміру від 0,4 мкм та вище до 10,0 мкм та вище.

Методика дослідження озонovidілення під час роботи рециркуляційних електрофільтрів. Дослідження включало наступні експерименти.

1. Визначення концентрації озону в приміщенні на різній відстані від ЕФ (ІВФ та "Супер-плюс").

2. Визначення залежності концентрації озону в приміщенні від тривалості роботи ЕФ.

Концентрація озону вимірювалася газоаналізатором озону 3-02П-1, що має діапазон виміру 0,015-0,40 мг/м³. Перший експеримент проводився так. Концентрація озону вимірювалася в контрольних точках, розташованих на відстані від 0 до 1,0 м від центру вихідного отвору апаратів уздовж поздовжньої осі (рис. 2.2, 2.3), до їх включення (фонова концентрація) та після 20 хвилин їх роботи.

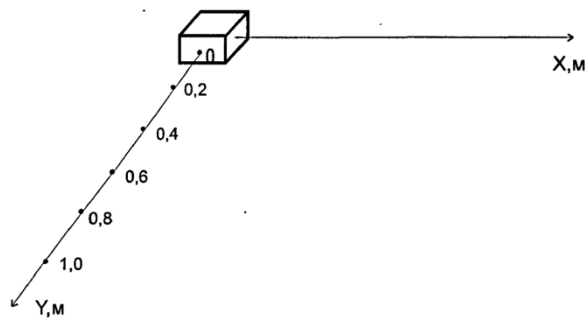


Рис. 3.2. Розташування контрольних точок для вимірювання концентрація озона при роботі ІВФ.

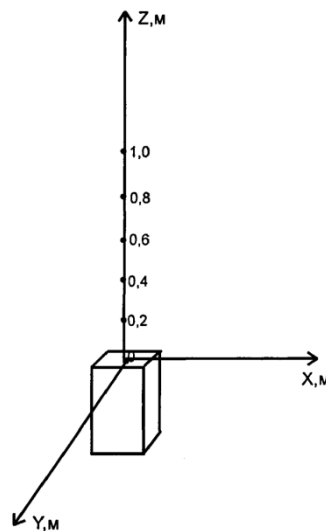


Рис. 2.3. Розташування контрольних точок для вимірювання концентрації озону при роботі очищувача повітря "Супер-плюс"

Результат виміру отримували шляхом усереднення десяти послідовних показань приладу. Під час проведення другого експерименту вимірювалася

концентрація озону протягом 60 хвилин роботи апаратів з відривом 0,2 м від центру вихідного отвору.

Для вимірювання концентрації легких негативних іонів був використаний лічильник іонів аспіраційного типу ИКД-ОТИ. Концентрація легких іонів вимірювалася при граничній рухливості $0,1 \text{ см}^2/(\text{В} \times \text{с})$. 97

ІВФ встановлювався горизонтально на висоті 0,9 м від підлоги. На ІВФ подавалася напруга 15 кВ.

Концентрація іонів вимірювалася по поздовжній осі симетрії ІВФ, на його виході, на відстані 10; 30; 50 см від вихідного отвору.

При отриманні поля швидкостей горизонтального положення ІВФ апарат встановлювався на столі висотою 0,9 м від підлоги. Площина вихідного перерізу ІВФ збігалася з краєм столу.

Точка з координатами (0; 0; 0) (рис. 2.4) була центром вихідного перерізу ІВФ. Площина XOY була паралельна поверхні підлоги, вісь OY збігалася з напрямком повітряного потоку.

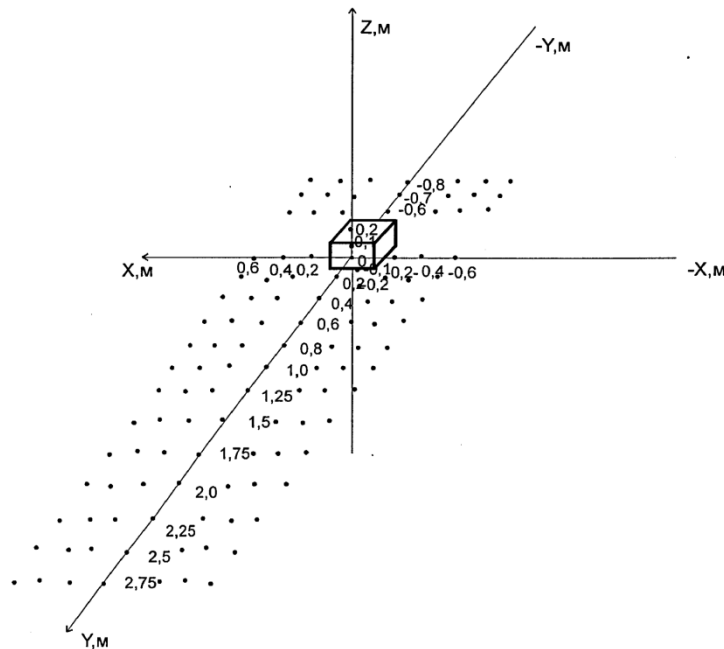


Рис. 2.4. Схема розташування контрольних точок для зняття поля швидкостей повітря в приміщенні при горизонтальному розташуванні ІВФ ($Z=0$)

Швидкість електричного вітру вимірювалася крильчастим анемометром типу У5.

Експеримент проводився у такій послідовності.

1. На ІВФ подавалася напруга $U=15$ кВ.

2. Вимірювалася швидкість електричного вітру в площині з координатами $Z=0$ у контрольних точках, наведених на рис. 2.4. Швидкість у кожній точці вимірювалася протягом 60 с.

3. Аналогічно проводилися вимірювання для площин з координатами $Z=0,1;0,2;-0,1;-0,2$ м.

4. Вимірювання проводилися за тією ж схемою і для напруги $U=20$ кВ.

При отриманні поля швидкостей вертикального положення ІВФ апарат розташовувався на стіні. Висота від підлоги до вихідного отвору ІВФ становила 1 м. Повітряний потік був спрямований вгору паралельно площині стіни.

Точка з координатами $(0;0;0)$ (рис. 2.5) була центром вихідного перерізу ІВФ. Площина XOZ була паралельна площині стіни. Вісь OZ збігалася із напрямком повітряного потоку.

Експеримент проводився в такій послідовності:

1. На ІВФ подавалася напруга $U=5$ кВ. Вимірювалася швидкість електричного вітру у площині $V=0$ у контрольних точках, наведених на рис. 2.5. Швидкість у кожній точці вимірювалася протягом 60 с.

2. Аналогічно вимірювалися для площин з координатами $y=0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ м.

3. Вимірювання проводилися за тією ж схемою і для напруги $U=20$ кВ.

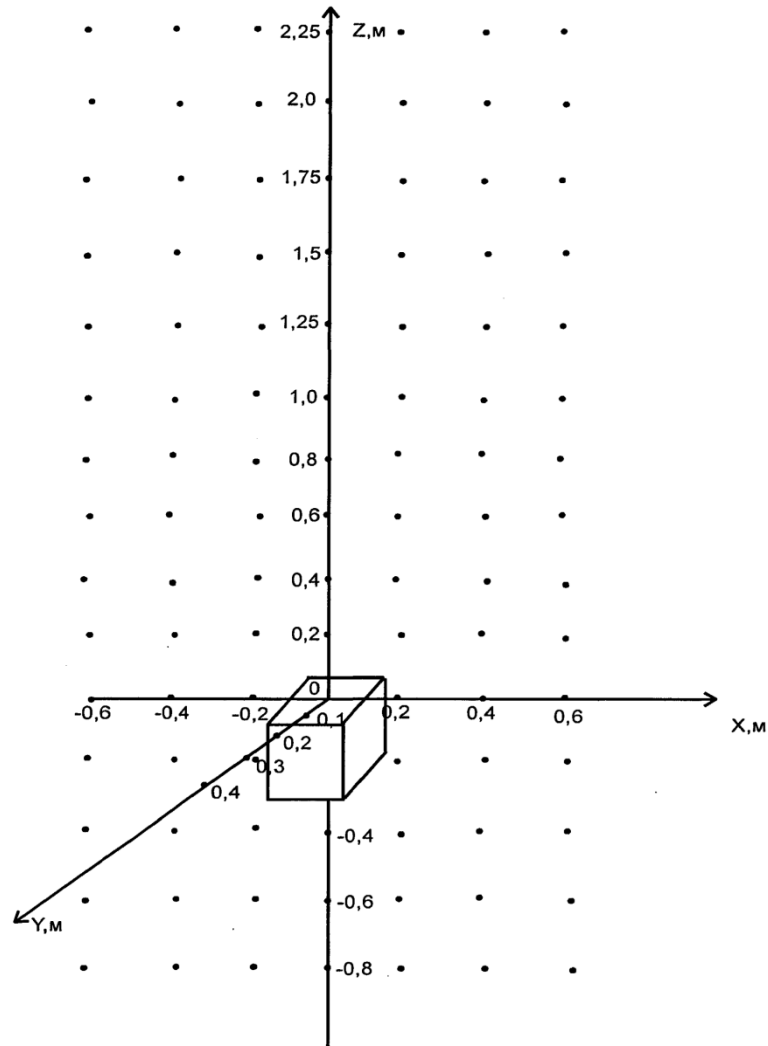


Рис. 2.5. Схема розташування контрольних точок для зняття поля швидкостей повітря в приміщенні за вертикального розташування ІВФ ($Y=0$)

Для визначення зв'язку між швидкістю електричного вітру та ступенем очищення повітря в приміщенні був використаний кореляційний та регресійний аналіз.

Як вихідні дані для проведення кореляційного та регресійного аналізу були використані результати експериментів.

Кореляційний та регресійний аналіз був проведений для полів ступенів очищення повітря у приміщенні η_n та швидкості електричного вітру v для наступних умов: горизонтальне положення ІВФ при напрузі $U=15$ кВ та $U=20$ кВ, а також з об'єднанням даних для $U=15$ кВ і $U=20$ кВ.

За відомою методикою [7] для кожного набору умов визначалися наступні величини:

r – коефіцієнт кореляції між швидкістю електричного вітру і ступенем очищення повітря в тій же точці приміщення η_n ;

$b_{\eta v}$ – коефіцієнт регресії;

S_r – помилка коефіцієнта кореляції;

S_b – помилка коефіцієнта регресії;

$S_{\eta v}$ – помилка відхилення від регресії;

t_r – критерій суттєвості коефіцієнта кореляції;

V – число ступенів свободи;

t_{05} – табличне значення критерію Стьюдента при 5% рівні значущості та числі ступенів свободи V .

Оцінка суттєвості кореляційного зв'язку проводилася шляхом зіставлення величин t_r і t_{05} якщо $t_r > t_{05}$, то кореляційний зв'язок суттєвий, а при $t_r < t_{05}$ – несуттєвий.

Для величин r і $b_{\eta v}$ розраховувалися довірчі інтервали.

Далі перевірялася можливість отримання поля ступеня очищення повітря у приміщенні за відомим полем швидкості електричного вітру.

Ця перевірка проводилася в такий спосіб.

1. За допомогою отриманого рівняння регресії для горизонтального положення ІВФ було знайдено ступінь очищення повітря в приміщенні η_n швидкості електричного вітру v різних точках. Отримані значення η_n були нанесені на координатну площину.

2. Методом усереднення знайшли точки, ступінь очищення повітря в яких дорівнювала 0,4; 0,5; 0,6; 0,7, після чого точки з однаковими значеннями ступеня очищення були з'єднані лінією.

3. Аналогічним чином було отримано просторове розподілення ступеня очищення повітря в приміщенні за рівнянням регресії для верхньої та нижньої межі довірчої зони.

4. За експериментальними даними було побудовано просторовий розподіл ступеня очищення повітря в приміщенні, після чого було проведено порівняння розрахункових та експериментальних даних.

Методика визначення раціонального способу встановлення іонного вентилятора-фільтра у приміщенні. Розглядалися такі способи установки ІВФ у приміщенні: а) горизонтально на столі (полиці), б) горизонтально в ніші, в) вертикально.

Дослідження включало шість експериментів.

1. Визначення впливу довжини поверхні перед вихідним отвором ІВФ L_1 на полі швидкостей електричного вітру за фіксованої загальної довжини поверхні L (рис. 2.6, а).

2. Визначення впливу довжини поверхні перед вхідним отвором ІВФ L_2 на полі швидкостей при збігу площини вихідного отвору ІВФ із краєм поверхні (рис. 2.6, б).

3. Визначення впливу довжини поверхні перед вихідним отвором ІВФ Z , на полі швидкостей при збігу площини вхідного отвору з краєм поверхні (рис. 2.6, в).

4. Визначення впливу відстані від стіни до вхідного отвору ІВФ L_2 на полі швидкостей при збігу площини вихідного отвору ІВФ із краєм поверхні (рис. 2.6, г).

5. Визначення впливу розміщення ІВФ у ніші на полі швидкостей (рис. 2.6, д).

6. Визначення впливу відстані від стіни до бічної поверхні ІВФ, що вертикально розташований на полі швидкостей (рис. 6.6, е).

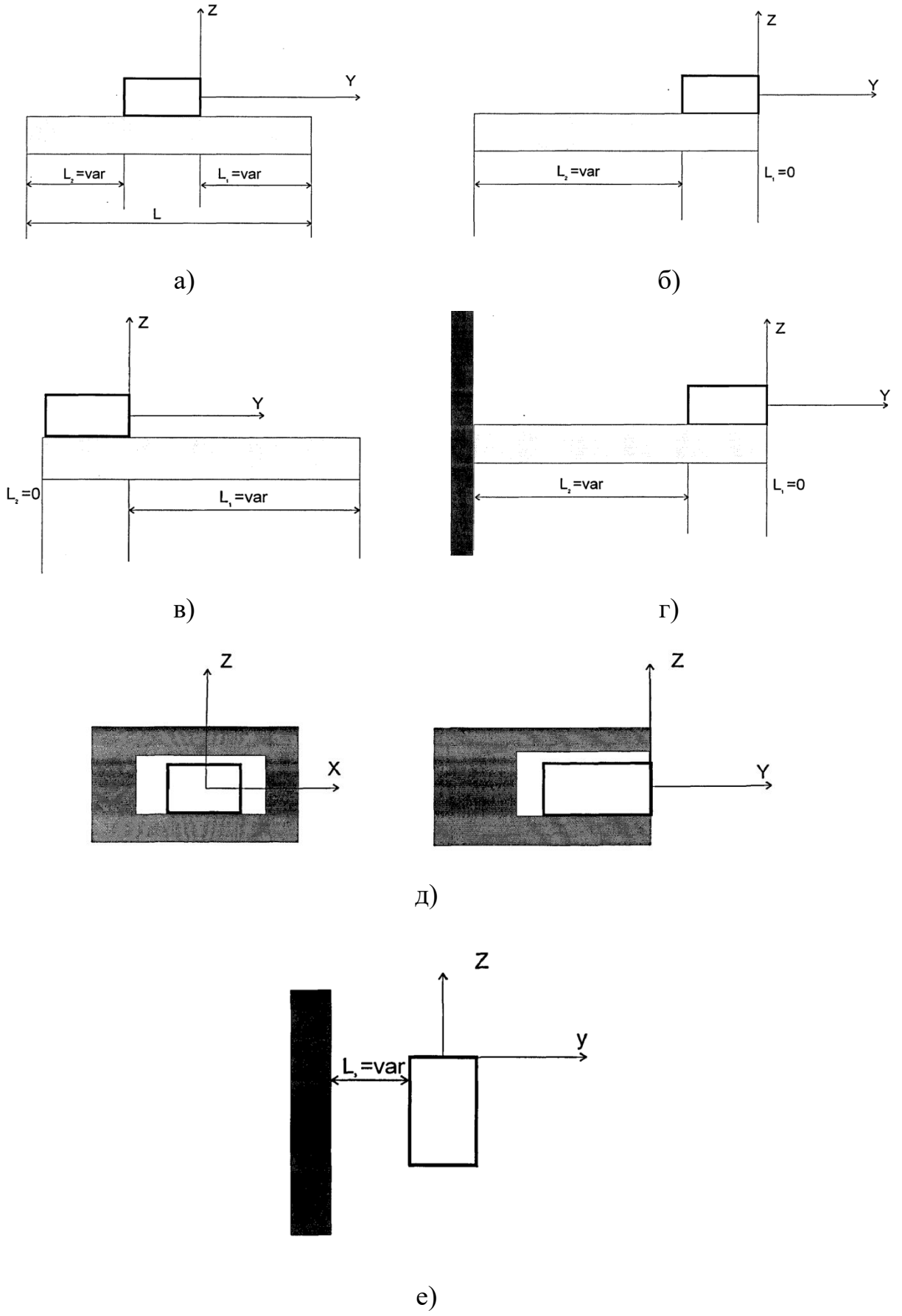


Рис. 2.6. Схеми установки ІВФ у різних експериментах

Експерименти проводилися у приміщенні обсягом $F = 109 \text{ м}^3$. На ІВФ подавалася напруга $U = 5 \text{ кВ}$. Швидкість електричного вітру вимірювалася крильчастим анемометром У5 протягом 60 с у кожній контрольній точці.

Висновки по другому розділу

В другому розділі магістерської роботи представлено методику експериментальних досліджень електрофільтрів при встановленому режимі роботи.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Результати експериментів залежності ступеня очищення повітря в рециркуляційних електрофільтрах від розміру пилових частинок представлено на рис. 3.1.

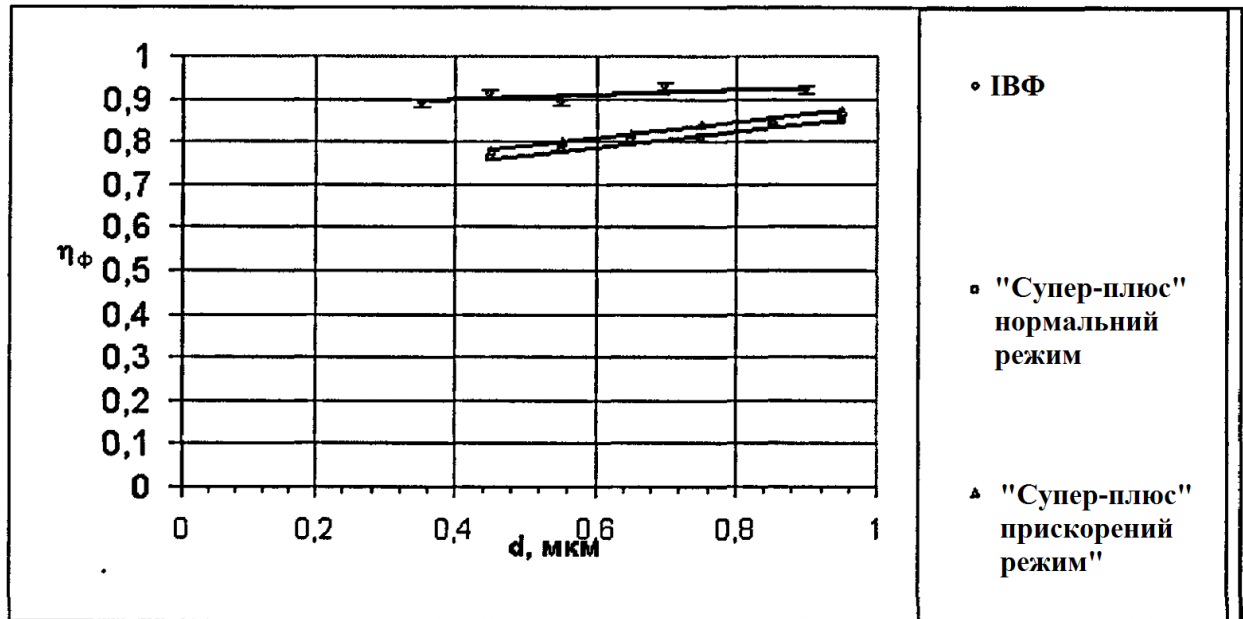


Рис. 3.1 Залежність ступеня очищення повітря від пилу в ЕФ від розміру пилових частинок

Усі залежності носять зростаючий характер, тобто ступінь очищення в обох апаратах збільшується зі збільшенням розміру пилових частинок.

Отриманий результат пояснюється тим, що більші частинки, перебуваючи в полі коронного розряду, набувають більшого заряду порівняно з дрібними, внаслідок чого повніше осідають на осадних електродах.

Ступінь очищення в ІВФ помітно вище, ніж у "Супер-плюс". При цьому вплив розміру пилових частинок на ступінь очищення ІВФ незначний, в діапазоні 0,35-0,9 мкм він змінюється від 0,89 до 0,93 і для подальших досліджень її можна вважати рівною 0,9.

Ступінь очищення в "Супер-плюс" сильніше залежить від розміру пилових частинок і в дослідженому діапазоні розмірів зростає з 0,76 до 0,84 у нормальному режимі та з 0,78 до 0,87 у прискореному. Ступінь очищення у прискореному режимі перевищує рівень очищення в нормальному режимі приблизно на 3% у всьому діапазоні розмірів. .

Результати першого експерименту озонувиділення при роботі рециркуляційних електрофільтрів представлено на рис. 3.2.

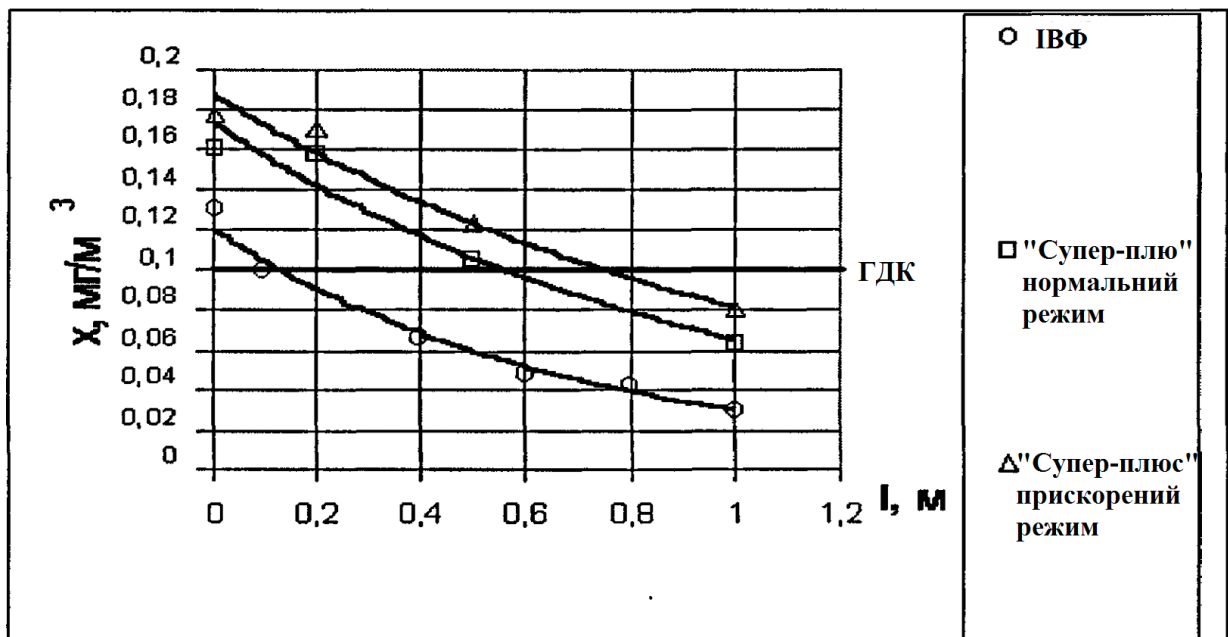


Рис. 3.2. Концентрація озону в повітрі приміщення на різних відстанях від вихідного перерізу ЕФ по поздовжній осі

З рис. 3.2 видно, що при роботі ІВФ концентрація озону безпосередньо на виході з апарату трохи перевищує ГДК, рівну $0,1 \text{ мг/м}^3$ [5], а при віддаленні від нього на $0,15 \text{ м}$ і більше не перевищує ГДК. При цьому з відривом 1 м від ІВФ концентрація озону дорівнює $0,03 \text{ мг/м}^3$, що становить 30% від ГДК.

При роботі "Супер-плюс" у нормальному режимі концентрація озону перевищує ГДК на відстані від 0 до $0,55 \text{ м}$ від нього, а при видаленні на 1 м концентрація озону дорівнює $0,07 \text{ мг/м}^3$, що становить 70% від ГДК.

Під час роботи "Супер-плюс" у прискореному режимі концентрація озону в середньому на 15% перевищує концентрацію у нормальному режимі роботи.

Результати другого експерименту наведено на рис. 3.3.

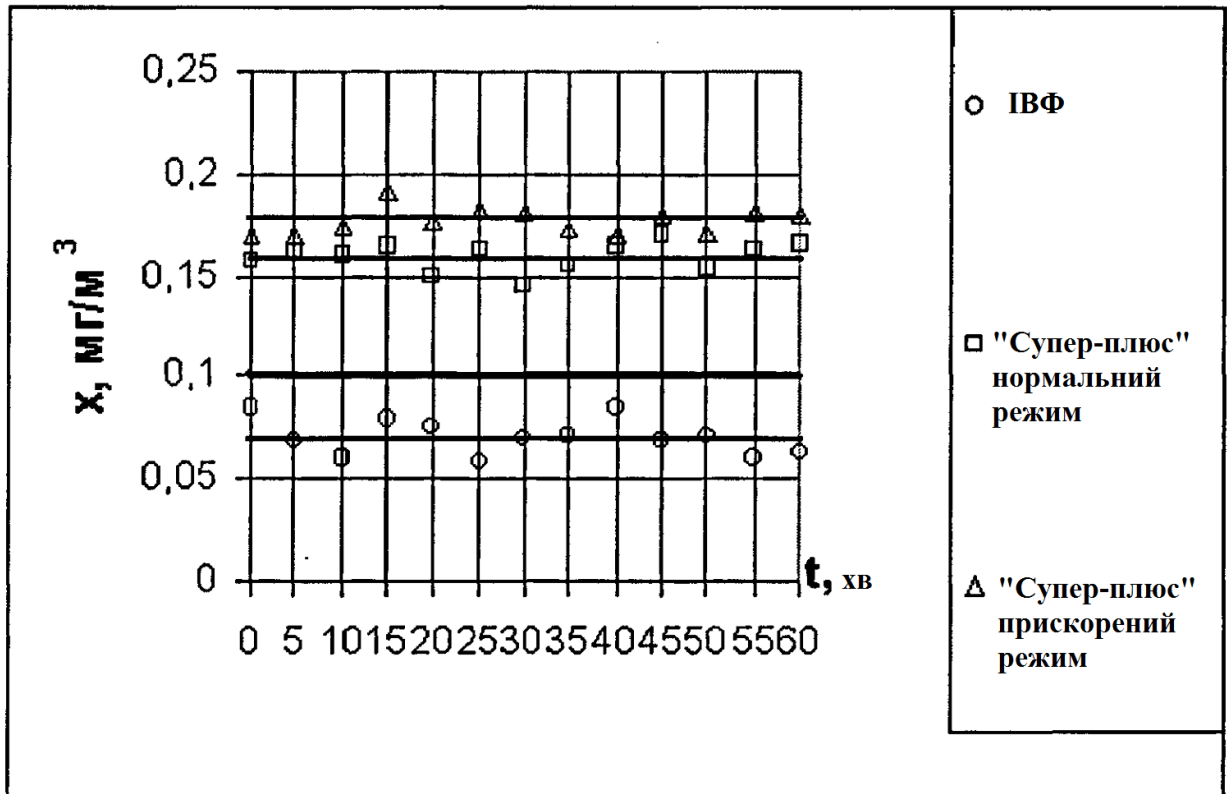


Рис. 3.3. Залежність концентрації озону від часу роботи ЕФ

З рис. 3.3. видно, що концентрація озону в приміщенні практично не залежить від часу роботи апаратів і на відстані 0,2 м від вихідного перерізу становить 0,07 мг/м³ для ІВФ, 0,16 мг/м³ для нормального режиму "Супер-плюс" та 0,18 мг/м³ для прискореного режиму "Супер-плюс".

Встановлено, що під час роботи ІВФ лічильник не фіксував наявності у повітрі приміщення іонів у кількостях, що перевищують природне іонізаційний фон. Це можна пояснити тим, що всі іони вловлюються у зоні осадження. Для підтвердження цього пояснення зона осадження ІВФ була видалена з апарату і було зроблено кілька вимірювань за наявності лише зони заряджання. При цьому на відстані 10 см від сітки (некоронуючого електрода зони зарядки) було зафіксовано концентрацію легких негативних іонів $n \approx 100000$ 1/см³.

Для вибору оптимального методу установки ІВФ на першому етапі використовувався показник l – максимальної відстань, до якої доходить лінія рівної швидкості $v=0,1$ м/с. Значення l за різних способів установки ІВФ наведені у вигляді діаграми на рис. 3.4.

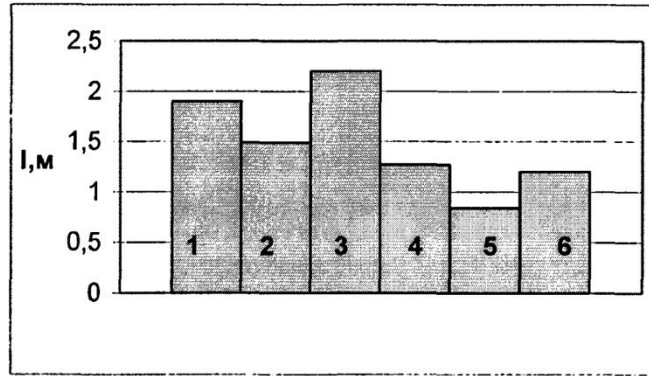


Рис. 3.4. Порівняння різних способів установки ІВФ у приміщенні: 1 – горизонтально на столі ($L_1 = 0,4$ м; $L_2 = 0,25$ м); 2 – горизонтально на столі ($L_1=0$ м; $L_2=0,6$ м); 3 – горизонтально на столі ($L_1 = 0,4$ м; $L_2 = 0$); 4 – горизонтально на полиці ($L_1 = 0$ м; $L_2 = 0,4$ м); 5 – у ніші; 6 – вертикально ($L_3=0,6$ м). З діаграми видно, що найкращим способом установки ІВФ є горизонтальне положення на столі при $L_1=0,4$ м та $L_2=0$.

На другому етапі оцінка способів установки ІВФ проводилася за кінцевим показником ефективності – ступенем очищення повітря в приміщенні η_n .

На рис. 3.5 представлені розраховані за рівнянням регресії $\eta_n=0,56v+0,35$ значення η_n у точках, розташованих по поздовжній осі ІВФ з відривом 1,2 м від вихідного перерізу апарату.

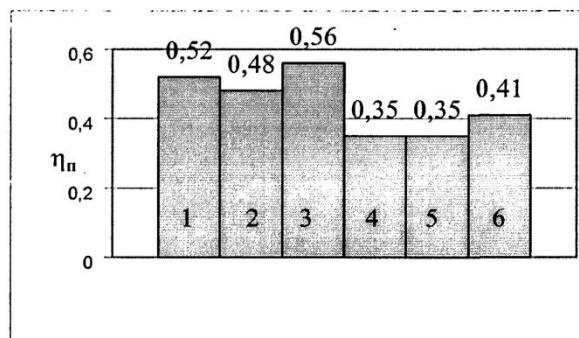


Рис. 3.5. Ступінь очищення повітря в приміщенні на відстані 1,2 м від вихідного перерізу ІВФ за різних способів установки: 1 – горизонтально на столі ($L_1=0,4$ м; $L_2=0,25$ м); 2 – горизонтально на столі ($L_1=0$ м; $L_2=0,6$ м); 3 – горизонтально на столі ($L_1 = 0,4$ м; $L_2 = 0$); 4 – горизонтально на полиці ($L_1 = 0$ м; $L_2 = 0,4$ м); 5 – у ніші; 6 – вертикально ($L_3=0,6$ м).

Дані, представлені на рис. 3.5, підтверджують висновок у тому, що найкращим є горизонтальний спосіб установки ІВФ, Як показав розрахунок, виконаний за методикою [7], цей висновок статистично достовірний, так як різниця значень η_n при горизонтальному та вертикальному положенні ІВФ становить $0,56-0,41=0,15$, а найменша істотна різниця (НСР) дорівнює $0,14$ (при рівні значущості 10%). При горизонтальному способі встановлювати ІВФ на столі краще, ніж на полиці або в ніші різниця відповідних значень η_n становить $0,56-0,35=0,21$, а НСР= $0,17$ (при рівні значимості 5%).

Висновки по розділу.

1. При збільшенні розміру пилових частинок ступінь очищення повітря в досліджених апаратах зростає, причому для ІВФ в діапазоні $0,35\dots0,9$ мкм вона незначно змінюється (від $0,89$ до $0,93$). Ступінь очищення повітря в "Супер-плюс" істотно нижчий, ніж у ІВФ, і становить для нормального режиму $0,76\dots0,84$, для прискореного режиму $0,78\dots0,87$.

2. Концентрація озону в повітрі приміщення під час роботи ІВФ нижче, ніж під час роботи "Супер-плюс". З цієї причини ІВФ є кращим у гігієнічному відношенні.

3. При роботі ІВФ у приміщенні не виявлено легких негативних іонів у кількостях, що перевищують природний іонізаційний фон..

4. Найкращий спосіб установки ІВФ у приміщенні – горизонтальне розташування на столі, перед вихідним отвором ІВФ має виступати поверхня довжиною близько $0,4$ м; при цьому відстань від стіни до вхідного отвору має бути не менше ніж $0,5$ м.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Результати, отримані в цій магістерській роботі, дозволяють зробити такі висновки.

1. Найбільш перспективним засобом очищення повітря від пилу у сільськогосподарських малооб'ємних приміщеннях з підвищеними вимогами до чистоти є рециркуляційні ЕФ.

2. При роботі ІВФ ступінь очищення повітря у фільтрі та ступінь очищення повітря в приміщенні вище, а озонovidілення нижче, ніж при роботі апарату "Супер-плюс". Таким чином ІВФ має перевагу перед "Супер-плюс" за всіма дослідженими параметрами.

3. Між швидкістю електричного вітру та ступенем очищення повітря у приміщенні існує, як показав кореляційний та регресійний аналіз, сильний та значущий зв'язок (коефіцієнт кореляції $r=0,81\dots 1,00$). Це дозволяє отримати за допомогою рівняння регресії поле ступенів очищення повітря в приміщенні за відомими значеннями швидкості електричного вітру.

4. Найкращий спосіб встановлення ІВФ – горизонтальне розташування на столі; при цьому відстань від стіни до вхідного отвору має бути не менше 0,5 м, а перед вихідним отвором повинна бути горизонтальна частина довжиною близько 0,4 м.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жулай Є.Л., Зайцев Б.В. та ін. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній. Підручник. Київ: Вища освіта, 2001. 288 с.
2. Солонщиков П.Н., Бякова О.В. Расчет вентиляции производственных и животноводческих объектов. Киров: Вятская ГСХА, 2015. 80 с.
3. Мишуров Н.П., Кузьмина Т.Н. Энергосберегающее оборудование для обеспечения микроклимата в животноводческих комплексах. Москва : Росинформагротех, 2004. 94 с.
4. Зайцев Н.О. Оборудование для очистки газов от пыли. СПб: Изд-во СПбГТУ, 2012. 5 10 с.
5. Самарин Г.Н. Энергосберегающая технология формирования микроклимата в животноводческих помещениях. Москва : МГАУ им. В.П. Горячкика. 2009. 443 с.
6. Вальдберг А.Ю., Исянов Л.М., Тарат Э.Я. Технология пылеулавливания. Ленинград : Машиностроение. 1985. 192с.
7. Савицкас Р.К., Картавцев В.В. Электротехнологии в животноводстве и растениеводстве. Воронеж, 2008. 66 стр.
8. Кудрявцев И.Ф. Электрооборудование животноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве. Москва : Колос, 1979. 368 с
9. Воробьев В.А., Калинин В.В., Колчинский Ю.Л. и др. Механизация и автоматизация сельскохозяйственного производства. Москва : Колос, 2004. 541 с.
10. Іноземцев Г.Б., Козирський В.В. Математичне моделювання та оптимізація систем електроспоживання у сільському господарстві. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2010. 140 с.

11. Ніколаєнко А.М. Технічні засоби автоматизації. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 322 с.
12. Chomat M. (ed.) New Applications of Electric Drives. AvE4EvA, 2015. 185 p.
13. El-Sharkawi M.A. Fundamentals of Electric Drives. 2nd Edition. Cengage Learn, 2019.
14. Hameyer K., Belmans R. Numerical Modelling and Design of Electrical Machines and Devices. WIT Press, 1999. 340 p.
15. Recalde R.I.G. Induction Motors: Applications, Control and Fault Diagnostics. AvE4EvA, 2015. 381 p.
16. Thomson W., Culbert I. Current Signature Analysis for Condition Monitoring of Cage Induction Motors: Industrial Application and Case Histories. Wiley-IEEE Press, 2017. 427 p.