

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра інженерної екології
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК: 621.928.37

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
Ткачук К.К.
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 101 «Екологія», «Інженерна екологія та ресурсозбереження»

на тему: «Підвищення ефективності очищення стічних вод на металургійних підприємствах шляхом впровадження гідроциклонів»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ОЗ-81мп
(шифр групи)

Скрипник Тетяна Анатоліївна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Репін М.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант стартап-проекту доц., к.т.н. Шевчук Н.А.
(назва розділу) (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інститут/факультет Інститут енергозбереження та енергоменеджменту
 (повна назва)

Кафедра Інженерної екології
 (повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 101 Екологія
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри
 _____ Ткачук К.К.
 (підпис) (прізвище, ініціали)
 «__» _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Скрипник Тетяні Анатоліївні
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Підвищення ефективності очистки стічних вод на металургійних підприємствах шляхом впровадження гідроциклонів»,
 науковий керівник дисертації Репин Микола Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом по університету від «04» листопада 2019 р. № 3814-с
2. Строк подання студентом дисертації 15 грудня 2019 р.
3. Об'єкт дослідження процес очищення стічних вод металургійних підприємств, які містять зважені частинки.
4. Предмет дослідження є показники процесу очищення стічних вод, що характеризуються технологією і ефективністю впровадженої технології.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити провести аналіз досліджень та публікацій щодо очистки стічних вод на металургійних підприємствах; провести аналіз технологічного процесу та методів очистки стічних вод на підприємствах; дослідження та моделювання залежностей роботи гідроциклону при різних режимах роботи та встановлення оптимальних характеристик для розділення суспензій; розробити вдосконалену схему очистки стічних вод; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу; розробка стартап проекту.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу технологічна схема очистки стічних вод підприємствами металургійної промисловості; технологічна схема очистки стічних вод;

7.Орієнтовний перелік публікацій стаття у збірнику матеріалів II Науково-технічної конференції магістрантів ІЕЕ; публікація в Міжнародному журналі «Інтернаука» 15 номер видання.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Репін Микола Володимирович		
Стартап-проект	Шевчук Наталія Анатоліївна		

9. Дата видачі завдання: «02» вересня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд досліджень та публікацій щодо очистки стічних вод на металургійних підприємствах	02.09.2019 – 24.09.2019	виконано
2	Аналіз технологічного процесу та методів очистки стічних вод на підприємствах;	24.09.2019 – 03.10.2019	виконано
3	Дослідження залежностей роботи гідроциклону при різних режимах роботи та встановлення оптимальних характеристик для розділення суспензій.	03.10.2019 – 28.10.2019	виконано
4	Розробити вдосконалену схему очистки стічних вод; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу.	28.10.2019 – 23.11.2019	виконано

5	Встановлення та опис залежностей фізико-механічних параметрів зразків плит від їх складу, притискового зусилля та інших параметрів	23.11.2019 – 08.12.2019	виконано
---	--	-------------------------	----------

Студент

(підпис)

Скрипник Т.А.
(прізвище, ініціали)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Репін М.В
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерську дисертацію було виконано на 89 аркушах та перелік посилань на використані джерела з 42 найменувань. У роботі наведено 15 рисунків та 5 таблиць.

Очисні споруди, що відпрацювали же більше 60-70 років, адже були побудовані в 50-х роках минулого століття – технологічно і морально застарілі, неефективні, надзвичайно нересурсоемкі. Саме тому доцільним вважається будівництво нових очисних споруд з впровадженням більш досконалих, нових технологій та рішень, що допоможуть скоротити витрати на обслуговування, покращити стан та розвиток галузі і матимуть економічний ефект.

Метою дослідження є роботи підвищення ефективності очистки стічних вод на металургійних підприємствах шляхом впровадження гідроциклонів покращеної конструкції.

Об'єктом дослідження є процес очищення стічних вод металургійних підприємствах, що містять зважені частинки.

Предметом дослідження є показники процесу очищення стічних вод, що характеризуються технологією і ефективністю впровадженої технології.

Задачі дослідження

- провести аналіз досліджень та публікацій щодо очистки стічних вод на металургійних підприємствах;
- провести аналіз технологічного процесу та методів очистки стічних вод на підприємствах;
- дослідження та моделювання залежностей роботи гідроциклону при різних режимах роботи та встановлення оптимальних характеристик для розділення суспензій.

- розробити вдосконалену схему очистки стічних вод; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; методи математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

Наукова цінність полягає у встановленні залежностей між параметрами тиску робочої рідини та коефіцієнтом розділення суміші в гідроциклоні при тангенціальному режимі та радіальному режимі очистки стоїв та концентрації забруднень.

Практична значимість полягає в розробленій технологчній схемі роботи установки. Проведений аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки; проаналізовано ефективність роботи установки; встановлено залежності коефіцієнта розділення суміші, залежно від напору подаваної рідини.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при виборі методу очистки стічних вод металургійних підприємств які мають зважені частинки та інші крупнодисперсні забруднювачі.

Ключові слова: ГІДРОЦИЛОН, ОЧИСНА СИСТЕМА, ЕЛЕКТРИЧНА СИСТЕМА, СЕПАРАТОР, ІНЖЕКТУВАННЯ, СУСПЕНЗІЯ, ПОТРУБОК, ФЛОТАЦІЯ.

ABSTRACT

The master thesis consists of an introduction, 4 chapters, and conclusion. It contains 91 pages, 28 drawings, 18 tables and 35 equations.

Wastewater treatment plants, which have worked more than 60-70 years, because they were built in the 50s of the last century - technologically and morally outdated, inefficient, extremely resourceless. That is why it is advisable to build new treatment plants with the introduction of more sophisticated, new technologies and solutions that will help reduce the cost of maintenance, improve the condition and development of the marshes and have an economic impact.

The purpose of the study is to improve the efficiency of wastewater treatment at metallurgical enterprises by introducing hydrocyclones of improved design.

The object of research is the process of sewage treatment of metallurgical enterprises containing suspended particles.

The subject of the research is the indicators of the wastewater treatment process, characterized by the technology and efficiency of the introduced technology.

Research objectives

- to conduct research and publications on wastewater treatment at metallurgical enterprises;
- to analyze the technological process and methods of wastewater treatment at enterprises;
- research and modeling of hydrocyclone dependencies at different operating modes and establishment of optimal characteristics for suspension separation.
- to develop an improved sewage treatment scheme; economically justify the effectiveness of the proposed method.

Research methods: systematic analysis of scientific and technical literature; method of mathematical modeling and prediction; methods of mathematical statistics for approximation of data and establishment of dependencies; methods of modern

computer technologies of information processing, in particular, the package of applications of MS Excel; graphical-analytical analysis.

The scientific value of establishing the dependence of the hydrocyclone operation in the tangential mode and radial mode of cleaning the tables and concentration of pollution.

Practical importance lies in the technological scheme of the installation. The analysis of technological process and technical and economic indicators of the plant operation was carried out; the efficiency of the installation was analyzed; the dependence of the mixture separation coefficient is determined, depending on the flow rate of the feed fluid.

The results of the research should be taken into account when choosing the method of sewage treatment of metallurgical enterprises that have suspended particles and other coarse pollutants.

Keywords: HYDROCYLONE, TREATMENT SYSTEM, ELECTRICAL SYSTEM, SEPARATOR, INJECTION, SUSPENSION, PIPE, FLOTATION.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	12
ВСТУП.....	13
1 АНАЛІЗ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	16
1.1 Характеристика стічних вод на металургійних підприємствах.....	16
Висновки до розділу 1.....	24
2 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	25
2.1 Критерії та методичний підхід до оцінки методів очистки стічних вод.....	25
2.2 Найпоширеніші методи та симтеми очистки стічних вод на підприємствах.....	31
2.3 Комбіновані методи, способи очистки стічних вод.....	34
2.4 Ефективні прилади та методи для очистки стічних вод від нерозчинних домішок на підприємствах.....	37
2.4.1 Типи гідроциклонів та особливості роботи.....	41
Висновки до розділу 2.....	45
3 ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕНТРОБІЖНИХ СИЛ ГІДРОЦИКЛОНУ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ.....	47
3.1 Моделювання сепараційних процесів в гідроциклонах флотаторах.....	49

3.2 Моделювання турбулентної течії полідисперсної суспензії в гідроциклоні з інженктором.....	53
Висновки до розділу 3.....	64
4 СТАРТАП «МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ НА ОСНОВІ ГІДРОЦИКЛОНІВ СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ»	65
4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту...	65
4.2 Аналіз конкурентного середовища.....	66
4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту.....	67
4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери.....	69
4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту.....	70
4.5.1 Прямі матеріальні витрати.....	71
4.5.2 Витрати на оплату праці.....	72
4.5.3 Обґрунтування вартості задіяних основних фондів та амортизаційних відрахувань.....	74
4.5.4 Інші прямі витрати.....	74
4.5.5 Загальновиробничі витрати.....	74
4.5.6 Умовно-змінні витрати.....	75
4.5.7 Умовно-постійні витрати.....	76
4.5.8 Накладні витрати.....	77
4.5.9 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту.....	77
4.6 Обґрунтування вартості виробництва інноваційного продукту.....	78
4.7 Цільові групи потенційних споживачів.....	78

4.8 Канали збуту.....	79
4.9 Бізнес-модель проекту.....	80
4.10 Аналіз ризиків стартап-проекту.....	81
Висновки до розділу 4.....	86
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВВП – валовий внутрішній прибуток

ПАТ - публічне акціонерне товариство

ГДК - гранично допустима концентрація

МАТ - магнетитовий анод

МАО – метал-оксидний анод

ПТА – платино-титановий анод

ОРТА – окисно-ртутно-титановий анод

ГДС – гранично допустимий скид

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Металургійна промисловість вважається основною економічною галуззю, вона продукує близько 40% грошових надходжень та створює 30% валютних надходжень ВВП. Цінність галузі в економічній політиці у тому, що вона виготовляє матеріали та сировину для будівельної промисловості, транспортної та машинобудування.

Потужність гірничо-металургійного комплексу базується на наявності великої сировинної бази та виробничих потужностей, а також високим рівнем науково-технічного потенціалу. Проте останнім часом ряд негативних економічних, виробничих та політичних факторів призвели до занепаду металургійної промисловості країни.

Чорна металургія являється енергозатратною, адже використовує 54% від загального енергетичного та ресурсного споживання країни. У порівнянні з іншими країнами, частина використання ресурсів сягає лише 12%. Велика енергоємність відбувається через зношену, застарілу виробничу базу (зношеність обладнання 70-80%).

Велика кількість джерел водопостачання знаходяться далеко за межами санітарно-епідеміологічних норм.

Однією з найголовніших державних проблем в сфері екологічної безпеки є безпечне, стійке водокористування зі збереженням якості довкілля. Особливої гостроти ця проблема набуває в умовах посилюється антропогенного впливу на водні об'єкти і виникненні надзвичайних ситуацій.

Для сучасної промисловості притаманний приріст водомістких виробництв. Одночасно з цим природні води відчувають потужний прес промислового, комунального, сільськогосподарського виробництва і транспорту.

Використання води на металургійних підприємствах є важливим етапом реалізації кінцевого виготовлення та обробки сировини. Вода потрібна для

охолодження обладнання та очищення газів, підготовки продукції. Стічні води характеризуються високим вмістом суспензії і високою жорсткістю. Також вода може використовуватися для :

1- Гасіння клінкеру, кадмідієвого і електролітного вилуговування. Вона забруднюється суспензіями, міддю, цинком, хлоридами, сульфатами.

$pH = 1 - 7,6$;

2- грануляції шлаків, охолодження кесонів, грануляції міді.

Зазвичай основними забрудниками стічних вод на металургійних підприємствах виступають: зважені речовини, ціаніди, кислоти, при виготовленні феромарганцю додається ще висока лужність, роданіди, сульфати і хлориди. Для очищення можуть застосовуватися коагулятори, відстійники, флотатори, гідроциклони, гравійний і піщані фільтри.

Сучасні методи очищення стічних вод на металургійних підприємствах включають в себе технологічні спорудження для виділення металів з стічних вод (іонний обмін, зворотний осмос, адсорбція, електродіаліз та механічного очищення - відстійники, фільтри та гідроциклони, що знайшли більшу популярність через свою відносну дешевизну, надійність та простоту конструкції.

Метою дослідження є роботи є підвищення ефективності очистки стічних вод на металургійних підприємствах шляхом впровадження гідроциклонів покращеної конструкції.

Об'єктом дослідження є процес очищення стічних вод металургійних підприємствах, які містять зважені частинки.

Предметом дослідження є показники процесу очищення стічних вод, що характеризуються технологією і ефективністю впровадженої технології.

Задачі дослідження

- провести аналіз досліджень та публікацій щодо очистки стічних вод на металургійних підприємствах;

- провести аналіз технологічного процесу та методів очистки стічних вод на підприємствах;
- дослідження та моделювання залежностей роботи гідроциклону при різних режимах роботи та встановлення оптимальних характеристик для розділення суспензій.
- розробити вдосконалену схему очистки стічних вод; економічно обґрунтувати ефективність запропонованого методу.

Методи дослідження: системний аналіз науково-технічної літератури; метод математичного моделювання та прогнозування; методи математичної статистики для апроксимації даних та встановлення залежностей; методи сучасних комп'ютерних технологій обробки інформації, зокрема, пакет прикладних програм MS Excel; графіко-аналітичний аналіз.

Наукова цінність встановлення залежності роботи гідроциклону при тангенціальному режимі та радіальному режимі очистки стоїв та концентрації забруднень.

Практична значимість полягає в розробленій технологчній схемі роботи установки. Проведений аналіз технологічного процесу та техніко-економічних показників роботи установки; проаналізовано ефективність роботи установки; встановлено залежності коефіцієнта розділення суміші, залежно від напору подаваної рідини.

Отримані результати дослідження необхідно враховувати при виборі методу очистки стічних вод металургійних підприємств які мають зважені частинки та інші крупнодисперсні забруднювачі.

1 АНАЛІЗ ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЩОДО ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1 Характеристика стічних вод на металургійних підприємствах

Металургійні підприємства у своєму виробництві на добу використовують приблизно 2,5 млн. м³ води, що становить 15-20% від усього промислового водоспоживання. Дана кількість водного ресурсу припадає на охолодження обладнання – 48%, очистку та фільтрування газів – 26%, підготовку та обробку металу – 12%, транспортування - 11%, інші потреби становлять – 3% [1].

Також слід зазначити, що певна кількість води становить безповоротні утрати, які пов'язані з процесами та системами оборотного водопостачання (каплунос, випаровування), хімічними приготуванням очищеної води, втрати технологічних процесах – 6-8%. Певна кількість води, що становлять стоки, скидається у водойми.

Значна кількість ресурсу становить «умовно-чисті» стоки 60- 70 %, адже вода має підвищену температуру. Решта – 30-40% води має домішки та забруднена різноманітними сполуками. Розрахунок використання води залежно від виду виробництва наведений в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Розрахунок використання води залежно від виду виробництва

Вид виробництва	Продукція що виготовляється	Питома витрата води м ³ /т		Відсотковий вміст в питомому розрахунку, %
		Всього	В т.ч. свіжої	
Гірничорудне	руда	12	4,5	5,0
Агломераційне	агломерат	7,5	0,6	3,1
Коксо-хімічне	кокс	12,5	1,0	5,2

Продовження таблиці 1.1

Доменне	чугун	60	4,5	25,0
Сталеплавне	сталь	52	3,5	21,7
Прокатне	прокат	96	5,5	40,0
Всього		240	20	100

Стічні води на металургійних заводах утворюються у всіх основних цехах. Найбільша кількість забруднень вноситься у водойму зі стічними водами від газоочистки (доменного газу) - в середньому 15 м³/ т чавуну [2]. В процесі очищення доменного газу вода захоплює за собою механічні домішки (частинки руди, коксу і вапняку) і хімічні сполуки (сульфати, хлориди, іноді роданіди і ціаніди).

Стічна вода після газоочистки забарвлена в червоно-бурий, темно-сірий або коричневий колір. Температура відходить води в середньому 35 - 45 °С. Для цієї стічної води характерний високий вміст зважених речовин, що потрапляють з газу в воду, кількість яких становить зазвичай від 1 до 4 г/л.

При виплавці ферромарганцевого чавуну в стічних водах після газоочистки міститься аміак, а також нерозчинні і розчинні ціаніди [3].

До категорії менш забруднених стоків відносяться стічні води від грануляції доменного шлаку. При мокрій грануляції шлаку, коли розплавлений шлак швидко охолоджується водою, велика частина води випаровується, а решта - зазвичай йде в оборот. Стічна вода від грануляції шлаку має підвищену температуру (до 40 °С), кількість зважених речовин відносно невелика і складає 600 - 700 мг/л. Доцільним є застосування напівсухої грануляції шлаку, при якому витрата води скорочується приблизно вдвічі, частина води, що йде на охолодження, вбирається шлаком, а частина випаровується і скидання стоків за рахунок цього повністю виключається [4]. Джерела виникнення стічних вод від виду металургійного підприємства наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Джерела виникнення стічних вод від виду металургійного підприємства

Вид виробництва	Операція
Сталеплавне	Очищення доменного газу; гідравлічна збірка осілого пилу і просипи в підбункерного приміщенні; грануляція доменного шлаку і розливання чавуну
Прокатне	Охолодження валків, шийок валків і підшипників; змив і транспортування окалини; охолодження допоміжних механізмів; гідравлічне випробування труб
Агломераційне і виробництво окатишів	Очищення газів; збірка просипи від випалювальних машин і пилових мішків; вологе прибирання приміщень
Домне	Очищення доменного газу; гідравлічна збірка осілого пилу і просипи в підбункерного приміщенні; грануляція доменного шлаку і розливання чавуну
Коксохімічне	Вуглезбагачення і пиловловлювання; хімічні процеси (Фенольні стічні води); гасіння коксу

Відносно невеликі кількості стічної води утворюються також від розливних машин. Тут вода використовується для охолодження чавуну після його розливу, який проводиться на спеціальних машинах в встановлені на конвеєрі мульди; спорожнені мульди змочуються вапняним молоком, що оберігає їх від приварювання до них чавуну при наступній розливання. Тому в стоці від розливних машин міститься: вільна вапно і вапняковий шлам, крапельки і осколки застиглого чавуну, коксовий дріб'язок, графіт. Концентрація зважених речовин в стічних водах може досягати 3 грамів на літр; температура відпрацьованих вод підвищується до 30 °С. Кількість стічних вод становить 70% від споживаної води (0,7 - 1,0 м³/т розлитого чавуну) [3].

Сучасні заводи мають у виробництві 2 - 3 розливні машини, в зв'язку з чим витрата стічних вод становить від 300 до 450 м³/год.

Стічна вода в прокатних цехах утворюється безперервно, і кількість її досягає 9 - 12 м³/т чавуну. Виходячи з характеру використання води в прокатних станах вона характеризується:

а) вищою, ніж надходить вода, температурою;

б) значним вмістом зважених речовин - окалини (приблизно 3 - 4% від ваги металу, що прокочується);

в) наявністю більшої або меншої кількості масел (15-40 мг/л) як в емульгованому стані, так і пов'язаного з окалиною.

Порівняно велика кількість зважених речовин міститься в стічних водах від очищення газу при конвертерному переділі чавуну в сталь із застосуванням дуття, збагаченого киснем, а також в стічній воді від впроваджуваних останнім часом установок по гідравлічної очистки изложниц після розливання сталі (кількість цієї води становить 50 - 110 м³/год) [6] . В табл. 1.3 наведений порівняльний аналіз води що подається з джерела та загального стоку.

Таблиця 1.3 – Характеристика вод що надходять з джерела та загального стоку

Характеристика	Вода, що подається від джерела	Загальний стік
Колір	Без кольору	Жовто-бурий
Запах	Без запаху	Шламу та нафти
Зважені речовини, мг/л	20-30	220-822
pH	7,5	7,6
Хімічний склад		
Cl ₂	13-28	41-198
SO ₄	73-78	108-290
NO ₂	0,07-0,1	0,1-7,0
NO ₃	-	Сліди
NH ₄	-	1-40 (16,3)
Fe ⁺ заг.	0,1-0,2	9-40 (23)
Нафтопродукти і смола, мг/л	-	0-92 (32)
Окиснення	6,6-7,1	13-90(40,8)

Категорію найбільш шкідливих з санітарної точки зору стічних вод складають води, які утворюються в процесі обробки кислотами поверхні металевих виробів, покритої окалиною і іржею.

Більш концентровані, відпрацьовані води, мають температуру до 80°C і містять 30 - 70 г/л сірчаної кислоти, 150 - 300 г/л сірчаноокислого закису заліза, а також зважені речовини до 250 мг/л; кількість цих вод складає в середньому 0,5 м³/т готової продукції. Менш забруднені води від промивання протравлених виробів містять заліза 100 мг/л, хлоридів 10 - 15 мг/л, сульфатів понад 300 мг/л, завислих речовин понад 100 мг/л, кількість цих вод складає в середньому 3 м³/т готового металу. У табл. 1.4 представлений склад стічних вод основних цехів на металургійних підприємствах [2] .

Таблиця 1.4 – Склад стічних вод основних цехів на металургійних підприємствах

Показники	Стічні води				
	Очистка доменного газу	Розливні машини	Прокатні цехи	Грануляція шлаку	Травильні ванни
t, °C	35-45	30	20-40	40	30-80
Колір	Червоно-бурий	білуватий	-	-	-
Запах в балах	4	Без запаху	-	-	-
Прозорість, см	1	-	-	-	-
Зважені речовини, мг/л	800-400	500-3300	до 2000	до 700	250
Окисляємість	37	17	-	до 150	-
Хлориди, мг/л	55	30	-	-	-
Сульфати, мг/л	28	20	До 100	-	88000 - 150000
Ціаніди, мг/л	до 15	-	-	до 5	-
Роданіди, мг/л	до 17	-	-	-	-
Феноли, мг/л	сліди	-	-	-	-

Якщо здійснювати аналіз у розрізі основних металургійних підприємств, то більшість із них має високий ступінь зношеності основних фондів, найвищий зафіксовано на таких підприємствах, як ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ

«Євраз-Дніпропетровський металургійний завод ім. Петровського», ПАТ «Макіївський металургійний комбінат».

Тільки на Єнакіївському металургійному заводі введено нове обладнання (у 2011 р. введено в експлуатацію сучасний комплекс доменної печі з корисним об'ємом 1719 м³ - зразок ліпших металургійних агрегатів країни, екологічно надійна, унікальна та єдина доменна піч, оснащена новітнім технологічним обладнанням і найсучаснішими системами управління; впроваджено проект «Застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв на установках «ковш–піч» конвертерного цеху»). Дані щодо ступеня зношуваності основних фондів наведений в табл. 1.5 [5].

Таблиця 1.5 – Ступінь зношуваності основних фондів металургійних підприємств України

Найменування підприємства	Ступінь зношеності, %
ПАТ «Макіївський металургійний комбінат»	67,4
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»	80,8
ПАТ «Дніпропетровський металургійний завод ім.Комінтерну»	56,5
ПАТ «Євраз-Дніпропетровський металургійний завод ім.Петровського»	79,5
ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат ім. Ф.Е. Дзержинського»	55,2
ПАТ «Запоріжсталь»	56,4
ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча»	57,7
ПАТ «Алчевський металургійний комбінат»	38,9

Високий ступінь зношеності обладнання, особливості виробничих процесів у чорній металургії, а також безліч сучасних галузевих проблем визначають специфіку технічних ризиків та ускладнюють кількісне оцінювання їх економічних наслідків: наявність гарячих потоків металу ($t=1200-1600^{\circ}\text{C}$); безперервність виробничих процесів та високі швидкості їх перебігу; обмеженість варіювання інтенсивності виробничого процесу; великі масштаби виробництва; велика одинична потужність металургійних агрегатів;

багатостадійність металургійного виробництва; суттєві відмінності основних металургійних агрегатів різних переділів за потужністю, періодичністю й тривалістю ремонту обладнання [7].

Окремою проблемою діяльності металургійної галузі є те, що підприємства металургії й енергетики залишаються сьогодні головними забруднювачами повітря, і щороку на них припадає відповідно 35 % і 32 % усіх забруднень від стаціонарних джерел. Особливо значним є таке забруднення в центрах металургії та енергетики – містах Макіївка, Маріуполь, Комунарськ, Харцизьк, Дніпропетровськ, Запоріжжя, Дніпродзержинськ. Металургійні підприємства оснащені очисним обладнанням лише на 30 – 50 %. За рідкісним винятком, це обладнання є застарілим чи взагалі таким, що не діє [6].

На підприємствах чорної металургії припадає близько 15 % усіх промислових викидів в атмосферу пилу, 8-10 % – викидів діоксиду сірки, 10-15 % – загального обсягу споживання води. До цього слід додати величезну кількість твердих відходів (шлаків, шламів тощо). Наприклад, навколо металургійних комбінатів м. Маріуполя розташовано багато сховищ металургійних шлаків. На території міста знаходяться дев'ять гідротехнічних споруд, на які впливають металургійні шлаки. Скрізь, де є металургійні шлаки, у водоймах накопичуються води з надзвичайно високою концентрацією сульфідів, які іноді прориваються в струмки та річки внаслідок рукотворних паводків, що призводить до сильного забруднення й виникнення техногенних аварій. Кисень у воді витрачається на окислення сульфідів, уміст кисню в таких сульфідних водоймах дорівнює нулю, і це спричиняє загибель живих організмів [7]. За умови доволі низької частки металургії в загальному обсязі підприємств, що здійснювали викиди зі стаціонарних джерел забруднення (не більше ніж 3,5 %), питома вага галузі в загальному обсязі викидів забруднювальних речовин в атмосферу та діоксиду вуглецю є досить значною, складаючи в різні роки від 20 % до 30 % [8].

На кількісний та якісний склад викидів в атмосферу впливають технологічні процеси в окремих цехах металургійних підприємств. Усі неорганізовані викиди в атмосферу відбуваються через аераційні ліхтарі, організовані – через димарі. Димові гази містять такі забруднювальні речовини, як оксид азоту, діоксид сірки, оксид вуглецю. Середній обсяг викидів забруднювальних речовин за рік у повітряний басейн Донецької області від металургійних підприємств становить близько 500 тис. т [10]. Крім того, металургійні підприємства є одними з великих споживачів води. Стічні води, які скидаються заводами у водоймища, містять хлориди, сульфати, нафтопродукти, залізо, азот амонійний, нітроти, фосфати, хром, марганець, феноли, середні концентрації яких значно перевищують ГДК [11]. Також спостерігається досить масштабне забруднення ґрунтів унаслідок діяльності металургійної галузі.

У ґрунтах поблизу металургійних заводів накопичується багато хімічних елементів. Важкі метали зв'язуються вже у верхньому шарі, глибина якого не перевищує 20 см. Але за сильного забруднення вони здатні проникати на глибину до 160 см і потрапляти до ґрунтових вод. Більшість хімічних елементів зазвичай утримуються в поверхневому родючому шарі. Значний вміст металів у ґрунтах спостерігається на відстані 1–5 км від джерела забруднення, яка визначається як зона впливу підприємства [11]. Відсутність інноваційних зрушень, високий ступінь зношеності основних фондів, низький рівень інвестицій у розвиток та реформування гірничо-металургійного комплексу посилюють вплив ремонтних робіт на загальні економічні показники діяльності підприємства.

Висновки до розділу 1

Встановлено основні причини утворення стічних вод на металургійних підприємствах, зокрема металопереробних та металообробних підприємствах, що направлені на роботу з виплавою, листовими видами металів, обробки

металів у металоконструкції. Наведені основні положення, представлені табличні дані по використанню стічних вод на металургійних підприємствах, склад домішок для кожного виду використання та виведено категорію найбільш шкідливих з санітарної точки зору стічних вод. Проведено аналіз у розрізі основних металургійних підприємств, більшість з яких має високий ступінь зношеності основних фондів, найвищий зафіксовано на таких підприємствах, що на пряму впливає на фільтрацію та використання стічних вод для повторного циклу.

2 МЕТОДИ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

2.1 Критерії та методичний підхід до оцінки методів очистки стічних вод

На практиці використовуються сорбенти і різні методи очищення вод по чотирьом групам дисперсності:

I - суспензії з розміром частинок більше 10^{-1} мкм, емульсії і суспензії створюють каламутність води, включаючи мікроорганізми і планктон;

II - колоїдні розчини з розмірами частинок 10^{-1} - 10^{-2} мкм, високомолекулярні сполуки, що обумовлюють окислюваність і кольоровість води, віруси;

III - молекулярно-розчинені речовини з розмірами частинок 10^{-2} - 10^{-3} мкм, гази, органіка, що надає воді запахи і присмак;

IV - речовини, диссоціюючі на іони з розмірами частинок менше 10^{-3} мкм, солі, кислоти, підстави [8].

Таким чином, необхідно досліджувати весь комплекс: потенційні можливості розробки методів і виробництва сорбентів і методів очищення стічних вод табл. 2.1, методи моніторингу і оцінки соціально-економічної ефективності з урахуванням мінімізації витрат на всі види переробки.

Таблиця 2.1 – Методи очистки стічних вод

Очистка від суспензій та емульсій	Очистка від розчинених домішок	Очистка від органіки та газів	Знищення або утилізація
Механічна очистка, флоатація, фільтрування, освітлення. Центробіжі методи, коагуляція, флоатація, електрометоди і ін.	Дистиляція іонний обмін, зворотній осмос, ультрафільтрація, заморожування, реагентні методи, електрометоди.	Регенерація, обдувка, деструктивні методи, екстракція, біометоди, озонування, хлорування, нагрівання, реагентні методи, електроокиснення.	Усунення, закачування в скважини, термознищення та переробка в брекети, закачування на глибини моря, захоронення в ґрунт.

Один з аспектів гіпотези переробки відходів в сорбенти, використання основ термодинамічної теорії при модифікації реологічних субстанцій (шляхом механічної та термодинамічної деструкції і регенерації) і при трансформації фаз сировинних матеріалів. Це може бути реалізовано при переробці відходів в базові компоненти, з яких можуть бути отримані нові композити з заданими властивостями [9].

Мова йде про створення нової теорії погоджень фаз різнорідних матеріалів з новими властивостями простим механічним поєднанням при нормальних умовах.

Таким чином, можна отримувати принципово нові сорбенти, використовуючи проміжні фази чи баластні матеріали. У літературі немає відомостей про пряме використання відходів, затверділих колоїдних субстанцій або розведених твердих домішок для виробництва сорбентів. Важливо відмітити, що необхідною умовою реалізації концепції є виняток, з метою створення гранично безпечних для здоров'я технологій, використання шкідливих хімічних процесів і реактивів [5] .

Використання методів переробки на принципі механічного змішування різнодисперсних і різнофазних компонентів дозволяє істотно змінити підхід до методики проектування обладнання переробки відходів в споживчі товари.

Фізико-механічний підхід до переробки стічних вод дозволить успішно використовувати галузі молекулярної фізики, термодинаміки, технології конструкційних матеріалів і дозволяє створити наукові основи проектування технології Рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Алгоритм реалізації технології покращення екологічних параметрів води

Методи очищення діляться на механічні, хімічні, фізико-хімічні, термічні і біологічні. Можливе комбіноване їх використання, проте застосування методів в кожному конкретному випадку визначається характером забруднення і ступенем їх шкідливості.

Ефективне застосування способу електрохімічного очищення стоків [5], що містять стоки металів, кислот і лугів, які дозволяють одночасно з очищенням витягувати і використовувати основну масу цінних продуктів і металів.

Електрохімічна обробка є різновидом фізикохімічного методу, коли процес електрохімічного очищення стічних вод відбувається під дією електричного струму. Дані методи відрізняються багатостадійністю і відносною складністю процесів, що відбуваються в апаратах водоочищення фізико-хімічних явищ [10]. Механізм і швидкість протікання окремих стадій залежать від багатьох факторів, виявлення впливу і правильний облік яких необхідні для оптимального конструювання електролізерів і раціонального ведення процесів очищення води.

Грунтуючись на законах фізичної хімії, електрохімії та хімічної технології, електрохімічні методи очищення промислових стічних вод можна розділити на три основні групи: методи перетворення, методи поділу та комбіновані методи.

Методи перетворення забезпечують зміну фізико-хімічних і фазоводисперсних характеристик забруднень стічних вод з метою їх знешкодження і швидкого вилучення зі стоків.

Перетворення домішок може проходити ряд послідовних стадій, починаючи з електронного рівня взаємодії розчинних з'єднань і закінчуючи зміною будь-яких електроповерхневих і об'ємних характеристик грубодисперсних речовин, що містяться в стічних водах [9].

Методи поділу призначені для концентрування домішок в локальному об'ємі розчину без істотної зміни фазово-дисперсних або фізико-хімічних властивостей витягають із стічних вод речовин. Поділ домішок і води відбувається в основному за рахунок флотації електрогенеруючими бульбашками газів або силового впливу електричного поля, що забезпечує транспорт заряджених частинок у воді.

До комбінованих методів електрохімічної очистки стічних вод відносяться методи, які передбачають поєднання одного або декількох методів перетворення і поділу забруднень стоків в одному апараті.

Електрофлотація полягає в насиченні води, що очищається мікробульбашками водню і кисню, що утворюються при її електролізі під дією постійного електричного струму. Кисень окисляє у воді нафтопродукти, утворюючи більш прості сполуки, а бульбашки водню, які оперують великою підйомною силою, захоплюють за собою на поверхню води частинки нафтопродуктів і скоагульовані зважені речовини [12].

Електрокоагуляція (гальванокоагуляція) - застарілі технологічно методи, які до теперішнього часу використовуються на машинобудівних та металообробних підприємствах для очищення стічних вод гальванічного

виробництва (в основному для очищення хромовмісних стічних вод від іонів хрому Cr^{6+}). Дані методи з електрохімічного механізму розчиняють залізо, іони, що утворилися Fe^{2+} відновлюють шестивалентний хром Cr^{6+} до трьохвалентного Cr^{3+} з подальшим утворенням гідроксида хрому. Різниця електрокоагуляції і гальванокоагуляції полягає в способі розчинення заліза [7].

В електрокоагуляційному методі залізо розчиняється електрохімічно при накладенні на сталеві аноди потенціалу від зовнішнього джерела живлення. У гальванокоагуляційному методі залізо розчиняється гальванохімічно за рахунок різниці потенціалів, що виникає при контакті заліза з міддю або коксом [13].

Отже, обидва методи розрізняються рушійною силою процесу розчинення металевого заліза, що і визначає їх технологічні відмінності. Електроліз розчинів солей з розчинною анодом зводиться до окислення матеріалу анода (його розчинення) і супроводжується перенесенням металу з анода на катод. Це властивість широко використовується при рафінуванні металів від забруднень.

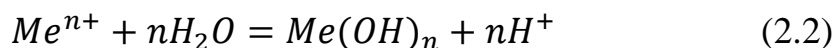
Якщо матеріал анода має потенціал більш негативний, ніж потенціал окислення гідроксид-іонів до вільного кисню, то відбувається розчинення анода і цей різновид електролізу називається електролізом з розчинною анодом.

При електрохімічній обробки використовуються розчинні і нерозчинні електроди. Як розчинних, наприклад, використовують алюмінієві, залізні та інші електроди, іони яких, виходячи в розчині при електролізі, мають властивості коагуляції [13].

На різних електродах відбувається іонізація металу з переходом в розчин іонів:



які гідролізуючись, утворюють:



тобто, гідроксиди металів є хорошими коагулянтами забруднень і адсорбентами для коагульованих частинок. При електролізі відбувається розкладання води з подлужненням оброблюваної рідини на катоді та з підкисленням на аноді:



При проходженні рідини між електродами під впливом електричного поля відбувається нейтралізація заряду забруднюючих частинок з подальшою їх коагуляцією [12]. Одночасно бульбашки газу, який утворився при електролізі, здійснюють флотацию забруднень. Процеси, що відбуваються при електрохімічній очищення на установці з алюмінієвими електродами, представлені на Рис. 2.2.

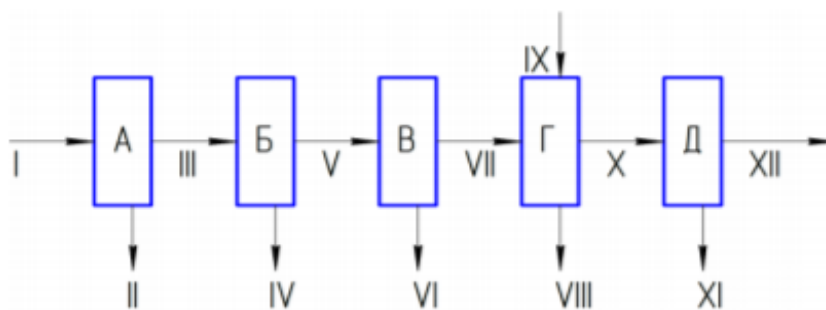


Рисунок 2.2 – Приблизна схема технологічного процесу електрохімічної обробки стічної води

В якості нерозчинних анодів використовують матеріали з великими позитивними відновними потенціалами (С, Pt, С) чи метали з високими значеннями анодної поляризації (Fe, Та, Ti) [14]. На практиці очищення води і водних стоків застосовують нерозчинні електроди з графіту, магнетиту - МТА, метал-оксидний анод - МОА, платинотитановий анод - ПТА, оксидно-рутно - титановий анод - ОРТА, аноди з піррографіта або скловуглецю тощо. Нерозчинні електроди, крім процесу електрохімічної флотації забруднень, при $pH = 8,9$ дають процес електрохімічної деструкції забруднень на катоді і на аноді. Тоді знезараження стічних вод відбувається іонами гіпохлориту, які утворюються на аноді. Це має місце при наявності в стічних водах хлоридів або при появі при електрохімічних процесах перекису водню та озону [15].

2.2 Найпоширеніші методи та системи очистки стічних вод на підприємствах

Найуживаніші в даний час методи очищення стічних води від крупнодисперсних агентів є процес фільтрації стоків через пористі матеріали або сітки з потрібним просторовим рейтингом фільтрації - очищення стічних вод з використанням зазначених процесів важливо, якщо необхідно використання оборотної води всередині підприємства [11]. Принципова схема вузла механічної очистки стічних вод представлена на Рис. 2.3.



А – решітка; Б – пісколовка; В – горизонтальний відстійник; Г- освітлювач; Д- прес-фільтр; I- стічна вода від підприємства; II – шлам, що осів на решітці; III – вода на подальшу очистку; IV – осад пісколовки; V – вода на доочистку в відстійник; VI – шлам відстійника; VII – вода в фільтр; VIII – шлам освітлювача; IX – стічні води від виробництва каталізатора гідрокреїнгу в якості каталізатора; X – вода в фільтр; XI – осадок фільтра; XII – вода на подальшу доочистку.

Рисунок 2.3 – Багатовузлова схема механічної очистки стічних вод

Значне поширення аеротенків відстійників з різними системами аерації; їх можна віднести до другого покоління біохімічних реакторів для очищення концентрованих стічних вод, оскільки в них є елементи для затримки супутньої біомаси. Серед реакторів-відстійників немає принципових відмінностей, важливо, щоб система аерації відповідала необхідному рівню забезпечення процесу киснем та були відсутні застійні явища [15].

Критеріями для аераторів різних типів, розмірів і різних реакторів є значення меж (а - коеф. аерації) $0,4 < a < 0,95$ та $0,11 < 0 < 0,7$.

Застосування анаеробних процесів очищення до концентрованих стоків промислових підприємств обумовлено здатністю сукупності мікроорганізмів продукувати енергетична сировину - біогаз, знижуючи концентрацію субстратів до рівня, прийнятного для наступного етапу.

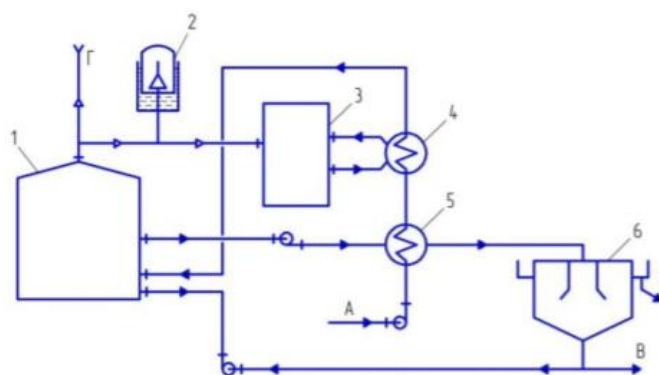
До інших переваг анаеробної обробки можна віднести утворення осадків, що представляють собою цінне органічне добриво, або потенційну сировину для

отримання протеїну, біологічно активних речовин і супутніх матеріалів народного споживання [17].

Відповідно до закону Арреніуса швидкість процесів ферментації зростає з збільшенням температури аж до 60 °С - максимальної для практичної реалізації метанового бродіння, а при температурі 35 °С швидкість газовиділення вдвічі вище, ніж при 26 °С тому в реакторах безперервної дії глибина зброджування залежить від часу перебування рідини і ступеня затримки рециркуляції.

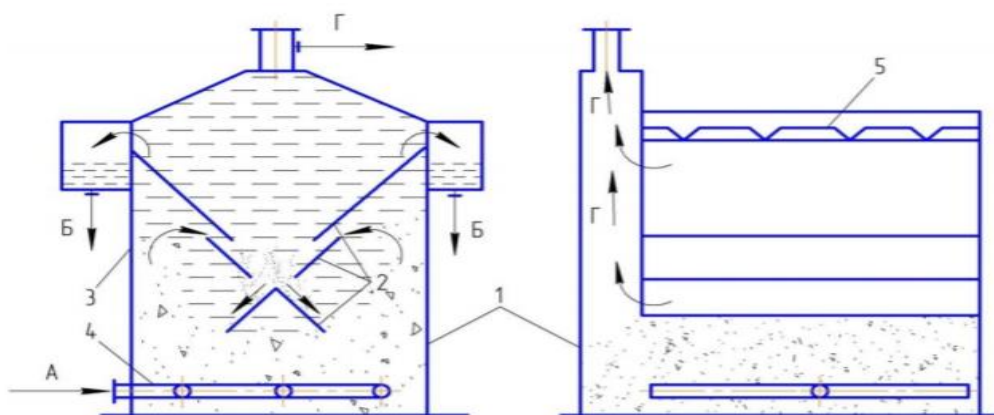
Застосовують також реактори з висхідним потоком - Upflowreactors, в яких перемішування здійснюється подається снізувверх потоком циркулюючої культуральної рідини, при цьому швидкість осадження частинок повинна бути більше швидкості висхідного потоку суміші [16].

На Рис. 2.4 надається повна принципова схема системи анаеробної очистки із застосуванням біогазу для підігріву зброджуваної рідини, що складається з суміші відходів різних підприємств. Більш ефективні анаеробні реактори з похилими перегородками, рис. 6



- 1 - метантенк; 2 – газгольдер; 3 – газовий водонагрівач; 4 – теплообмінник вторинного підігріву субстрату; 5 – теплообмінник - рекуператор; 6 – відстійник; А – субстрат; Б - зброджена рідина; В – надлишковий мул; Г – біогаз.

Рисунок 2.4 – Принципова схема системи анаеробної очистки з утилізацією біогазу для підігріву метантенка



1 – корпус; 2 – похилі перергородки; 3 – газові кармани; 4 – розподільчий пристрій; 5 – перелив; А – субстрат; Б – зброджена рідина; Г – біогаз.

Рисунок 2.5 – Реактор Bio Thane

На даний момент анаеробні реактори з імобілізованою мікрофлорою більш поширені, ніж аеробні, оскільки для них не потрібно організовувати умови для інтенсивного масообміну, а в кращих конструкціях апаратів для анаеробної переробки мінімальний час перебування складає 6 -15 год при 85 ÷ 90% очистці, що перевищує характеристики аеротенків, використовуваних для очищення концентрованих стоків підприємств промисловості [16].

2.3 Комбіновані методи, способи очистки стічних вод

До останнього часу в практиці очищення господарсько-побутових і промислових стоків комбіновані системи практично не застосовувалися, але з появою необхідності швидко і глибоко очищати висококонцентровані субстрати виникли схеми, що включають дві або три ступені аеротенків сучасних модифікацій.

На Рис. 2.6 показана схема поліпшеної конструкції реакторів і відстійників, застосування реагентів для обробки осадів промпідприємств.

Робочий об'єм метантенків визначається в залежності від фактичної вологості осаду (або суміші осаду з активним мулом) подовговій дозі завантаження за формулою 2.5.

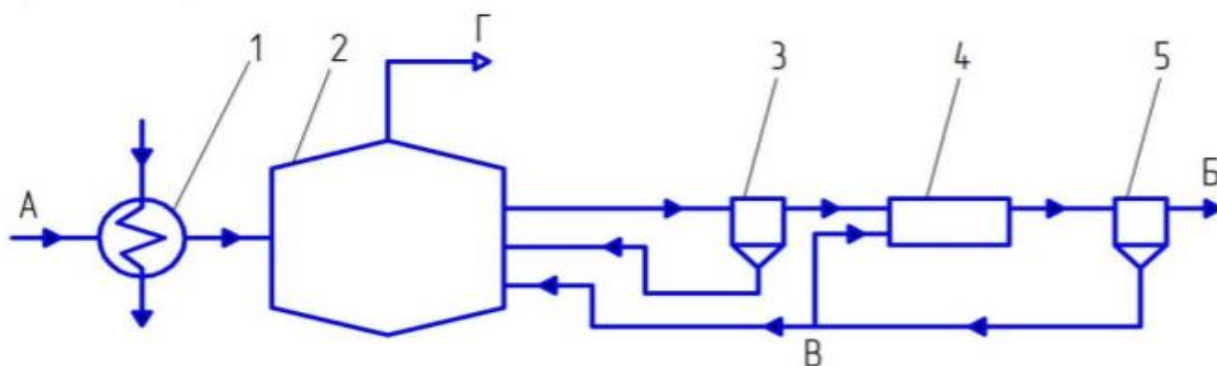
$$V = M_{\text{заг}} \times \text{м}^3 \div D \quad (2.5)$$

де $M_{\text{заг}}$ - кількість осаду (або суміші осаду з активним мулом), що надходить за добу в метантенку, м^3 ;

D - добова доза завантаження в метантенк.

Традиційна схема водопідготовки (коагуляція - відстоювання - фільтрація - знезараження) вже зараз не забезпечує належного рівня видалення забруднюючих речовин.

Впоратися з техногенними забрудненнями промислових стоків можливо лише в результаті широкомаштабного застосування інноваційних технологічних речовин [18].



1 – підігрівач субстрату; 2 – метантенк; 3 – відстійник метантенка; 4 – аеротенк; 5 – відстійник аеротенка; А – субстрат; Б – очищена рідина; В – аеробний активний мул; Г – біогаз.

Рисунок 2.6 - Схема -установки АНАМЕТ

В зарубіжних джерелах [19-22] їх називають новими окиснювальними технологіями (НОТ) (англ. Advanced oxidation process, AOP), до яких відносять крім уже розглянутих електрохімічних (електрореагентних) процесів - гомогенні і гетерогенні фотокаталітичні процеси, озонування, варіанти процесу Фентона, ультразвукову обробку, мокре окислення, окислення в суперкритичній воді, плазмові процеси, ферратну і персульфатну технології, використання іонізуючого випромінювання та мікрохвильової обробки.

Окислювальні технології забезпечують деградацію і мінералізацію органічних сполук в різних умовах у водному середовищі при взаємодії з гідроксильними радикалами, озоном, киснем, пероксидом водню, Феррата.

Основну роль в цих процесах відіграють гідроксильні радикали, які характеризуються величиною стандартного відновного потенціалу 2,7 В, що перевищує цей показник для озону (2,07 В) і поступається тільки токсичної фтору.

Озон, кисень і пероксид водню можуть безпосередньо взаємодіяти з органічними сполуками або брати участь в трансформаціях, що призводять до утворення гідроксильних радикалів. високореакційного проміжними продуктами подібних трансформацій, крім гідроксильних радикалів, є і ряд інших кисневих сполук [19].

Гідроксильні радикали в водному середовищі утворюються також і в ході фізичних процесів впливу ультрафіолетового опромінення, іонізуючого випромінювання, ультразвукової, плазмової або мікрохвильової обробки. Крім деградації органічних з'єднань НОТ можуть стати альтернативою або доповненням до традиційних процесів знешкодження (із застосуванням хлору і хлорвмісних реагентів).

Найбільш перспективними технологіями є реалізують комбіновані схеми, наприклад складаються з фотомембранних каталітичних установок, а також установок діалізу, первапорации або мембранної дистиляції [23].

2.4 Ефективні прилади та методи для очистки стічних вод від нерозчинних домішок на підприємствах

Методи освітлення води на підприємствах : відстоювання, фільтрація, коагуляція, електрокоагуляція, контактна коагуляція.

- Електрокоагуляція. Очищення промислових стоків методом електрокоагуляції заснована на їх електролізі з використанням металевих (сталевих або алюмінієвих анодів, що піддаються електролітичному розчиненню). При цьому вода збагачується відповідними іонами, що утворюють в нейтральною або слаболужною середовищі гідроксид алюмінію; гідрозакіс заліза, яка під дією кисню переходить в гідроокис заліза. В результаті здійснюється процес коагуляції, аналогічний обробці води відповідними солями алюмінію або заліза. При електрокоагуляції стічних вод протікають і інші процеси: електродіаліз, електрофорез, катодного відновлення розчинених у воді органічних і неорганічних речовин [20].

- При механічній обробці і очищенню вод використовують два способи:

1) освітлення та часткове знебарвлення води без попередньої її хімічної обробки;

2) освітлення та знебарвлення води, засноване на введенні в воду коагулянтів і флокулянтів.

Очищення стоків від великорозмірних твердих домішок за допомогою решіток - це ще не межа. Без очищення прозорих при наявності достатньої кількості домішок решітки можуть перетворитися в якусь подобу гребель. В результаті більшість решіток мають пристосування для ручної або механічної очистки прозорих з пристроєм для витягання домішок і складування для подальшого дроблення і подрібнення. Процеси ці ускладнюються при наявності в стоках домішок у вигляді ганчір'я, волокон, які не подрібнюваністю предметів, грудок в'язких речовин. Застосування величезного набору коагулянтів і

флокулянтів не вирішує в повній мірі питань підвищення глибини очищення стоків [21].

Пристрої, що використовують силу гравітаційного поля при механічному очищенні стоків, при вдосконаленні конструкцій перетворилися в цілий ряд песколовок. Подібні пристрої, займаючи великі площі і обсяги, не виконують необхідної від них роботи і частіше служать буферними ємностями. Методи відстоювання стічних вод також вимагають більше об'ємних ємностей.

Всі типи відстійників (горизонтальні, радіальні, вертикальні, комбіновані) характеризуються дуже великою тривалістю відстоювання і низькою ефективністю механічної очистки стоків [21]. Тут використовується тільки один закон гідравліки – закон Архімеда. Але при наявності рідкої середовища з підвищеною в'язкістю процес відстоювання або вимагає вельми великий тривалості відстоювання, або не забезпечує необхідного ефекту поділу суспензій і емульсій. Застосування для цілей відстоювання суспензій радіальних відстійників абсолютно не вирішує поставленого завдання. Вертикальні відстійники круглої або квадратної форми в плані норм (пустотілі конуси і піраміди, поставлені на вершину) мають деяку перевагу, пов'язаним з відносною простотою видалення (вивантаження) опадів, проте володіють тими ж негативними сторонами: в в'язкої рідини домішки (навіть відносно великі) не осідає, а знаходяться в підвішеному стані. Застосування різновидів відстійників з метою уловлювання жирів, масел, нафтопродуктів хоча в якійсь мірі і виправдовує своє призначення, але з тих же причин характеризується низькою ефективністю. Руйнування систем жири - вода, масло - вода, нафтопродукти - вода в чому представляє досі вельми великі труднощі і складності [23].

Важливу роль для очищення виконують різні типи фільтрів: макрофільтр, мікрофільтри і ультрафільтри. Тут же використовуються механічні напірні фільтри: циклонні, що обертаються зі знімними елементами, що фільтрують з

порцеляни і стали; автоматичні фільтри з великим числом фільтрувальних трубок і обертовим промивним пристроєм.

Ефективність освітлення води в проточних центрифугах і гідроциклонах вельми висока. Але велика вартість центрифуг і складність їх експлуатації при недостатній продуктивності по вихідним стоків роблять їх неконкурентоспроможними в порівнянні з гідроциклонами [23, 25].

До переваг гідроциклонов слід віднести:

- компактність, простоту пристрою, відсутність рухомих частин, високу об'ємну продуктивність, високу ефективність розділення суспензій, простоту обслуговування, безперервність процесу і можливість автоматизації.

До недоліками напірних гідроциклонов є:

- швидкий знос внутрішніх робочих поверхонь, можливість забивання піскові насадок, коливання ефекту освітлення в залежності від складу і змісту зважених речовин в переробляються водах.

Перевагою відкритих (безнапірних) гідроциклонов перед напірними є велика продуктивність і невеликі втрати напору.

Недоліком відкритих гідроциклонів є їх низька фактична ефективність роботи, що не перевищує 30% розрахункового показника. А при освітленні великих обсягів забруднених вод осаджувальні і проточні центрифуги не підходять [21].

Вони застосовні в разі швидкої і високоефективної очистки відносно невеликих і несильно забруднених обсягів води. Центрифуги неефективні для поділу емульсій. Комбіновані центрифуги, що поєднують осадження з подальшою фільтрацією і фільтрацію з подальшим осадженням в поле відцентрових сил, не знайшли широкого поширення і застосування. При правильному використанні позитивних сторін процес очищення стоків у відкритих, напірних і короткоконусних гідроциклонах піддається достатньої

автоматизації і може замінювати відстійники, освітлювачі і подібні до них апарати і пристрої практично без обмеження продуктивності.

Використання ж центрифуг представляє певний технологічний і технічний ризик, що рекомендує утриматися від включення їх в схему ланцюга апараті очисних споруд. Їх краще замінювати менш продуктивними, але більш надійними пристроями і апаратами, такими як вакуумні фільтри, машини електрофлотації і ін [22].

Видалення домішок води методом флотації характеризується наступними особливостями. Для успішного ведення процесу необхідні ємнісні апарати для розчинення газів або повітря в воді під тиском, а також застосування насадок абсорберів і компресорів.

Флотатори, як пристрої, мають великі габарити і обсяг при глибині шару води в них до 3 м. При цьому для нормальної роботи флотатора потрібно строго витримувати гідродинаміку процесу. При напірної флотації потрібні компресори, пристрої подачі і диспергування бульбашок повітря. При всіх видах флотації необхідно забезпечувати сталість властивостей пінного шару.

Піна повинна бути досить міцною і не допускати зворотного потрапляння забруднень в воду. Але при цьому піна повинна бути рухома при її переміщенні до скідних пристроїв. Останнє залежить від властивостей забруднень, реагентів і технологічних параметрів процесу [24].

Для нормальної роботи зернистих фільтрів при освітленні води фільтруванням необхідні значні запаси класифікованого зернистого матеріалу для завантаження: гравію, щебеню, мармурової крихти, кварцового піску, антрациту, доменного шлаку, горілої породи і ін. При використанні завантаження необхідна постійна регенерація вживаних матеріалів промиванням чистою водою і барботированием стисненим повітрям.

Перед завантаженням в фільтри матеріал готується з використанням операцій промивання на спеціальних піску та сортувальних пристроях. Але

запаси, наприклад, кварцового піску виснажуються, що вимагає шукати йому рівноцінну заміну. Застосування зернистих фільтрів недоцільно при очищенні вод, що містять волокнисті домішки і склеюють речовини. Навіть вищевказане, не кажучи про інші мінуси, дозволяє віднести зернисті фільтри до періодично працюючим пристроїв. Фільтри характеризуються складністю конструкції, потребою в різних видах дренажу, труб, арматури подачі і відведення фільтрованої і промивної води і комплексі вимірювальних приладів. При роботі часто відбуваються значні втрати завантаження, а в ряді випадків необхідне застосування коагулянтів і флокулянтів. Отже, необхідні складські приміщення, розчинні відділення, дозатори та мережу комунікацій [24, 25].

2.4.1 Типи гідроциклонів та особливості роботи

В даний час відомо досить велика кількість різних конструкцій і модифікацій гідроциклонних апаратів. Їх класифікацію можна провести за кількома критеріям, основними з яких є тип конструкції і призначення.

Незважаючи на те, що конструкція гідроциклонів дуже проста, вона має ряд конструктивних особливостей, які відрізняють один тип гідроциклонів від іншого. Відповідно до їх них і наведемо класифікацію за конструктивними параметрами.

За типом конструкції розрізняють конічні, циліндричні, гвинтові батарейні гідроциклони, а також турбоциклони [22].

Конічні гідроциклони, відкритого або закритого типу призначені головним чином для поділу грубих спливаючих суспензій. У гідроциклонів з відкритим верхом живить патрубок або приєднаний до конічної частини, або відсутній, і в даному випадку злив апарату розвантажується через зливний поріг. Такі гідроциклони працюють при дуже низьких тисках і застосовуються для класифікації по крупності дрібнозернистого матеріалу [23]. Також гідроциклони

даного типу добре зарекомендували себе в області очищення нафтовмісних стічних вод.

Ефект очищення від нафтопродуктів досягається за рахунок збільшення кутової швидкості від вихрового руху води, що сприяє концентрації нафтових частинок в центральній частині апарату. Освітлена вода відводиться тонким шаром через водозлив, віддалений від спливаючого шару напівзануреної перегородкою. За допомогою переливних воронок і лотків вловлені нафтопродукти видаляються з поверхні води. Через нижній зливний патрубок з шламового насадкою розвантажується утворюється в конусної частини гідроциклона.

Головним недоліком даної конструкції є можливість захоплення потоком рідини зважених речовин з периферійної зони, що суттєво знижує ефективність гідроциклону при збільшенні гідравлічного навантаження.

Батарейні гідроциклони (рисунки 2.7) і мультигідроциклони відрізняються числом елементарних циклонів в батареї, конструкцією, розміром і компонованням, а також способами подачі живлення і відведення продуктів. Як правило, встановлюється декілька гідроциклонів, утворюють одну батарею, яка живиться від загальної підводної труби. якщо з'єднання здійснюється в одному корпусі [24].



Рисунок 2.7 – Батарейні гідроциклони

Продуктивність батарейного або мультігідроциклонного апарату обчислюється однаково і являє собою добуток кількості та продуктивності кожного окремого гідроциклону. Чим менше діаметр гідроциклону, тим більше що розвиваються в ньому відцентрові сили, а отже тим менше крупність поділюваних часток.

Застосовувані в якості класифікаторів гідроциклони апарати мають діаметр 300-350 мм і висоту 1-1,2 м [21, 22]. Для згущення суспензій використовуються гідроциклони діаметром 100 мм і менше, для освітлення тонких суспензій діаметром 10-15 мм. Високий поділ суспензії особливо в процесі згущення і освітлення досягається в разі, коли гідроциклони мають подовжену форму з кутом конусності 15 або навіть 10 градусів. При такій формі корпусу збільшується шлях проходження твердих частинок, а також час їх перебування в апараті, що сприяє підвищенню ефективності поділу.

Циліндричні гідроциклони застосовуються для збагачення крупнозернистих сумішей при первинній стадії збагачення і можуть мати одне або багатоступеневу конструкцію [22]. Циліндричний двоступінчастий гідроциклон складається з двох циклонів: основного - циліндричного конічного.

Початкове живлення, що подається в апарат, розділяється на два продукти. Верхній продукт розвантажується через патрубок, а нижній переходить по каналу в конічний гідроциклон. Найбільш важка фракція покидає апарат через регульовану насадку, а проміжний продукт можна знову направити в вигляді.

Такі гідроциклони відрізняються високою продуктивністю і успішно зарекомендували себе в таких областях, як переробка техногенних родовищ, збагачення тонкоподрібненого золота і олововмісних руд, а також промивання піску [24, 26, 27].

Особливу популярність даний тип гідроциклонами апаратів отримав за рахунок низьких експлуатаційних витрат у зв'язку з тим, що він не є високонапірним і не вимагає спеціального технічного обслуговування. Такі апарати мають високі показники зносостійкості в порівнянні з обладнанням аналогічного застосування і мають відносно невеликі габаритні розміри. Технологічні показники циліндричних гідроциклонів мало відрізняються від показників гідроциклонів конічного типу.

Також відомі гідроциклони гвинтового типу, в яких основний потік рухається по спіралі, при цьому важкі і великі частки з зовнішнього шару потоку відводяться назовні, легші і дрібні розвантажуються через піскову насадку. До гвинтових гідроциклонів також відносяться апарати з нерухомим спрямовуючим колесом, в якому відцентрова сила виникає за рахунок руху рідини через лопатки колеса [25, 26, 28]. Відмінною особливістю даного типу конструкції є спосіб подачі живлення: тут живлення подається зверху по осі апарату.

Легка частина твердої фракції отбодітс через трубу, розташовану на осі апарату, а важча через нижній тангенціально розташований патрубок.

Апарат, що є комбінацією гідроциклону і центрифуги, називається турбоциклон [28]. В даному випадку необхідний для роботи натиск створюється не насосом, як в гідроциклонах, а турбіною, розташованою в циліндричній частині апарату. Нижній продукт видаляється через нижній відвідне отвір,

діаметр якого можна регулювати стисненим повітрям за допомогою гумового кільця, а верхній продукт через центральну трубу, що проходить уздовж осі апарату.

Розробка і впровадження циклонів даної конструкції здійснювалися з метою заміни насоса турбіною, що, як передбачалося, знизить питому витрату електроенергії [27, 31, 23]. Однак, як показали дослідження і практика використання даного типу апаратів технологічні переваги експлуатації перед конічними гідроциклонами відсутні, а конструкція є більш складною в зв'язку з наявністю турбіни, що обертається з великою швидкістю.

Це призводить до труднощам ущільнення вала, а отже обумовлює обмежене застосування в промисловості.

Висновки до розділу 2

1. Розглянуто основні традиційні методи очищення стічної води металургійних підприємств, які в своєму складі містять метали. Метод високотемпературного спалювання та очищення стоків в аеробно-анаеробному біореакторі

2. Метод електрокоагуляції, який полягає в насиченні води, що очищається мікробульбашками водню і кисню, що утворюються при її електролізі під дією постійного електричного струму.

3. Застосування електрофлотації дозволяє ефективно очищувати стічну воду, але в процесі очищення утворюється надлишкова біомаса мікроорганізмів не може бути повністю вилучена з вторинного відстійника через дуже малі розміри.

4. Розглянуто ефективні прилади та методи для очистки стічних вод від нерозчинних домішок на підприємствах.

5. Опрацьовано класифікацію, сфери використання, визначено технологічні переваги та недоліки гідроциклонів.

3 ЗАСТОСУВАННЯ ЦЕНТРОБІЖНИХ СИЛ ГІДРОЦИКЛОНУ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТІЧНИХ ВОД НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄСТВАХ

Найбільш перспективний метод зменшення споживання свіжої води - це створення оборотних і замкнутих систем водопостачання. Застосування оборотного водопостачання дозволяє в $10 \div 50$ разів зменшити споживання свіжої води. При зворотному водопостачанні значно зменшуються капітальні вкладення і експлуатаційні витрати. У всіх галузях промисловості частка оборотної води безперервно зростає. Так, в хімічній промисловості вона зросла до 82.5%, в нафтовидобувній та металургійній до 99%, в теплоенергетиці до 90%.

Одним з перспективних напрямків застосування гідроциклонів [31, 32, 33] є впровадження їх в очисні споруди водооборотних систем, для очищення стічних вод в системі оборотного водопостачання підприємств енергетики, нафтохімії, автомобільних господарств, металургійних підприємств. Організація оборотного водопостачання різко скорочує споживання свіжої води і значно скорочує або виключає скидання стічних вод у водойму і навколишнє середовище. Свіжа вода витрачається лише на заповнення втрат і становить $5 \div 10\%$ від витрат. Стічні води названих виробництв відрізняються різноманітним, що змінюється в широких межах складом, який в значній мірі залежить від місцевих кліматичних умов, технологічних параметрів виробництва. Концентрація зважених речовин в таких водах змінюється від 100 до 3000 мг/дм^3 , нафтопродуктів від 20 до 3000 мг/дм^3 [30]

Технології утримання зважених речовин (механічних домішок) в воді, яку повертають для повторного використання, не повинно перевищувати $7\text{-}15 \text{ мг/дм}^3$, для деяких виробництв до 40 мг/л нафтопродуктів інтервал концентрацій коливається від 0.1 до $3 \div 5 \text{ мг/дм}^3$, для деяких виробництв до 20 мг/дм^3 .

Відстійники, побудовані для очищення стічних вод в системі оборотного водопостачання, як правило не забезпечують необхідного ступеня очищення, не

дивлячись на відносно великі габарити до 7,2 м застосування безнапірних гідроциклонів ($D = 2.2$ м), також не привело до бажаних результатів. Безнапірні гідроциклони [28] успішно застосовуються для очищення водних об'єктів від плаваючого шару нафти. На відкритих морських акваторіях, в портах, на поверхні річок, озер поява плаваючого шару нафти як правило пов'язане з аваріями на морському і річковому транспорті, на нафтопромислах і нафтопродуктопроводах.

Ліквідація наслідків викидів нафти в водойми спрямована як на зменшення шкідливих екологічних впливів, так і на збір втрачених нафтопродуктів з метою їх подальшого використання. Але слід зазначити, що безнапірні гідроциклони призначені тільки для відділення з води нафти, що знаходиться у вигляді плівки або шару на вільній поверхні, тобто вони здійснюють функції збору нафти з поверхні. Виділення з води нафтових крапель в емульгованому стані виконують у циліндричних протиточних гідроциклонах ($D = 50$ мм) [35].

Очищення стічних вод названих виробництв з метою їх повторного використання доцільно проводити за схемою, наведеною на Рис 3.1.

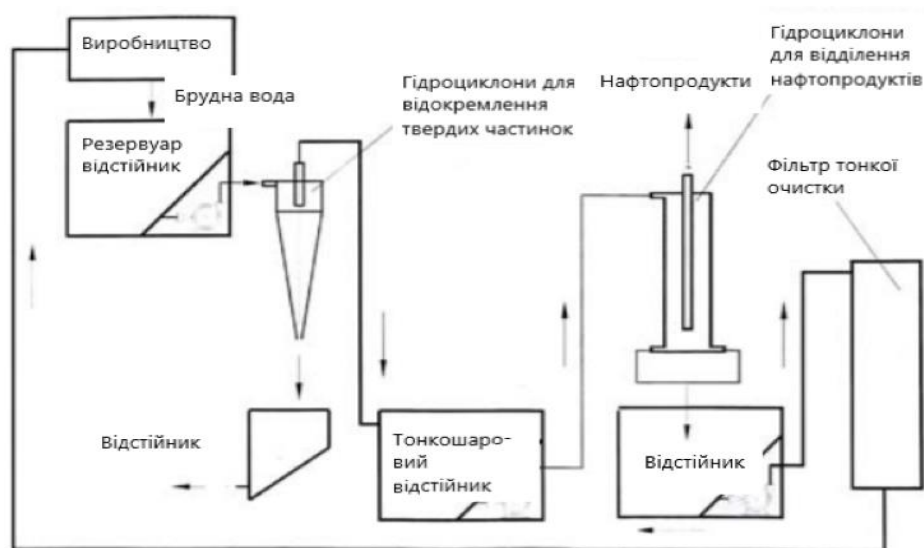


Рисунок 3.1 – Схема виробництва повторного використання води

Стічні води надходять в приймальний резервуар (іноді в передвідстійник) обладнаний контейнером для затримання великих фракцій. Насосами стічні води направляються на очищення, в частості напірні гідроциклони з напірною флотацією, в яких відбувається відділення великих (механічних) домішок зі скиданням їх в бункер.

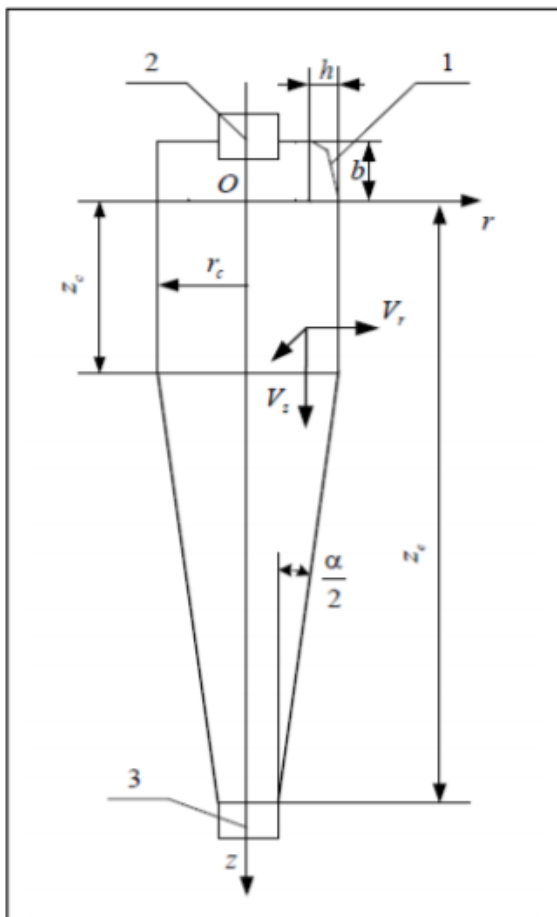
Пройшовши напірні гідроциклони [29], тонкошарові відстійники, стічні води надходять в циліндричні гідроциклони з флотатором для очищення від нафтопродуктів. Після гідроциклонів очищена вода надходить в коагулюючі або сорбційні фільтри. Очищена вода повертається в водооборотних систему виробництва. Не менш важливою перевагою схеми з гідроциклонами є значна економія площ. В даному випадку площа, що використовується під установку гідроциклону в 10 разів менша площі, яка потрібна була б для розміщення резервуарів-відстійників.

3.1 Моделювання сепараційних процесів в гідроциклонах флотаторах

Відділення зважених часток із стічних вод напірною флотацією, здійснений в поле відцентрових сил в гідроциклоні, сприяє значній інтенсифікації процесу і досягнення практично повного видалення частинок твердої фази за рахунок відділення зі стічних вод частинок найбільш дрібних фракцій.

Гідроциклон (Рис. 3.2) складається з сепараційної камери циліндричної форми і конічного дна. Промислові стічні води насичуються розчиненим газом (азотом) і через вхідний патрубок 1 у верхній частині гідроциклону при тиску до 0,8 МПа тангенціально надходять в циліндричну камеру і конічну частину з кутом конусності α . Суспензія, що подається в гідроциклон стікає по його стінках вниз, утворюючи обертову плівку, яка володіє окружною V_ϕ , осьовою V_z і радіальною V_r складовими швидкості [31, 32].

При зменшенні тиску до атмосферного створюється перенасичення розчиненого газу і суспензія «закипає».



1 – вхідний потрубок; 2 – верхній потрубок; 3 – зливний потрубок.

Рисунок 3.2 – Схема очистки стічних вод в гідроциклоні з напірною флотацією

Частинки твердої фази під впливом відцентрової сили направляються до стінки корпусу гідроциклону, а бульбашки газу під дією виштовхуючих сили Архімеда рухаються назустріч їм до поверхні плівки. Зіткнення частинок твердої фази з бульбашками газу утворює флотокомплекси, які виносять частинки твердої фази на поверхню плівки в пінний шар, що видаляється через верхній відвідний патрубок 2. Також частинки твердої фази є центрами утворення бульбашок газу, які виділяються при зниженні тиску, що сприяє до значного

збільшення кінетичного коефіцієнта напірної флотації. Через нижній зливний патрубок 3 освітлена суспензія видаляється з апарату [33, 34].

Основними перевагами гідроциклонов, які відрізняють їх інших пристроїв відцентрового принципу дії, є простота конструкції і відсутність рухомих частин. Вищевказані переваги сприяли широкому використанню гідроциклонов в самих різних галузях промисловості. В даний час їх використовують в процесах розділення суспензій, емульсій, дегазації газомістких рідин, класифікації твердих частинок по крупності.

Поділ неоднорідних систем в апаратах Гідроциклони принципу дії можливо інтенсифікувати використанням процесу флотації [35-36].

Методика розрахунку сепараційних процесів в гідроциклонах-флотаторах розроблена на основі рівняння радіального руху частинки яка зв'язана з бульбашками повітря:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = \pm m \frac{V_t^2}{r} \left(1 - \frac{\rho_c}{\rho_\phi}\right) \mp \beta \left(V_r \mp \frac{dr}{dt}\right) \mp F, \quad (3.1)$$

де верхній знак при доданку ставитися до випадку руху системи частка-бульбашка до стінки апарату, а нижній - до осі апарату;

m - маса частинки;

V_t - тангенціальна складова швидкості;

V_r - радіальна складова швидкості;

ρ_c ; ρ_ϕ - щільність дисперсійного середовища і дисперсної фази, відповідно;

r - поточний радіус, на якому знаходиться частинка-бульбашка;

β - коефіцієнт опорів Стокса;

F - сила Архімеда, яка діє на бульбашку повітря.

З огляду на специфіку гідродинаміки гідроциклонів, провівши ряд перетворень, отримуємо рівняння функції часу від переміщення:

$$t = -0,5 \left(\frac{m}{\beta} \right) \ln \left| \frac{\frac{A}{B} - r^2}{\frac{A}{B} - r_1^2} \right| - 1,5(\beta^m) \times \ln \left| \frac{r^2 \frac{A}{B} - r^2}{r_1^2 \frac{A}{B} - r_1^2} \right| \mp \ln \left| \frac{\frac{A}{B} - r^2}{\frac{A}{B} - r_1^2} \right|, \quad (3.2)$$

$$B'' = \frac{Q_B}{2\pi h}, \quad (3.3)$$

$$A' = \frac{\pi(A')^2}{6\beta} \left[d_T^3 \rho_\Phi \left(1 - \frac{\rho_T}{\rho_\Phi} \right) - d_n^3 \rho_c \right], \quad (3.4)$$

де d_T - діаметр твердої частинки; діаметр бульбашки повітря d_n може визначатися по-різному, наприклад, через критичне значення числа Вебера [37].

Умова зв'язку бульбашки з часткою π :

$$\frac{d_n}{2} \sigma_{ж} \sin \theta \geq \frac{\pi d_n^3}{6} \rho_c \frac{A^2}{r^3} + \frac{\pi d_T^3}{6} \rho_\Phi \frac{A^2}{r^3} + \frac{\pi a^2}{4} \left(\frac{4\sigma_{жТ}}{d_n} - 1,3\rho_c d_n \frac{A^2}{r^3} \right) + F_{тр}, \quad (3.5)$$

де a - діаметр окружності, по якій бульбашка прикріплюється а поверхні частинки;

θ – крайової кут змочування;

$\sigma_{жг}$ - поверхневий натяг на розділі рідина-газ;

$F_{тр}$ - сила вязкостного тертя;

A - постійна величина для даних геометричних і режимних параметрів роботи гідроциклону.

Далі, була отримана залежність для визначення основного розміру гідроциклону – D :

$$D = \frac{2,56V_{\text{ВХ}} (g\alpha)^{0.4} (d_t^3 - nd_n^3)}{ndVtg\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \quad (3.6)$$

де $d = d_n$ при $d_n > d_T$ або $d = d_T$ при $d_n < d_T$, в свою чергу, в даному рівнянні

$d_r = d_{\text{min}}$ - мінімальний діаметр твердих частинок (крапель), який повинен бути відділений в циліндроконічній частині гідроциклону з діаметром циліндричної частини D ;

$V_{\text{ВХ}}$ - швидкість потоку в живильному патрубку гідроциклону діаметром $d_{\text{ВХ}}$;

α - кут конічної частини корпусу;

$$n = \frac{\rho_c}{(\rho_\phi - \rho_c)}, \quad (3.7)$$

де V - кінематична в'язкість потоку суспензії (емульсії).

Як показує практика для того, щоб задати розміри гідроциклонів, раціональніше використовувати не швидкість на вході в пристрій, а тиск у живильному патрубку $P_{\text{ВХ}}$, яке залежить від потенціалу наявного нагнітаючого апарату. Враховуючи коефіцієнта гідравлічного опору циліндроконічного гідроциклону вираз запишеться наступним чином [38]:

$$D = 10,3 \frac{(g\alpha)^{0.22} \rho_c^{0.42}}{\mu_c^{0.74}} \left(\frac{d_T^3 - nd_n^3}{ndtg\left(\frac{x}{2}\right)} \right)^{0.78} \left(\frac{\Psi}{z} \right)^{0.22}, \quad (3.8)$$

де ψ - коефіцієнт пропорційності, який визначається виходячи з вартості гідроциклонного обладнання конкретного заводу виробника і матеріалів.

Таким чином, проведення процесів поділу неоднорідних рідких систем в полі відцентрових сил в гідроциклонах забезпечує більшу ефективність[38].

3.2 Моделювання турбулентної течії полідисперсної суспензії в гідроциклоні з інжектором

Однією з проблем при роботі гідроциклонів є проблема небажаного виносу частинок дрібнодисперсних фракцій в нижній злив, призначений для виведення частинок крупнодисперсної фракцій. Для боротьби з цим явищем використовується промивання великого продукту шляхом інжектування води в нижню конічну частину гідроциклону в місце скупчення небажано присутніх дрібних частинок перед виведенням їх з апарату [38].

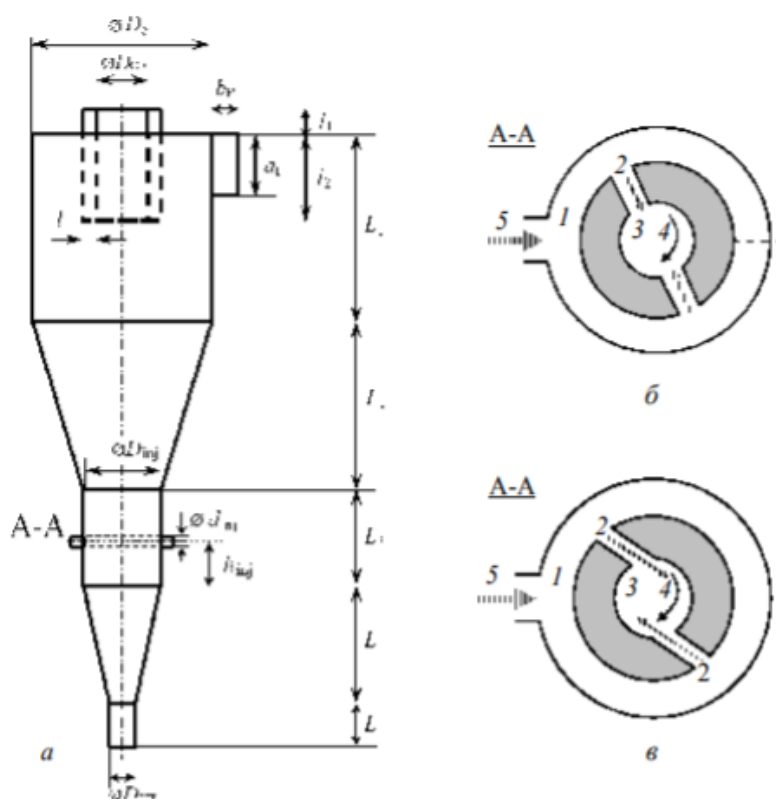
Незважаючи на те, що метод інжектування відомий досить давно, систематичні дослідження впливу параметрів інжекції на характеристики гідроциклону стали проводитися недавно. Так, в [39] виявлено основні закономірності перебігу води в гідроциклоні з інжектором, що має 5 тангенціально спрямованих сопел. Моделювання проводилося на основі тривимірної RNG-k- ϵ -моделі.

Чисельне моделювання та експериментальне дослідження впливу способу інжектування на витратні характеристики гідроциклону, працюючого на чистій воді, а також на поле турбулентності, виконано в [40, 41] на основі двовимірної осесиметричної моделі для закрученого течії, причому для знаходження турбулентних характеристик притягувалася модель рейнольдсових напружень; на основі чисельного моделювання в двовимірному осесиметричному наближенні досліджується турбулентний плин полідисперсної суспензії в гідроциклоні з сопловим інжектором і пояснюються механізм впливу радіально і тангенціально спрямованої інжекції на процес класифікації твердих частинок.

Розглядається стаціонарне закручене турбулентний плин полідисперсної суспензії в гідроциклоні, яка подається через вхідний ділянку з постійною витратою Q_f (Рис.3.3 а).

Враховуються сили, що діють на частинки суспензії [42]:

- відцентрові, відкидають частки на стінку гідроциклону;
- сили турбулентної дифузії, що перешкоджають руху частинок до периферії;
- сили гідродинамічного опору з боку рідини;
- гравітаційні і сили взаємодії частинок між собою, за рахунок яких дрібні частинки захоплюються більшими. Великі частинки, в більшій мірі схильні до дії відцентрових сил, рухаються до периферії і виводяться в нижній злив UF.



а – схема гідроциклону; б, в – центральний поперечний зріз інжектора; б – радіальний спосіб інжекції; в – тангенціальний спосіб інжекції; 1 – розподіляюче кільце; 2 – інжекційні входи; 3 – внутрішня порожнина гідроциклону в зрізі інжектора; 4 – напрямок обертання основного потоку; 5 – підвід інжектованої води

Рисунок 3.3 – Гідроциклон з інжектором

Дрібні частинки, з одного боку, за рахунок турбулентної дифузії рівномірно розподіляються по всьому об'єму гідроциклону і виводяться внутрішнім вихором через верхній злив O_F , але, з іншого боку, що захоплюються великими частками, рухаються також до периферії і виводяться разом з ними в нижній злив. У конічну частину гідроциклону через пристрій інжекторного типу подається вода з витратою Q_{inj} , з метою вимити дрібні частинки з суспензії і вивести їх через верхній злив. Інжекторний пристрій складається з розподільного кільця 1 і двох сопел 2, які можуть забезпечити або радіальну (Рис. 3.3, б), або тангенціальну (Рис. 3.3, в) інжекцію [40].

Основні розміри гідроциклону вказані в табл. 3.1

Таблиця 3.1- Розміри гідроциклону та елементів інжектора

a_F	b_F	D_c	D_{OF}	D_{UF}	D_{inj}	d_{inj}	h_{inj}	l	l_1	l_2	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5
22	9.1	50	14.4	7.2	22	2	38	8.4	30.1	45.5	277	192	76	102	43

Система рівнянь, що описує стаціонарну турбулентну течію полідисперсної суспензії (що складається з рідкої фази (води) і N фракцій дисперсної фази (частки)) в гідроциклоні, відповідно «моделі суміші» [12, 13]

Рівняння збереження маси суміші:

$$\nabla \times (\rho_m \rho_m) = 0, \quad (3.9)$$

де
$$\rho_m = \sum_{i=0}^N \alpha_i \rho_i, \quad (3.10)$$

$$U_m = \frac{1}{\rho_m} \sum_{i=0}^N \rho_i \alpha_i U_i, \quad (3.11)$$

Тут індекс $i = 0$ відноситься до рідкої фази, а індекси $i \geq 1$ - до фракцій дисперсної фази. З огляду на те, що щільності речовини частинок всіх фракцій

дисперсної фази однакові, вирази для щільності суміші та її швидкості можуть бути переписані у вигляді [44]:

$$\rho_m = (1 - \alpha)\rho_{liq} + \alpha\rho_s, \quad (3.12)$$

$$U_m = \frac{1}{\rho_m}(\rho_{liq}^{(1-\alpha)}U_i + \rho_s \sum_{i=1}^N \alpha_i U_i), \quad (3.13)$$

де $\alpha = \sum_{i=1}^N \alpha_i$ – об’ємна доля дисперсної фази.

Швидкість кожної фракції виражається через її «дифузну» швидкість і швидкість суміші співвідношенням $U_i = U_{d,i} + U_m$. «Дифузна» швидкість i -ї фази виражається через швидкість ковзання фази i щодо рідкої фази $U_{i, liq} = U_i - U_{liq}$ - у вигляді [46]:

$$U_{d,i} = U_{i, liq} - \frac{\rho_s}{\rho_m} \sum_{j=1}^N \alpha_j U_{j, liq}. \quad (3.14)$$

Швидкість частинок дисперсної фази відносно рідини описується:

$$U_{i, liq} = \frac{\tau_i \rho_s}{f_{drag,p}} \frac{\rho_s - \rho_m}{\rho_s} a, \quad (3.15)$$

Рівняння зміни об’ємної долі для i -ї фракції частинок з врахуванням їх дифузії за рахунок турбулентності:

$$\nabla \left(\rho_s \alpha_i \left(U_i - D_{turb,i} \frac{\nabla \alpha_i}{\alpha_i} \right) \right) = 0, i = 1, 2, \dots, N. \quad (3.16)$$

Рівняння збереження кількості рухів суміші:

$$\nabla(\rho_m U_m U_m) + \nabla \rho = \nabla(\sigma_m + \sigma_{turb}) + \rho_m g - \nabla \left(\sum_{i=0}^N \alpha_i \rho_i U_{d,i} U_{d,i} \right). \quad (3.17)$$

В рівнянні (3.17) тензор в’язких напруг суміші $\sigma_m = \mu_m (\nabla U_m + \nabla U_m^t)$, в свою чергу тензор турбулентності суміші $\sigma_{turb} = -\rho_m R$.

В'язкість суспензії залежить від концентрації дисперсної фази:

$$\mu_m = \frac{\mu_{liq}}{\left(\frac{1-\alpha}{0.62}\right)^{1.55}}. \quad (3.18)$$

Час релаксації частинок τ_p в рідині (без врахування взаємодії з іншими частинками) визначається:

$$\tau_p = \frac{\rho_s d_p^2}{18\mu_{liq}}, \quad (3.19)$$

Час релаксації в формулі для швидкості частинок відносно рідини (3.14) матиме вигляд:

$$\tau_r = \frac{\rho_s}{18\mu_{liq}} (d_p^2 + G(\alpha)f(d_p)). \quad (3.20)$$

Коефіцієнт опору:

$$\rho_m D_{turb,i} = \frac{\mu_{turb}}{1 + 1.6\left(\frac{\varepsilon}{k}\right)^2 \left(\frac{\rho_s d_p^2}{\mu_{liq}}\right)^2}. \quad (3.21)$$

Для визначення параметрів поля турбулентності застосовується модель Рейнольдсових напруг. Рівняння переносу для рейнольдсових напруг:

$$\nabla(\rho_m U_m R) = \nabla \left(\left(\mu_m + \frac{\mu_{turb}}{\sigma_1} \right) \nabla R \right) + P + \Phi - \varepsilon, \quad (3.22)$$

де $P = -\rho_m (R \times \nabla U_m + \nabla U_m^T R^T)$ – тензор, який відповідає за продукування турбулентних напруг;

Φ – тензор, який відповідає за перерозподіл турбулентності за рахунок швидких деформацій, повільних деформацій і за рахунок перерозподілу напруги поруч з стінкою ;

ε – тензор швидкості дисипації $\varepsilon = \frac{2}{3} I \rho_m \varepsilon$.

Рівняння переносу для швидкості дисипації турбулентної енергії [45]:

$$\nabla(\rho_m \varepsilon U_m) = \nabla \left(\left(\mu_m + \frac{\mu_{turb}}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_{\varepsilon I} \frac{1}{2} tr(P) \frac{\varepsilon}{k} - C_{\varepsilon 2} \rho_m \frac{\varepsilon^2}{k}, \quad (3.23)$$

де $\sigma_\varepsilon=1,0$; $\sigma_1=0,82$; $C_{\varepsilon I}=1,44$; $C_{\varepsilon 2}=1,92$; $C_\mu = 0,09$ – параметри моделі.

Припускається, що течія в гідроциклоні закручена з осью симетрії, $U_m = \{U_m, V_m, W_m\}$, $x = \{x, r\}$, R -симетричний тензор Рейнольдсових напруг:

$$R = \begin{pmatrix} R_{xx} & R_{xr} & R_{x\theta} \\ R_{xr} & R_{rr} & R_{r\theta} \\ R_{x\theta} & R_{r\theta} & R_{\theta\theta} \end{pmatrix}, \quad (3.24)$$

Система рівнянь вирішується при даних краєвих умовах:

На вході в гідроциклон

$$U_m = 0, \quad V_m = -\frac{Q_F}{\pi d_c a_F}, \quad W_m = \frac{Q_F}{\pi d_F a_F}, \quad \alpha_i = \alpha_{i,0};$$

$$R_{xx} = R_{rr} = R_{\theta\theta} = (0.1|U_m|)^2; \quad R_{xr} = R_{x\theta} = R_{r\theta} = 0; \quad \varepsilon = C_\mu^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{4}}}{0.07 \times d_{hyd}},$$

де d_{hyd} – гідравлічний діаметр вхідного потрубка, $d_{hyd} = \frac{2a_F b_F}{a_F + b_F}$.

На вході в інжектор $U_m = 0$, $V_m = -\frac{Q_{inj}}{S_{inj}}$,

$W_m = -V_m$ – для тангенційної інжекції; $W_m = 0$ – для радіальної інжекції

$$\alpha_i = 0; \quad R_{xx} = R_{rr} = R_{\theta\theta} = (0.1|U_m|)^2; \quad R_{xr} = R_{x\theta} = R_{r\theta} = 0;$$

$$\varepsilon = C_{\mu}^{\frac{3}{4}} \frac{k^{\frac{3}{2}}}{0.07 \times d_{inj}}, S_{inj} = n \times d_{inj}^2.$$

В нижньому і верхньому виходах гідроциклону задається тиск, який дорівнює атмосферному $p=p_{out}$, для інших параметрів задаються умови:

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = 0, \phi = \{\alpha_i, U_m, p, R_{xx}, R_{rr}, R_{\theta\theta}, R_{xr}, R_{x\theta}, R_{r\theta}, \varepsilon\}$$

На осі симетрії задавалися умови:

$$V_m = 0, W_m = 0, R_{xr} = 0, R_{x\theta} = 0, R_{r\theta} = 0,$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial r} = 0, \phi = \{\alpha_i, U_m, p, R_{xx}, R_{rr}, R_{\theta\theta}, \varepsilon\}$$

По стінці гідроциклону: $U_m = 0, V_m = 0, W_m = 0$.

Напруга Рейнольдса на стінці гідроциклону визначалися в чисельному рішенні визначальною системою рівнянь, проводилася дискретизація області на 41252 чотирикутні осередки з використанням предпроцесора Gambit 2.3.16 [46].

Рішення системи рівнянь кількості руху і системи рівнянь переносу напруг Рейнольдса виконувалося за допомогою експоненційної схеми з залученням алгоритму PRESTO [47] для розрахунку тиску на гранях осередків. Узгодження між полем тиску і полем швидкості реалізовано на основі алгоритму PISO [48].

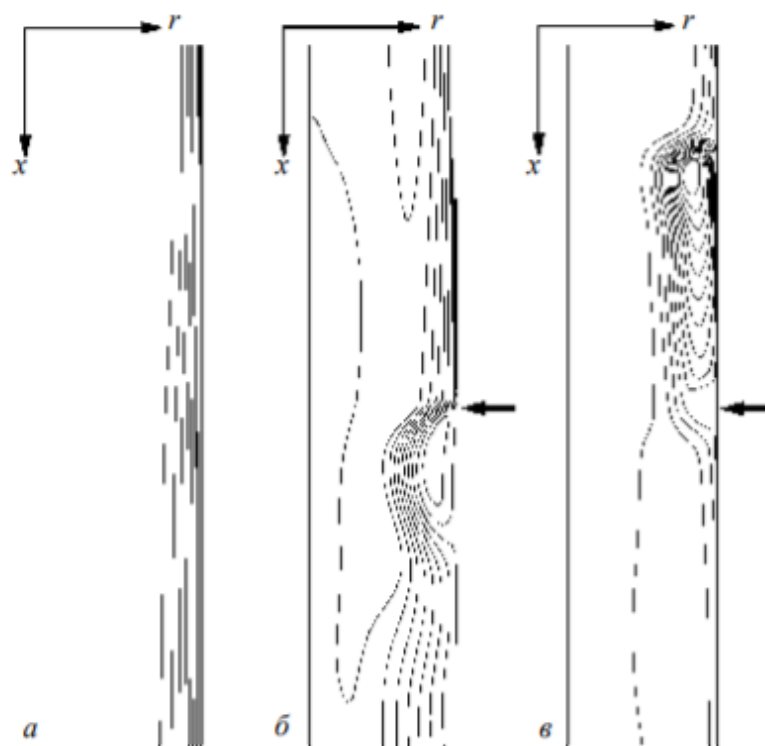
Вся сукупність часток розбивалася на 12 фракцій. Об'ємна частка дисперсної фази приведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Початкова функція розподілу частинок за розмірами

Параметри	Номер фракції											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d, мкм	0,66	0,88	1,63	2,73	4,43	6,67	9,44	12,71	17,74	24,91	36,90	45,84
$\alpha_i \times 10^3$	0,596	0,743	0,972	1,236	1,531	1,698	2,293	2,293	3,301	2,312	0,617	0,181

На вході в гідроциклон швидкості частинок і рідини збігаються. Об'ємна витрата суспензії на вході в гідроциклон дорівнювала $Q_F = 74,47$ л/хв. Щільність речовини частинок твердої фази $\rho_s = 2650$ кг/м³. Об'ємна частка частинок становила $\sim 0,0189$, що відповідає змісту твердої фази в суспензії 50 г/л. Витрата рідини через інжектор варіювався від 2 до 6 л/хв [49].

Як показують розрахунки, при однаковій витраті інжектуючої рідини тангенціальне підведення набагато сильніше деформує основний потік в гідроциклоні (Рис. 3.4, в), ніж радіальний (Рис. 3.4, б), і над місцем інжекції виникає вихрове кільце, що направляє пристінкові шари суспензії в сторону вхідного патрубку.

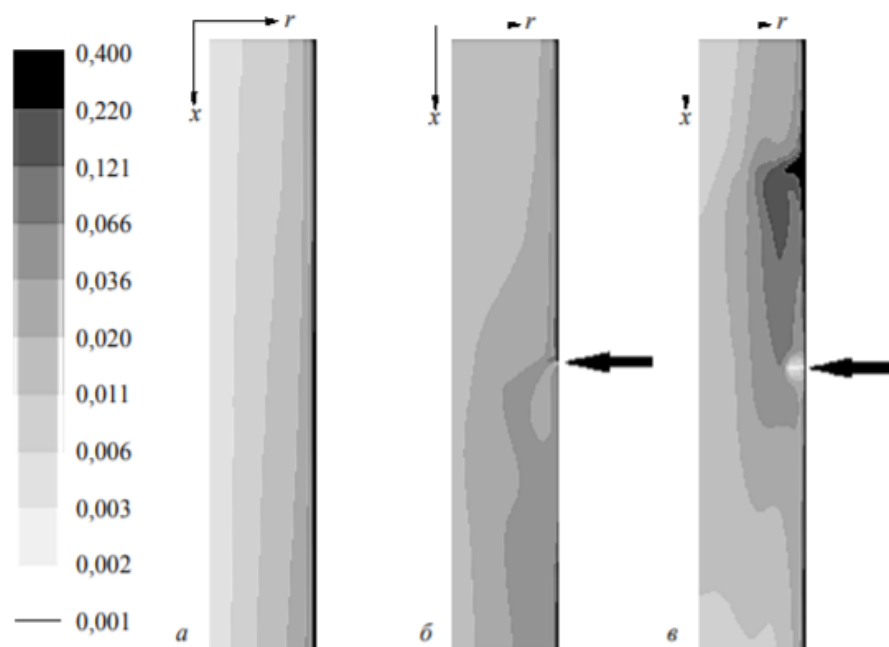


а – без інжекції; б – радіальна інжекція; в – тангенціальна інжекція.

Рисунок 3.4 – Траєкторії частинок фракції № 1 $Q_{inj} = 6$ л/хв

При цьому відбувається часткове замикання основного потоку в конічній частини гідроциклону, яке перешкоджає виносу дрібних частинок в нижній злив [50, 51]. Слід зазначити, що такі відмінності в картині перебігу починають проявлятися для витрати інжектуючої рідини від 6 л/хв і вище.

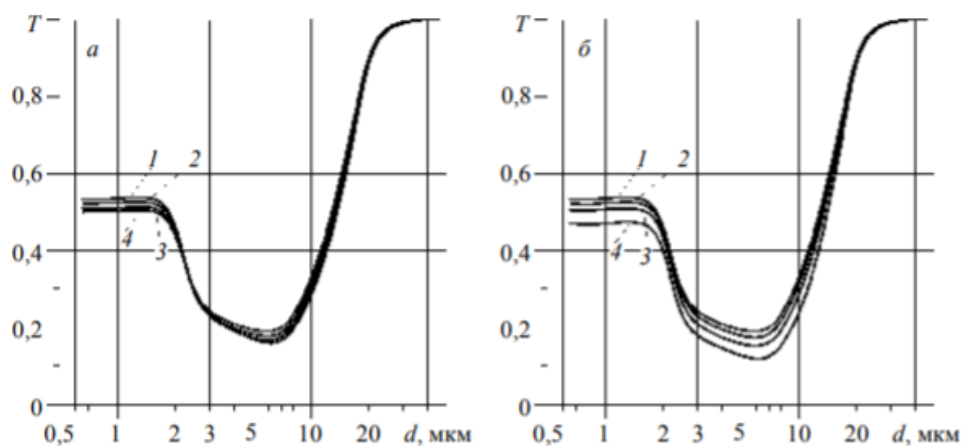
В результаті деформації поля течії відбувається перерозподіл твердої фази в інжекторі, Рис. 3.5, що виражається в її винесення з пристеночної області в напрямку осі симетрії, в результаті чого відбувається підвищення об'ємної частки частинок в ядрі потоку, тим самим збільшується ймовірність виносу частинок через верхній злив [52].



а – без інжекції; б – радіальна інжекція; в – тангенціальна інжекція.

Рисунок 3.5 – Об'ємна доля твердої фази (логарифмічна шкала), $Q_{inj} = 6$ л/хв

Тангенціальний спосіб інжектування більшою мірі підвищує об'ємну частку твердої фази в потоці (Рис. 3.5 в) в порівнянні з радіальним способом (Рис.3.5, б) за рахунок сформованого пристінкового вихору над місцем інжекції (Рис. 3.5, в).



а – радіальний спосіб інжекції; б – тангенціальний спосіб інжекції

Рисунок 3.6 – Вплив інжекції на функцію розділення

На Рис. 3.6 показано вплив об'ємної витрати інжектирується рідини на залежність функції розподілу (відношення масової витрати частинок деякої фракції через нижній злив до масовій витраті частинок цієї ж фракції через що живить патрубок) від розміру фракції для двох способів інжектування: радіального (Рис. 3.6, а) і тангенціального (Рис. 3.6, б).

Як видно з результатів розрахунку, при невеликих витратах інжекційного потоку (до 4 л/хв) спосіб інжектування не робить помітного впливу на поведінку функції поділу, хоча при цьому спостерігається її зниження для малорозмірних фракцій (1-3 фракції) до 4,5% і для середньорозмірних фракцій (5-7 фракції) до 19% [53].

Подальше збільшення інжекційного потоку до 6 л / хв не призводить до будь-якого зміни функції розподілу в разі радіального способу інжектування. Тангенціальний спосіб інжектування, навпаки, істотно знижує функцію розподілу в широкому фракційному діапазоні. Подібний вплив інжекції на функцію поділу було отримано і при проведенні експериментів з гідроциклоном, обладнаним двома інжекційними соплами [54].

Висновки до розділу 3

1. Виявлено основні закономірності перебігу води в інжектування в гідроциклоні з інжектором, що має 5 тангенціально спрямованих сопел, також було вирішено системи рівнянь кількості руху та системи переносу напруг за допомогою експоненціальної схеми руху з залученням алгоритму PRESTO, для обґрунтування тиску на гранях осередків. Узгодження між полем тиску і полем швидкості було реалізовано на основі алгоритму PISO.

2. Як показали розрахунки при однаковій витраті інжектуєної рідини тангенціальне підведення в системі очищення на з тангенціальним підведенням в гідроциклонах на металургійних підприємствах набагато сильніше деформує основний потік в ньому ніж радіальний.

3. За допомогою математичного моделювання було показано вплив об'ємної витрати інжектуєної рідини на залежність функції розподілу від розміру фракції для двох способів інжектування.

4. За результатами розрахунку за невеликих витрат інжекційного потоку (до 4 л/хв), встановлено при моделюванні розробленої схеми, спосіб інжектування не робить помітного впливу на поведінку функції поділу.

4 СТАРТАП «МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ НА ОСНОВІ ГІДРОЦИКЛОНІВ СТІЧНИХ ВОД ХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ»

Основною ідеєю стартап-проекту є удосконалення гідроциклонів з найкращим коефіцієнтом розділення суміші, залежно від напору подаваної рідини.

У подальшому зупинимося на обґрунтуванні наступних етапів реалізації стартап-проекту:

- актуальності та новизни інноваційної ідеї;
- аналізу конкурентного середовища;
- ресурсного забезпечення проекту;
- фінансового забезпечення реалізації проекту;
- інвестиційного етапу реалізації проекту;
- маркетингового етапу реалізації проекту.

4.1 Обґрунтування актуальності та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту

Актуальність та новизна інноваційної ідеї стартап-проекту полягає у виробництві гідроциклонів, що забезпечують необхідний коефіцієнт розділення суміші подаваної рідини. Функціональність даного пристрою полягає в тому, що він має покращену ефективність роботи вузлів за рахунок забезпечення розділення суміші від та радіального способу інжекції.

Висока ефективність даного приладу обумовлена умовами та сферою застосування даного приладу, а саме на металургійних та збагачувальних підприємствах для розподілу суспензій та емульсій.

В табл. 4.1 охарактеризовано основні переваги пропонованого виробу та вигоди від їх використання споживачами.

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Переваги та вигоди споживача
Підвищення ефективності очистки стічних вод на металургійних підприємствах за рахунок виведення на ринок інноваційного пристрою, який завдяки своїй конструкційній особливості та забезпеченню необхідного напору має покращену ефективність роботи	Пристрій для розділення емульсій на металургійних підприємствах	Забезпечення необхідного ступеня очистки стічних вод, який надає відмінний результат
	Пристрій для освітлення та розділення суспензій на збагачувальних підприємствах	Можливість отримання економічної вигоди за рахунок використання даного приладу в системах оборотного водопостачання. Зменшення площ очисних споруд, аже прилад може замінити габаритні відстійники.

4.2 Аналіз конкурентного середовища

У результаті аналізу конкурентного середовища встановлено, що на ринку немає приладів з конкурентними з даним набором технологічного оснащення та ефективністю роботи.

У табл. 4.2 узагальнено результати SWOT-аналізу потенційних загроз та можливостей реалізації стартап-проекту.

Таблиця 4.2 – Матриця SWOT-аналізу

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Відповідність продукту міжнародним та державним стандартам типу ДСТУ EN 300-319; 2. Вирішення проблеми відсутності найбільш ефективного пристрою який забезпечує для свого функціонування умов; 3. Можливість удосконалення та покращення виробу; 4. Багатофункціональність виробу.	1. Відсутність патенту на виріб; 2. Відсутність власних виробничих потужностей, створення яких потребує капітало-вкладення; 4. Прилад не використовувався практично.
Можливості	Загрози
1. Вихід на міжнародний ринок; 2. Доступність інвестицій та кредитів; 3. Можливість адаптації фізико-механічних властивостей виробу для використання тощо.	1. Негативні зміни з боку національного законодавства; 2. Поява значної кількості конкурентів; 3. Відсутність попиту 4. Виникнення нових технологічних рішень для багатофункціональної очистки стічних вод від більшої кількості забрудників.

4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення проекту

Планується використання наступних видів ресурсів: матеріальних, капітальних, інтелектуальних, трудових, нематеріальних.

До матеріальних ресурсів віднесено: високоякісні матеріали, пластик, метал; до капітальних – облаштування цеху та закупівлю гідравлічних термопресів; до інтелектуальних – науково та комерційно цінну інформацію щодо технології виробництва тришарової плити; до трудових – працівників, що займаються виробництвом продукції, обслуговуванням обладнання, забезпеченням безперебійного функціонування компанії-виробника та пошуками ринків і збутом продукції тощо; до нематеріальних – комерційну таємницю щодо раціонального складу компонентів виробу та способу найефективнішого виробництва виробу [56].

У табл. 4.3 обґрунтовано та узагальнено величину необхідних капіталовкладень на реалізацію стартап-проекту.

Таблиця 4.3 – Обґрунтування капіталовкладень на реалізацію проекту

Статті капіталовкладень	Величина, грн.
Прямі матеріальні затрати:	1 567259,59
– витрати сировини й матеріалів за винятком повернених відходів	521 491,35
– витрати купівельних напівфабрикатів та комплектуючих виробів	400 000,58
– витрати палива й енергії	355 034,66
– інші матеріальні витрати	290 733,0
Прямі затрати на оплату праці виробничих працівників:	707 833,51
– заробітна плата за ставками і тарифами виробничих працівників	457 449,6
– премії, заохочення, компенсаційні виплати виробничих працівників	115 745,0
– соціальні відрахування до Пенсійного фонду – 22% по заробітній платі виробничих працівників	134 638,91
Вартість основних фондів та нематеріальних активів виробничого призначення:	707 870
– початкова вартість задіяних у виробничому процесі основних засобів та необоротних нематеріальних активів (разом із транспортуванням, установкою та демонтажем)	907 870
Інші прямі витрати:	686 211,86
Статті капіталовкладень	Величина, грн.
– витрати на послуги сторонніх підприємств (охорона, реклама)	96 000,0
– витрати на оплату комунальних послуг	234 614,0
– витрати від браку	74 551,78
– транспортні витрати	281 046,08
Загальновиробничі витрати:	500 292,74
– витрати на управління виробництвом (оплата праці управлінського персоналу всіх підрозділів підприємства разом із ЄСВ до Пенсійного фонду)	241 715,2
– ремонт виробничого обладнання	250 400,0
– витрати на охорону довкілля (збиток та податок)	3 177,54
– витрати на отримання дозволу на скиди забруднюючих речовин	5 000
Всього капіталовкладень на реалізацію проекту	41169467,7

4.4 Ключові види діяльності та ключові партнери

У табл. 4.4 надано короткий опис видів діяльності та заходів, направлених на реалізацію завдань проекту, а в табл. 4.5 визначено ключових партнерів як постачальників необхідних матеріальних, капітальних, трудових, енергетичних ресурсів тощо.

Таблиця 4.4 – Ключові види діяльності

Назва діяльності	Опис діяльності	Результат діяльності
Закупівля обладнання	Придбання устаткування для збору, виготовлення та підключення апаратів	Наявність готового до роботи обладнання у місці виробництва приладу
Закупівля напівфабрикатів	Налагодження зв'язків з дистриб'юторами ключових деталей, корпусів, потрубок	Наявність готових до обробки та використання предметів праці
Виробництво гідроциклонів	Виробництво готових виробів з використанням матеріальних ресурсів, зокрема роторів, потрубок, корпусів і трудових – оператора гідравлічного пресу; його пакування на виробничих потужностях ПрАТ «Київський КПК»	Створення виробу, готового до збуту
Збут виготовлених виробів	Операції з моменту виходу товару за ворота підприємства до моменту передачі купленого товару споживачеві	Конвертація товару в фінансові активи
Управління виробництвом	Оплата праці персоналу, моніторинг діяльності цеху, контроль відповідності діяльності чинному законодавству тощо	Безперебійна ефективна діяльність цеху, налагодженість всіх процесів від виробництва до реалізації товару

Таблиця 4.5 – Ключові партнери

Інформація	Партнер 1	Партнер 2	Партнер 3
Назва організації-партнера	ТОВ «Veir minerals	ТОВ «Xinhai»	ЗАТ «Лиман»
Місце розташування	08703 м. Кременчук, Кременчуцька обл., вул. Київська 130	м. Пекин, вул. Чаоян, 3е	м. Київ, вул. Поліська, 2А
Юридичний статус	Юридична особа	Юридична особа	Юридична особа
Офіційна адреса	08703 м. Кременчук, Кременчуцька обл., вул. Київська 130	м. Пекин, вул. Чаоян, 3е	м. Київ, вул. Поліська, 2А
Контактна особа	Кравченко Олександр Вікторович	Лі Чан	Риженко Віктор Васильович
Телефон	+38044-494-40-03	008618330360713	+380687402325
Адреса електронної пошти	office@detals.ua	xinhai@gmail.com	tmc@himpost.com
Роль та залученість до підготовки цього проекту	Ключова	Постачання деяких предметів праці	Постачання та послуги з обслуговування/ремонту виробничого обладнання
Завдання, які покладаються на організацію партнера в реалізації проекту	Забезпечення виробничого приміщення, постачання деталей, постачання енергетичних ресурсів, організація збуту	Постачання зв'язуючих деталей, елементів живлення	Постачання та налагодження деталей Schulze BIGomatik 70100 або Holzmann WP 100H

4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проекту

Обґрунтуємо необхідні витрати, формування на їх основі собівартості реалізації бізнес-ідеї стартап-проекту та формування її ціни. Витратне обґрунтування ціни товару передбачає обґрунтування собівартості виробництва товару. Собівартість узагальнює витрати підприємства на виробництво і реалізацію товару. Положення (Стандарт) бухгалтерського обліку – 16

«Витрати»[56], найбільш узагальнений підхід до класифікації витрат, передбачає п'ять економічних елементів:

- прямі матеріальні затрати;
- прямі затрати на оплату праці;
- соціальні відрахування до Пенсійного фонду;
- амортизація основних фондів та нематеріальних активів для власного виробничого призначення;
- інші прямі витрати;
- загальновиробничі витрати.

4.5.1 Прямі матеріальні витрати

Відповідно до П(С)БО 16 «Витрати» обґрунтуємо прямі матеріальні витрати на одиницю продукції – витрати на сировину, матеріали, комплектуючі, паливо, енергію, комунальні послуги, запасні частини, малоцінні необоротні активи.

Для обґрунтування витрат електроенергії річний обсяг спожитої електроенергії визначено за формулою:

$$W = \frac{P \times K_m \times n_{зм} \times T_{зм} \times K_t \times n_{дн}}{\eta_{дв}} = \frac{500 \times 0,8 \times 3 \times 8 \times 0,4 \times 365}{0,85} = 1648,941 \text{ МВтгод}$$

де P – номінальна потужність електродвигуна, кВт;

K_m – коефіцієнт використання двигуна за потужністю (при відсутності конкретних даних приймають 0,8);

$n_{з.м}$ – кількість змін роботи обладнання протягом доби;

$T_{зм}$ – тривалість зміни, год;

K_t – коефіцієнт попиту (при відсутності конкретних даних приймають 0,4);

$n_{дн}$ – кількість робочих днів у році;

$\eta_{\partial\partial}$ – коефіцієнт корисної дії електродвигуна (при відсутності конкретних приймають 0,85).

Водночас, витрати на електроенергію спрощено визначаються за формулою:

$$C_{\text{ел.ен.}} = W \times a = 1648,941 \times 557,24 = 918\,855,9 \text{ грн}$$

де a – тарифна вартість електроенергії, грн/МВт*год.

Означені витрати узагальнимо в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Прямі матеріальні витрати

№ п/п	Назва ресурсу	Одиниця вимір.	Ціна	Кількість ресурсу	Потреба на місяць	Потреба на рік
1	Пластмасові деталі корпусу	грн./шт	7000	578	337 166,7	4 046 000
2	Металічні деталі приладу	грн./шт	12000	359	359 000	4 308 000
3	Витрати на ізолюючі матеріали	грн./м ²	1000	760,32	63 360	760 320
4	Електроенергія	грн. за кВт*год	0,55724	1648,941	76571,325	918 855,9
5	Комунальні послуги	грн./м ²	750	50	37 500	450 000
Всього:					873 598,025	10 483 175,9

4.5.2 Витрати на оплату праці

Даний крок роботи передбачає аналіз структури персоналу підприємства та розмежування працівників, оплата праці яких здійснюється на основі посадових окладів та працівників, оплата праці яких – відрядна з урахуванням розряду працівника [56].

Для адміністративно-технічного персоналу погодинно-преміальна оплата праці обчислюється за формулою:

$$ЗП_{\text{погод-прем}} = TC + t + П = 50 \times 176 + 10\% = 9680,0 \text{ грн}$$

де TC – тарифна ставка оплати праці, грн/год;

t – кількість відпрацьованих працівником годин, год;

$П$ – преміальні виплати за якісну напружену працю, грн.

Для виробничого персоналу відрядно-прогресивна система оплати праці обчислюється за формулою:

$$ЗП_{\text{підряд}}^{\text{прогр}} = P_{\text{баз}} \times Q_{\text{баз}} + (Q_{\text{факт}} - 1,1Q_{\text{баз}}) \times P_{\text{підв}} = 70 \times 150 + (150 - 1,1 \times 150) \times 70 = 9450 \text{ грн},$$

де $P_{\text{баз}}$ – базова розцінка за виготовлення одиниці продукції, грн/од;

$P_{\text{підв}}$ – підвищена розцінка за виготовлення понаднормової кількості продукції, грн/од;

$Q_{\text{баз}}$ – планований (базовий) випуск продукції, од/міс.;

$Q_{\text{факт}}$ – фактичний випуск продукції, од/міс.;

$1,1$ – коефіцієнт підвищеної розцінки при перевиконанні норми не менш, ніж на 10%.

Дані структури персоналу та фонду оплати праці узагальнюємо в табл. 4.7.

Таблиця 4.7 – Структура персоналу та фонд оплати праці

№ п/п	Посада	Форма оплати	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)		
				за місяць	за квартал	за рік
Адміністративно-технічний персонал						
1	Майстер	Погодинно-преміальна	2	9 680,0	29 040,0	116 160,0
Всього				19 360	58 080	232 320
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				4259,2	12 777,6	51 110,4
Фонд оплати праці				23 619,2	70 857,6	283 430,4
Виробничий персонал						
2	Оператор гідравлічного пресу	Відрядно-прогресивна	2	9 450,0	28 350	113 400
Всього				18 900	56 700	226 800
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)				4 158	12 474	49 896
Фонд оплати праці				16 007,38	48 022,14	192 088,56

4.5.3 Обґрунтування вартості задіяних основних фондів та амортизаційних відрахувань

Згідно з П(С)БО 7 «Основні засоби» до основних фондів підприємства відносимо будівлю (виробниче приміщення; адміністрація) та обладнання. Для розрахунку амортизації об'єктів основних засобів обрано прямолінійний метод, що передбачає рівномірний розподіл амортизаційних відрахувань протягом корисного терміну експлуатації об'єкта основних засобів до досягнення ним ліквідаційної вартості [57].

4.5.4 Інші прямі витрати

До інших прямих витрат належать витрати на дослідження та розробку, послуги сторонніх організацій, комунальні послуги, втрати від браку з технологічних причин тощо. Узагальнимо інші прямі витрати в табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування прямих інших витрат

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн	
		На місяць	На рік
Охорона приміщення	Угода	7 000	84 000
Інтернет-реклама	Google Ads	6 000	72 000
Комунальні послуги	Угода	6634,5	79 614
Витрати від браку	До 2 % від загального обсягу виготовленої продукції (вартість витрачених матеріалів)	6212,6	74 551,78
Транспортні витрати	Розрахунок	23 420,51	281 046,08
Всього:		49 267,61	591 211,32

4.5.5 Загальновиробничі витрати

Узагальнимо загальновиробничі витрати в табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Загальновиробничі витрати

Види послуг	Джерело даних	Вартість послуг, грн	
		На місяць	На рік
Ремонт виробничого обладнання	Угода	9208,3	110500
Отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин	Угода	-	5 000
Всього:		9208,3	115 500

4.5.6 Умовно-змінні витрати

До умовно-змінних витрат відносимо витрати на виробництво тришарової екологічно прийнятної плити. Величина їх змінюється залежно від зміни обсягу випуску продукції. Умовно-змінні витрати підприємства узагальнимо в табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Умовно-змінні витрати підприємства

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн			
		На 1 од.	На місяць	На квартал	На рік
Прямі матеріальні витрати	Табл. 4.5	17471,9	873 597,9	2620793,9	10 483175,9
ФОП виробничого персоналу	Табл. 4.6	7,58	16 007,38	48 022,14	192 088,56
Транспортні витрати	Табл. 4.8	3,2	6 753,84	20 261,52	81 046,08
Ремонт виробничого обладнання	Табл. 4.9	1,99	4 200	12 600	50 400
Всього:		17484,67	49 251,81	147 755,52	591 022,08

4.5.7 Умовно-постійні витрати

До умовно-постійних виробничих витрат відносять витрати на обслуговування і управління виробництва, які залишаються незмінними або майже незмінними при зміні обсягів діяльності. До них відносять: амортизаційні відрахування, фонд оплати праці адміністративно-технічного персоналу з нарахуваннями, орендну плату підприємства, комунальний податок, збір за забруднення навколишнього природного середовища тощо [56]. Розрахунок умовно-постійних витрат підприємства приведено у табл. 4.11.

Таблиця 4.11 – Умовно-постійні витрати підприємства

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн			
		На 1 од.	На місяць	На квартал	На рік
ФОП адміністративно-технічного персоналу	Табл. 4.6	2236,2	11 809,6	35 428,8	141 715,2
Амортизаційні відрахування	Табл. 4.7	2268,76	13 438,26	40 314,8	161 259,2
Охорона	Табл. 4.8	5150	7 000	21 000	84 000
Реклама	Табл. 4.8	120	6 000	18 000	72 000
Витрати від браку	Табл. 4.8	124,2	6212,6	18637,9	74 551,78
Комунальні послуги	Табл. 4.8	133	6634,5	19903,5	79 614
Всього:		10751,78	51095,01	153285,04	613140,18

4.5.8 Накладні витрати

Умовно-постійні витрати є накладними, тобто розподіляються між усіма видами продукції підприємства, якщо такі підприємство випускає.

Дані розрахунку накладних витрат записуємо у табл. 4.12.

Таблиця 4.12 – Розрахунок накладних витрат підприємства

Показники	Джерела даних	На одиницю	На місяць	На квартал	На рік
Умовно-постійні витрати, грн	Табл. 4.11	10751,78	51095,01	153285,04	613140,18
Частка випуску продукції у загальному обсягу виробництва, %	Офіційна веб сторінка ПрАТ «Київський КПК»	<1	<1	<1	<1
Накладні витрати, грн		10751,98	51095,91	15325,99	613141,98

4.5.9 Обґрунтування собівартості інноваційної ідеї стартап-проекту

Собівартість інноваційної ідеї складається з умовно-змінних та умовно-постійних (накладних) витрат. Розрахунок собівартості узагальнимо в табл. 4.13.

Таблиця 4.13 – Обґрунтування собівартості товару

Статті витрат	Джерела даних	Витрати, грн			
		На 1 од.	На місяць	На квартал	На рік
Умовно-змінні витрати	Табл.	10751,78	51095,01	153285,04	613140,18
Умовно-постійні (накладні) витрати	Табл. 4.11	1075,98	5109,01	15328,4	6114,02
Собівартість	Сума рядків	11837,76	56204,01	168613,44	619254,2

4.6 Обґрунтування вартості виробництва інноваційного продукту

Відповідно до розділу 3 «Податок на прибуток підприємства» Податкового кодексу України, прибуток – це частина валового доходу підприємства (фірми) за винятком усіх витрат на виробничу та комерційну діяльність [56].

Відносна величина прибутку підприємства характеризується рівнем рентабельності. Рівень рентабельності це співвідношення прибутку до витрат виробництва, розрахованих у відсотках:

$$N_{\text{пр.}} = \frac{\text{П}}{\text{ВВ}} \times 100\% = \frac{733140,18}{619254,2} \times 100\% = 18,3\%$$

де П – прибуток підприємства;

ВВ – валові витрати.

Прибуток – це не арифметична ймовірність, яка визначається лише наприкінці звітного періоду (місяця, кварталу, року). Це специфічна мета підприємства, яка вимірюється кількісно, тому величину прибутку доцільно планувати та визначати з самого початку [57].

В умовах ринкової економіки величина прибутку повинна відображати відносини власності або інші фінансові зобов'язання, наприклад, оплату дивідендів власникам акцій або залучення кредиту, тощо.

4.7 Цільові групи потенційних споживачів

В обґрунтуванні потенційних споживачів доцільно виявити цільові групи, яким буде пропонуватися прилад, а також визначити відповідну стратегію охоплення ринку. В табл. 4.14 представлено цільові групи потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис цільової групи потенційних клієнтів	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Металургійні підприємства	Високий	Висока	Складно
2	Збагачувальні та гірничо-рудні підприємства	Середній	Висока	Складно
3	Харчова промисловість	Середній	Висока	Складно
4	Легка промисловість	Низький	Висока	Складно

Відповідно до табл. 4.14 в якості стратегії охоплення ринку обрано стратегію масового маркетингу, тобто пропонується стандартизована програма впровадження виробу для всіх суб'єктів ринку.

Обраний сегмент ринку передбачає розроблення базової стратегії розвитку, що представлена в табл. 4.15.

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції відповідно до обраної стратегії	Базова стратегія розвитку
Ринкові можливості посилення ідеї стартап-проекту	Комбінований маркетинг	Багатофункціональність приладу; відсутність абсолютних аналогів на ринку;	Масовий маркетинг

4.8 Канали збуту

Незважаючи на те, що при використанні послуг посередників виробник певною мірою втрачає контроль за реалізацією товарів, залучення посередників вважається вигідним. В табл. 4.16 визначено оптимальну систему збуту виробу і коротко описано процес продажу.

Таблиця 4.16 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Оптимальна система збуту
1	Для приватних підприємств закупівля здійснюється на договірних засадах. Для державних підприємств закупівлі здійснюються через офіційний портал оприлюднення інформації про публічні закупівлі України Prozorro	Транспортування Встановлення контакту з покупцем Інформування про характеристики та властивості товару	Традиційна

4.9 Бізнес-модель проекту

Розробка стартап-проекту – це створення бізнес-моделі комерціалізації науково-технічних досягнень. Побудова конкурентної бізнес-моделі є ефективним інструментом вирішення поставлених у роботі задач і представляє структуру найважливіших елементів бізнес-проекту та є джерелом інноваційних ідей і підходів, які можуть бути застосовані в унікальному поєднанні компонентів [56]. В табл. 4.17 представлено структуру бізнес-моделі інноваційного виробу.

Таблиця 4.17 – Структура бізнес-моделі проекту

Ключові партнери ТОВ «Veir minerals» Забезпечення виробничого приміщення, постачання деталей, постачання енергетичних ресурсів, організація збуту; ТОВ «Xinhai» Постачання деяких предметів праці; ЗАТ «Лиман» Постачання та послуги з обслуговування/ремонту виробничого обладнання	Ключові види діяльності Удосконалення гідроциклонів для забезпечення необхідного коефіцієнту розділення суміші подаваної рідини Ключові ресурси Матеріальні Капітальні Енергетичні Фінансові Трудові	Цінність пропозиції Багатофункціональність Відсутність абсолютних аналогів Екологічна прийнятність	Взаємовідносини з клієнтами Гарантія на виріб Швидке реагування на скарги клієнта Демонстрація позитивного враження від товару для підприємців Канали збуту Для держустанов – Prozorro Для приватних підприємств та фізичних осіб – роздрібна та оптова торгівля	Споживчі сегменти Металургійні підприємства Збагачувальні та гірничо-рудні підприємства Харчова промисловість Легка промисловість
Структура собівартості 1.Витрати разові (капітальні): 3 007 870 грн 2.Витрати постійні: 13154,21 грн/од. 3.Витрати змінні: 17484,67 грн/од.		Потоки надходження доходу Ціна в залежності від об'єму. За розрахунками в середньому 670 000 грн/міс.		

4.10 Аналіз ризиків стартап-проекту

Впровадження та реалізація стартап-проекту може мати значні ризики, тому необхідно проводити обґрунтування ризиків, які залежать від факторів невизначеності. Інноваційні ризики визначаються ймовірністю втрат підприємства від інвестування засобів у виробництво нового товару, що може не знайти очікуваного попиту у споживачів на ринку.

До найбільш значущих мікроекономічних факторів впливу на ризики стартап-проекту належать [56].

- фінансові ризики, зумовлені недостатньо стабільним фінансовим станом підприємства та відсутністю належного фінансування етапів реалізації стартап-проекту;
- організаційні ризики – неефективна організація реалізації стартап-проекту в підрозділах та підприємства в цілому;
- логістичні ризики – неефективна технологія постачання необхідних ресурсів та взаємодії з постачальниками, підрядниками, діловими партнерами;
- кадрові ризики пов’язані з недостатньою професійною компетентністю залучених до реалізації стартап-проекту працівників, відсутністю їх особистої ініціативи або належної координації їх злагодженої роботи в команді;
- маркетингові ризики – відсутність зваженої та чіткої маркетингової стратегії впровадження та реалізації стартап-проекту на ринку.

Проектні ризики зумовлені неточностями, недостатнім опрацюванням всіх складових реалізації стартап-проекту, ще на етапі його розроблення. Для зниження проектних ризиків доцільно на етапі проектування стартап-проекту здійснити:

- аналіз ринку (діагностика та вияв ризиків у ході якісного аналізу, оцінка ризиків у ході кількісного аналізу);
- вибір методу та засобів управління ризиком (основні інструменти: скасування ризику, запобігання та контролювання ризику, страхування ризику, поглинання ризику);
- фінансування ризиків (одночасне використання методу запобігання та контролювання ризиків);
- здійснити оцінку результатів.

Політичні ризики пов'язані з нестабільністю національної економіки, державного устрою, діяльності органів влади, етнічними, регіональними проблемами, поляризацією інтересів соціальних груп тощо [57].

Економічні ризики зумовлені несприятливими змінами економічної діяльності підприємства, кон'юнктури ринку, рівнів управління тощо.

Комерційні ризики – пов'язані з процесом реалізації товару. Основними причинами виникнення комерційних ризиків є:

- зниження обсягів реалізації товару внаслідок зниження попиту, витіснення його конкурентними аналогами, введення державних обмежень продажу;

- підвищення закупівельної ціни в ході реалізації підприємницького проекту;

- непередбачуване зниження обсягів продажу порівняно з планованими, що знижує ефект масштабу партії товару та відповідно збільшує питомі витрати реалізованого товару (за рахунок умовно-постійних витрат);

- непрогнозована втрата товару;

- втрата якості товару в ході реалізації (транспортування, зберігання), що зумовлює зниження його ціни та загрожує втратою прибутку або навіть банкрутством;

- підвищення витрат обороту капіталу порівняно з планованими результатами через непередбачувані штрафні санкції, відрахування, що зумовлює втрату прибутку підприємства.

Майнові ризики пов'язані з імовірністю втрати майна підприємства через крадіжку, диверсію, порушення технічної та технологічної систем тощо.

Торгівельні ризики обумовлені збитками через затримку платежів, порушення термінів своєчасного постачання товару у процесі його транспортування тощо.

Окремо варто виділити транспортний ризик. В даний час транспортні ризики класифікуються в залежності від ступеню відповідальності в чотири групи: E, F, C, D [56].

Група E включає ситуацію, коли постачальник (продавець) тримає товар на власних складах (Ex Works). Ризик несе постачальник до моменту прийняття товару покупцем. Тому ризики транспортування бере на себе покупець.

Група F містить три конкретні ситуації передачі відповідальності і ризиків:

- FCA означає, що ризик і відповідальність продавця переносяться на покупця в момент передачі товару в домовленому місці;
- FAS означає, що відповідальність ризику за товар переходять від постачальника до покупця у визначеному договором порту;
- FOB означає, що продавець знімає із себе відповідальність після відвантаження товару.

Група C включає ситуації, коли експортер, продавець укладають з покупцем договір на транспортування, але не приймають на себе ніякого ризику.

Остання група D означає, що всі, транспортні ризики лягають на продавця.

Виробничі ризики – ризики, що зв'язані зі збитком від зупинки виробництва внаслідок впливу різних факторів і, насамперед, із втратою чи пошкодженням основних і оборотних фондів (устаткування, сировина, транспорт тощо), а також ризики, що зв'язані з впровадженням у виробництво нової техніки і технології [57].

До основних причин виробничих ризиків відносяться:

- зниження планованих обсягів виробництва і реалізації товару внаслідок зниження продуктивності праці, простою обладнання, втрат робочого часу, відсутності необхідної кількості вихідних матеріалів, підвищеного відсотку бракованої продукції;
- зниження планованих цін реалізації товару (послугу) через зниження їх якості, несприятливі зміни ринкової кон'юнктури, підвищенням попиту;

- збільшення матеріальних витрат через перевитрату матеріалів, сировини, палива, енергії, а також за рахунок збільшення транспортних витрат, торгових витрат, накладних і інших додаткових витрат;
- зростання фонду оплати праці через перевищення планованої кількості працівників або незаплановане збільшення рівня заробітної плати окремим робітникам;
- збільшення податкових платежів й інших відрахувань підприємства;
- недостатньо ефективна робота логістичної служби підприємства, зриви поставань, перебої в постачанні палива та електроенергії;
- фізичний і моральний знос устаткування.

Фінансові ризики – це ті, що виникають при здійсненні фінансового підприємництва чи фінансових угод, виходячи з того, що у фінансовому підприємстві в ролі товару виступають або валюта, або цінні папери, або кошти. До фінансових ризиків належать валютні, кредитні та інвестиційні ризики [57].

Валютні ризики – це ймовірність фінансових втрат через зміну курсу валют у період реалізації стартап-проекту. А оскільки валютний курс у довготерміновій перспективі дуже рухливий, то доцільно в контракті постачання сировини, матеріалів окремо відобразити валютні ризики. Зазначимо, що серед основних факторів впливу на курс валют є стан платіжного балансу та рівень інфляції.

Одним з найважливіших видів ризиків діяльності стартапів в умовах ринкової економіки є кредитний ризик. Він зв'язаний з можливістю невиконання підприємством своїх фінансових зобов'язань перед інвестором у результаті використання для фінансування діяльності підприємства зовнішньої позики.

Важливими також є підприємницькі ризики, причинами яких є:

- непередбачувані зміни ринкового середовища, які впливають на діяльність ринкового суб'єкта (коливання ціни, податкові зміни, коливання валютного курсу, соціально-політичні зміни тощо);

– зміна відносин підприємства з партнерами (наприклад, можливість укласти більш вигідну угоду, продовжити або скоротити термін дії контракту, більш привабливі або навпаки умови діяльності, зміна фінансового стану) [56].

Висновки до розділу 4

1. Аналіз ринку підтверджує відсутність абсолютних аналогів багатофункціональної паперової плити з волокнистого скопу, що класифікує останню новим товаром на ринку.

2. Враховуючи наявний попит та динаміку на ринку є можливість ринкової комерціалізації запропонованого стартап-проекту.

3. З огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції та конкурентоспроможність проекту вважаємо останній доцільним для подальшої імплементації.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено основні причини утворення стічних вод на металургійних підприємствах, зокрема металопереробних та металообробних підприємствах, що направлені на роботу з виплавою, листовими видами металів, обробки металів у металоконструкції. Наведені основні положення, представлені табличні дані по використанню стічних вод на металургійних підприємствах, склад домішок для кожного виду використання та виведено категорію найбільш шкідливих з санітарної точки зору стічних вод. Проведено аналіз у розрізі основних металургійних підприємств, більшість з яких має високий ступінь зношеності основних фондів, найвищий зафіксовано на таких підприємствах, що на пряму впливає на фільтрацію та використання стічних вод для повторного циклу.

2. Розглянуто основні традиційні методи очищення стічної води металургійних підприємств, які в своєму складі містять метали. Метод високотемпературного спалювання та очищення стоків в аеробно-анаеробному біореакторі. Метод електрокоагуляції, який полягає в насиченні води, що очищається мікробульбашками водню і кисню, що утворюються при її електролізі під дією постійного електричного струму. Застосування електрофлотації дозволяє ефективно очищувати стічну воду, але в процесі очищення утворюється надлишкова біомаса мікроорганізмів не може бути повністю вилучена з вторинного відстійника через дуже малі розміри. Розглянуто ефективні прилади та методи для очистки стічних вод від нерозчинних домішок на підприємствах.

3. Виявлено основні закономірності перебігу води в інжектуванні в гідроциклоні з інжектором, що має 5 тангенціально спрямованих сопел, також було вирішено системи рівняння кількості руху та системи переносу напруг за допомогою експоненціальної схеми руху з залученням алгоритму PRESTO, для

обґрунтування тиску на гранях осередків. Узгодження між полем тиску і полем швидкості було реалізовано на основі алгоритму PISO. Як показали розрахунки при однаковій витраті інжектуючої рідини тангенціальне підведення в системі очищення на з тангенціальним підведенням в гідроциклонах на металургійних підприємствах набагато сильніше деформує основний потік в ньому ніж радіальний. За допомогою математичного моделювання було показано вплив об'ємної витрати інжектуючої рідини на залежність функції розподілу від розміру фракції для двох способів інжектування. За результатами розрахунку за невеликих витрат інжекційного потоку (до 4 л/хв), встановлено при моделюванні розробленої схеми, спосіб інжектування не робить помітного впливу на поведінку функції поділу.

4. Аналіз ринку підтверджує відсутність абсолютних аналогів багатофункціональної паперової плити з волокнистого скопу, що класифікує останню новим товаром на ринку. Враховуючи наявний попит та динаміку на ринку є можливість ринкової комерціалізації запропонованого стартап-проекту. З огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції та конкурентоспроможність проекту вважаємо останній доцільним для подальшої імплементації.

5. Результатом виконаного дипломного проекту є сконструйована система очистки стічних вод на удосконаленому гідроциклоні, яка показує кращі показники поділу фракцій всіх розмірів при тій же кількості використаної води, та впливає на цикл життя системи очищення збільшуючи його.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. для вузов. С.В. Яковлев, И.Я. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, Под ред. С.В. Яковлева. – Москва: Стройиздат, 1990. – 510 с.
2. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов: С.В. Яковлев, С.В. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун. – Москва: Стройиздат, 1996. – 591 с.
3. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод : учебник для вузов, С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – Москва: АСВ, 2004. – 704 с.
4. Красавцев Г. Н. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии Г. Н. Красавцев, Ю.И. Ильичев, А. И Кашуба. – Москва: Металлургия, 1989. – 288 с.
5. Григорук Н.О. Водоснабжение, канализация и очистка сточных вод коксохимических предприятий, Н.О. Григорук, Г.П. Пушкарев – Москва: Металлургия, 1987. – 120 с.
6. Ансеров Ю. М. Машиностроение и охрана окружающей среды, Ю. М. Ансеров, В. Л. Дурнев. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 224 с.
7. Макаров В. М Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях В. М. Макаров, Ю. П. Беличенко, В. С. Галустов. – Москва : Машиностроение, 1988. –272 с.
8. Жуков А. И. Методы очистки производственных сточных вод : (Справ. пособие) А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер; под ред. А.И. Жукова. – Москва : Стройиздат, 1977. – 204 с.
9. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Под ред. В.Н. Самохина. Изд. 2-е. Москва: Стройиздат, 1981. – 639с.
10. Игнатьева, М.Н. Оценка и пути достижения экологической чистоты металлургического производства: учебник, М.Н. Игнатьева, С.В. Карелов, Л.А.

Мочалова, Г.Ю. Пахальчак, В.Л. Советкин, Ю.Г. Ярошенко, С.В. Ярушин; под общей ред. Ю.Г. Ярошенко. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. –391 с.

11. Карелов, С.В. Очистка и утилизация сточных вод предприятий цветной металлургии: Уч. Пособие С.В. Карелов, В.Л. Советкин, С.В. Мамяченков – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1999. –104 с.

12. Таранцева, К.Р. Инженерные методы защиты гидросферы: учебное пособие К.Р. Таранцева. – Пенза: ПГТУ, 2012. -286с

13. Равич Б.М. Брикетирование в цветной и черной металлургии. – М.: «Металлургия», 1975. – 356 с.

14. Селицкий Г.А. Основные мероприятия по охране водных ресурсов в черной металлургии. Научно-практический журнал Экология производства. Интернет ресурс URL: <http://www.ecoindustry.ru/magazine/archive/viewnumber/2005/10.html> (дата обращения 08.09.2019)

15. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. -188 с.

16. Аксенов В.И. Замкнутые системы водного хозяйства металлургических предприятий. 2-е изд. перераб. и доп. М.- Металлургия, 1991. - 124 с

17. Мазур, И.И. Курс инженерной экологии. Учебник для вузов [Текст]/И.И. Мазур, О.И. Молдаванов, под ред. И.И. Мазура – М.: Высшая школа, 1999. – 447 с

18. Воскобойников, В.Г. Общая металлургия. Учебник для вузов [Текст] В.Г. Воскобойников, В.А. Кудрин, А.М. Якушев. 6-изд., перераб. и доп. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.

19. Филипчук В. Л. Рационализация технологических схем очистки металлосодержащих многокомпонентных сточных вод промышленных предприятий. – 2002, – т. 24, – № 6, – С. 567-576.

20. Матеріали науково-практичних конференцій III Міжнародного Водного Форуму "Аква України-2005", 4-7 жовтня 2005 року. – К., 2005. - 320 с.
21. Запольский А. К., Образцов В. В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – К.: Техника, 1989. - 199 с.
22. Кроик А. А. Гидрогеохимические исследования процессов миграции и накопление тяжелых металлов в водных экосистемах (на примере Западного Донбасса. IV Всеукраинская научно-практическая конференция. «Вода – проблема и решения». Материалы конференции. – Д.: Гамалия, 1998. - 239 с.
23. Смирнов Д. Н. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов Д. Н. Смирнов, В. Е. Генкин. – М.: Металлургия, 1980.-196 с.
24. Долина Л. Ф. Сточные воды предприятий черной металлургии и способы их очистки: Справочное пособие. Д.–Amsterdam.: MILIEU-KONTAKT OOST-EUROPA, 1998.-44 с.
25. Лепеш Г.В., Саканская-Грицай Е.И. Анализ факторов, обуславливающих технологический процесс очистки воды из природных источников в Ленинградской области. Техничко-технологические проблемы сервиса. № 1(27), 2014. – с. 56 – 68.
26. Матвеевко А.П. Электрореагентная технология очистки и кондиции водных растворов и коллоидных ассоциатов. Техничко-технологические проблемы сервиса. № 2(8), 2009. – с. 50 – 54.
27. Stasinakis A. S. Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment - A mini review Global NEST Journal. 2008. 10 (3). 376-385
28. Chong, M. N., Jin, B., Chow, C. W. K., Saint, C. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: A review
29. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994.
30. Мустафаев А.М., Гутман Б.М. Гидроциклоны в нефтедобывающей промышленности. М.:Недра, 1981, 260 с.

31. Верин Д.Ю., Валеев С.И., Булкин В.А. Гидродинамика цилиндроконического гидроциклона для разделения эмульсий с учетом эффективной, Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т.15, № 15, С.117-118.
32. Найденко В.В. Применение гидроциклонов в технологических процессах очистки природных и сточных вод; Исследование и промышленное применение гидроциклонов. Горький. 1981. 180 с.
33. И.Л. Монгайт, И.Д. Родзиллер, Методы очистки сточных вод. Государственное научно-техническое изд., Москва, 1958. 251 с.
34. Островский Г.М. Прикладная механика неоднородных сред. СПб.: Наука, 2000. 359 с.
35. Dueck J., Matvienko O., and Neesse Th. Numerical modelling of hydrocyclone dynamics for process control. Advances in Filtration and Separation Technology, Science & Technology of Filtration and Separations for the 21st Century Eds. Shiao-Hung Chiang and Samuel E. Lee, American Filtration&Separation Society. V.15. Pittsburgh, 2001.
36. Monredon T.C., Hsien K.T., and Rajamani R.K. Fluid flow model of the hydrocyclone: an investigation of device dimensions Int. J. Mineral Process. 1992. V. 35. No. 1. P. 65–83.
37. Pericleous K.A. and Rhodes N. The hydrocyclone classifier — a numerical approach Int. J. Mineral Process. 1986. V. 17. No. 1. P. 23–43.
38. Pericleous K.A. Mathematical simulation of hydrocyclones Applied Mathematical Modelling. 1987. V. 11. Issue 4, P. 242–255.
39. Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. М.: Мир, 1987.
40. Boysan, F., Ayers W.H., Swithrnbank J. A fundamental mathematical modelling approach to cyclone design Trans. Inst. of Chemical Engineers. 1982. V. 60. P. 222–230.

41. Tryggvason G., Bunner B., Esmaili, et. al. A front-tracking method for the computations of multiphase flow J. Comput. Phys. 2001. P. 169, 708–759
42. Neeße Th. and Schubert H. Modellierung und verfahrenstechnische Dimensionierung der turbulenten Querstromklassierung. Th. 3. 1976. Chem. Techn. V. 28. No. 5. P. 273–277.
43. Schubert H. and Neesse Th. A hydrocyclone separation model in consideration of the turbulent multiphase flow Proc. Int. Conf. on Hydrocyclones. Cambridge. 1980. P. 23–27.
44. Matvienko O., Dück J., and Neeße Th. Numerische Simulation der Strömungen in einem Hydrozyklon Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik, Annual Meeting, Bremen, April 6–9, 1998, Book of Abstracts. S. 85.
45. Matvienko O., Dück J., and Neeße Th. Hydrodynamics and particle separation in the hydrocyclone Proc. 2nd Int. Symp. on Two-Phase Flow Predictions and Experimentation. May 23–26, 1999. Pisa, Italy. V. 2. P. 923–929
46. Gase in kleinen und mittleren Wasserheiznetzen Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, koordinierter Schlussbericht, AiF Forschungsthema Nr. 11103 B, November 1998.
47. Svarovsky L. Hydrocyclones. London: Technomic Publishing Co., 1984
48. Düeck J., Matvienko O., and Neesse Th. Numerical modelling of hydrocyclone dynamics for process control Advances in Filtration and Separation Technology, Science & Technology of Filtration and Separations for the 21st Century Eds. Shiao-Hung Chiang and Samuel E. Lee, American Filtration & Separation Society. V.15. Pittsburgh, 2001.
49. Dahlstrom D.A. Fundamentals and applications of the liquid cyclone Chemical Engineering Progress Symposium Series, American Institute of Chemical Engineers. 1954. V. 15. No. 50. P. 41.

50. Kelsall D.F., Homes J.A. Improvement in classification efficiency in hydraulic cyclones by water injection, Proceedings of the 5th Mineral Processing Congress, Paper vol. 9, Institute of Mining and Metallurgy. 1960. P. 159–170.

51. 3. Bradley D. The Hydrocyclone. London: Pergamon Press, 1965.

52. 4. Firth B., Edwards D., Clarkson C., O'Brien M. The impact of classification on coal preparation performance Proceedings of the 7th Australian Coal Preparation Conference, Paper E2, Australian Coal Preparation Society. 1995. P. 250–276.

53. 5. Patil D.D., Rao T.C. Classification evaluation of water injected hydrocyclone Minerals Engineering. 1999. V. 12. No. 12. P. 1527–1532.

54. 6. Honaker R.Q., Ozsever A.V., Singh N., Parekh B.K. Apex water injection for improved hydrocyclone classification efficiency Minerals Engineering. 2001. V. 14. No. 11. P. 1445–1458.

55. Udaya Bhaskar K., Govindarajan B., Barnwal J.P., et al. Classification studies of lead-zinc ore fines using water-injection cyclone Intern. J. Mineral Processing. 2005. V. 77. No. 2. P. 80–94.

56. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2019. – 50 с.

57. Економіка підприємства: Книга 2. [підручник для студентів вищих навч. закладів]; за заг.ред. П.В. Круша, К.В. Шелехова. – К.: ДП «НВЦ Пріоритети», 2014. -624 с.