

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота
другий магістерський
(рівень вищої освіти)

на тему «Аналіз умов формування плоскої радіальної плівки при співударі двох
круглих струменів»

Виконав: студент 2 курсу, групи ТЕ-18мз
спеціальності 144 Теплоенергетика
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Теплоенергетика
(код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

О.В. Турбаєвський
(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. В.І. Бахтін
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент _____ С.М.Симонік
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)



Запоріжжя
2020

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

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій
Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
(код та назва)
Освітня програма Теплоенергетика
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 26 » 12 2019 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)**

Турбаєвського Олександра Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

- 1 Тема роботи (проекту) Аналіз умов формування плоскої радіальної плівки при співударі двох круглих струменів
керівник роботи Бахтін Валерій Іванович доцент, к.т.н.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від « 10 » Вересня 2019 року № 1537-с
- 2 Строк подання студентом роботи 26.12.2019
- 3 Вихідні дані до роботи наукова дисертація Бахтіна В.І.
- 4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) стан питання і постановка завдання досліджень, аеродинамічні особливості шахт природної витяжки, сучасні апарати і пристрої, прийнятні для очищення низьконапірних потоків газу, характеристика співударних струменів, дослідження гідродинамічних характеристик співударних струменів, охорона праці.
- 5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) графічні залежності, залежності безрозмірних комплексів, схема лабораторної установки, схема розтікання радіальної плівки, схема струменерозбірника, схема установки.
- 6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видані	завдання прийняв
1 Стан питання і постановка завдання досліджень	Бахтін В.І. доцент, к.т.н.		
2 Дослідження гідродинамічних характеристик співударних струменів	Бахтін В.І. доцент, к.т.н.		
3 Охорона праці	Бахтін В.І. доцент, к.т.н.		

7 Дата видачі завдання 02.09.19

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітка
1	1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	02.09.19- 03.10.19	виконано
2	1.1 Аеродинамічні особливості шахт природної витяжки	02.09.19- 06.09.19	виконано
3	1.2. Сучасні апарати і пристрої, прийнятні для очищення низьконапірних потоків газу	04.09.19- 19.09.19	виконано
4	1.3. Характеристика співударних струменів	20.09.19- 03.10.19	виконано
5	2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПІВУДАРНИХ СТРУМЕНІВ	04.10.19- 31.10.19	виконано
6	2.1 Дослідження параметрів факела співударних струменів	04.10.19- 15.10.19	виконано
7	2.2. Дослідження залежності радіусу радіальною рідкої плівки від числа Вебера	16.10.19- 24.10.19	виконано
8	2.3. Дослідження гідравлічного опору, що створюється співударними струменями в газовому потоці	25.10.19- 31.10.19	виконано
9	3 ОХОРОНА ПРАЦІ	01.11.19- 29.11.19	виконано
10	ВИСНОВКИ	02.12.19- 04.12.19	виконано
11	Оформлення звіту	05.12.19- 26.12.19	виконано

Студент
(підпис)

О.В. Турбасєвський
(підпис та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

В.І. Бахтін
(підпис та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Турбаєвський О. Аналіз умов формування плоскої радіальної плівки при співударі двох круглих струменів.

Кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, науковий керівник канд. техн. наук, доцент В.І. Бахтін. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020.

В роботі наведено аналіз умов формування плоскої радіальної плівки. Проаналізовано сфери застосування дисперсного розпилення рідини у технологічних процесах.

Ключові слова: ПЛОСКА РАДІАЛЬНА ПЛІВКА, ЗРИВ КОНДЕСАТУ, ДИСПЕРСНЕ РОЗПИЛЕННЯ, ДИСПЕРГУВАННЯ.

ABSTRACT

Turbaevskiy O. An Analysis of the Conditions of Formation of a Flat Radial Film with the Collaboration of Two Round Jets.

Qualification work for the degree of master's degree in specialty 144 - Thermal power engineering, scientific supervisor tech. of Sciences, Associate Professor VI Bakhtin. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, Department of Heat and Hydropower, 2020.

The paper analyzes of the conditions of formation of a flat radial film. Areas of application of dispersed liquid spraying in technological processes are analyzed.

Key words: FLAT RADIAL FILM, CONDENSATE DISPOSAL, DISPERSE SPRAY, DISTRIBUTION.

АННОТАЦИЯ

Турбаевский А. Анализ условий формирования плоской радиальной пленки при соударении двух круглых струй.

Квалификационная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 144 - Теплоэнергетика, научный руководитель канд. техн. наук, доцент В.И. Бахтин. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, 2020.

В работе приведен анализ формирования плоской радиальной пленки. Проанализированы сферы применения дисперсного распыления жидкости в технологических процессах.

Ключевые слова: ПЛОСКАЯ РАДИАЛЬНАЯ ПЛЕНКА, СРЫВ КОНДЕСАТА, ДИСПЕРСНОЕ РАСПЫЛЕНИЯ, ДИСПЕРГИРОВАНИЕ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	8
1.1 Аеродинамічні особливості шахт природної витяжки.....	8
1.2. Сучасні апарати і пристрої, прийнятні для очищення низьконапірних потоків газу.....	10
1.3. Характеристика співударних струменів.....	22
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПІВУДАРНИХ СТРУМЕНІВ.....	32
2.1 Дослідження параметрів факела співударних струменів.....	33
2.2. Дослідження залежності радіусу радіальною рідкої плівки від числа Вебера	37
2.3. Дослідження гідравлічного опору, що створюється співударними струменями в газовому потоці	45
2.3.1. Опис лабораторної установки і методики проведення досліджень	46
2.3.2. Виведення залежності гідравлічного опору створюваного співударними струменями у висхідному газовому потоці	48
3 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	52
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	66

ВСТУП

Актуальність роботи. Прискорити розвиток науково-технічного прогресу розширення і поглиблення наукових досліджень в області умов формування плоскої радіальної плівки при співударі двох круглих струменів. У зв'язку з сферами застосування дисперсного розпилення рідини у технологічних процесах.

Об'єкт дослідження – процес формування плоскої радіальної плівки.

Предмет дослідження – вплив співудару двох круглих струменів на формування плоскої радіальної плівки.

Мета роботи – теоретичне дослідження процесу формування плоскої радіальної плівки при співударі двох круглих струменів.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- дослідження гідродинамічних характеристик співударних струменів.

Методи та засоби дослідження. Поставлені задачі вирішувались шляхом дослідження літературних джерел відповідно до тематики дослідження. В роботі використані основні теоретичні положення технологічних процесів, що відбуваються при співударі двох круглих струменів.

Наукова новизна отриманих результатів. Підтверджено залежність умов формування плоскої радіальної плівки при співударі двох круглих струменів.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні дослідження, виконанні безпосередньо автором спільно із співробітниками ІІ ЗНУ. Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формування висновків.

Апробація роботи. Положення роботи викладені на XII університетській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2019» (м. Запоріжжя, 2019).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, три розділи, висновки та перелік джерел посилань з 40 позицій, загальний обсяг складає 70 сторінок, у тому числі 16 ілюстрацій та 1 таблиці.

1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Аеродинамічні особливості шахт природної витяжки

Через технологічні особливості більшість плавильних агрегатів, а також багато допоміжних пристроїв по їх обслуговуванню є джерелами забруднення повітряного басейну. Не становлять винятки і вагранки, вузли перевантаження сипких матеріалів, від яких газові потоки транспортуються за допомогою шахт і газоходів під дією природної тяги.

Проте, очищення газів в ШЕВ зв'язане з наступними труднощами:

- пил, що виділяється, містить частинки різних розмірів, в основному, від 5 до 100 мкм. По складу пил вельми різномірний і має різні фізико-хімічні властивості;
- в процесі плавки виділяються одночасно пил і токсичні гази;
- виділення газів і пилу відбувається нерівномірно, з причини нестабільності режимів технологічних процесів.

Особливо важливе значення для газових потоків з незначним тиском (розрідженням) до 300 Па набуває втрата тиску газовим потоком при подоланні гідравлічного опору у вузлах газоочистки. Таким чином, гідравлічний опір пиловловлюючих апаратів при очистці таких газів є одним з основних чинників, що визначають умови видалення пилу від місць її утворення.

Основоположником теорії теплової спонуки руху газу є великий вчений М.В. Ломоносов [14]. Велику роль в розвитку цієї теорії зіграв вчений В.Е. Грум-Гржимайло [15].

У їх роботах наголошувалося, що неодмінною умовою для виникнення природної тяги повинна бути різниця густини газів, обумовлена різницею температур зовнішнього повітря і газу, що видаляється, тобто необхідна наявність підйомної сили.

Крім того, для здійснення природної витяжки необхідно дотримуватися ще однієї додаткової умови – транспортуємий газ, повинен мати достатній запас енергії для подолання опору на шляху газового потоку (від входу в шахту до викиду в атмосферу).

Максимальне значення тяги, створюєме вертикальною шахтою, використовуємої для транспортування гарячих газів, густина яких менше густини атмосферного повітря, як відомо, рівна:

$$\Delta p_{\text{Е.Т.}} = g \cdot H_{\text{ш}} \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{г}}). \quad (1.1)$$

Поперечний перетин шахти вибирається таким, щоб середня швидкість газу в ній була не більше 6 м/с, оскільки при більшій швидкості істотно зростає гідравлічний опір, але і не менше 1 м/с, оскільки холодне атмосферне повітря може потрапляти через гирло в шахту і тим самим різко погіршувати тягу. Останнє особливо часто спостерігається в вітряну погоду або при попаданні малої кількості газу в шахту великого діаметру.

Якщо густина рухаючихся газів в шахті, приведена до нормальних умов, близька до густини сухого повітря, тобто рівна 1,293 кг/м³, то максимальне значення тяги, що створюється шахтою, як відомо, буде рівне:

$$\Delta p_{\text{Е.Т.}} = g \cdot H_{\text{ш}} \cdot \frac{\rho_{20} \cdot T \cdot B_{\text{в}}}{B_{20}} \cdot \left(\frac{1}{T_{\text{в}}} - \frac{1}{T_{\text{г}}} \right). \quad (1.2)$$

Висота ШЕВ може досягати (30...40) м, тому складова повних втрат, а саме втрат на тертя, може досягати деякого значення, яке необхідно враховувати також як і гідравлічний опір газоочисного апарату, що враховується як місцевий опір.

1.2. Сучасні апарати і пристрої, прийнятні для очищення низьконапірних потоків газу

Як відомо, для видалення вагранкових газів використовуються ШЕВ, тому, враховуючи значне розповсюдження вагранок, в даній роботі було розглянуто очищення відходячих вагранкових газів.

Особливо широке застосування для очищення вагранкових газів отримали так звані мокрі іскрогасники, ступінь очищення яких змінюється в межах (60...80) % [16].

Перші іскрогасники з'явилися в 60-х роках. Найбільш простий і розповсюджений з них, представлений на рисунку 1.1, розроблений на Горьковському автозаводі [16]. Гази з вагранки поступають в іскрогасник 1, де зрошуються розпо-рошеною водою. Зрошуюча рідина розпилюється однією форсункою 2 розташованою співвісно іскрогаснику і направленою вихідним отвором на центр відбивного зонти 3. Діаметр отвору форсунки 20 мм, а вода до розпилувача подається при надмірному тиску 0,4 МПа. Ступінь очищення газів в іскрогаснику не більше 70 %. Невисокий ступінь очищення обумовлений нерівномірністю зрошування газового потоку і недостатнім ступенем диспергування зрошуючої фази.

Комарів О.С. досліджував мокрий іскрогасник [17], який представлений на рис. 1.2, з чотирма ярусами зрошуючих форсунок. У трьох ярусах форсунки розташовані по осі іскрогасника, а в одному ярусі чотири розпилувачі розташовано по периметру поблизу корпусу апарату.

Зміна рівня установки форсунок в корпусі іскрогасника, як показали проведені дослідження, не знижує вмісту пилу в газах після очистки. Ця зміна лише підвищує ефективність іскрогасника як охолоджувача вагранкових газів.

При перевірці впливу витрати води на ступінь очищення газів, витрату рідини збільшували поперемінно через кожну з форсунок, а потім через всі форсунки чотирьох ярусів зрошування.

Схема іскрогасника, розробленого Комаровим О.С. представлена на рисунку 1.2.

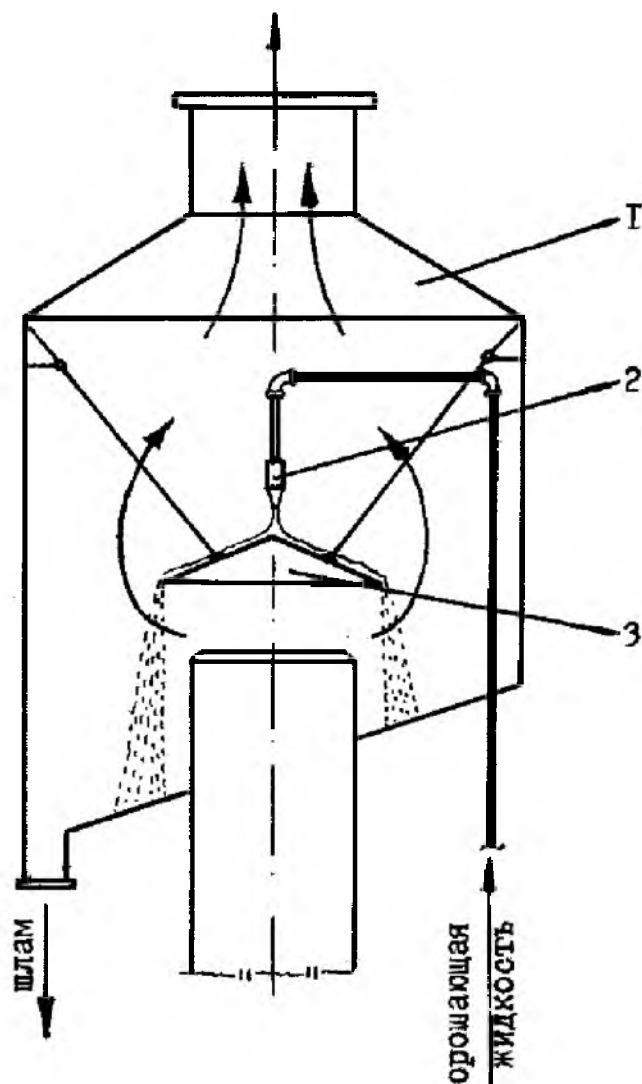


Рисунок 1.1 - Схема іскрогасника розробленого на Горьковському автозаводі

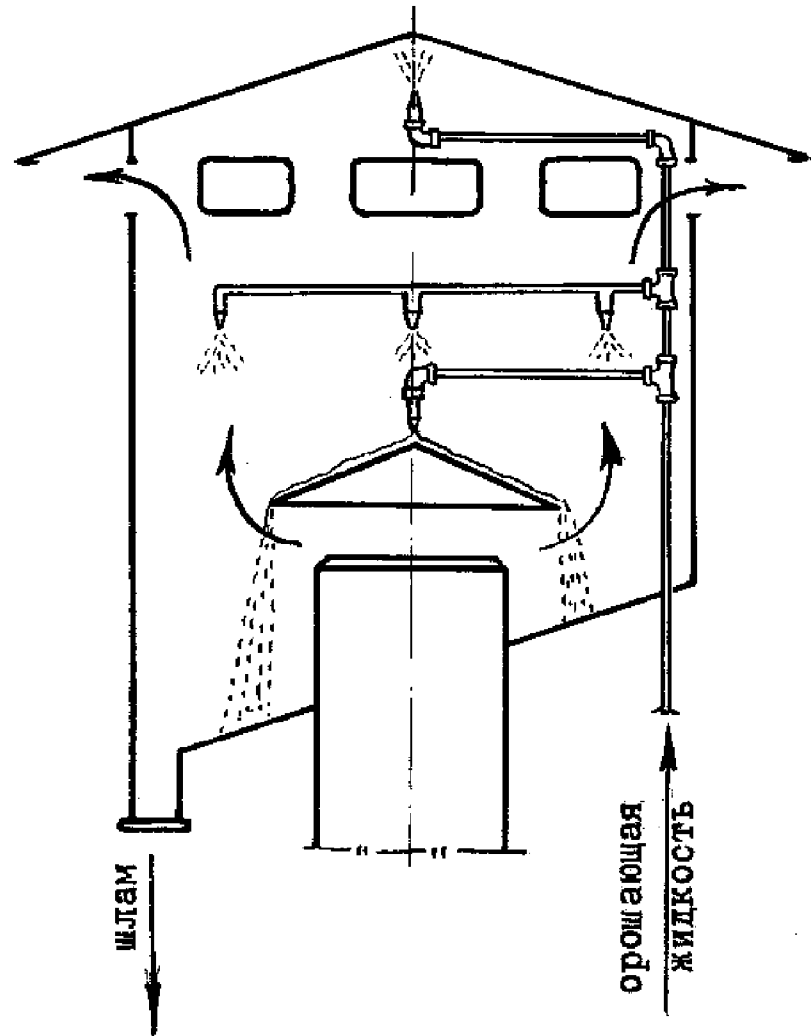
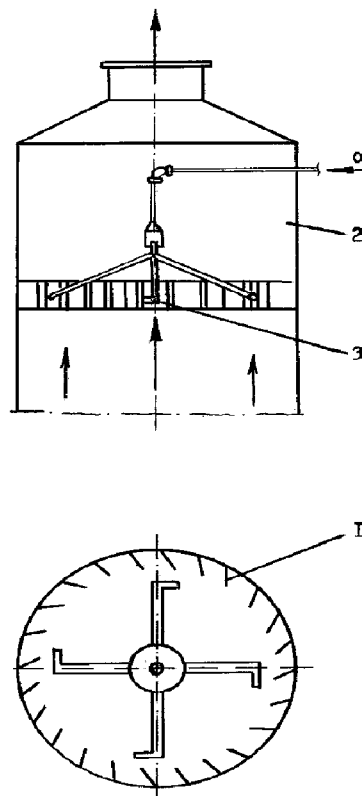


Рисунок 1.2 - Схема іскрогасника, розробленого Комаровим О.С

При питомій витраті зрошувачої рідини $0,5 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ іскрогасник виходить на оптимальний режим роботи. Подальше збільшення витрати рідини, знижуючи температуру газу, практично не покращує ефективність очищення. Незалежно від величини питомої витрати зрошувачої рідини, місця установки і кількості форсунок, очистити газ до рівня існуючих вимог не вдалося. Автор прийшов до висновку, що для осадження дрібних фракцій пилу потрібний апарат з принципово іншим методом диспергування рідини. Дослідження аеродинаміки газового потоку показали, що виходячи

з під зонта, газ не відразу повертає вгору, а спочатку переміщається горизонтально до стінок іскрогасника і вже далі рухається вздовж них. У вісьовій зоні іскрогасника утворюється застійна зона, що не бере участь в процесі осадження пилу. Звідси витікає, що розташовувати форсунки краще не по центру іскрогасника, а в його периферійній зоні поблизу стінок корпусу на шляху руху газів. Але навіть враховуючи цю рекомендацію, недоліки такої конструкції очевидні. Ступінь очищення газів при її використанні не перевищує 78 %.

Кауфман І.М. розробив апарат мокрого очищення газу [18], який представлений на рисунку 1.3.



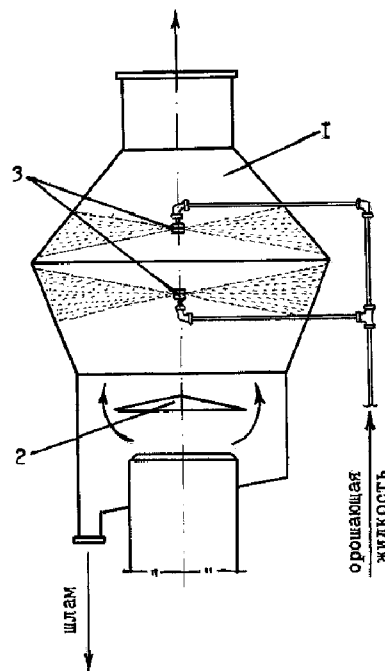
1 - відбивні решітки; 2 – корпус; 3 - водовідводячий тракт з розпилювальними форсунками.

Рисунок 1.3 - Схема апарату по А.С. № 772571

Головним призначенням такої конструкції є досягнення високої інтенсивності зрошування. Ступінь розпилювання рідини регулюється зміною кута зіткнення струменів рідини з відбивними решітками 1. Апарат включає корпус 2, водовідводячий тракт з розпилювальними форсунками 3.

При витіканні рідини з форсунок виникає реактивна сила, яка обертає форсунки. Струмені рідини при зіткненні з відбивною решіткою дробляться, забезпечуючи процес пиловловлювання. Проте, така система зрошування не сприяє рівномірному розподілу рідини по перетину апарату, що позначається негативно на ефективності очищення.

У інституті «ВНІППЧерметенергоочистка» розроблений пиловловлювач [19], що встановлюється над ШПВ, схема якого представлена на рисунку 1.4.



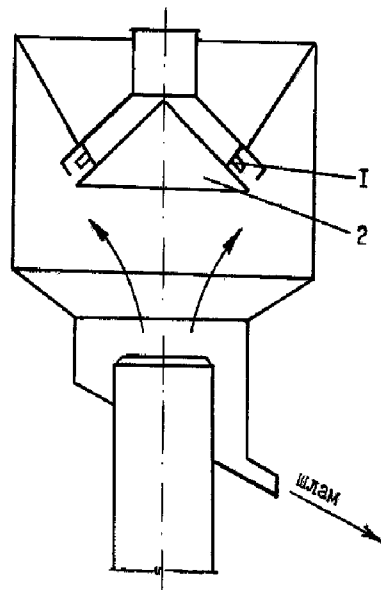
1 – корпус; 2 - водоохолоджуючий зонт; 3 – розпилювачі.

Рисунок 1.4 - Схема мокрого пиловловлювача, розробленого інститутом ВІППЧерметенергоочистка

Пиловлловлювач включає корпус 1 з нахиленим днищем для відведення шламу, водоохолоджуючий зонт 2, розпилувачі 3 нижнього і верхнього ярусів, виконанні у вигляді прямоточних форсунок з розсікачами, що створюють водяні завіси по ходу газу.

Середня температура газів після апарату, в якому вони очищуються і охолоджуються, складає 540 К. Не дивлячись на подачу в пиловловлювач близько $1 \text{ дм}^3/\text{м}^3$ води, глибокого охолодження газу не відбувається через малу кількість часу контакту і недостатнього перекриття перетину апарату диспергированою водою. Ступінь очищення газу в апараті не перевищує 80 %. Гідравлічний опір досягає 200 Па.

Харківським інститутом «Гіпротракторсільгоспмаш» розроблений пиловловлювач [16], схема якого приведена на рисунку 1.5.



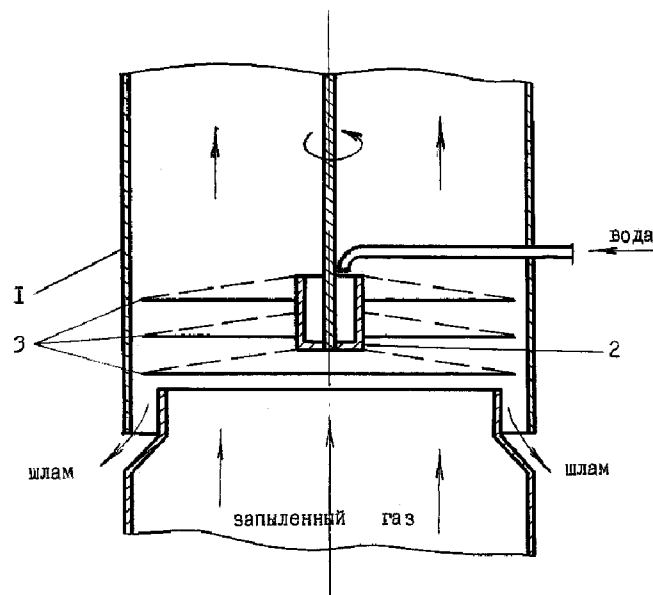
1 – форсунки; 2 – відбивач газів.

Рисунок 1.5 - Схема пиловловлювача, розробленого інститутом «Гіпротракторсельхозмаш»

На зовнішній поверхні відбивача газів 2 розташована розподільча камера зрошуючої рідини, до якої приєднано 24 форсунки 1 з діаметрами вихідних отворів 3 мм.

При витіканні води з форсунок, струмень рідини ударяються об відбивач і розпилюється на дрібні краплі. При цьому досягається велика поверхня дотичних фаз і створюються сприятливі умови для коагуляції порошинок з краплями рідини. До недоліків очисного пристрою відноситься те, що через малий діаметр вихідних перетинів сопел форсунки можуть засмічуватися при роботі на оборотній воді, а також винесення крапель диспергованої рідини. Ступінь очищення газів від пилу в цьому пиловловлювачі досягає 75 %.

Краснодарським політехнічним інститутом розроблений апарат для очистки газів [20], з гідравлічним опором, що не перевищує 50 Па, схема якого при-ведена на рисунку 1.6.



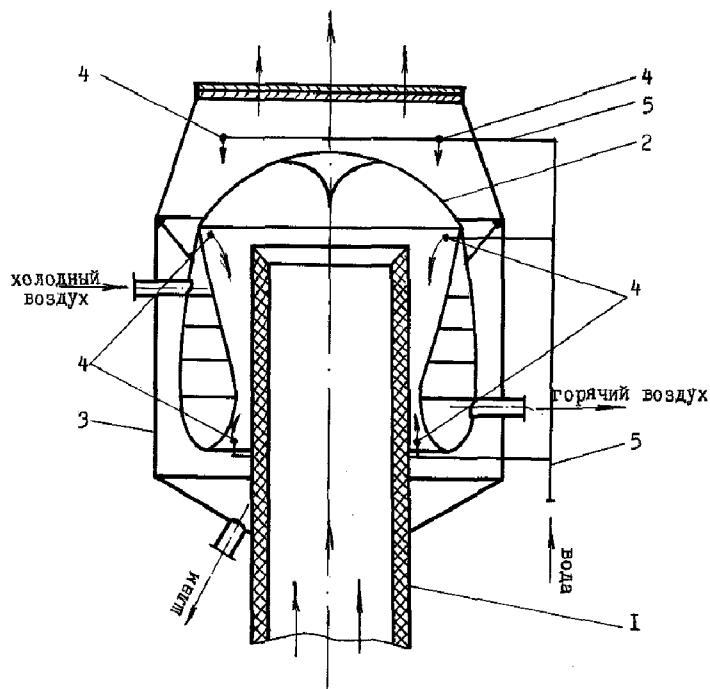
1 – корпус; 2 – розпилювач рідини; 3 – контактні елементи.

Рисунок 1.6 - Схема пиловловлювача, розробленого Краснодарським політехнічним інститутом

Усередині корпусу 1, розміщений механічний розпилювач рідини 2, виконаний у вигляді перфорованого стакана, що обертається, три контактні елементи 3 у вигляді усічених конусів з верхньою підставою з сітки. У цьому апараті запилений газ взаємодіє із зрошуючою рідиною під прямим кутом, що сприяє інтенсифікації процесу очищення газу від пилу.

Проте, такий апарат може бути використаний тільки для очищення газу від крупного пилу, оскільки при такому способі розпилювання не можна досягати високою ступені диспергування зрошуючої рідини. Крім того, до недоліків слід віднести і значні габаритні розміри і вагу.

Білоруським політехнічним інститутом розроблений пиловловлювач схема якого представлена на рисунку 1.7 [21].



1 - витяжна шахта; 2 - відбивний зонт; 3 - корпус; 4 - зрошуючі форсунки; 5 - водопідводячий тракт.

Рисунок 1.7 - Схема пиловловлювача, розробленого Білоруським політехнічним інститутом

Апарат встановлюється на витяжну шахту 1 і включає корпус 3, відбивний зонт 2 і утилізатор теплоти відходячих газів, зрошуючі форсунки 4, водопідводячий тракт 5.

Недоліки цього апарату в нерівномірному зрошуванні газу, значній питомій витраті зрошуючої рідини, недостатньому ступені диспергування, підвищеному гідравлічному опорі і великих габаритних розмірах і вазі.

Східним науково-дослідним інститутом по безпеці робіт в гірській промисловості (СхідНІІ) [22] розроблено пристрій, приведений на рисунку 1.8, яке розташовується усередині шахти. У цьому апараті на порожнистому валу 2 з можливістю обертання встановлені крильчатки 3, 4, 5 і 6. У маточині крильчаток розміщені сопла 7, які сполучені з внутрішньою порожниною валу і орієнтовані під кутом до осі обертання.

Крильчатки 3 і 5 виконані правого обертання, при цьому їх сопла направлені вліво, а крильчатки 4 і 6 виконані лівого обертання, а їх сопла направлені вправо [22].

При подачі води через патрубок 8 під дією реактивної сили, виникаючої при витіканні води з сопл 7, крильчатки приходять в обертання, причому суміжні крильчатки обертаються в протилежних напрямках.

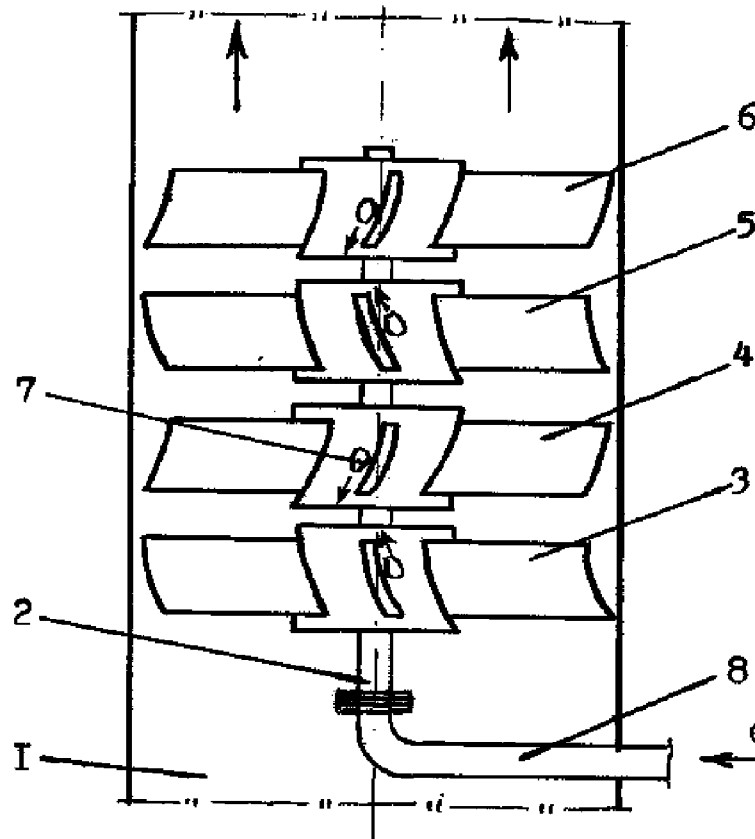
До недоліків цього пристрою слід віднести нерівномірність зрошування газового потоку по перетину шахти.

Крім того, для досягнення високого ступеня диспергування необхіден тиск в межах (2...4) МПа, що вимагає застосування ущільнень з великим опором обертанню.

У нашій державі для очищення низьконапірних газів застосовуються також порожнисті скрубери [23, 24, 25, 26]. Гази в скрубері проходять одну або декілька ступенів знепилювання і ступінь очищення при цьому не перевищує 85 %. До недоліків різних конструкцій скрубєрів відносяться значні габарити і вагу, підвищений гідравлічний опір, велику питому

витрату рідини, необхідність в додаткових виробничих площах для їх розміщення.

На рисунку 1.8 представлена схема пиловловлювача, розробленого інститутом «ВОСТНІІ»



1 - шахта; 2 - вал; 3, 4, 5, 6 - крильчатки; 7 - сопла; 8 – патрубок.

Рисунок 1.8 - Схема пиловловлювача, розробленого інститутом «ВОСТНІІ»

В кінці 70-х років в роботах, що проводяться металургійними підприємствами США з метою запобігання забрудненню навколишнього середовища, відбувся зсув акцентів з питань очищення технологічних газів, практично вирішених, на розробку способів уловлювання і очищення низьконапірних неорганізованих викидів [27].

Сучасні тенденції, прийняті в США, з метою запобігання нерганізованих низьконапірних викидів показують, що якнайповніше уловлювання і відведення їх досягаються застосуванням систем локалізації джерел пилоутворення у поєднанні з системами повної загальнообмінної вентиляції з використанням могутніх тягодуттьових засобів [28].

Так, на ряду металургійних підприємств були розроблені і введені в експлуатацію системи уловлювання викидів, що видаляються від місць утворення за рахунок природної тяги, які включають витяжні зонти і укриття різних конструкцій з подальшим їх виводом в тракти технологічних газів і очищенням в тканинних фільтрах [29].

Фахівці фірми «Jones and Laughlin Steel» підраховали, що для додержання законодавчих нормативів по викидах в атмосферу при використанні аналогічних систем видалення і очищення низьконапірних газів необхідно витратити 35 млн доларів капіталовкладень [30].

Таким чином, можна відзначити, що в більшості випадків хоча і досягається ефективність очищення 99 % [27], проте впровадження і експлуатація подібних систем пов'язані з дуже великими капітальними витратами.

Крім того, для очищення низьконапірних потоків газу в США пропонуються порожнисті і насадкові скрубери [31, 32, 33], які мають, як відомо, підвищений гідравлічний опір і значну питому витрату рідині, а також великі габарити і вагу.

У Англії, ФРН, Японії, ЧССР [34, 35, 36, 37, 38] також розроблені і впроваджені різні по конструктивному виконанні скрубери, приємлемі для очищення низьконапірних газових потоків, недоліки яких в цілому відповідають вказаним раніше.

Проте, у багатьох випадках, особливо при недостатній для подолання гідравлічного опору газоочисних апаратів природній тязі, запиленні гази віддаляються через ШЕВ без очищення. Наприклад, до таких викидів слід віднести гази, що видаляються від вузлів перевантаження в аглоцехах.

Оскільки запилені гази, що видаляються від місць перевантаження, мають невисоку температуру до 400 К, те розрідження в ШЕВ не перевищує 120 Па. Отже, питання розробки таких засобів очищення, які б могли ефективно очищати газ при вказаному перепаді тиску без використання спеціальних спонукавачів тяги, вкрай актуальне.

На підставі викладеного можна зробити наступні висновки:

1. До теперішнього часу задовільних рішень питання очищення газів, видаляємих через ШЕВ, не знайдено. У цьому напрямі потрібні додаткові дослідження і розробки.

2. Розпилювання рідини за допомогою одного сопла не дає можливості рів-номірно розподілити зрошуючу рідину по перетину апарату, не забезпечує розвиненої поверхні контакту і достатнього часу взаємодії середовищ, що зменшує можливості пиловловлювання. Застосування одночасно декількох розпилювачів неминуче пов'язане із зменшенням діаметру вихідних перетинів сопл, що неприйнятно через те, що при експлуатації на оборотній воді форсунки часто засмічуватимуться.

3. Тонке диспергування рідкої фази приводить до краплевідносу, що спричиняє за собою в літній період зволоження, а в зимовий період обледеніння дахів цехів і будівель.

4. При недостатньому напорі газового потоку для подолання гідравличного опору апарату відбуватиметься вибивання запиленого газу через нещільність шахти в цех на робочі майданчики.

5. Значні можливості для створення апаратів очищення низьконапорних потоків газу представляються при використанні плоских радіальних струменів зрошуючої рідини, що отримуються при зіткненні двох рівних по перерізу круглих струменів.

1.3. Характеристика співударних струменів

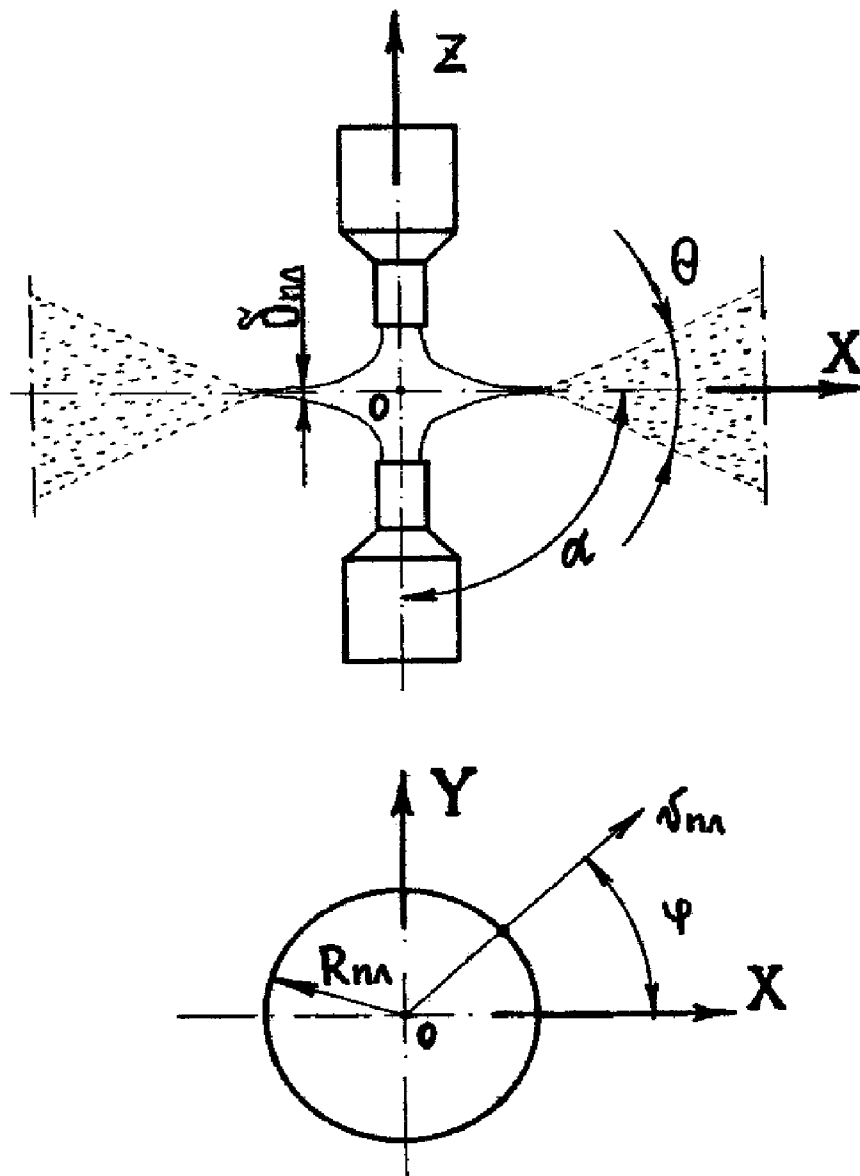
З основних положень теорії очищення газів від пилу [39] витікає, що надійність і ефективність роботи мокрих пиловловлювачів залежить не тільки від конструктивних особливостей вузлів апарату, але і від тонкості диспергування рідкої фази, яка значною мірою визначається організацією виходу струменя з форсунки і умовами формування струменя в газовому потоці.

На підставі матеріалу, викладеного в параграфі 1.2, можна відзначити, що за інших рівних умов, ефективність очищення вище в тих апаратах, в яких використовуються водяні радіальні завіси.

Це можна пояснити тим, що плоскі радіальні струмені, в порівнянні з круглими, менш стійкі через істотно збільшене напружень на межах розділу середовищ, а також радіально розходячихся траєкторій руху рідини, і відносно легко розпадаються на краплі поблизу точки формування струменя. Саме ці властивості струменя відповідають основній вимозі, якій повинні задовольняти розпилювачі, створення такого факелу при виході рідини з сопла, який би забезпечував максимальну поверхню взаємодії фаз, отже, володів би значною поверхневою енергією, сприяючій нестійкості струменя.

Розглянемо два круглі струмені рівного діаметру, співударних під кутом 180° . Схема розтікання рідкої плівки приведена на рисунку 1.9.

З точки O , де течія повністю гальмується, рідина розтікається радіально, утворюючи плівку, лежачу в площині симетрії, яка проходить через бісектрису кута зіткнення. Крапка O , таким чином, є центром тиску і водорозділом. В міру того, як плівка радіально розтікається, на деякій відстані від точки зіткнення на її поверхні починають спостерігатися хвилі, розповсюджуючися вздовж плівки [40]. В результаті накладення хвиль з'являються гребені, з яких після їх відриву утворюються краплі.



$\delta_{пл}$ - товщина плівки; $v_{пл}$ - швидкість розтікання; X, Y - площина;

Рисунок 1.9 - Схема розтікання радіальної рідкої плівки, що утворюється при зіткненні двох струменів

Крім того, краплі виникають в результаті дроблення краю плівки. Процес розтікання такої плівки описується залежностями, що зв'язують товщину плівки $\delta_{пл}$ і швидкість розтікання її $v_{пл}$ з координатами

площини розтікання [41]. Враховуючи, що обидва струмені розтікаються ідентично, цілком досить обмежитися розглядом одного струменя, вважаючи площину симетрії непроникною поверхнею [42].

Процес розтікання радіальної рідкої плівки з подальшим її розпадом на краплі є вельми складним динамічним явищем. У зв'язку з цим, для розгляду і складання схематичної картини, в достатній мірі встановлююючій послідовність розпаду струменя (від зіткнення до диспергування), необхідно визначити деякі допущення, дозволяючі декілька спростити подальший аналіз.

Прийmemo, що тангенціальне перетікання рідини в плівці відсутнє, тобто $dv_1/d\varphi=0$, а також, що на достатній відстані R від точки зіткнення кривизною ліній струму в плівці можна нехтувати і вважати тиск рідини постійним по товщині плівки і рівним оточуємому [41].

При цих допущеннях умови нерозривності в роботі [43] виражені таким чином

$$2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_{\phi}^2}{4} \right) \cdot v_1 \cdot \rho_1 = \int_0^{2\pi} \rho_1 \cdot v_{R_0} \cdot \delta_{\text{пл}} \cdot R \cdot d\varphi. \quad (1.3)$$

Результати дослідів по дослідженню зіткнення струменів із стінкою показали, що втрати енергії при ударі струменя відносно невеликі [44].

Це дозволяє прийняти ще одне допущення про те, що швидкість течії плівки v_{R_0} в початковому циліндровому перетині R_0 приблизно дорівнює швидкості витікання v_1 струменя з насадка. Для правомірності цього допущення необхідно, щоб в цьому початковому переризі плівки площа його дорівнювала б площині вихідних переризів форсунок.

Враховуючи прийняті допущення і, провівши відповідні перетворення, в [44] отримано, що:

$$\delta_{nl} = \frac{d_{\phi}^2}{4R}. \quad (1.4)$$

По мірі розтікання рідкої плівки товщина її не залишається постійною, а змінюється по гіперболічному закону $\delta_{nl} \cdot R = const$, що з'явилося основою для виведення наступних залежностей, представлених в [40, 43, 45]:

$$\delta_{nl} = \frac{d_{\phi}^2}{4R} \cdot (1 + 2 \cos \alpha \cdot \cos \varphi), \quad (1.5)$$

$$\delta_{nl} = \frac{d_{\phi}^2}{4R} \cdot \left(\frac{1 - \cos^2 \alpha}{1 + \cos^2 \alpha} \right) \cdot \left(\frac{1}{1 - \frac{2 \cos \alpha \cdot \cos \varphi}{1 + \cos^2 \alpha}} \right), \quad (1.6)$$

$$\delta_{nl} = \frac{d_{\phi}^2}{4R} \cdot \left[\frac{\sin^3 \alpha}{(1 - \cos \alpha \cdot \cos \varphi)^2} \right]. \quad (1.7)$$

Як показали експериментальні дослідження, результати яких приведені в роботі [43], рівняння (1.6) точніше визначає зміну товщини плівки, чим рівняння (1.5), приведене авторами роботи [40]. По даним роботи зміна товщини плівки, розраховується в відповідно із залежністю (1.7), добре узгоджується з експериментальні даними, які представлені в роботах [40].

Можливість правильно розраховувати товщину розтікаючої плівки грає, визначальну роль при виявленні гідродинамічних характеристик плоских радіальних струменів і насамперед дисперсного складу розпиленої рідини, а також радіусу радіальної розтікаючої рідкої плівки.

Поки в плівці, що розтікається, рідина не досягла краю, то цілком очевидно, що сили поверхневого натягнення переважають над силами турбулентних пульсацій. Проте, внаслідок того, що збурення, розповсюджуючіся вздовж плівки в радіальному напрямі, викликають приріст неустійкості, то починають переважати сили турбулентних пульсацій, що і тягне за собою розпад рідкої плівки на краплі.

Розмір крапель матиме той же порядок, що і величина λ_{max} , яка відповідає оптимальній довжині хвилі з максимальним темпом приросту нестійкості [40]. У цій роботі вказується, що

$$\lambda_{max} = (2\pi \cdot \delta_{nl})^{0.5}. \quad (1.8)$$

Як видно із залежності (1.4) товщина плівки і радіус її суцільної частини взаємозв'язані між собою. Але радіус плівки в порівнянні з товщиною – величина, яку в експериментальних умовах визначити значно простіше. Тому при дослідженні плівки, що розтікається, вказаний радіус доцільно приймати як визначальний параметр.

У роботах [38] на підставі експериментальних даних отримані залежності для визначення радіусу плівки, що розтікається, відповідно:

$$\frac{2R_{nl}}{d_{\phi}} = 1250 We^{-0.33}, \quad (1.9)$$

$$\frac{2R_{nl}}{d_{\phi}} = (1,3 \cdot 10^6) \cdot We^{-1}. \quad (1.10)$$

Проте, проведені нами аналіз і зіставлення розрахункових даних R_{nl} виявив невідповідність результатів, отриманих на підставі виразів (1.9) і (1.10).

Відмінність результатів обумовлює необхідність проведення додаткових досліджень в цьому напрямі.

Автор роботи [38] відзначає, що за умови подібності функціональної залежності

$$\frac{2R_{m\phi}}{d_\phi} = c_1 \cdot We^{-P}. \quad (1.11)$$

Для розрахунку $R_{m\phi}$, у кожній осесиметричній півці коефіцієнти у виразі (1.11) можуть бути індивідуальними. Проте рівняння (1.11) може бути взяте за основу при обробці експериментальних даних.

У роботі [40] розглянуто теоретично і перевірено експериментально розподіл рідини у факелі диспергированого плоскорадіального струменя. Для розрахунку розподілу витрати рідини в циліндровому перерізі факела (по куту ϕ) запропонований наступний вираз

$$q = \frac{V_1}{2\pi} \cdot \frac{K_0 \cdot \sin^2 \alpha}{1 + \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cdot \cos a \phi}, \quad (1.12)$$

де величина коефіцієнта K_0 визначається по формулі:

$$K_0 = \frac{\pi}{\sin^2 \alpha} \cdot \left(\frac{1}{\int_0^\pi \frac{d\phi}{1 + \cos^2 \alpha - 2 \cos \alpha \cdot \cos a \phi}} \right). \quad (1.13)$$

Додатковий множник a , що враховує конкретні умови взаємодії струменів в кожному випадку, як впливає з [34], необхідно визначати експериментально.

При вивченні розподілу рідини в поперечному перерізі факела приходиться стикатися з не менш складним завданням, оскільки в цьому

випадку необхідно розглядати і процес руйнування рідкої плівки. Як було встановлено за допомогою іскрового фотографування [40], окрім всіх інших причин на розподіл рідини в поперечному перерізі факела значно впливає нестационарність її течії в струменях поблизу точки їх зіткнення.

Наявних даних недостатньо для отримання розрахункових залежностей при визначенні витрати рідини в поперечному перерізі факела диспергированої рідкої плівки.

Дисперсний склад зрошуючої рідини є одним з найбільш важливих чинників, що визначають ефективність очищення.

Теоретичним аспектам процесу розпилювання рідини присвячена достатня кількість робіт, проте, до цих пір ще не вироблене єдиної думки про протікання цього процесу.

Результати робіт Релея [30] і Вебера [31] по розпаду рідких круглих струменів були перенесені на вивчення закономірностей розпаду радіальних рідких плівок.

У роботі [32] розглядалося завдання стійкості рідкої плівки, яка рухається в газовому середовищі. В ній представлений аналіз процесу руйнування рідких плівок під дією як симетричних, так і несиметричних збурень на поверхні рідких плівок, а також розглядається питання про межу стійкості плівки по частоті коливань поверхні хвиль.

У роботі [23] розглянуто питання про рух і руйнування рідкого кільця і результатом аналізу був висновок про те, що плоска кільцева течія руйнується під дією тих же осесиметричних коливань, які являються найбільш істотною причиною руйнування круглих струменів.

Основні розрахункові залежності розпаду рідкої радіальної плівки і умови її стійкості описав Паневін І.Г. [41]. Їм вивчався двомірний рух плівки і газу в площині X, Y . При цьому на межах розділу фаз розглядалися сили поверхневого натягнення і інерційні сили, останні з яких сприяють збільшенню нестійкості плівки. На поверхні розділу фаз Паневін І.Г. припустив наявність малих гармонійних коливань, які можуть з часом або

затухати, або залишатися пос-тійними, або наростати по амплітуді. Останнє приводить до розпаду плівки.

При будь-якій швидкості руху, як показали дослідження [34], на поверхні плівки повинні існувати як затухаючі по величині хвилі, у яких інкремент наростання коливань більше нуля, так і наростаючі по величині хвилі, у яких інкре-мент наростання коливань менше нуля. Межу стійкості визначають хвилі дов-жиною λ_0 .

Блінов В.Н. у роботі [35] зробив спробу розповсюдити теорію Релея на випадок великих швидкостей (до 30 м/с). В роботі [34] Паневін І.Г., слідуя Блінову В.Н., і, виходячи з гіпотези Предводителя А.С. про можливість резонансу струменя і краплі, вивів залежність для визначення періоду коливання плівки рідини і краплі, на підставі яких і отримав вираз для шуканого діаметру краплі

$$d_k = \pi \cdot \sqrt{\frac{\delta_{nl} \cdot \sigma}{\rho_1 \cdot v_{nl}}} \quad (1.14)$$

В роботі [34] указується, що в експерименті діаметр форсунок змінювався в межах від (10...20) мм, а кут зіткнення в діапазоні (40...160)°, перепад тиску змінювався (0,1...1,5) МПа. Краплі уловлювалися на закопчену плас-тинку, а їх відбитки вимірювалися під мікроскопом. При цьому припускалося, що діаметр відбитку дорівнює діаметру краплі.

Як бачимо, в залежність (1.14) входить величина товщини плівки, значення якої важко визначати. У зв'язку з цим, використання виразу (1.14) в практичних цілях важче.

Для розробки апаратів, прийнятних для очищення газів в ШЕВ, пропонувалося використовувати розпилювачі з діаметрами сопел в межах від (5...10) мм, тому очевидні відмінності в умовах експерименту, описаного в [54] і тих умов, які характерні для даної роботи. Крім того, в теперішній час

розроблені досконаліші методи по визначенню дисперсного складу, зокрема, оптичні безконтактні методи, засновані на використанні оптичних квантових генераторів як джерела світла. На основі викладеного витікає, що для визначення дисперсного складу крапель у факелі співударних струменів, необхідно провести додаткові дослідження.

Удар струменя в перешкоду теоретично був розглянутий в роботі [56], де відмічалось, що частинки натікаючої рідини на перешкоду, змінюють напрямок свого руху на 90° , поки сумарна кількість руху в первісному напрямі струменя не буде зведена до нуля протитиском зустрічною перешкоди. У цій же роботі представлена залежність для визначення сили прямого удару співударних струменів за умови їх взаємної непроникності

$$P_1 = \frac{\gamma_1}{g} \cdot v_1 \cdot V_1 = 2\gamma_1 \cdot F_\phi \cdot \frac{v_1^2}{2g} = 2\gamma_1 \cdot F_\phi \cdot H_{\partial 1}. \quad (1.15)$$

Як бачимо, сила прямого удару дорівнює вазі стовпа рідини, основа якого дорівнює поперечному перерізу струменя, а висота дорівнює подвоєному динамічному натиску.

Експериментально тиск в зоні зіткнення був визначений в роботах [57, 58]. Але були дані лише деякі якісні пояснення цього ефекта. Вони ґрунтувалися на припущенні, що пік тиску викликаний гідродинамічним гальмуванням зустрічних потоків.

Немає даних про гідравлічний опір, що створюється співударними струменями в потоці газу.

Результати досліджень співударних струменів показали, що для розробки високоефективного газоочисного пристрою, заснованого на їх використанні і володіючого низьким гідравлічним опром, необхідно продовжити дослідження гідродинамічних характеристик даних засобів розпилювання рідини.

Аналіз літературних джерел показав, що цілий ряд питань, пов'язаних з розрахунком і проектуванням пиловловлювачів для очищення газів в ШЕВ і, зокрема, можливостях подальшого вдосконалення таких пристроїв, в літературі не висвітлені. Тому до цих пір відсутній загальноприйнята методика для розрахунку пиловловлювачів, прийнятних для очищення низьконапірних потоків газу.

У літературі [39] розглянут процес пиловловлювання для порожнистих скрубєрів з поперечним зрошуванням, коли рідина вводиться під прямим кутом до напрямку газового потоку і освітлено вплив різних чинників на цей процес. В апараті, що розробляється нами, потік газу рухається від низу до верху по ШЕВ із швидкістю рівної (1...5) м/с, тобто з такою ж швидкістю як і в порожнистих скрубєрах і також під прямим кутом до зрошуючої рідини. Це створює основу для застосування вищезгаданої методики при розробці математичної моделі процесу пиловловлювання в розробляемому апараті.

Не виявлено досліджень, що дозволяють прогнозувати краплєвідніс при взаємодії висхідного потоку газу і зрошуючої диспергованої рідини, витікаючої в газовий потік в горизонтальній площині.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СПІВУДАРНИХ СТРУМЕНІВ

Як показали дослідження і практичний досвід експлуатації газоочисних апаратів, одному з найбільш складних завдань при їх розробці є проектування розпилювача, оскільки збільшення тонкості розпилювання і досягнення рівномірності зрошування запиленого газового потоку дозволяють забезпечити сприятливі умови для досягнення найбільшої ефективності очищення при використанні даного апарату. Крім того, забезпечення оптимальних умов взаємодії контактуючих фаз дозволяє зменшити габарити системи очищення газів.

Розроблюєми́й розпилювач включає два сопла, встановлених співісно і спрямованих назустріч один одному, два дискових фіксуєчих кронштейна, три скріплюючі шпильки, виконані у вигляді тонких лез, які дозволяють забезпечити достатню жорсткість конструкції і надійну співісність струменів.

Скріплюючі шпильки розташовуються в зоні диспергируючого факела, тому їх розміри, профіль і місце установки грають визначальну роль при забезпеченні стабільних умов формування плоского радіального струменя. Ці параметри вибираються такими, аби плоский радіальний струмінь, розтікаючись, не зачіпав би фіксуєчих кронштейнів і скріплюєчих шпильок і тим самим не зазнавав би змін в структурі поперечного перерізу факела.

Для того, щоб встановити оптимальні габаритні розміри розпилювача, які дозволять забезпечити досить надійну жорсткість конструкції і надійну співісність співударних струменів, необхідно провести дослідження для визначення кута розкриття факела, щільності зрошування в нім, а також радіусу розтікаючеюся радіальної плівки.

2.1 Дослідження параметрів факела співударних струменів

Як вже наголошувалося, умови взаємодії зрошуючий рідини із запиленним газовим потоком, а також габаритні параметри розпилювача значною мірою визначаються кутом розкриття факела розпорошеної рідини і розподілом щільності зрошування по факелу.

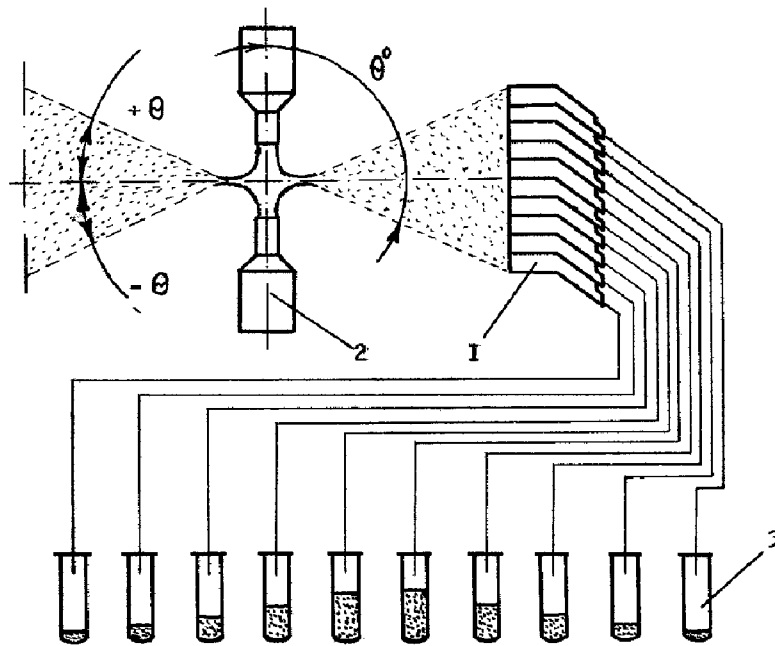
Тому метою експериментального дослідження було становлення розподілу щільності зрошування по факелу і його кута розкриття в залежності від параметрів витікаючої рідини і діаметру сопл розпилювача.

Під розподілом рідини в поперечному перерізі диспергованого струменя, розуміється витрата рідини через одиницю поперечного перерізу факелу.

Струменезабірник 1 являв собою панель шириною 21,6 мм, що складається з набору приймальних чарунок, розміщених у ряд через кожні $2,5^\circ$ кута розкриття факела струменя. Струменезабірник мав 20 приймальних чарунок, вхідні кромки яких були загострені. Між двома центральними чарунками проходила головна площина диспергованого факелу.

Розподіл рідини у факелі досліджувався в співударних струменів 2 з діаметрами вихідних перерізів сопл 2 або 5 і 8 мм. В якості робочої рідини в цьому і у всіх подальших експериментах використовувалась вода. Робочий тиск рідини змінювався в межах (20...110) кПа.

Розподіл щільності зрошування рідини в поперечному перерізі факела вивчався (+) за допомогою струменезабірника, представленого на рисунку 2.1.



1 - струменезбірник; 2 - співударні струмені; 3 - колби.

Рисунок 2.1 - Схема струменезабірника для дослідження розподілу рідини по факелу

Описувані експерименти по вивченню розподілу рідини по факелу, також як і всі інші, виконані в даній роботі дослідження, проведені при використанні осесиметричних струменів.

Дослідження проводилися по методиці аналогічних експериментів, представлених в [39] і послідовність їх була наступною. Струменезабірник закривався поліетиленовою кришкою, після чого розпилювач виводився на заданий робочий режим. Одночасно з відкриттям приймальних чарунок вмикався секундомір, який вимірював час відбору проб.

Після відключення розпилювача вимірювалася кількість рідини в кожній з колб. За часом виміру і площі приймального чарунки визначалася кількість рідини відповідна певному тілесному куту диспергованого факела співударних струменів.

За результатами вимірів і розрахунків була складена таблиця 2.1 (Додаток 1) і побудований графік, представлений на рисунку 2.2.

Шляхом порівняння кривої, побудованої за експериментальними даними, з типовими кривими, поширених функцій, приведених в [60], була вибрана крива, рівняння якої описується експоненційною і зворотною квадратичною залежностями.

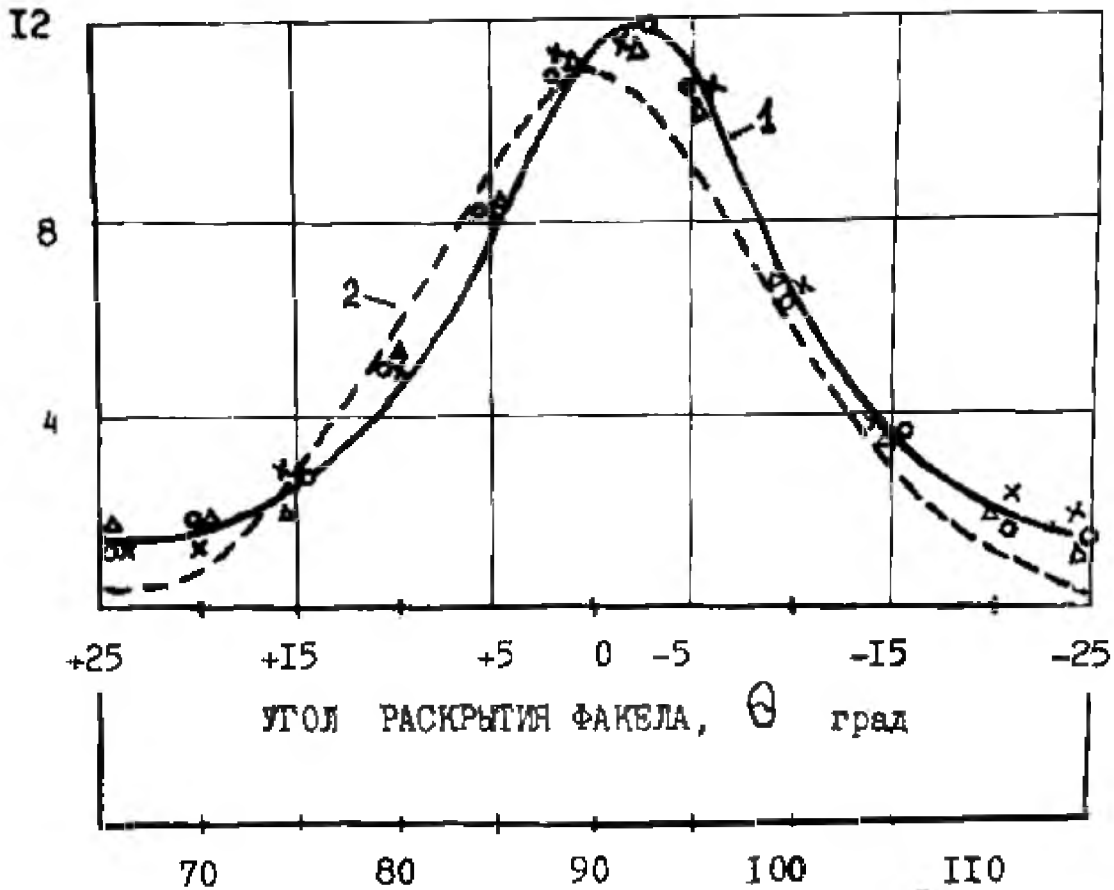
Коефіцієнти в цих рівняннях були визначені за допомогою алгоритма ада-птивного випадкового пошуку, реалізованого на мові Фортран-IV для ЕОМ серії ЕС [61] (Додаток 2).

Таким чином, було отримано два вираження, що описують закон змінення розподілу рідини по факелу:

$$q = \frac{V_1 \cdot \varphi}{2\pi} \cdot \frac{1}{0,0864 + 0,232 \sin \theta + 3,65 \sin^2 \theta}, \quad (2.1)$$

$$q = \frac{V_1 \cdot \varphi}{2\pi} \cdot 0,0897 \sin(\theta^\circ)^{34,4} \cdot \exp(4,8 \sin \theta^\circ). \quad (2.2)$$

В якості мінімізуємої цільової функції приймалася сума квадратів відхилень емпіричних значень розподілу рідини у факелі диспергованого струменя від обчислених по формулах (2.1) і (2.2) в крапках проведення експерименту.



1; 2 – розрахункові криві, отримані згідно (2.1) і (2.2)

Рисунок 2.2 - Розподіл рідини у факелі співударних струменів

Залишкове (мінімальне) значення цільової функції виявилось меншим для експоненціальної залежності, проте, аналіз відповідності побудованих по приведених формулах кривих експериментальним даним показав, що в діапазоні до 35° кута розкриття факела квадратична залежність реальному розподілу рідини у факелі відповідає точніше. Якщо врахувати, що в цьому діапазоні знаходиться більше 90 % рідини, що розпилюється, тобто практично вся рідина, що бере участь в процесі знепилювання, то можна прийняти, що в дослідженому діапазоні квадратична залежність може бути прийнята за основну.

Результати експерименту показали, що в дослідженому діапазоні сопл і швидкостей витікання рідини, що змінювалися (3...20) м/с, кут розкриття факела диспергованої радіальної плівки у співударних струменів складав (35...40)°.

При визначенні кута розкриття факела керувалися тим, що кожній чарунці струменезабірника відповідає 2,5° кута розкриття факела. Враховувались лише ті чарунки, в яких кількість зібраної рідини складає не менше 1% від загальної витрати її у факелі при заданому куті φ .

Дослідженнями також встановлено, що зміна у вказаних межах швидкості витікання рідини і діаметру вихідного перерізу розпилювача не позначається на розподілі рідини у факелі. З віддаленням від точки співудару на 0,5 м і більше починає позначатися вплив гравітаційних сил. Вплив на перерозподіл рідини у факелі надає також точність забезпечення співвісності співударних струменів.

У роботі [41] автор рекомендує про величину ексцентриситету струменів судити по куту повороту головної площини факела довкола центральної осі. Указується, що допустимим є поворот на кут до 30°. У діапазоні вказаного кута повороту факела не спостерігається значного перерозподілу рідини по факелу.

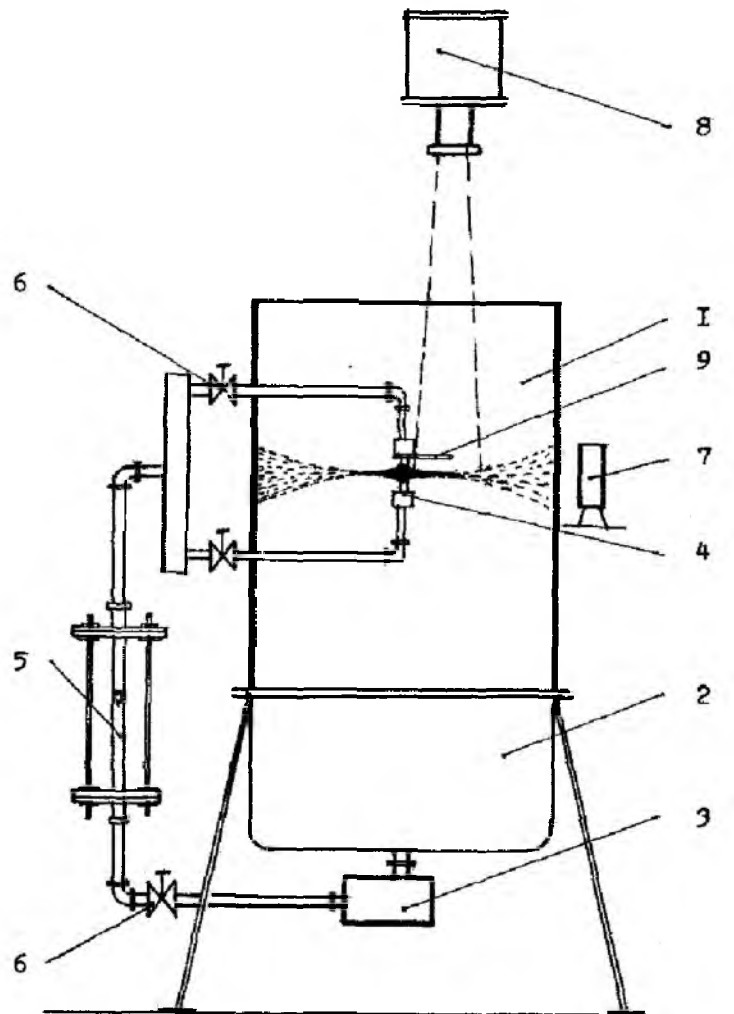
Основними результатами проведених досліджень є встановлення кута розкриття факела співударних струменів, а також залежність для розрахунку розподілу щільності зрошування у факелі співударних струменів в діапазоні досліджених параметрів.

2.2. Дослідження залежності радіусу радіальною рідкої плівки від числа Вебера

Як вже наголошувалося, при зіткненні двох рівних круглих струменів утворюється плівка, яка розтікається в радіальному напрямі від крапки співудару, з подальшою диспергацією на краплі.

Для проведення досліджень була виготовлена установка, яка представлена на рисунку 2.3.

Установка складається з циліндра 1, виконаного з оргскла і встановленого на металевому піддоні 2, в який стікає рідина і з якого вода насосом «Агідель» 3 подається в розпилювач.



1 - циліндр; 2 - металевий піддон; 3 - насос; 4, 9 - мірна лінійка; 5 - ротаметр; 6 - регулюючий вентиль; 7 - освітлювач; 8 - кінокамера.

Рисунок 2.3 – Схема установки для дослідження залежності радіусу радіальною рідкої плівки від числа Вебера

Крім того, установка включає також ротаметр РС-5 5 для заміра витрати рідини, регулюючі вентиля 6, п'ять кіловатних освітлювачів 7, встановлених в площині плівки, кінокамеру 8 для рапідної зйомки (СКС-1), закріплену у 1 м над розпилювачем і мірну лінійку 9, закріплену на верхній форсунці.

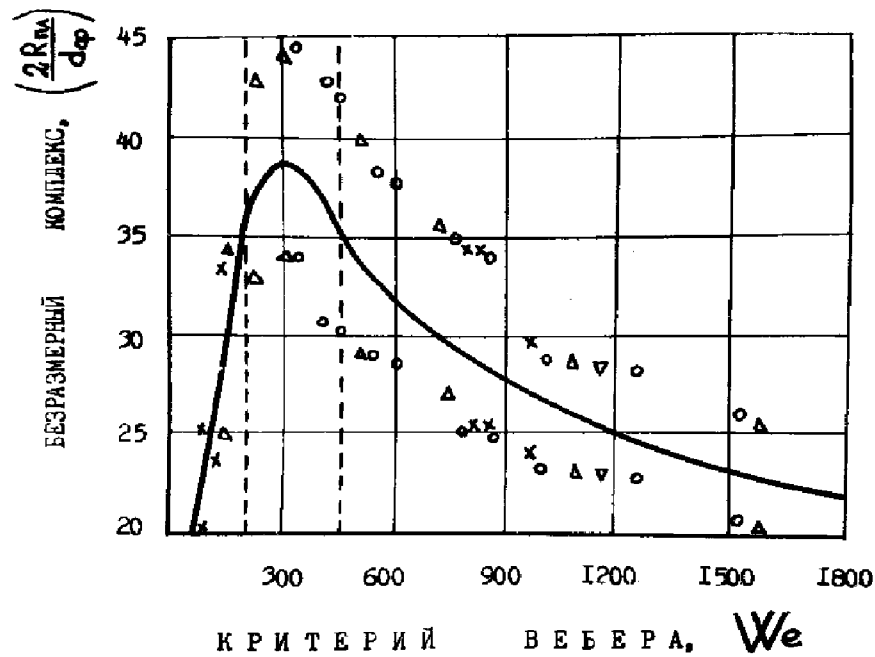
Дослідження радіусу радіальної рідкої плівки здійснювалося за допомогою рапідної кінозйомки із швидкістю (1000...3000) кадрів в секунду і за допомогою фотографування зі спеціально виготовленим фотовспалахом, що дає спалах тривалістю 1/5000 секунд.

У дослідженнях використовувалися форсунки з діаметрами вихідних перерізів сопел 2; 2,5 і 4 мм. Дослідження проводилися в діапазоні значень числа Вебера від (100...2000) для випадку зіткнення двох струменів під кутом 180° і при відстані між соплами, рівній (3...5) діаметрам вихідного перерізу сопел.

Результати досліджень представлені на рисунку 2.4 і фото 2.1, 2.2, 2.3, а також в таблиці 2.2 (Додаток 3). Дані, представлені на рисунку 2.4 і в таблиці 2.2, є середніми арифметичними величинами п'яти вимірів радіусу рідкої плівки при відповідному значенні числа Вебера.

Аналіз експериментальних даних, представлених на рис. 2.4, показує, що в процесі розтікання рідкої плівки залежно від значень числа Вебера спостерігаються три режими.

Перший режим відповідає ламінарному режиму течії і характеризується на рисунку 2.4 як початкова ділянка в діапазоні числа Вебера менше 200. У цьому діапазоні значень We розтікаюча плівка гладка і має чітку круглу форму без видимих хвильових течій (фото 2.1). Краплі утворюються рівномірно уздовж всієї периферії плівки. У цьому діапазоні значень We із збільшенням швидкості витікання рідини спостерігається зростання радіусу рідкої радіальної плівки.



o; □; x – результати експериментальних даних відповідно при діаметрах сопел 2, 5 і 4 мм

Рисунок 2.4 - Залежність безрозмірного комплексу від безрозмірного числа We

Другий режим відповідає перехідному режиму течії. У діапазоні значень We (200...250) зростання радіусу плівки із збільшенням швидкості витікання сповільнюється і в діапазоні значень We (300...350) досягає свого максимуму. При значеннях числа We більше 350 із збільшенням швидкості витікання рідини радіус плівки починає зменшуватися. В цілому перехідна зона характерна для діапазону значень We (200...450). У цій зоні краї плівки набувають зубчастої форми і має місце нерівномірне утворення крапель уздовж периферії плівки.

Третій режим характерний для турбулентного режиму течії.

У цій зоні течія рідини в плівці набуває характеру імпульсивності. Плівка по всій периферії як би «схлопує» на шматки і жгути, які дробляться на краплі.

Крім того, для всіх трьох режимів розтікання радіальної рідкої плівки характерна наявність як мінімального так і максимального радіусу. При будь-якому значенні числа We величина радіусу плівки коливається в певному діапазоні між R_{min} і R_{max} .

Причому «схлопування» (розпад) плівки відбувається по черзі з R_{min} і R_{max} .

Обробку експериментальних даних проведемо відповідно до рівняння (1.10), коефіцієнти в якому знайдемо методом найменших квадратів [62]. Для цього логарифмуванням здійснювалася лінеаризація виразу (1.10) і по відповідних крапках на графіці рисунку 2.4, узятим з таблиці 2.2, за допомогою системи рівнянь, приведеної в [62]:

$$n \cdot \lg c_1 + P \cdot \sum_{i=1}^n \lg X = \sum_{i=1}^n \lg Y$$

$$\lg c_1 \cdot \sum_{i=1}^n \lg X + P \cdot \sum_{i=1}^n (\lg X)^2 = \sum_{i=1}^n (\lg X \cdot \lg Y)$$
(2.3)

де n - кількість вимірів радіусу радіальної плівки;

X - для даного дослідження рівен We ;

Y - для даного дослідження рівнен $(2 R_{nn} / d_{\phi})$.

Таким чином були отримані залежності для початкової зони ($We < 200$) і турбулентної зони ($We > 450$) відповідно

$$\frac{2 R_{i\ddot{e}}}{d_{\delta}} = 1,37 \cdot We^{0,61},$$
(2.4)

$$\frac{2 R_{i\ddot{e}}}{d_{\delta}} = 258,2 \cdot We^{-0,33}.$$
(2.5)

По отриманих рівняннях (2.4) і (2.5) розрахована крива зміни радіусу плівки залежно від числа Вебера, яка представлена на рис. 2.4 суцільною лінією.

Зіставлення умов, при яких проводилися дослідження радіусу радіальної плівки, показали, що відносна відстань між форсунками $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ в даній роботі знаходилося в межах (3...5) d_{ϕ} , а в роботі результати якої приведені в [48], в діапазоні (12,6...40,2) d_{ϕ} .

Проведене зіставлення розрахункових даних R_{nl} , отриманих згідно залежностей (1.8), (1.9) і (2.5), показала значну відмінність результатів, тому, враховуючи виявлену невідповідність параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$, можна припустити, що R_{nl} є функцією не лише числа We , але і параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$.

У зв'язку з цим були проведені додаткові дослідження, які дозволили виявити вплив параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ на радіус рідкої плівки яка розтікається.

Дослідження були проведені на установці, представленій на рисунку 2.3.

Дослідження проводилися для розпилювача з діаметром сопел рівним 2,5 мм при значенні числа Вебера рівному 350 і при параметрі $l \cdot d_{\phi}^{-1}$, у діапазоні від 1,4 до 11,2.

Результати досліджень представлені на рисунку 2.5 і в таблиці 2.3 (Додаток 4).

Експериментальні крапки, нанесені на рисунку 2.5, згідно [60] описуються кривою, рівняння якої має наступний вигляд:

$$Y = c_2 \cdot (X)^B \cdot \exp a(X), \quad (2.6)$$

де Y , X – стосовно проведених досліджень безрозмірні комплекси відпо-відно $2 R_{nl} \cdot d_{\phi}^{-1}$ і $l \cdot d_{\phi}^{-1}$.

Коефіцієнти c_2 , B , a за результатами експериментальних даних, представлених в таблиці 2.3, були визначені методом найменших квадратів [64].

Після підстановки значень коефіцієнтів співвідношення (2.6) набуває наступного вигляду:

$$\frac{2 R_{i\bar{e}}}{d_{\delta}} = 34,6 \cdot \left(\frac{l}{d_{\delta}} \right)^{0,21} \cdot \exp \left[-0,053 \cdot \left(\frac{l}{d_{\delta}} \right) \right]. \quad (2.7)$$

У дослідженнях R_{nl} залежно від We параметр $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ знаходився в межах (3...5) d_{ϕ} і розрахункового значення безрозмірного комплексу $2 R_{nl} \cdot d_{\phi}^{-1}$ згідно (2.5) дорівнювало 37,5 при $We = 350$. Як впливає з графіка на рисунку 2.5, при $We = 350$ параметрі $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ рівному 4,0 безрозмірний комплекс $2 R_{nl} \cdot d_{\phi}^{-1}$ також дорівнює 37,5. Таким чином, зіставлення результатів показало відповідність величини комплексу $2 R_{nl} \cdot d_{\phi}^{-1}$ при однакових значеннях параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ і числа We . Це свідчить про те, що параметр $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ є визначальним для значення R_{nl} і його необхідно виразити при розрахунку величини R_{nl} .

Отже, залежність, що описує зміну R_{nl} від параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ і числа We можна представити в наступному вигляді

$$\frac{2 R_{i\bar{e}}}{d_{\delta}} = c_3 \cdot \left(\frac{l}{d_{\delta}} \right)^X \cdot We^Y, \quad (2.8)$$

де c_1 , c_2 – коефіцієнти у виразах (2.5) і (2.7)
37,5 – значення безрозмірного комплексу $2 R_{nl} \cdot d_{\phi}^{-1}$ відповідне крапці перигину на рис. 2.5 при значенні параметра $l \cdot d_{\phi}^{-1}$ рівному 4,0.

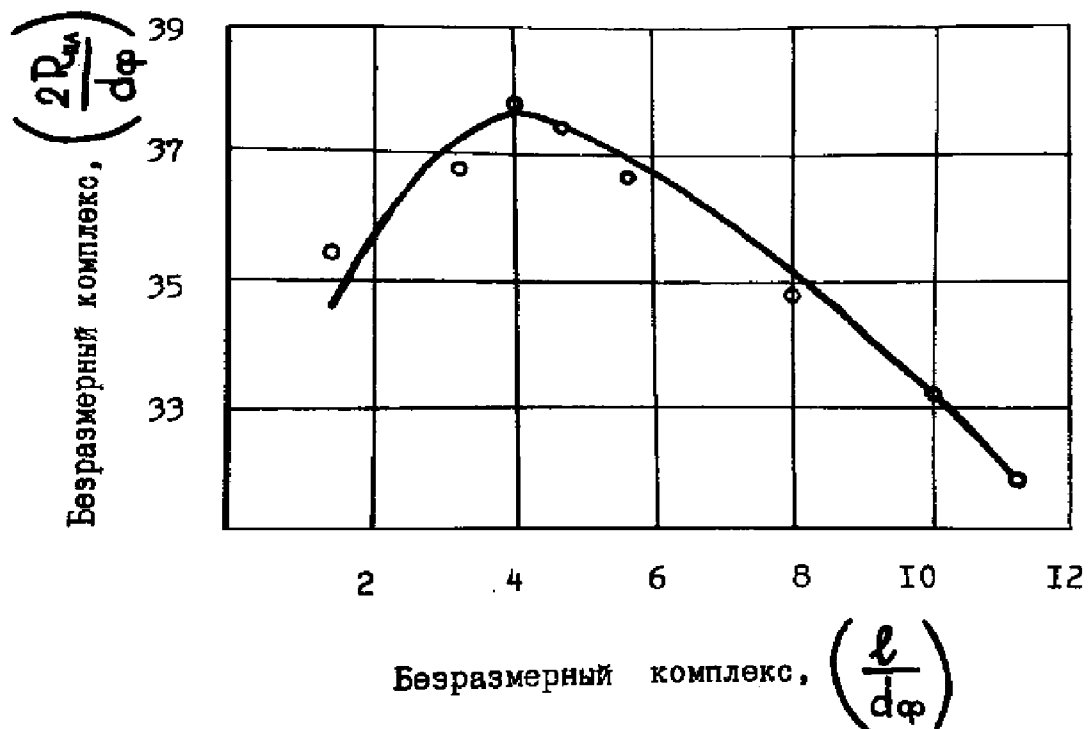


Рисунок 2.5 - Залежність безрозмірного комплексу $2 R_{m\ell} \cdot d_\phi^{-1}$ від безрозмірного комплексу $l \cdot d_\phi^{-1}$ при $We = 350$

Підставляючи у вираз (2.8) значення c_3 , із залежності (2.7) значення коефіцієнтів при параметрі $l \cdot d_\phi^{-1}$ і значення коефіцієнтів при We із залежності (2.5) отримуємо залежність для визначення $R_{m\ell}$

$$\frac{2 R_{i\bar{e}}}{d_\delta} = 238,2 \cdot \left(\frac{l}{d_\delta}\right)^{0,21} \cdot \exp \left[-0,053 \cdot \left(\frac{l}{d_\delta}\right) \right] \cdot We^{-0,33} \quad (2.9)$$

Як показують дані, представлені на рисунку 2.5, найбільш оптимальною від-носною відстанню $l \cdot d_\phi^{-1}$ між соплами є відстань в діапазоні значень $(3 \dots 5) d_\phi$, яка і взята за основну при розробці розпилувача.

Вираження (2.9) є рівнянням залежності радіусу радіальної плівки від гідродинамічних її параметрів і геометричних розмірів розпилювача.

Проте, розрахункові дані отримані згідно вираза (2.9), мають значні відмінності з розрахунковими даними, отриманими на підставі рівнянь (1.8) і (1.9). Це свідочить про те, що, окрім врахованих параметрів, є ще визначальні параметри, вплив яких на величину радіусу плівки не з'ясований. Візуальні спостереження показали, що таким параметром є динамічний натиск H_{dl} співударних струменів.

За умови рівності або незначної відмінності величин динамічних натисків співударних струменів головна площина розтікаючої плівки розташовується на рівній відстані від сопел і при цьому радіус плівки має деяке значення $R_{пл.ср}$. Із збільшенням динамічного натиску струменя, витікаючого з нижнього сопла, головна площина плівки переміщується у бік верхнього сопла, а радіус плівки збільшується в порівнянні із значенням $R_{пл.ср}$. При збільшенні динамічного натиску струменя, витікаючого з верхнього сопла, головна площина плівки переміщується у бік нижнього сопла, а радіус плівки зменшується в порівнянні із значенням $R_{пл.ср}$.

Рівність або незначна відмінність величин динамічних натисків співударних струменів була основною умовою, яка визначала специфіку експерименту, тому застосовність залежності (2.9) обмежена цією умовою.

2.3. Дослідження гідравлічного опору, що створюється співударними струменями в газовому потоці

Як указувалось в розділі 1.1, складність очищення забруднених газових потоків в ШЕВ визначається, в першу чергу, створюємих в них незначним розрідженням, як правило, не перевищує 200 Па і недостатнім для подолання гідравлічного опору відомих засобів очищення низьконапірних потоків газу від пилу.

В зв'язку з цим необхідно виявити вплив аерогідродинамічних параметрів взаємодіючих фаз на гідравлічний опір, створюємий співударними струменя-ми у висхідному газовому потоці.

2.3.1. Опис лабораторної установки і методики проведення досліджень

Дослідження проводилися на лабораторній установці представленою на рисунку 2.6.

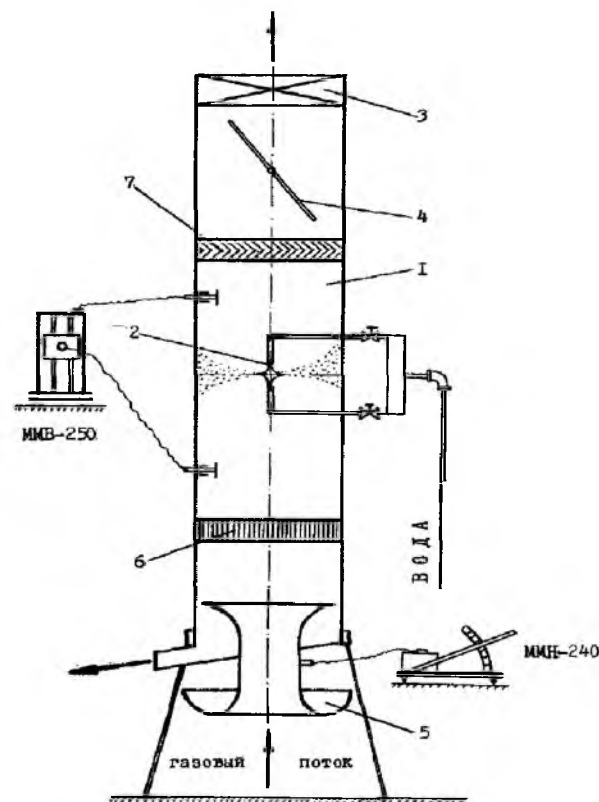


Рисунок 2.6 - Схема лабораторної установки для дослідження гідравлічного опору, що створюється співударними струменями в газовому потоці

По осі металевій шахти 1, виконаною у вигляді порожнистої колони, встановлювались зрошувальні форсунки 2, виконані у вигляді насадків,

вихідни-ми отворами сопел направлені назустріч один одному. Шахта мала діаметр 0,7 м і висоту – 3,5 м. Повітря просмоктувалося через установку вентилятором ЦП-7-40 № 8 3.

Витрата повітря регулювалася шиббером 4, а вимірювався за допомогою відтарованого вхідного колектора 5 по показанню мікроманометра ММН-240 по загальноприйнятій методиці [65]. Витрата води регулювалася вен-тилем. У шахті встановлювалася вирівнююча решітка 6 і жалюзійний крап-левловлювач 7. На рівні зрошуючого пристрою в шахту було вмонтовано оглядове вікно з оргскла для візуальних спостережень.

Гідравлічний опір вимірювався за допомогою диференційного мікрома-нометра ММВ-250 «Асканія» з використанням спеціальних мірних штуцерів.

Аерогідродинамічні режими (швидкість газового потоку і питома витрата зрошуючої рідини), а також конструктивні параметри установки (число і місце установки форсунок, діаметр вхідного перерізу сопел) вибиралися в широкому діапазоні.

Дослідження проводилися для розпилювачів з діаметрами вихідних перерізів сопел в межах від (5...8) мм, при швидкості витікання рідини, змінюючийся в діапазоні (8...23) м/с і швидкості висхідного потоку газу в межах (0,9...4,2) м/с.

У кожному режимі виміри проводилися в продовж 2 хвилин і повторювалися тричі.

Порядок проведення досліджень був наступним.

У шахті встановлювалися сопла певного діаметру. В установку подавалася зрошуюча рідина з певною швидкістю витікання, потім вмикався венти-лятор і за допомогою шиббера задавалася мінімальна швидкість газового потоку. При такому співвідношенні аерогідродинамічних параметрів здійснювалися три виміри, після чого шиббером встановлювалася інша швидкість газового потоку і виміри повторювались.

У такій послідовності проводилися виміри при вказаних в таблиці 2.4 (Додаток 5) швидкостях газového потоку. Далі встановлювалася інша швидкість витікання рідини i , змінюючи у вказаному раніше порядку швидкість газového потоку, виміри повторювалися. Потім встановлювалися зрошувачі з іншим діаметром вихідних перерізів сопл i і виміри повторювалися в описаному порядку.

2.3.2. Виведення залежності гідравлічного опору створюваного співударними струменями у висхідному газovém потоці

Лабораторні дослідження показали, що гідравлічний опір, створюєий співударними струменями, є функцією наступних параметрів:

$$\Delta p = f(\text{Re}_1; \text{Re}_2), \quad (2.10)$$

$$\Delta p = f(v_1; v_2; d_o; D_o; \rho_1; \rho_2; \mu_1; \mu_2). \quad (2.11)$$

Оскільки аналітична залежність, що зв'язує гідравлічний опір з визначальними його параметрами невідома, а відомими являються самі параметри, то визначення функціональної залежності проведемо методом аналізу розмірності [66].

У зв'язку з тим, що рівняння, пов'язуюче параметри гідродинамічних процесів, виражають ті або інші фізичні закони, структура цих рівнянь не повинна залежати від системи одиниць виміру. Тому, в відповідності з методом аналізу розмірності, степеневий одночлен для шуканої залежності згідно [37] прийме наступний вигляд:

$$\Delta p = c_1 \cdot v_1^X \cdot v_2^Y \cdot d_o^Z \cdot D_o^P \cdot \rho_1^{\hat{E}} \cdot \rho_2^N \cdot \mu_1^M \cdot \mu_2^B). \quad (2.12)$$

Оскільки в гідродинамічних дослідженнях основними розмірними величинами є κg , m , s [68], отже, степеневий одночлен (2.12) набере вигляду

$$(MT^{-2} L^{-1}) = c_1 \cdot (LT^{-1})^X \cdot (LT^{-1})^Y \cdot L^Z \cdot L^P \cdot (ML^{-3})^{\hat{E}} \times \\ \times (ML^{-3})^N \cdot (MT^{-1} \cdot L^{-1})^M \cdot (MT^{-1} \cdot L^{-1})^B \quad (2.13)$$

Прирівнюючи показники ступені в лівій і правій частинах формули розмірності (2.13), маємо

$$\begin{cases} 1 = K + N + M + B & \text{Для показників при } M \\ -1 = X + Y + Z + P - 3N - M - B & \text{Для показників при } L \\ 2 = X + Y + + B & \text{Для показників при } T \end{cases} \quad (2.14)$$

Виходячи з фізичного змісту, взаємозв'язку визначальних параметрів в рівняннях (2.10) і (2.11), а також того, що Δp виражається у безрозмірному вигляді в долях від динамічного натиску газу $\rho_2 \cdot v_2^2 / 2$, маємо можливість згрупувати невідомі величини.

Угрупування невідомих в (2.14) проведемо таким чином:

$$X = Z = K = B = a, \quad (2.15)$$

$$M = P = -a.$$

Підставивши відповідні значення в систему рівнянь (2.14), маємо:

$$\begin{cases} 1 = a + N - a + a \\ -1 = a + Y + a - a - 3a - 3N + a - a \\ 2 = a + Y - a + a \end{cases} \quad (2.16)$$

Виконавши перетворення, отримаємо: $N = 1 - a; Y = 2 - a$.

Таким чином всі невідомі виражені через a .

Підставивши невідомі величини, виражені через a , у вираз (2.12) і згрупувавши їх, отримуємо

$$\Delta p = c_1 \cdot \left(\frac{v_1 \cdot d_\delta \cdot \rho_1 \cdot \mu_2}{v_2 \cdot D_\delta \cdot \rho_2 \cdot \mu_1} \right)^a \cdot v_2^2 \cdot \rho_2. \quad (2.17)$$

Остаточно отримуємо

$$\frac{\Delta p}{v_2^2 \cdot \rho_2} = Eu = c_2 \cdot \left(\frac{Re_1}{Re_2} \right)^a, \quad (2.18)$$

$$\text{де } Re_1 = \frac{v_1 \cdot d_\delta \cdot \rho_1}{\mu_1}; \quad Re_2 = \frac{v_2 \cdot D_\delta \cdot \rho_2}{\mu_2}; \quad c_2 = 2 c_1; \quad \frac{\Delta p}{v_2^2 \cdot \rho_2} = Eu.$$

Коефіцієнти в рівнянні (2.18) були визначені методом найменших квадратів [64] на підставі результатів експерименту, представлених на рисунку 2.7 і таблиці 2.4 (Додаток 5).

Підставивши в систему рівнянь (2.3), результати логарифмування, маємо:

$$\lg c_2 = 0,04646; \quad a = 1,5192.$$

Після потенціювання і повернення до вихідних позначень, рівняння (2.18) набирає наступного вигляду:

$$\frac{\Delta p}{v_2^2 \cdot \rho_2} = Eu = 2,91 \cdot \left(\frac{Re_1}{Re_2} \right)^{1,52}. \quad (2.19)$$

Проведені дослідження, показали, що гідравлічний опір створюваний співударними струменями не перевищує 20 Па, тому такі струмені можуть бути використані при розробці апаратів, прийнятних для очищення від пилу низьконапірних потоків газу.

Отримана залежність (2.19) може бути використана в практичних цілях для розрахунку гідравлічного опору, що створюється співударними струменями у висхідних потоках газу, в дослідженому діапазоні змінення аерогідродинамічних параметрів, що визначають умови взаємодії рідкого і газового середовищ.

При досліджуванні залежності теплофізичних характеристик матеріалу що спучується, від параметрів теплової обробки використовувався персональний комп'ютер та випробуваний стенд у лабораторії.

Приміщення, використовуване під лабораторію, знаходиться на 1 поверсі 3-х поверхового будинку. Дане приміщення, виходячи з норм на окремі робочі місця, відповідає нормам. Норма площі на одну людину становить 6 м². Площа приміщення становить 30,76 м². Кількість працівників в лабораторії становить дві особи, таким чином норма площі не перевищується.

3.1 Характеристика небезпечних та шкідливих виробничих факторів виробництва

Умови праці на лабораторному місці, безпека технологічних лабораторних процесів, механізмів, устаткування та інших засобів лабораторії, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам.

Умови в лабораторії нерідко характеризуються дією на працюючих несприятливого мікроклімату, запиленої, високої бактерійної і грибкової забрудненості повітря робочої зони. У ряді випадків трудовий процес протікає в умовах низького освітлення.

Зробимо аналіз і оцінку чинників професійних ризиків в лабораторії. Оскільки в лабораторії використовуються теплоенергетичні установки, то на організм людини впливають ряд специфічних цій області несприятливих чинників, таких як:

- підвищена температура;
- підвищений рівень шуму;
- недостатня освітленість.

3.1.1 Підвищена температура

Підвищена температура зовнішнього середовища, виникає в результаті одночасної роботи обчислювальної техніки і освітлювальних установок, які значну частину споживаної електроенергії перетворюють в тепло. Дія цього чинника на організм людини призводить до зайвих витрат енергії на нормалізацію теплового балансу, слідством чого являється відчуття дискомфорту і зниження працездатності. Влітку 34 °С, і 25 °С зимою.

У лабораторії є поверхні, що мають високу температуру на приклад (вимірник теплопровідності IT- λ -400). При роботі з ним є можливість отримати опіки оскільки апарат працює на високих температурних режимах.

Усі ділянки елементів (вимірник теплопровідності IT-400), доступні для персоналу, покриті тепловою ізоляцією, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не більше 45 °С, Персонал у свою чергу зобов'язаний працювати в спецодяге, и засобах індивідуального захисту. Рукави і полу спецодягу слід застебнути на усі гудзики, волосся прибрати.

3.1.2 Підвищений рівень шуму

Підвищений рівень шуму, джерелами якого є друкувальні пристрої і установки кондиціонування. Дія шуму на організм людини призводить до зниження гостроти зору, зорової адаптації, порушує сприйняття зорової інформації і знижує продуктивність праці на (30...60) %. Фактичний сумарний рівень шуму в цій лабораторії складає 55 дБ, оскільки в приміщенні працюють 9 машин (8 ПЕВМ і 1 принтер).

Згідно [21] необхідно забезпечити рівень шуму (звукового тиску) в межах (50...55) дБА.

У лабораторії використовуються наступні заходи захисту від шуму:

а) застосовуються пружні прокладки між підставою машини і поверхнею опори;

б) застосовується звуковбирна облицювання, глушники.

3.1.3 Недостатня освітленість

Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 2,1 %.

Підвищений рівень електромагнітних випромінювань, джерелами якого є електронно-променеві трубки моніторів ЕОМ. Дія цього чинника на організм людини призводить до захворювань нервової системи, раку. При частоті 5 Гц - 2 кГц значення складає менше 25 В/м.

3.2 Заходи з поліпшення умов праці

У практиці роботи з організацію в лабораторії праці важливою складовою є поліпшення умов праці. Важливе значення поліпшення умов праці пояснюється лише тим, що вони в основному є виробничою середою, у якій протікає життєдіяльність людини в час праці. Від його стану у прямій залежності перебуває рівень працездатності людини, результати його роботи, стан здоров'я, ставлення до праці. Поліпшення умов праці серйозно впливає для підвищення його продуктивності.

При підвищеній температурі в приміщенні використати систему вентиляції і кондиціонування, так само використати природну систему вентиляції. Використати засоби індивідуального захисту, рукавички, костюми.

При підвищені рівня шуму, використати навушники. Зниження шуму звукопоглинанням та звукоізоляцією. Об'єкт, котрий випромінює шум, розташовують у кожусі, внутрішні стінки якого покриваються

звукопоглинальним матеріалом. Кожух повинен мати достатню звукопоглинальну здатність, не заважати обслуговуванню обладнання під час роботи. Звукоізоляційний ефект забезпечується також встановленням екранів та ковпаків. Вони захищають робоче місце і людину від безпосереднього впливу прямого звуку, однак не знижують шум в приміщенні.

При недостатньому освітленні використати, додаткові освітлювальні прилади. Відсутність або нестача природного світла, причиною якого можуть стати наступні джерела: площа і орієнтація вікон, міра чистоти скла вікон, забарвлення стін і підлоги приміщення. Природне освітлення має важливе фізіологічне - гігієнічне значення для працюючих. Крім того, природне освітлення має і психологічну дію, створюючи для працюючих відчуття безпосереднього зв'язку з оточенням. Коефіцієнт природного освітлення в лабораторії складає 2,1 %.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізняти яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше $(100 \dots 3200) \text{ кд/м}^2$. За межами цих величин вона знижується.

3.3 Виробнича санітарія

В лабораторії повинні виконуватися відповідно до вимог проектування. Лабораторна територія повинна забезпечуватися належними умовами природного освітлення, водопостачання, а також провітрюватись.

Приміщення, в яких лабораторні процеси, пов'язані з виділенням шкідливих газів, парів, пилу та інших негативних виробничих факторів, розташовуються стосовно інших будинків і населених пунктів з підвітряної

сторони для вітрів переважного напрямку, територія повинна бути упоряджена.

Приміщення повинне бути обладнана водопроводом і каналізацією, мати тверді покриття, знаки безпеки руху.

Оздоровчі пункти для надання першої допомоги потерпілим в лабораторії, а також для проведення лікувальної і санітарно-профілактичної роботи.

Коли потрібні допоміжні приміщення, то вони повинні розташовуватись в прибудовах виробничих будинків чи в окремих будинках.

Роботи виконуються операторами ЕОМ належать до категорії Іа - легкі роботи (до 120 ккал/год) згідно [24], так як вони не пов'язані з перенесенням ваги.

Значення мікрокліматичних параметрів (див. табл. 3.1), що забезпечують комфортні умови працівникам даної категорії, згідно [25].

Таблиця 3.1.- Оптимальні параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, °С	Температура поверхонь, °С	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Холодний	Іа (< 139)	23-25	22-26	40-60	0,1
Теплий	Іа (175-232)	20-22	19-23	40-60	0,2

Для забезпечення встановлених норм мікрокліматичних параметрів і чистоти повітря використовується кондиціонер. У приміщенні забезпечується приплив свіжого повітря, кількість якого складає 50-60 м³ на одну людину.

Для забезпечення цих умов передбачена подача в лабораторію повітря двоступеневого очищення в системі кондиціонування.

Для попереднього очищення використовуються фільтри другого і третього класів (типу ФСВУ, ФППУ), а для остаточного очищення - фільтри тонкого очищення першого і другого класів (типу ФПП, ФЯП).

Для підтримки настановних параметрів мікроклімату в досліджуваному приміщенні цілком досить 1-го кондиціонера типу Tadiran TNL S 9 H.

Для захисту працюючих від впливу електромагнітного випромінювання на комп'ютерах встановлено захисний екран, який включає прозорий провідний шар з питомим опором менш 0,01-0,001 Ом/м, що дозволяє знизити рівень напруженості до 5 В/м відповідно до ГОСТ 12.1.045-84.

Згідно з [37], зорова робота оператора ПЕОМ є роботою високої точності: найменший розмір об'єкта розрізнення (0,3...0,5) мм, розряд зорової роботи - III, подразряд - В.

Планування робочого місця задовольняє вимогам [38] та ДНАОП 0.00-1.31-99 зручності виконання робіт та економії енергії і часу оператора, раціонального використання виробничих площ і зручності обслуговування пристроїв ЕОМ.

Розміри столу: висота - 725 мм, ширина - 600 мм, глибина - 800 мм. Робочий стіл має місце для ніг висотою 600 мм, шириною - 500 мм, глибиною на рівні колін - 450 мм, а на рівні витягнутих ніг - 650 мм. Робочий стіл оснащений підставкою для ніг шириною 300 мм, глибиною - 400 мм, з можливістю регулювання висоти в межах 150 мм, та кута нахилу опорної поверхні - в межах 20 °С. Підставка має рифлену поверхню та бортик на передньому краю заввишки 10 мм.

Робоче сидіння користувача ПЕОМ має такі основні елементи: сидіння, спинку та стаціонарні або знімні підлокітники. Робоче сидіння регулюється по висоті, куту нахилу сидіння і спинки, висоті підлокітників. Регулювання кожного параметра незалежні. Ширина і глибина сидіння 400 мм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах (400...500) мм, а кут нахилу поверхні - від 150 вперед до 5 С° назад. Висота спинки сидіння складає 300 мм, а

ширина - 380 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах (0...30) °С від вертикального положення.

Клавіатуру знаходиться на столі на висоту по відношенню до підлоги 630 мм. Як часто використовуваний засіб відображення інформації, дисплей поміщений на столі. Його екран розташований у вертикальній площині під кутом 15 °С від нормальної лінії погляду, в горизонтальній площині 60 °С.

Щоб уникнути перенапруги органів зору дотримано відстань до монітора (50...70) см.

Також є вимоги щодо гігієни і культури ви, тоді потрібні санітарно-побутові приміщення:

- під час перерви;
- душових для підтримки чистоти тіла під час роботи с пильних дослідів,
- або з шкідливими речовинами;
- гардеробів (роздягалень) для збереження повсякденного чи спеціального одягу і взуття;
- умивальників, фонтанчиків для питної води;
- приміщення для знешкодження, очищення й просушування спецодягу;
- туалетів.

Надання першої допомоги, лікувально і санітарно-профілактичні роботи проводять в оздоровчих пунктах.

Під час створення оптимальних умов діяльності зорового аналізатора необхідно враховувати, що ефективність залежить тільки від освітленості, а й від такого типу важливих функцій очі, як контрольна чутливість, гострота зору, швидкість розрізнення деталей і стійкість ясного бачення. Відомо, що максимальної контрастної чутливості (здатність очі розрізняти яскравість забарвленою поверхні) забезпечується яскравістю фону не більше (100...3200) кд/м². За межами цих величин вона знижується

Швидкість зорового сприйняття підвищується зі збільшенням висвітлення. Вона швидко зростає при висвітленні в (70...75) лк. Повільніше – при висвітленні в (1000...1200) лк. і більше. Чітке сприйняття предмета очей зберігає певний час. Стійкість ясного бачення залежить від характеру виконуваної роботи, умов виробничої середовища, зокрема, від тривалості висвітлення (з поліпшенням висвітлення різко підвищується тривалість ясного бачення).

Існуючі норми штучного висвітлення виробничих приміщеннях передбачають різний рівень висвітлення для різної точності робіт.

Норми встановлюють найменші допустимі значення освітленості, при яких забезпечується успішне виконання різної характером і складності зорової роботи.

Висвітлення виробничих приміщень лише штучним світлом припустиме лише як виняток. Необхідно враховувати, що природний світло стимулює життєдіяльність організму людини (біологічне дію, сформоване у процесі філоонтогенезагенеза). Він створює відчуття безпосередній зв'язок із зовнішнього середовищем, дозволяє забезпечити рівномірний висвітлення приміщень.

Створення сприятливих умов праці, його подальше полегшення сприяють, з одного боку, збереження здоров'я трудящих, вдосконалення їх трудових навичок, а, з іншого - підвищенню працездатності і продуктивності праці, зниження плинності кадрів і поліпшення дисципліни на виробництві.

3.4 Електробезпека

Енергопостачання лабораторії здійснюється від трифазної мережі 380/220 В з глухозаземленою нейтраллю, змінного струму частотою 50 Гц.

Електрообладнання, що використовується в лабораторії згідно ПУЕ відноситься до установок напругою до 1000 В.

Умови, які створюють особливу небезпеку (особлива сирість, хімічно активна або органічна середу, струмопровідна пил тощо) у даному приміщенні відсутні. Тому за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ - 85) приміщення лабораторії відноситься до класу приміщень без підвищеної небезпеки, тому що відсутня можливість одночасного дотику людини до заземлених металевих поверхням і корпусу ПЕОМ.

Для зниження небезпеки ураження людини електричним струмом проведемо наступні заходи технічного характеру:

Така як в лабораторії використовується мережа з заземленою нейтраллю до 1000 В, то згідно [40] всі металеві конструкції і частини обладнання НДЛ, доступні для дотику людини і не мають інших видів захисту, що забезпечують електробезпеку, повинні підлягати зануленню (захисне заземлення не ефективно).

Нульовий захисний провідник забезпечується надійністю з'єднань; забезпечуватися безперервність ланцюга від кожного корпусу електроустановки до нейтралі джерела.

Додатково застосовується повторне заземлення нульового проводу з метою зниження потенціалу занулених корпусів і напруги дотику. Шина занулення доступна для огляду. Величина робочого заземлення становить 4 Ом, кожного повторного заземлення нульового проводу 30 Ом згідно ПУЕ-85.

Проводити періодичний контроль ізоляції не рідше рази на рік виміром її активного опору при випробуванні підвищеним напругою протягом 1 хвилини.

Організаційні заходи згідно [19]: а) використовувати плакати наочної агітації; б) забезпечити нормальний режим праці та відпочинку робітникам: час безперервної роботи не більше 4 -х годин; 10 -ти хвилинні перерви через кожен годину роботи.

3.5 Пожежна безпека

За пожежонебезпеки дане приміщення, згідно [20], відноситься до категорії В - пожежонебезпечна, тому що в приміщенні знаходяться тверді горючі і важко горючі речовини і матеріали, які при взаємодії з киснем повітря здатні тільки горіти.

За ступенем вогнестійкості дане приміщення відноситься до 1-го ступеня вогнестійкості за [21] (виконано з цегли, яке відноситься до неспаленим матеріалами).

У розглянутому приміщенні знаходяться ПЕОМ, в яких дуже висока щільність розміщення елементів електронних схем. Сама ПЕОМ являє собою пожежну небезпеку, так як при підвищенні температури окремих вузлів можливо оплавлення ізоляції сполучних проводів, яке веде до короткого замикання, що супроводжується, в свою чергу, іскрінням.

Можливі причини пожежі:

- а) перевантаження в електромережі;
- б) коротке замикання;
- в) руйнування ізоляції провідників.

Пожежна безпека в лабораторії забезпечується відповідно до [22] системою запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно - технічними заходами.

Система протипожежного захисту:

а) встановлена автоматична пожежна сигналізація на димових извещателях ДПП - 1, з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення, враховуючи високу вартість обладнання, наявність прихованих комунікацій і специфіку загоряння ЕОМ. Тобто на площу 56 м² необхідно 4 димових сповіщувача;

б) розміщені 2 вуглекислотних вогнегасники ОУ-5 (ручні) з розрахунку 1 вогнегасник на 40-50 м².

Організаційні заходи:

- а) проводиться інструктаж персоналу з ТБ;

- б) розроблені заходи щодо дій адміністрації на випадок виникнення пожежі;
- в) схема евакуації при пожежі поміщена на видному місці ;
- г) ширина дверного отвору на випадок евакуації 1,5 м, висота 2 м.

3.6 Засоби індивідуального захисту

Робочі комбінезони і халати, головні убори і чисте взуття повинні видаватися як персоналу, так і усім відвідувачам, що входять до лабораторії.

Обов'язковим повинно бути вимоги миття рук дезінфікуючим розчином або водою з милом.

Персонал і відвідувачі не повинні мати контакту – як прямий, так і непрямої - дослідом.

Комплект ЗІЗ - спецодяг, спецвзуття, рукавиці, захисні окуляри, респіратори повинні бути підібрані індивідуально та закріплені за кожним на весь період досліда. Засоби індивідуального захисту повинні знаходитися індивідуальних пакетах, у спеціально виділеному сухому, чистому приміщенні, яке добре провітрюється.

3.7 Розрахунок освітлення

М. Запоріжжя знаходиться в IV поясі. Значення коефіцієнту природної освітленості 0,2 %. Також використовується штучне освітлення лампами денного світла. Також у лабораторії є світильники, які складаються з джерела світла.

Розрахунок природного наведено нижче.

Нормативне значення коефіцієнта природного освітлення:

$$E_n = E \cdot m \cdot c \cdot m,$$

де $c=0,75$ – коефіцієнт сонячності клімату;

$m = 0,9$ – коефіцієнт світлового клімату;

$E = 0,2 \%$ - табличне значення коефіцієнту природної освітленості.

$$E_H = 0,2 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 0,135.$$

Розрахунковий коефіцієнт природної освітленості

$$E_p = 100 \cdot s_o \cdot \tau_o \cdot r_1 / \eta_o \cdot k_{зд} \cdot k_3 \cdot s_{п} ,$$

де s_o – площа світових прорізів $4,8 \text{ м}^2$,

τ_o – загальний коефіцієнт світло проникнення;

$r_1 = 0,8$ – коефіцієнт, який враховує вплив світла, що відбивається;

$\eta_o = 8,5$ - світлова характеристика вікна;

$k_{зд} = 1$ – коефіцієнт, який враховує затемнення вікон будівлями, що стоять напроти;

$k_3 = 1,7$ - коефіцієнт запасу;

$s_{п} = 30,76 \text{ м}^2$ - площа підлоги приміщення.

Загальний коефіцієнт світло проникнення, який визначається

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

де τ_1 - коефіцієнт світло пропускання матеріалу, $\tau_1 = 0,5$;

τ_2 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в рамках, $\tau_2 = 0,85$;

τ_3 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в конструкціях, $\tau_3 = 1$;

τ_4 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях,
 $\tau_4 = 1$;

τ_5 - коефіцієнт, який враховує втрати світла в захисної сітці, $\tau_5 = 0,9$.

$$\tau_o = 0,5 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,3825,$$

$$E_p = 4,8 \cdot 0,3825 \cdot 0,8 \cdot 100 / 8,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 30,76 = 0,33.$$

Висновок: розрахунковий коефіцієнт освітленості більше нормативного, то ж забезпечується нормативна освітленість.

Диспергування застосовують для подрібнення рідких, твердих речовин в рідині або рідких і твердих речовин в газі для одержання дисперсних систем.

Диспергування включає емульгування, гомогенізацію і розпорошення рідин в газовому середовищі.

Емульгування застосовують для отримання емульсій жиру у воді і навпаки. У першому випадку жир є дисперсною фазою, а вода - дисперсійним, у другому - жир є дисперсионной фазою, а вода - дисперсною.

При емульгуванні для отримання стійких, не розшаровуються, емульсій в суміш додають поверхнево-активні речовини (ПАР): желатин, казеїнати, казеїн, крохмаль, яєчний білок, агар-агар та інші речовини, які утворюють на поверхні тонку оболонку, надаючи емульсіям стійкість і перешкоджає їх розкладанню.

Стійкість емульсії до розшаровування залежить від розмірів дисперсионной фази і розподілу жирових частинок за розмірами [19].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Розпилення рідких середовищ форсунками [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://scinse.donntu.edu.ua/tp/ponomarenko/diss/indexu.htm>.
2. Класифікація теплообмінних апаратів [Електронний ресурс] // Основи теплотехніки та гідравліки. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://sites.google.com/site/osnoviteplotehnikitagidravliki/rozdil-tretij-teoria-teplomasoobminu/-3-5-teploobminni-aparati/1-klasifikacia-teploobminnih-aparativ>.
3. Ламінарний і турбулентний режим течії. Фізична суть числа Рейнольдса [Електронний ресурс] // Харьковський національний університет строительства и архитектуры. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/5532788/page:3/>.
4. Зрив конденсату [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/kulinchenko_teploper/113.htm.
5. Білецький, Б. С. Мала гірнича енциклопедія / Б. С. Білецький. – Д.: Східний видавничий дім, 2013. – 150 с.
6. Газонафтовий сепаратор [Електронний ресурс] // Технічна енциклопедія TechTrend. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://techtrend.com.ua/index.php?newsid=26001041>.
7. ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВІДДІЛЕННЯ НАФТИ ВІД ГАЗУ І ВІЛЬНОЇ ВОДИ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <http://um.co.ua/1/1-2/1-25650.html>.
8. Єрмоєнко, К.В. Дослідження гідродинамічних характеристик співударних струменів [Текст] / К.В. Єрмоєнко // Теорія і практика актуальних наукових досліджень. – 2017.

9. Диспергування [Електронний ресурс] // Винницький національний аграрний університет. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/1862725/page:3/>.
10. Суханова, И. И. Течение и диспергирование жидкости в устройстве ударного типа : дис. канд. техн. наук / Суханова И. И. – Киров, 2000. – 126 с.
11. Ребиндер, П. А. Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов / П. А. Ребиндер. – Рига: Зинатне, 1967. – 150 с.
12. Промислові універсальні циклони-пиловловлювачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://7-vz.com/ua/category/ciklony-universalnye/>.
13. ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://chem21.info/info/1371857/>.
14. РІВНОМІРНИЙ РУХ РІДИНИ В ТРУБАХ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ОПІР І РОЗПОДІЛ ШВИДКОСТЕЙ ПО ПЕРЕРІЗУ ПОТОКУ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fbteg/tkachenko_gidro_gazo_dunamika/page46.html.
15. Промислові універсальні циклони-пиловловлювачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://7-vz.com/ua/category/ciklony-universalnye/>.
16. Промислові циклони-пиловловлювачі [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metro.dp.ua/articles/other-articles/14/promislov-cikloni-pilovlovlyuvach.html>.
17. МР-СЕПАРАТОРЫ ПЭР-НГ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://skyprom.ru/shop/myagkie-rezervuary/elasticnyu-rezervuar-separator-per-ng/>.
18. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.

19. Нафтогазові сепаратори. Трифазні сепаратори. Електродегідратори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://pohnv.teset.sumdu.edu.ua/ru/research/know-how/heater-treater.html>.
20. Компоненты систем охлаждения / Составитель О. В. Великих. — Белгород: Принт-мастер, 2012. — 48 с.
21. Диспергирование // Химическая энциклопедия. Т. 2. — М.: Советская энциклопедия, 1990. С. 77.
22. Administrator. Автоматизация систем отопления [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://erectiondesign.com/automatization.html>.
23. Магазин «Водяной». Циркуляционные насосы. Краткое описание. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.aquarius.com.ua/?p=readarticle&id_article=54.
24. Конспект лекцій по дисципліні «Джерела тепlopостачання та теплові мережі» для студентів за напрямом навчання 6.050601 «Теплоенергетика»/ Укл. Клімов Р.О., – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. – 103с.
25. ДБН В.2.5 - 39: 2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди».
26. Постанови Кабміну України №956 від 11.07.2002 р. «Про ідентифікацію та декларування небезпеки об'єктів підвищеної небезпеки».
27. НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила улаштування електроустановок».
28. ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».
29. ДСТУ Б В.2.5-38; 2008 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування захисту від блискавок будівель і споруд».
30. ДСТУ Б В.2.5-36:2007 «Номенклатура показників при підтвердженні відповідності трубопровідної продукції для будівництва мереж гарячого водопостачання та опалення будинків і споруд та методи випробувань».
31. ДБН В.2.5-74:2013 «Водопостачання зовнішні мережі та споруди основні положення проектування».

32. ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві».
33. ДБН В.1.1.7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва».
34. НПАОП 45.13-1.10-83«Правила техніки безпеки під час виконання електромонтажних робіт».
35. НПАОП 40.1-1.42-86 «Правила пожежної безпеки при проведенні СМР».
36. НПАОП 63.11-7.01-86 «Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки (ОСТ 6.28.012-86)».
37. НПАОП 63.0-7.20-84 «Роботи вантажно-розвантажувальні, транспортні і складські. Вимоги безпеки (ОСТ 23.4,236-84)».
38. ДБН А.3.2-2-2009 «ОХОРОНА ПРАЦІ І ПРОМИСЛОВА БЕЗПЕКА У БУДІВНИЦТВІ».
39. ДБН А.3.1-5-2009 «Організація будівельного виробництва».
40. Сепаратори [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
http://itp.sempal.com.ua/?gclid=Cj0K7oeikXuWUhnLGaSAq981dTFGN5up3mKkdlyqVrcgMWZJboDbTAKktWfQaAvlIDEALw_wcB.