

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
Заст. завідувача кафедри
к.т.н., доцент Труханська О.О.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
«__» _____ 2021 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОЇ ОЧИСТКИ
ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ АПК**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 Агроінженерія

Виконав: студент групи 61-АІ-маг
Сніцарук Михайло Анатолійович

Керівник: к.т.н., доцент
Купчук Ігор Миколайович

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра агроінженерії та
технічного сервісу

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри АІ та ТС

“_____” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Сніцарук Михайло Анатолійович

на тему

«Дослідження процесу відцентрової очистки дисперсних відходів АПК»

затверджену Наказом від _____ 02 березня 2021 року № 26м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки
АНОТАЦІЯ		2	листопад 2021 року
ВСТУП		2	квітень 2021 року
Розділ 1	РОЗДІЛ СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ АПК В УКРАЇНІ	30	лютий - вересень 2021 року
Розділ 2	МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ	13	лютий – липень 2021 року
Розділ 3	ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ	18	червень- вересень 2021 року
Розділ 4	ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗДІЛЕННЯ	7	серпень- листопад 2021 року
ВИСНОВКИ		2	листопад 2021 року
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		8	лютий-вересень 2021 року

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__» _____ листопада _____ 2021 р.

Завдання видано « 26 » _____ лютого _____ 2021 р.

Завдання прийняв до виконання _____ М.А. Сніцарук

Керівник _____ І.М. Купчук, к.т.н., доцент
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи 87 сторінок, у тому числі 79 сторінок основного тексту, 35 рисунків та 4 таблиці.

Робота присвячена вирішенню актуальної практичної задачі удосконаленню процесів відцентрової обробки рідкофазних дисперсних відходів підприємств агропромислового комплексу з подальшим використанням продуктів їх розділення в системі рециклінгу.

Аналіз можливих шляхів повторного використання стічних вод тваринницьких комплексів і птахофабрик дозволив визначити, що рідка фаза після її належної обробки може успішно застосовуватися на зрошуваних полях при вирощуванні сільськогосподарських культур. З іншого боку, залучення відпрацьованих нафтопродуктів у систему рециклінгу сприяє створенню сировинної бази для виробництва нових мастильних матеріалів.

В ході теоретичного дослідження, на основі детермінованого та стохастичного підходів розроблена імітаційна модель поділу рідкофазних дисперсних систем у відцентровому полі центрифуг із суцільним ротором. Запропонований алгоритм, заснований на припущенні рівності часу перебування і часу осадження частинок дисперсної фази в машині дозволяє визначати локальні ступені та інтегральний (загальний) ступінь очищення суспензії з властивостями ньютонівських рідин при технологічних параметрах роботи осаджувальної центрифуги, що змінюються.

Дослідженнями гідродинамічної структури потоку в центрифусі зі змінним ротором при різних технологічних режимах отримані криві відгуки, що характеризують рух частинок твердої фракції в рідкій фазі. Зіставляючи експериментальні криві відгуки з відомими математичними моделями доведено, що гідродинамічна структура потоку відповідає усередненій моделі у всіх аналізованих режимах.

Ключові слова: відходи, очищення, рециклінг, відцентрові сили, перфорація, ротор.

ANNOTATION

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, list of used literature. The total volume of the work is 87 pages, including 79 pages of the main text, 35 figures and 4 tables.

The work is devoted to solving the actual practical problem of improving the processes of centrifugal treatment of liquid-phase dispersed waste of enterprises of the agro-industrial complex with the subsequent use of their separation products in the recycling system.

The analysis of possible ways of reuse of sewage of livestock complexes and poultry farms allowed to determine that the liquid phase after its proper treatment can be successfully used in irrigated fields in the cultivation of crops. On the other hand, the involvement of waste oil in the recycling system contributes to the creation of a raw material base for the production of new lubricants.

In the course of theoretical research, on the basis of deterministic and stochastic approaches, a simulation model of separation of liquid-phase dispersed systems in a centrifugal field of centrifuges with a continuous rotor was developed. The proposed algorithm, based on the assumption of equality of residence time and deposition time of particles of the dispersed phase in the machine allows to determine the local stages and integrated (total) degree of purification of the suspension with Newtonian fluid properties at changing technological parameters of the precipitating centrifuge.

Studies of the hydrodynamic structure of the flow in a centrifuge with a variable rotor at different technological modes obtained curve responses characterizing the movement of solid particles in the liquid phase. Comparing the experimental response curves with known mathematical models, it is proved that the hydrodynamic structure of the flow corresponds to the average model in all analyzed modes.

Key words: waste, cleaning, recycling, centrifugal forces, perforation, rotor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 РОЗДІЛ СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ АПК В УКРАЇНІ.....	10
1.1 Аналіз проблеми поводження з відходами а АПК.....	10
1.2 Технології очистки і утилізації рідкофазних дисперсних відходів.....	15
1.3 Технічний рівень центрифуг для очищення рідкофазних дисперсних відходів.....	25
РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ.....	40
2.1 Математичне моделювання локального та інтегрального ступенів уловлювання частинок дисперсної фази в осаджувальній центрифuzі.....	40
2.2 Математичне моделювання уловлювання частинок дисперсної фази на ультрафільтраційній мембрані.....	49
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ.....	53
3.1 Опис лабораторної установки, лабораторного обладнання та методики проведення експерименту.....	53
3.2 Результати визначення локальних та інтегральних ступенів вловлювання частинок дисперсної фази в осаджувальній центрифuzі.....	55
3.3 Розробка та дослідження технології відцентрової очистки для вторинного використання регенованої води в іригаційних системах.....	59

3.4 Розробка та дослідження технології очищення стічних вод виробництва каустичної соди для вторинного використання осаду при мелірації.....	66
РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗДІЛЕННЯ.....	71
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80

ВСТУП

Актуальність теми. Інтенсифікація процесів і технологій у виробництвах сільськогосподарської продукції призвели до різкого збільшення обсягів відходів, що створюють негативний вплив на екологічний стан природних об'єктів. Передовий світовий досвід у сфері природоохоронних технологій показує, що найбільш ефективно вирішення проблеми обробки та подальшої утилізації рідкофазних дисперсних відходів агропромислового комплексу пов'язане з їх залученням до системи повторного використання у вигляді рециклінгу. Даний підхід сприяє розширенню сировинної бази сільськогосподарської галузі, необхідної для випуску додаткової продукції, а також мінімізації антропогенного впливу на екологічні системи. Проте, існуючі технології обробки стічних вод, що застосовуються на вітчизняних очисних спорудах, забезпечують рекуперацію трохи більше 5 % водних ресурсів.

Метою роботи є удосконалення процесів відцентрової обробки рідкофазних дисперсних відходів підприємств агропромислового комплексу з подальшим використанням продуктів їх розділення в системі рециклінгу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

1) виконати ідентифікацію гідродинамічної структури рідкофазного дисперсного потоку та порівняльну оцінку об'ємів застійних зон у центрифугі з суцільним та перфорованим роторами;

2) розробити математичну модель локальних та інтегральних ступенів уловлювання дисперсних частинок у центрифугі з суцільним ротором з одно- та двошаровим кільцевими течіями рідкофазної дисперсної системи;

3) вивчити роздільну здатність центрифуги з суцільним ротором;

4) удосконалити технологію відцентрово-мембранного поділу тваринницьких стоків для утилізації підготовленої рідкої фази;

Об'єкт досліджень є технологічний процес та засоби механізації відцентрової обробки рідкофазних дисперсних відходів, їх фізико-хімічні властивості, продукти розділення.

Предмет досліджень – гідродинамічна структура рідкофазного дисперсного потоку в центрифuzі з суцільним (осаджувальна центрифуга) і перфорованим (фільтруюча центрифуга) роторами, закономірності відцентрового поділу рідкофазних дисперсних систем з урахуванням локальних та інтегральних ступенів уловлювання дисперсних частинок в центрифuzі з суцільним ротором.

Наукова новизна виражена у математичній моделі для визначення локальних та інтегральних ступенів уловлювання дисперсних частинок у центрифuzі з суцільним ротором з одно- та двошаровим кільцевими течіями рідкофазної дисперсної системи.

Теоретична цінність результатів дослідження полягає в обґрунтуванні вибору типу центрифуги з урахуванням гідродинамічної структури рідкофазного дисперсного потоку та об'єму застійних зон; у математичній моделі локальних та інтегральних ступенів уловлювання дисперсних частинок в осаджувальній центрифuzі з одно- та двошаровою кільцевою течією рідкофазної дисперсної системи; у регресійній залежності інтегрального ступеня очищення рідкофазного дисперсного потоку від його витрат і частоти обертання суцільного ротора центрифуги.

Практичну цінність роботи становлять:

1) методика інженерного розрахунку роздільної здатності центрифуги з суцільним ротором з одно- та двошаровим кільцевими течіями рідкофазного дисперсного потоку;

2) технологія відцентрово-мембранного поділу тваринницьких стоків з використанням центрифуги типу ОГШ-202К-03 та ультрафільтраційної установки з напівпроникною мембраною типу МФАС-П-5, що забезпечують 100%-у та 91%-у регенерацію рідкої фази відповідно від дисперсних частинок і патогенних мікроорганізмів для подальшого її використання в зрошувальних системах сільгоспугідь;

3) регенована вода для удобрювальних поливів сільськогосподарських культур при їх обробітку на зрошуваних полях.

РОЗДІЛ СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ АПК В УКРАЇНІ

1.1 Аналіз проблеми поводження з відходами а АПК

В основі стабільного розвитку української економіки лежить стійке функціонування агропромислового сектора, рівень ефективності якого залежить від реалізації стратегій і програм ресурсозаощадження, забезпечення екологічної безпеки та раціонального використання природних ресурсів. З огляду на високу здатність сільськогосподарської галузі до утворення відходів, на сьогоднішній день гостро стоїть проблема створення інноваційної та стабільно діючої системи, орієнтованої на масове залучення в господарський оборот переробних компонентів відходів в якості сировини і матеріалів для виготовлення нової продукції [19].

За даними статистики щорічна кількість відходів, створених підприємствами сільськогосподарського профілю за період з 2010 по 2017 роки, збільшилася з 24,1 до 41,5 млн тонн, при цьому велика частина викидів (близько 64%) припадає на рідкі та газоподібні відходи, тоді як обсяг твердих становить не більше 36% [6]. На малюнку 1.1 показана структура утворення дисперсних відходів в агропромисловому комплексі (АПК), згідно з якою основна маса (понад 50%) утворюється в секторі тваринництва і включає в себе продукти життєдіяльності худоби (екскременти), технологічну і змивну воду, а також залишки кормів [15].

Основними відходами рослинництва вважаються опале листя рослин, стебла, солома, бадилля і коріння, які в умовах звалищ піддаються біологічному розкладанню і виділяють біогаз, він складається на 40% з метану, 6% сірководню, 15% азоту та інших компонентів, роблячи негативний вплив на екосистему. Крім того, є небезпека займання таких звалищ з викидом в атмосферу понад 100 токсичних хімічних сполук.

Функціонування переробного сектора АПК спричиняє формування твердофазних і пастоподібних відходів, що являють собою дефекації, жом,

макуху і подібні до них речовини, а також рідкофазних дисперсних відходів, оформленні у вигляді багатокомпонентних стічних вод, у тому числі що містять хімічні і бактеріологічні патогени.

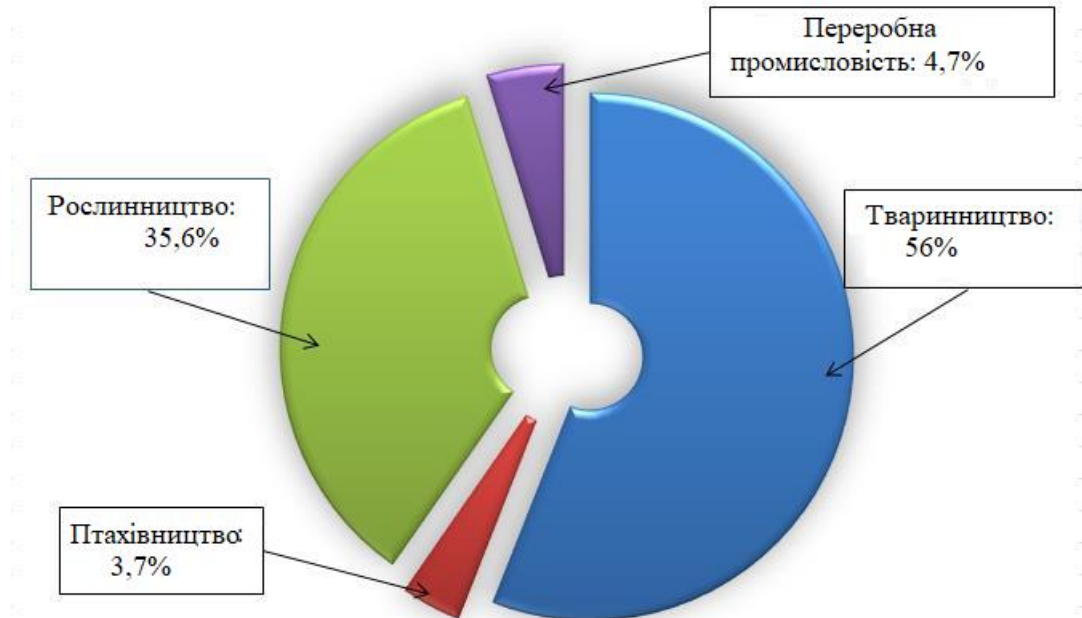


Рис. 1.1 – Розподілення відходів по секторах АПК

Поряд з основними відходами, характерними для кожної галузі АПК, утворюються і побічні забруднюючі компоненти, небезпека яких відповідає II або III класу..(помірнебезпечні і високонебезпечні). В результаті інтенсивної механізації технологічних процесів у сільському господарстві, а також повсюдного розширення транспортно технологічного парку, простежується тенденція збільшення обсягів накопичення відпрацьованих забруднених нафтою продуктів (наприклад, мастильних матеріалів). Робота двигунів внутрішнього згорання пов'язана з контактом вихлопних газів і мастильних матеріалів, в результаті чого з'являються токсичні хімічні сполуки і важкі метали. Їх наявність обумовлює потенційну небезпеку вуглеводневих відходів для навколишнього середовища і здоров'я людей [16].

У всьому світі щорічно утворюється приблизно 60 млн тонн відпрацьованих масел, з яких всього 40% піддається збору і утилізації

належним чином, і лише 8% підлягає вторинній переробці [163]. В Україні збирається близько 1,7 млн тонн різних відпрацьованих масел, при цьому переробці піддається не більше 0,25 млн тонн або 15%, що становить 3,3% від загального обсягу споживання в країні. Річний оборот мастильних матеріалів в АПК становить близько 18 млн тонн, при цьому зважаючи на віддаленість сільськогосподарських підприємств не завжди вдається вчасно здавати відпрацьоване масло на утилізацію, що призводить до утворення великих складів і резервуарних парків для збору та накопичення масляного шламу [29, 30].

Таким чином, відсутність системного підходу в питаннях поводження з основними і побічними сільськогосподарськими відходами призвело до їх повсюдного накопичення та захоронення, як результат близько 7 млн гектарів продуктивних земель виведено з обороту і представляють серйозну екологічну загрозу [3]. В умовах полігонів і в місцях складування спостерігаються неконтрольовані аеробні і анаеробні процеси розкладання органічних речовин, що супроводжуються виділенням токсичних сполук і парникових газів в навколишнє середовище, створюючи високий рівень негативного впливу на екосистему. Говорячи про небезпеку накопичення відпрацьованого моторного масла, не варто забувати, що розлив 1 літра масло-шламу може перетворити 1000 м³ питної води в технічну.

Передовий світовий досвід в сфері природоохорони показує, що найбільш ефективне рішення проблеми утилізації відходів пов'язано з їх залученням в систему повторного використання у вигляді рециклінгу. Даний підхід сприяє розширенню сировинної бази агропромислового комплексу, необхідної для випуску додаткової продукції, а також мінімізації антропогенного впливу на екосистему.

Багатокомпонентність і варіабельність складу стічних вод обумовлюють високу небезпеку забруднення навколишнього середовища у разі відсутності надійної системи очищення і знезараження відходів сільського господарства. Відповідно до СП 1.2.1170-02 вторинне використання осадів стічних вод у виробництві сільськогосподарської продукції, можливо,

тільки після їх токсикологічної та гігієнічної експертизи, спрямованої на виявлення ступеня і характеру впливу на екосистему.

Світовим лідером по утилізації і знезараженню рідкофазних дисперсних відходів сільськогосподарського сектора і залучення їх в систему вторинного використання є країни Євросоюзу, в яких середній показник рециркуляції досягає 80-87%. У роботах [14, 15, 25, 26] відзначається щорічне збільшення обсягів сільськогосподарських стічних вод, що використовуються в іригаційних цілях, що обумовлюються вдосконаленням технологій обробки рідкофазних дисперсних відходів. В результаті чотирирічних досліджень по використанню оброблених стічних вод на зрошуваних сільгоспугіддях було встановлено не тільки зниження екологічної напруженості, але і збільшення урожайності сільськогосподарських культур в середньому на 30% [18].

У свою чергу, щорічна кількість знешкоджених і утилізованих рідкофазних дисперсних відходів АПК в Україні в середньому не перевищує 15% від загального їх обсягу. Ключовою причиною відставання вітчизняної відставання вітчизняної сміттєпереробної промисловості виступає її низька технічна оснащеність, а також висока енергоємність застосовуваних технологій.

У той же час активно ведуться роботи по розробці і вдосконаленню технологій регенерації вторинних відходів АПК, таких як відпрацьоване моторне масло, що відповідають сучасним вимогам енергоефективності. Відомі дослідження, що ілюструють високий потенціал вуглеводневих відходів, які пройшли належну обробку. За даними [29] встановлено, що з 1 тонни відпрацьованого мастила можна отримати 720 кг сировинної суміші для виробництва нових мастильних матеріалів. Лідируючу позицію зі збору та переробки відпрацьованих нафтопродуктів займає США (штат Каліфорнія), при цьому американські технології забезпечують відновлення 70-80% усіх зібраних мастил.

Можливості та перспективи вторинного використання відходів виробництва і споживання викладені в роботах [11, 12] та інших фахівців.

Вчені сходяться на думці, що на сьогоднішній день відходи необхідно розглядати як антропогенний ресурс, що володіє високим потенціалом, який можливо реалізувати використовуючи ресурси і еколого-орієнтовані технології переробки, інтегровані в систему рециклінгу. Аналіз наявних досліджень дозволяє зробити висновок, що для підвищення ефективності виробничої сфери АПК, збільшення вироблення сільськогосподарської продукції та збереження екологічної рівноваги необхідно створення замкнутої системи руху ресурсів на базі глибокої переробки вторинної сировини (рис. 1.2).

При розробці і створенні замкнутих систем з переробки відходів слід враховувати їх походження, агрегатний стан, кількісне співвідношення компонентів і інші властивості вторинних ресурсів. З урахуванням наявних досліджень [33, 34] з даної проблеми складена класифікація відходів АПК (рис. 1.3).

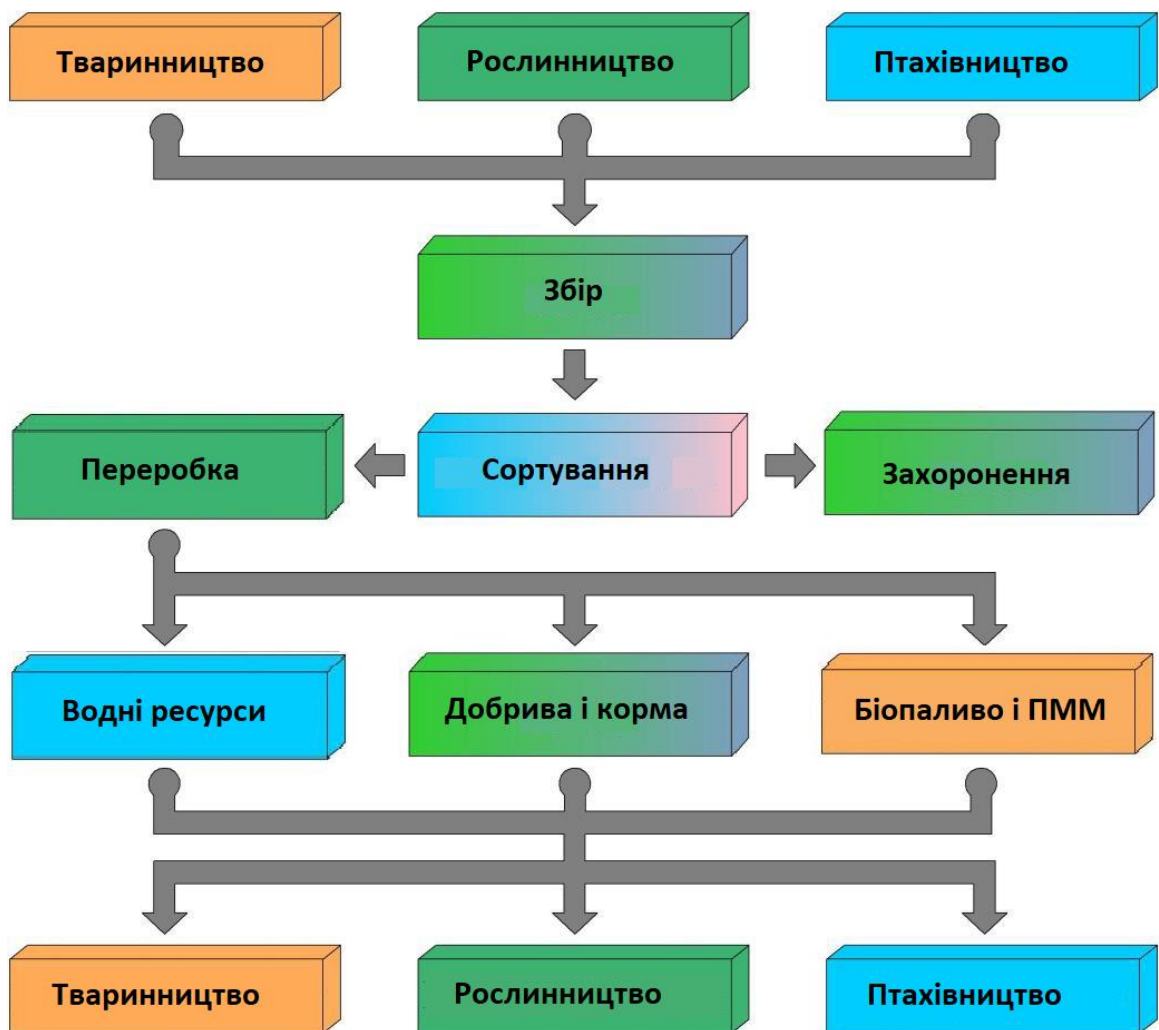


Рис. 1.2 – Замкнута система руху вторинних ресурсів

Розглядаючи відходи АПК в якості сировинної бази необхідно відзначити їх високий потенціал, який може бути направлений на виробництво широкого спектру продуктів споживання. Однак їх ефективне і екологічно безпечне використання можливо лише при проведенні належної обробки, що дозволяє в повній мірі нейтралізувати наявні загрози. На жаль, вітчизняні технології з переробки відходів АПК не в повній мірі відповідають сучасним вимогам ресурсоефективності та екологічності.

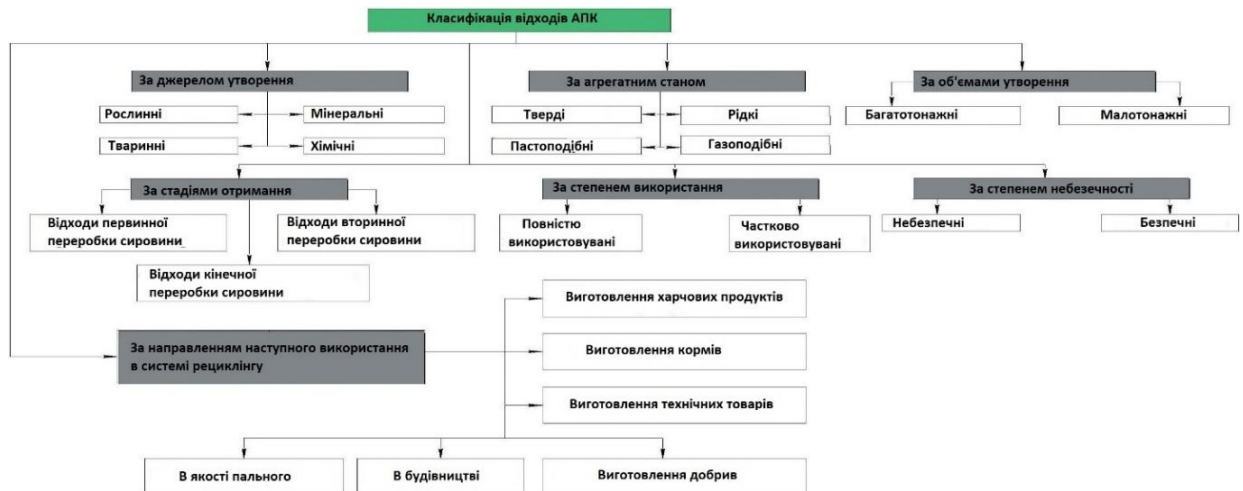


Рис. 1.3 – Класифікація відходів за ознакою

Таким чином, для мінімізації екологічної напруженості і ресурсозбереження необхідно спрямувати зусилля спеціалістів на вдосконалення існуючих та розробку нових комплексів природоохоронних технологій обробки, утилізації і знезараження відходів сільського господарства і суміжних галузей промисловості.

1.2 Технології очистки і утилізації рідкофазних дисперсних відходів

Як зазначалося вище, більше 50% всіх відходів в агропромисловому секторі припадає на тваринництво, основна частина яких це стічні води (СВ) та тваринницькі стоки (РФС), що представляють собою рідко-фазні дисперсні системи з концентрацією різної природи забруднюючих речовин (механічних, хімічних, біологічних).

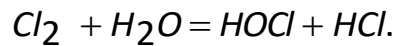
Необроблені РФС містять патогенну мікрофлору, в тому числі хвороботворні бактерії, яйця і личинки гельмінтів, які, потрапляючи в ґрунт і гідрографічної мережі, можуть спровокувати спалахи інфекційних захворювань у людей і тварин. Зниження концентрації біологічних забруднень в РФС до значень допустимих санітарно гігієнічними нормами [13, 14], забезпечується різними очисними системами повного або часткового видалення патогенної мікрофлори. На рис. 1.4 представлені основні способи і обладнання для обробки рідкофазних дисперсних відходів, утворених в АПК, в їх числі СВ і РФС, які є невід'ємною частиною СВ, причому зазначені технології та техніка можуть застосовуватися як незалежно один від одного, так і в сукупності у вигляді окремих етапів обробки.

Одним із способів обробки СВ в природних умовах виступає біологічна очистка, заснована на процесах самоочищення водойм за рахунок життєдіяльності фіто- і зоопланктону. Як водойм часто використовують біологічні ставки і лагуни глибиною не більше 1 метра, що забезпечує значну поверхню контакту водної глади з повітрям і сприяє рівномірному прогріванню всієї товщі води, створюючи сприятливі умови для масового розвитку мікроорганізмів.

Аналіз їх досліджень [22, 23] показує, що окислювальні методи при біологічному очищенні дозволяють знизити концентрацію кишкових паличок і яєць гельмінтів до 5 % від їх початкової концентрації, тим самим мінімізуючи небезпеку зараження водних об'єктів. Одним з основних факторів, що обмежують повсюдне використання даного способу, виступає тривалість процесу знезараження, складова до 12 місяців [6, 44, 46].

Необхідно відзначити, що ефективність даної технології безпосередньо залежить від температури навколишнього середовища. Так, при $t = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ окисно-відновлювальні процеси органічних речовин різко знижуються, а після утворення крижаного покриву на поверхні водойми - повністю припиняються. Невисока продуктивність і сезонність роботи біоставків робить їх неефективними для господарств, що займаються тваринництвом.

На сьогоднішній день у вітчизняних системах обробки СВ найбільшу перевагу віддається хімічній дезінфекції хлором і його сполуками. Технологія передбачає приготування «хлорної води» шляхом змішування рідкого хлору, що подається через спеціальне обладнання - хлоратори, з невеликою кількістю води. Отриману суміш вводять в оброблювані СВ, ініціюючи утворення соляної і хлорноватистої кислоти:



Далі хлорноватиста кислота дисоціює на гіпохлористі іони, що володіють бактерицидними властивостями, і іони водню за рівнянням:



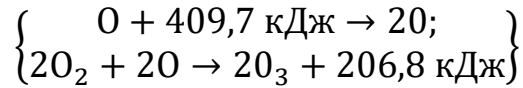
Висока ефективність хлорування досягається при забезпеченні тривалої взаємодії хлору з СВ (не менше 30 хвилин) при його концентрації 1, 5-3,0 мг / л і вище залежно від бактеріологічної навантаження.

Широке поширення даного способу обумовлено в першу чергу його низькою вартістю, відносно високою бактерицидною ефективністю і простотою контролю якості очищення. Однак використання хлору і його сполук для дезінфекції СВ не завжди забезпечують необхідний результат, оскільки в обробленій воді можуть існувати віруси і мікроорганізми, що володіють високою резистентністю до хлорних реагентів.

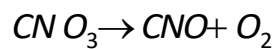
У роботах [2, 10, 29] вчені відзначають, що через свою високу активність, хлор вступає в реакцію з органічними сполуками, утворюючи токсини, мутагени, канцерогенні речовини і отрути, що вимагають проведення додаткових заходів по їх нейтралізації. В роботі [35] проведено дослідження генотоксичності СВ після хлорування, в яких було встановлено, що концентрація хлору 1 мг / л провокує збільшення рівня токсичності с 4 до 8 ІФ (коефіцієнт індукції біоломінісценція).

Альтернативою хлоруванню виступає процес озонування СВ, в якому незаражувальний агент – озон, має високу хімічну активність і діє безпосередньо на протоплазму клітин живих мікроорганізмів, ініціюючи

миттєву смерть. Отримання озону здійснюється в спеціальних апаратах - озонаторах. У них за рахунок коронарного електричного розряду відбувається розщеплення молекули кисню на атоми з наступним приєднанням до молекули одного атома кисню:



Озонування СВ здійснюється шляхом диспергування 3% озоноповітряної або озono-кисневої суміші в товщу рідкофазної дисперсної системи з подальшим перебігом реакції:



Експерименти, проведені іспанськими вченими [12, 23], показують, що інактивація вірусів та інфекцій, що знаходяться в СВ, забезпечується при відносно низькій концентрації озону, а саме 0,5 -1,0 мг / л, і часу впливу не більше однієї години.

Однак поряд з високим бактерицидним ефектом окислення СВ озоном має цілий ряд істотних недоліків, що перешкоджають поширенню даного методу. Так, наприклад, чистий озон вибухонебезпечний, тому найменше порушення техніки безпеки може спровокувати вибух технологічної установки. Крім того, висока хімічна активність озону зумовлює його корозійні властивості і викликає необхідність виготовлення озонаторів і технологічних трубопроводів з корозійностійких матеріалів, тим самим збільшуючи вартість обладнання для генерування озону.

Одним з перспективних методів знезараження СВ без застосування хімічних реагентів вважається фотохімічна деструкція мікроорганізмів ультразвуковим і ультрафіолетовим (УФ) випромінюванням. В результаті поглинання молекулою ДНК мікроорганізму енергії фотона відбувається її розрив і зміна хімічного зв'язку [60]. Використання фотохімічного методу в системах знезараження СВ не супроводжується утворенням токсичних сполук, канцерогенів і отрут, виключає необхідність подальшого знешкодження обробленої води.

УФ випромінювання генерується газорозрядними лампами погрузного або непогрузного виконання, що випускають УФ спектр в невидимому для очей людини діапазоні 205-315 нм. Забезпечення необхідного ступеня обеззаражування досягається створенням необхідної дози опромінення, що залежить від характеру і концентрації бактеріологічного забруднення, що розраховується за формулою:

$$D = E \cdot \tau$$

де E – мінімальна інтенсивність бактерицидного випромінювання, мВт/см²;

τ – середній час перебування СВ в знезаражувальній камері, яка розраховується за залежністю, з:

$$\tau = \frac{S \cdot L}{q_v}$$

де S – площа поперечного перерізу камери, м²; L – довжина бактерицидної камери, м; q_v – об'ємна витрата СВ, м³/с.

Незважаючи на явні переваги УФ методу обробки СВ невирішеним залишається завдання щодо запобігання забруднення захисних екранів кварцевих ламп, що перешкоджають проходженню УФ випромінювання і, тим самим, знизують ефективність роботи бактерицидних камер. Так в роботі [16] відзначається, що після восьми днів експлуатації бактерицидних камер знезаражувачий ефект падає на 75 % через відкладення на захисних екранах CaCO₃, а також з'єднань Al, Fe і Mg. У зв'язку з цим використання УФ методу для опромінення СВ доцільно тільки після попередньої їх обробки, в іншому випадку цей метод можна вважати низькоефективним і енерговитратним.

В останні роки у світовій і вітчизняній практиці все більшої популярності набирає технологія обробки СВ за участю анаеробних бактерій, що реалізується в біоенергетичних установках. Метод анаеробного зброджування супроводжується деструкцією органічних сполук і виділенням метановмісного газу (біогазу), який після очищення і компримування може використовуватися в якості палива для різних потреб. Основним обладнанням цих установок служать біологічні реактори - метантенки, конструктивне

виконання яких залежить від початкової вологості субстрату і необхідного режиму бродіння. Варто відзначити, що отримується після обробки СВ осад містить N, P і K, і може бути використаний в якості органо-мінерального добрива [7, 41].

В роботі [15] опубліковані відомості про використання біоенергетичних установок на тваринницькій фермі, розрахованої на 1000 голів великої рогатої худоби (ВРХ). Відзначається, що майже за 1,5 року експлуатації такої установки було оброблено 12 тис. відходів, отримано 2,8 млн м³ біогазу або 5,6 млн кВт енергії.

Аналогічний досвід був поставлений китайськими вченими [13], в ході якого було оброблено 43,6 тис. м³ РФС ВРХ, а середньомісячний обсяг отриманого біогазу склав 745 тис. м³. Ефективність анаеробного знезараження перебувала в діапазоні 95-99 %.

Згідно [31, 37] анаеробна біоконверсія метаногенів біоценозу протікає в 4 стадії:

1) розкладання стійких субстанцій (жири, вуглеводи і протеїни) на прості компоненти (глюкоза, жирні кислоти, амінокислоти) в результаті життєдіяльності гідролітичних бактерій;

2) утворення органічних кислот, спиртів і альдегідів за участю кислотно-утворюючих шляхом розпаду простих з'єднань, отриманих на першій стадії;

3) органічний синтез оцтової кислоти при взаємодії ацетогенних бактерій з жирними кислотами;

4) метаногенезу, обумовлений розкладанням оцтової кислоти в ре- док життєдіяльності анаеробних бактерій з виділенням метану, по-ди і вуглекислого газу.

Однак дослідники відзначають, що для нормального функціонування біогазової установки необхідна підтримка мезофільного режиму ,температура бродіння не нижче 35 °С, що обумовлює необхідність підведення додаткового тепла в холодну пору року. Крім того, висока ефективність біоферментації

субстрату в метантенках досягається при тривалості циклу 360-480 годин і безперервному перемішуванні шарів осаду. Сукупність перерахованих вимог для нормальної роботи біоенергетичних установок по знезараженню СВ, в тому числі і ЖВС, різко знижує їх енерго і ресурсоефективність.

Одним із способів інтенсифікації обробки рідкофазних дисперсних систем АПК виступає метод мембранного поділу, що полягає у видаленні різних видів забруднень за допомогою напівпроникних мембран під дією градієнта тиску. Зокрема високу ступінь з-потягу неорганічних і бактеріальних забруднень при щодо малих енергетичних витратах забезпечують процеси зворотного осмосу і ультрафільтрації. Основний витрата енергії припадає на створення необхідної рушійної сили, тобто на роботу насосної установки, що забезпечує 0,1-0,7 МПа при ультрафільтрації та 1,0-10,0 МПа при зворотного осмосу.

Працює установка в такий спосіб. Рідкофазний дисперсна система по дотичній надходить на мембрану, через яку проходять молекули води і затримуються бактерії, віруси, мікроорганізми і органічні молекули з великою молекулярною масою. Такий ефект досягається наявністю у мембрани пір малого розміру, що й обумовлює необхідність створення високого тиску. В результаті поділу утворюється очищена рідка фаза (пермеат) і концентрат забруднюючих компонентів (ретант), який завдяки тангенціальному руху потоку вздовж мембрани відводиться із зони поділу.

В результаті досліджень [12, 14] вченими було встановлено, що керамічні мембрани мікрофільтраційних класу з розміром пір 0,25-0,30 мкм забезпечують 100% витяг забруднюючих компонентів розміром 0,5-50, 0 мкм.

В роботі зарубіжних вчених [17] проведено порівняльний аналіз ефективності гравітаційного, фільтраційного (через нерухомий шар піску) і ультрафільтраційного методів очищення рідкофазна дисперсних систем від різних видів забруднень за органолептичними характеристиками, залишкової концентрації хімічних і біологічних компонентів. Автори констатують, що після ультрафільтрації досягнуті найкращі результати – концентрація

біологічних елементів знизилася на 98,7%, показник каламутності досяг \approx 1,0%, а концентрація аміаку знизилася з 0,34 мг / л до 0,12 мг / л. Однак варто зазначити, що висока ефективність мембранного роз- розподілу досягається лише при певній початковій концентрації твердих домішок, яка залежить від типу використовуваної мембрани, в іншому випадку мембрана може бути пошкоджена.

Вловлювання механічних домішок (частинок твердої фракції), як правило, здійснюється одним з фізичних або фізико-хімічних способів, що відносяться до регенеративних методів очищення. Тут через свою простоту і щодо малих енергетичних витрат поширення отримав процес відстоювання, заснований на дії гравітаційних сил на механічні включення. Основним спорудою для реалізації даного методу є відстійники, які мають різне конструктивне виконання в залежності від режиму роботи і способу подачі оброблюваної жид- кістки. Найчастіше, відстоювання триває від 1 до 3 годин, при цьому ступінь очищення становить 50-70%. Низька продуктивність в сукупності з малою ефективністю роблять недоцільним застосування відстійників в системах очищення СВ в умовах фермерських господарств.

На практиці для збільшення швидкості осадження механічних домішок оброблювану рідину додають флокулянти і коагулянти, дія яких спрямована на агрегацію частинок твердої фракції. В результаті вивчення фізико-хімічних методів обробки СВ [16, 23] було встановлено, що для очищення сільськогосподарських і побутових СВ переважно в якості коагулянтів використовувати сірчаноокислий алюміній $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ або тригідрат алюмінію $Al(OH)_3$.

Застосування хімічних реагентів сприяє підвищенню до 90% ступеня очистки та скорочення часу обробки до 1 години. З основних недоліків даного методу слід відзначити високу залежність ступеня очищення оброблюваної рідини від її температури і інтенсивності перемішування, послідовності подачі реагентів та їх концентрації. Крім цього відстійники це досить габаритні

споруди, що займають значні виробничі площі, що не завжди узгоджується з наявними можливостями фермерських господарств.

Альтернативним способом уловлювання механічних домішок виступає процес фільтрування, заснований на пропущенні розділяється рідкофазної гетерогенної системи через фільтрувальний матеріал, що затримує тонкодисперсні речовини. Як фільтрувального матеріала можуть використовувати сітки з розміром осередків до 40 мкм, тканини, різні зернисті наповнювачі (керамзит, антрацит, кварцовий пісок). Безсумнівним достоїнством фільтрів вважається їх висока продуктивність при відносно малих габаритних розмірах, при цьому ефективність їх роботи варіюється від 70% до 90% в залежності від розміру і концентрації частинок твердої фракції. Так в роботі [11] описана серія експериментів з очищення сильнозагряженна вода за допомогою фільтрів з піщаної завантаженням різного діаметру. Аналіз результатів дослідів показав високу кореляційний зв'язок між розміром частинок завантаження і інтегральної ступенем очищення води, що досягає в найкращому варіанті 85%.

Варто відзначити, що процес фільтрації супроводжується утворенням шару осаду на поверхні фільтрувального матеріалу, а також проникненням домішок в сам матеріал, що викликають зростання гідравлічного опору і, відповідно, збільшення енерговитрат на роботу насосних станцій. Регенерація фільтрувального матеріалу є невід'ємною складовою роботи фільтрів, яка знижує ресурсоефективність даного методу.

Найбільшу зацікавленість в області поділу рідкофазних дисперсних систем представляють методи відцентрової обробки, що забезпечують високу ефективність при малих габаритах обладнання.

Одним із прикладів такого обладнання є гідроциклони. У загальному випадку ці апарати мають циліндроконічний корпус з тангенціально закріпленим штуцером для подачі оброблюваної рідини. Відведення продуктів поділу здійснюється через розвантажувальний і зливний штуцери, встановлені асиметрично на протилежних кінцях корпусу. Саме ж поділ в гідроциклонах

відбувається за рахунок відцентрової сили, індукований обертанням рідини, при цьому частки твердої фракції притискаються до стінок апарату і поступово опускаються до розвантажувального штуцера, а очищена рідина піднімається в осьовому напрямку до зливного штуцера і виводиться з апарату.

Досліджень, присвячених вивченню ефективності гідроциклонування рідкофазних дисперсних систем, опубліковано досить багато і всі вчені сходяться на думці, що розділова здатність цих апаратів залежить від витрати рідини, що подається і, як правило, не перевищує 90% [48, 51]. Такий відносно низький показник ступеня очищення гідроциклонів свідчить про високу залишкової концентрації твердих домішок в очищеній рідині, яка може негативно позначитися на роботі обладнання наступних технологічних стадій.

Найбільш ефективне використання відцентрових сил для поділу рідкофазних дисперсних систем організовано в центрифугах. Робота цих машин заснована на обертанні суцільного (осадного) або перфорованого (фільтруючого) полого ротора. Основною перевагою центрифуг вважається їх висока продуктивність і розділова здатність за рахунок великої рушійної сили.

У своїх роботах [22, 27, 28] вчені відзначають, що використання відцентрових машин роторного типу в системах підготовки СВ сприяє інтенсифікації поділу гетерогенних систем на фракції, підвищення рівня механізації технологічних ліній і утилізації рідкофазних дисперсних відходів. В результаті наукових досліджень [4, 8] була доведена ефективність фільтруючих центрифуг для обробки тваринницьких стоків, що забезпечують зниження вологості осаду до 65-70%.

Варто відзначити, що на сьогоднішній день процес центрифугування активно застосовується в комплексах по регенерації відпрацьованих мастильних матеріалів АПК. У роботах [10, 11] відзначається збільшення робочого ресурсу двигунів внутрішнього згорання Д-240 за рахунок поліпшення якості очищення моторного масла в відцентровому полі центрифуг.

Експериментальні дослідження центрифугування відпрацьованого масла М-10Г2к [35, 36] дозволили встановити, що типова центрифуга двигуна СМД-62 забезпечує 100 % видалення крапель води і зниження механічних примісей до 0,67 %.

В роботі [30] наголошується на необхідності скорочення часу центрифугування і мінімізації енергетичних витрат шляхом створення нових і вдосконалення існуючих конструкцій відцентрових машин роторного типу.

Аналізуючи накопичений досвід використання обладнання для обробки та утилізації основних і побічних рідкофазних дисперсних відходів в АПК можна зробити висновок, що найбільшу ефективність розділення багатокомпонентних систем на фракції демонструють центрифуги різних модифікацій. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на розробку і вдосконалення процесів, технологій і технічних засобів відцентрової обробки рідкофазних дисперсних відходів в сільському господарстві з використанням центрифуг.

1.3 Технічний рівень центрифуг для очищення рідкофазних дисперсних відходів

Оснoву процесу центрифугування становить вплив центробіжних сил, індукованих обертoвим навколо своєї осі ротором, на дисперсну частину поділюваних рідкофазних гетерогенних систем (суспензій і емульсій). При цьому виконання ротора може бути суцільним реалізується процес відцентрового осадження на стінці ротора (осаджувальні центрифуги), і перфорованим – реалізується процес відцентрового фільтрування через пористу перегородку (фільтруючі центрифуги).

При роботі фільтруючих центрифуг рідкофазна дисперсна система подається всередину обертoвого перфорованого ротора, укомплектованого фільтрувальним матеріалом або спеціальною металевοю сіткою. В результаті дії відцентрових сил оброблюване середовище відкидається до периферії ротора і під дією відцентрового тиску проходить через пористу перегородку,

а наявні механічні домішки затримуються на її поверхні. Після вилучення частинок твердої фракції очищена рідина потрапляє в кожух, звідки безперервно відводиться через зливний штуцер. В процесі центрифугування в роторі накопичується осад, який усувається або автоматично за допомогою спеціальних ножів або скребків, або вручну після повної зупинки ротора.

Відмінності в роботі осаджувальних центрифуг обумовлені конструкцією ротора, який забезпечує відділення дисперсної складової, яка має більшим питомою вагою, ніж рідка фаза, за допомогою її осадження у відцентровому полі. Очищена від механічних частинок рідина утворює кільцевої шар і рухається в осьовому напрямку в бік зливного штуцера. При вертикальному розташуванні ротора кільцевої шар рідини піднімається вгору і, переливаючись через його кромку, збирається в герметичному кожусі, звідки відводиться через зливний патрубок. Робота осаджувальних центрифуг, також як і фільтруючих, пов'язана з накопиченням на поверхні ротора частинок твердої фракції у вигляді осаду, який видаляється безперервно або періодично.

Відцентрове поділ емульсій здійснюється за тими ж при принципом, що і центрифугування суспензій: рідина з більшою щільністю затримується на поверхні обертового ротора, а рідина з меншою щільністю переміщається в осьовому напрямку у вигляді кільцевого шару і відводиться через зливний штуцер у вигляді фугату.

Аналіз наявних джерел [26, 27, 31] дозволив скласти класифікацію центрифуг з урахуванням їх конструктивних особливостей і технологічного призначення (рис. 1.5). При виборі типу і розміру центрифуги в першу чергу необхідно враховувати властивості розділяється суспензії, такі як концентрацію, розмір і щільність частинок твердої фракції, в'язкого кістка рідкої фази, а також вимоги до ступеня очищення рідини.

Найчастіше до складу сільськогосподарських, промислових і побутових СВ входять грубозернисті частинки у вигляді піску, азбесту і вугільного пилу, розмір яких складає 100 мкм і більше. Для поділу таких

суспензій найбільше підходять фільтруючі центрифуги з пульсуючим вивантаженням осаду типу ФГП (рис. 1.6).

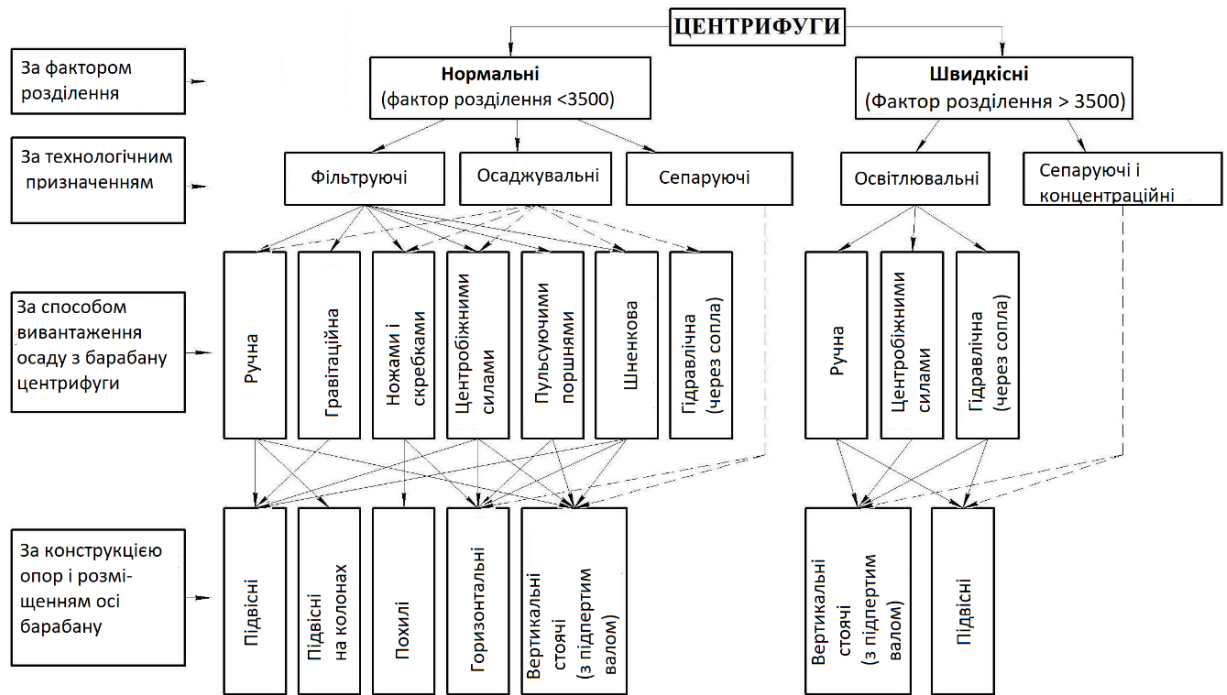


Рис. 1.5 – Класифікація центрифуг

Особливість центрифуг модифікації ФГП полягає в наявності двохкаскадного консольно закріпленого ротора з рухомим штовхачем, при цьому ротор виконаний у вигляді обичайок з закріпленими щілинними колосниковими ситами. Перший каскад ротора встановлений на кінці штока, який знаходиться всередині порожнього валу і здійснює зворотно-поступальні рухи за допомогою гідроциліндра.

Другий каскад ротора закріплений на підлогою валу. Вихідна суспензія, а також промивна рідина подається по спеціальних трубопроводах, піднаведеним у внутрішню порожнину ротора, закріпленим в кожусі.

Для відділення механічних домішок вихідну суспензію подають через вступної штуцер всередину каскадного ротора. На поверхні сита першого каскаду утвориться шар осаду, який у міру накопичення скидається кільцем на сито другого каскаду. Переміщення осаду на поверхню другого каскаду обумовлено зворотним ходом першого каскаду, що обертається в правостороннем напрямку. Видалення осаду з поверхні другого каскаду

відбувається за рахунок поступального руху першого каскаду під час його лівостороннього обертання.

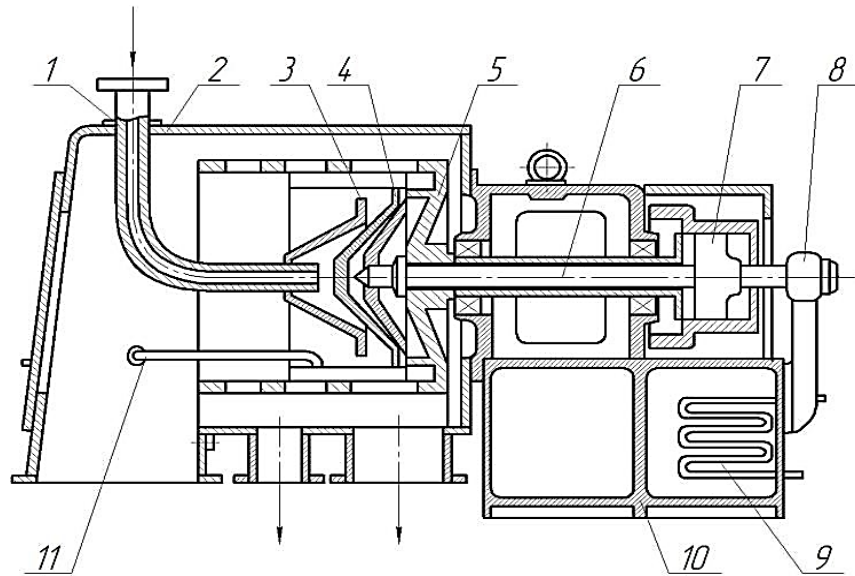


Рис. 1.6 – Схема центрифуги типу ФГП: 1 – ввідний штуцер; 2 – кожух; 3 – вирівнювальне кільце; 4 – кільце; 5 – ротор; 6 – вал; 7 – гідроциліндр; 8 – торцева муфта; 9 – маслосистема з холодильником; 10 – станина; 11 – промивний трубопровід

Робота центрифуги організована у вигляді циклічного процесу, при цьому число пульсацій регулюється зміною витрати масла, що подається в гідроциліндр. Основним недоліком центрифуг типу ФГП виступає відносно низька ступінь очищення дрібно- дисперсних частинок, а також висока ймовірність забивання пір сит першого і другого каскаду, що вельми обмежує сферу застосування цих машин.

Іншим прикладом конструкції фільтрує центрифуги виступає машина типу ФГН з горизонтальним розташуванням ротора і ножовим зніманням осаду (рис. 1.7). Дані агрегати застосовуються для поділу рідкофазних дисперсних систем з об'ємною концентрацією часток твердої фракції 10% і більше, при цьому номінальний діаметр частинок, що вловлюються на 100%, складає близько 30 мкм. Відмінною особливістю цих центрифуг є наявність ножа, за допомогою якого здійснюється зріз осаду з поверхні фільтруючого матеріалу, закріпленого на внутрішній частині перфорованого ротора.

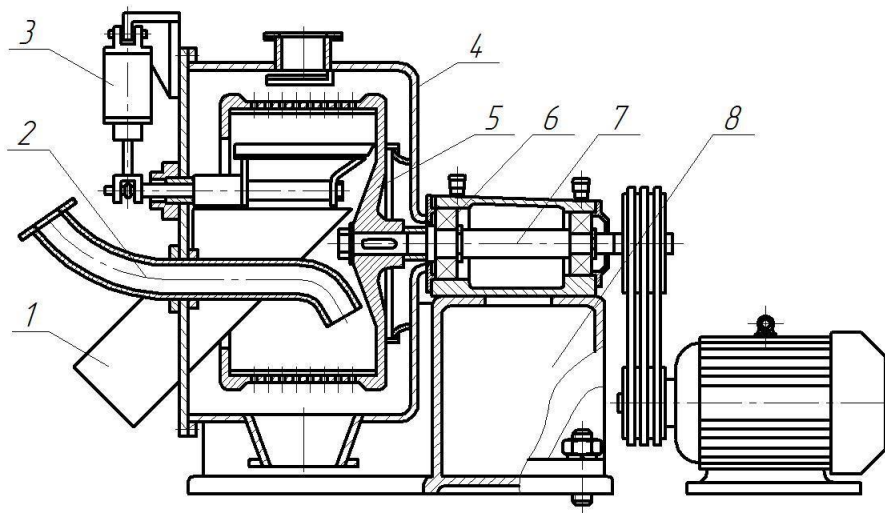


Рис. 1.7 – Схема центрифуги типу ФГН: 1 – розвантажувальний жолоб; 2 – живильна труба; 3 – механізм среза осадка; 4 – кожух; 5 – ротор; 6 – підшипники кочення; 7 – вал ротора; 8 – станина

При роботі машини типу ФГН вихідна суспензія подається по живильній трубці всередину обертового ротора, і рівномірно розподіляється по його поверхні. Під дією відцентрового тиску рідина проходить крізь фільтрувальний матеріал, а механічні частинки затримуються і поступово утворюють шар осаду. В процесі центрифугування висота шару осаду постійно збільшується і при досягненні критичної маси подача суспензії припиняється, при цьому ротор центрифуги продовжує обертатися з тією ж швидкістю, створюючи умови для видалення вологи з уловленого шламу. Зневоднений осад видаляється за допомогою ножа, який підводиться спеціальним механізмом до поверхні фільтрувального матеріалу і поворотними рухами зрізає шар шламу, скидаючи його в розвантажувальний жолоб. Основною перевагою центрифуг даної модифікації є можливість отримання осаду з низьким змістом вологи, а з недоліків варто відзначити невисоку продуктивність, обумовлену необхідністю припинення подачі суспензії на час сушки і вивантаження осаду.

Крім твердих кристалічних частинок до складу сільськогосподарських стічних вод найчастіше входять пастоподібні і сирні компоненти, які в процесі їх відцентрового вилучення налипають на поверхню ротора, створюючи умови

для його дисбалансу. Поділ таких суспензій доцільно проводити в центрифугах маятникового типу, оснащених трьома опорними колонами з амортизаційними пружинами, що компенсують підвищені вібраційні навантаження. Конструкція центрифуг даної модифікації передбачає наявність нижнього приводу, що забезпечує обертання вертикально встановленого ротора. Залежно від способу вилучення осаду ці машини поділяють на два підтипи: з верхньої вивантаженням через борт (ФМБ) (рис. 1.8) і з нижньої вивантаженням через отвір в днищі (ФМГ).

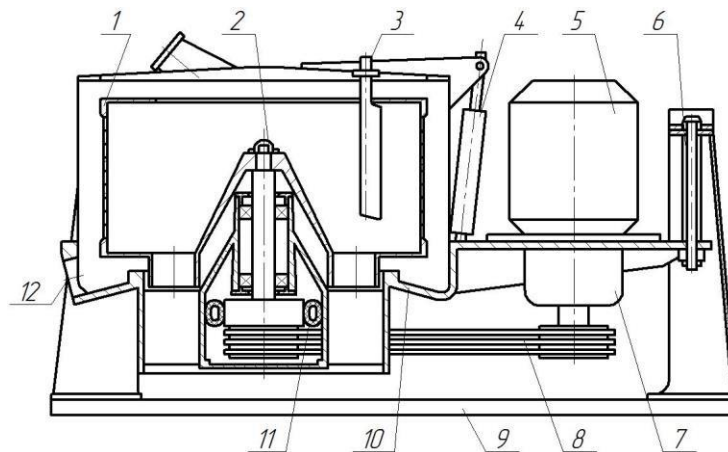


Рис. 1.8 – Схема центрифуги типу ФМБ: 1 – ротор; 2 – вал ротора; 3 – ввідний штуцер; 4 – механізм підйому кришки; 5 – електропривід; 6 – колонна з пружинами; 7 – гідромуфта; 8 – клиноремінна передача; 9 – фундаментна плита; 10 – кожух; 11 – гальмівний механізм; 12 – зливний штуцер

При центрифугуванні (рис. 1.8) рідкофазна дисперсна система під дією відцентрових сил розподіляється по поверхні ротора у вигляді кільцевого шару. За рахунок відцентрового тиску рідка фаза проходить через шар фільтрувального матеріалу і відділяється від механічних включень. Відфільтрована рідина надходить в кожух центрифуги і так- лее відводиться через зливний штуцер, а дисперсна складова, накопичуючись на поверхні фільтрувального матеріалу, призводить до зниження продуктивності по очищеної рідини (фугато). Зниження продуктивності центрифуги нижче критичної позначки свідчить про необхідність зупинки процесу для видалення скупчився шламу і регенерації фільтрувального матеріалу. Варто відзначити,

що конструкція маятникових центрифуг дозволяє проводити промивку і сушку шару осаду в режимах аналогічних робочим. Тривалість промивки і сушки осаду визначається за експериментальними даними і залежить від вимог, що пред'являються до висушеному матеріалу. Видалення осаду з машини здійснюється ручним способом, що в загальному можна віднести до недоліків центрифуг розглянутої модифікації.

У роботах [37, 38] пропонується конструкція фільтруючої центрифуги для поділу соєвої суспензії на молоко і окару (рис. 1.9).

Під час центрифугування соєве суспензія надходить по входному трубопроводу на фільтрувальний матеріал, закріплений на внутрішній поверхні перфорованого ротора. Під дією відцентрових сил відбувається фільтрування суспензії з утворенням окари і соєвого молока, яке стікає в кожух і відводиться через зливний штуцер.

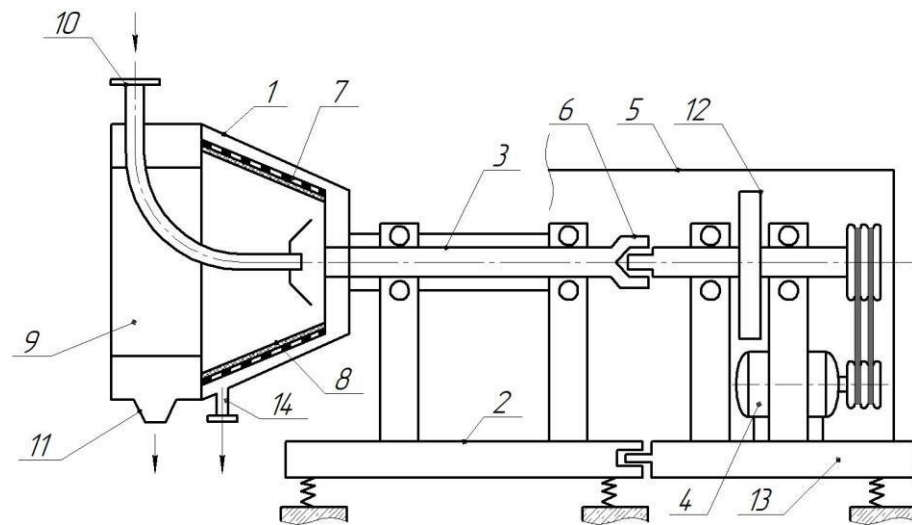


Рис. 1.9 – Схема фільтруючої центрифуги для розділення соєвої суспензії: 1 – кожух; 2 – рама; 3 – вал; 4 – електропривод; 5 – захисний короб; 6 – карданна куля; 7 – перфорований ротор; 8 – фільтрувальний матеріал; 9 – кришка; 10 – входний трубопровід; 11 – вікно для вивантаження окари; 12 – динамічний компенсатор; 13 – рухома рама; 14 – зливний штуцер

Наявність карданного шарніра сприяє створенню різниці кутових швидкостей, які індукують крутильні коливання в перфорованому роторі, що в поєднанні з його конусністю забезпечує переміщення окари до

розвантажувальним вікнам для її подальшого видалення. Для регенерації фільтрувального матеріалу центрифуга оснащена системою подачі стисненого повітря (на рис. 1.9 не показано). В результаті проведених досліджень було встановлено, що ефективне розділення соєвої суспензії з отриманням окари низького вмісту вологи досягається при кутовий частоті ротора 1500-1700 об/хв і амплітудою крутильних коливань 0,1-0,2 радий.

Іншим прикладом успішного використання конічного ротора є фільтруюча центрифуга типу ФГШ (рис. 1.10).

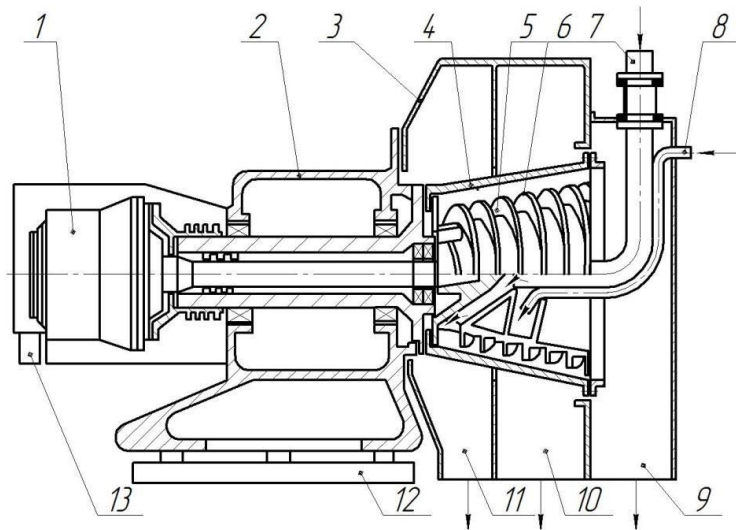


Рис. 1.10 – Схема фільтруючої центрифуги типу ФГШ: 1 – планетарно-дифференціальний редуктор; 2 – станина; 3 – кожух; 4 – ротор; 5 – сито; 6 – шнек; 7 – живить трубопровод; 8 – промивний трубопровід; 9 – камера для осадка; 10 – камера промывочной жидкости; 11 – камера фільтрата; 12 – виброизолирующее устройство; 13 – предохранительное устройство

Вони оснащені горизонтально розташованим фільтрує ротором конусоподібної форми, всередині якого встановлено шнековий вал. Таке конструктивне виконання добре зарекомендувало себе в процесах поділу висококонцентрованих суспензій з переважанням крупнозернистих механічних включень. В процесі центрифугування забруднена рідина подається по живлячої трубопроводу в обертювий фільтруючий ротор, і,

пройшовши крізь його пористу поверхню, очищається від механічних домішок.

Отриманий фільтрат надходить в спеціальну камеру, з якої відводиться на наступні стадії обробки. У разі необхідності промивання осаду центрифуга оснащена спеціальним трубопроводом і камерою для збору відпрацьованої промивної рідини.

Видалення промитого осаду здійснюється за допомогою його переміщення шнековим валом до широкої частини конусного ротора з подальшим скидом в камеру збору осаду. Обов'язковою умовою для руху осаду виступає нерівність кутових швидкостей фільтруючого ротора і шнекового вала, яке створюється планетарно-диференціальним редуктором, що працюють від електроприводу (на рис. 1.10 не показано). Центрифуги типу ФГШ забезпечують високий фактор поділу і невеликий шар осаду, що в сукупності дозволяє отримувати шлам з низьким змістом вологи, і, в деяких випадках, виключити його промивання. Однак наявність планетарно-диференціального редуктора створює додаткові труднощі при експлуатації відцентрових машин даної модифікації.

У спробі спрощення конструкції роторних машин була розроблена фільтруюча центрифуга типу ФВІ з інерційною вивантаженням осаду (рис. 1.11). До основних переваг машин типу ФВІ можна віднести відсутність вивантажують пристроїв, які переміщують осад уздовж ротора. Ці центрифуги набули широкого поширення при переробці сільськогосподарської продукції, наприклад, яблук на сік і пюре [3].

Залежно від властивостей оброблюваних середовищ центрифуги можуть комплектуватися гладким конічним або лопатевим роторами. На практиці частіше зустрічаються машини з гладким ротором через свою простоту і можливість організації безперервної роботи. Однак ці машини мають низьку розділову здатність – відокремлюють частинки розміром 2-3 мм. Альтернативою фільтрує центрифуг виступають осаджувальні машини із суцільним ротором. Найбільшого поширення в системах очищення

рідкофазних дисперсних відходів отримали центрифуги марки ОГШ (рис. 1.12) [17, 27].

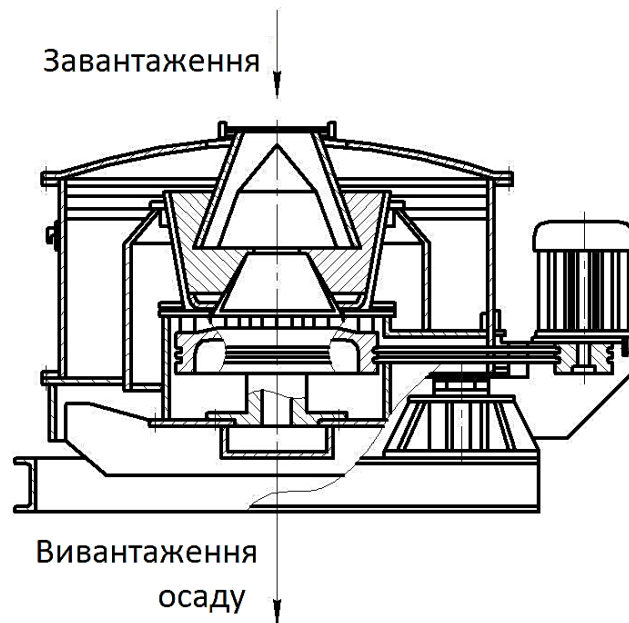


Рис. 1.11 – Схема центрифуги типу ФВІ

Характерною ознакою цих машин виступає горизонтальне розташування суцільного ротора циліндричної або конічної форми з співвісно встановлених всередині нього шнеком. Передача крутного моменту, необхідного для обертання шнека, здійснюється через планетарний редуктор від ротора центрифуги, який в свою чергу з'єднаний за допомогою клиноремінною передачі з електроприводом. Обертання ротора і шнека організовано в одному напрямку, але з різною кутовою швидкістю, створюючи умови для переміщення осаду уздовж горизонтальної осі до розвантажувальних вікон.

В процесі центрифугування Колективна суспензія подається у внутрішню порожнину шнека по живлячій трубопроводу. Через спеціальні вікна, вирізані в корпусі шнека, що обробляється рідина потрапляє в ротор, де під дією відцентрової сили поділяється на компоненти, при цьому дисперсна складова осідає на стінці суцільного ротора і утворює шар осаду, а очищена рідина відводиться через зливний отвір.

Основною перевагою центрифуг типу ОГШ виступає можливість регулювання ступеня очищення зміною витрати подається суспензії і швидкості обертання ротора. Налаштування оптимальних технологічних параметрів забезпечує вилучення частинок твердої фракції розміром 5 мкм і вище, при цьому різниця щільності дисперсної середовища і дисперсійної складової може бути незначною (2 кг / м³ і більше). Технологічність і ефективність цих центрифуг характеризує їх як найбільш перспективні машини для систем обробки рідкофазних дисперсних відходів.

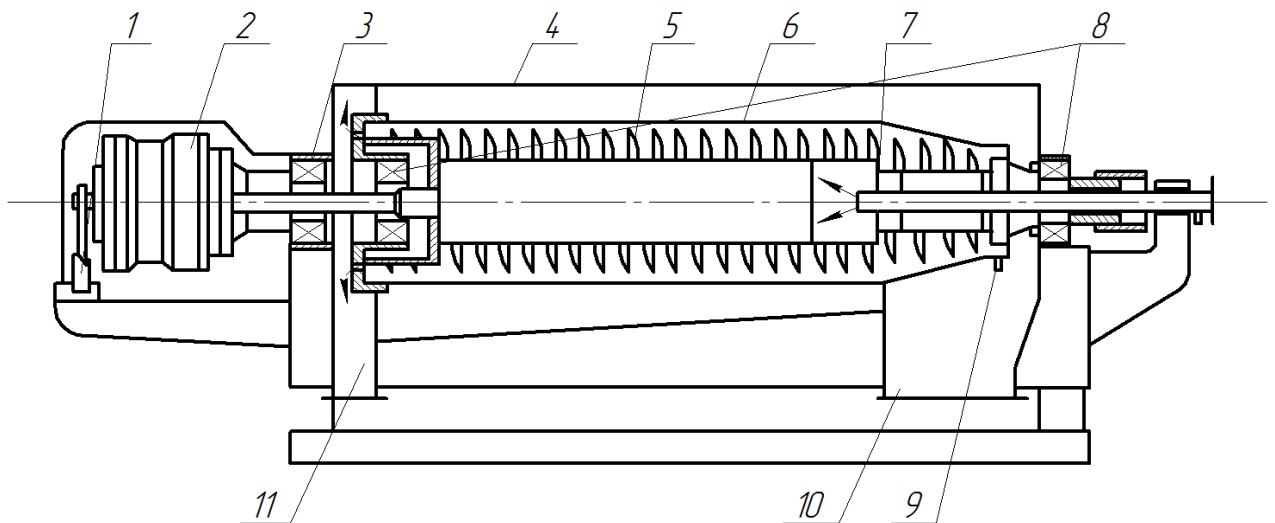


Рис. 1.12 – Схема осаджувальної центрифуги типу ОГШ: 1 – захисний пристрій; 2 – редуктор; 3 – опорний підшипник шнека; 4 – кожух; 5 – шнек; 6 – ротор; 7 – живить трубопровід; 8 – опорний підшипник ротора; 9 – розвантажувальне вікно; 10 – камера вивантаження осаду; 11 – камера відводу фільтрату

Варто відзначити, що розглянуті конструкції центрифуг призначені для розділення суспензій, в'язкість яких близька до в'язкості води, і малоефективні для очищення вуглеводневих жидкофазная гетерогенних систем, таких як відпрацьоване моторне масло.

Використання відцентрових сил для поділу високов'язких середовищ, а саме моторних масел, реалізовано в конструкції центрифуги для двигунів внутрішнього згорання (рис. 1.13)

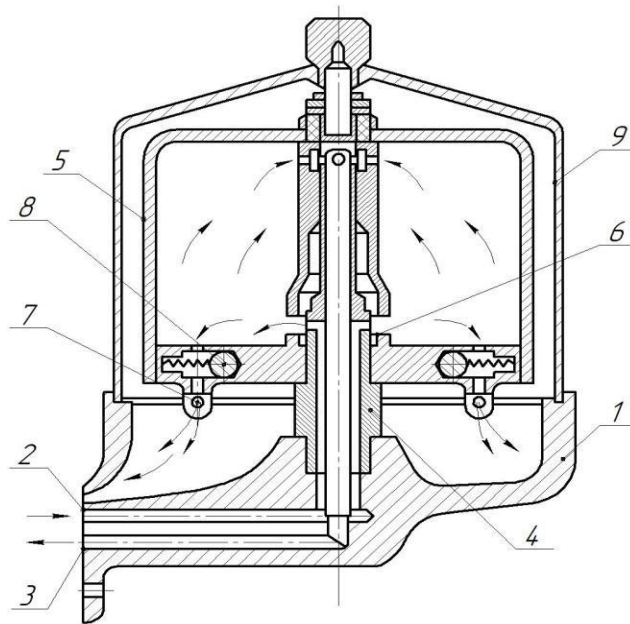


Рис. 1.13 – Схема центрифуга для очистки моторного мастила:
 1 – корпус; 2 – канал для подачі мастила; 3 – канал для відведення мастила; 4 –
 – пола вісь; 5 – ротор; 6 – гідропривід; 7 – сопло; 8 – кульовий клапан; 9 – кожух

В процесі центрифугування моторне масло, пройшовши по спеціальному каналу, надходить в порожнисту вісь і далі в гідропривід, що забезпечує обертання ротора. У міру розкручування ротора в його порожнину перетікає масло з гідроприводу і рівномірно розподіляється по всьому робочому об'єму. За допомогою спеціальних каналів нафтопродукти надходять до сопел і, виходячи з них, створюють додаткову реактивну тягу, що забезпечує прискорення обертання ротора. Після виходу центрифуги на робочий режим кульові клапани під дією відцентрових сил стискають пружинні механізми і перекидають подачу масла до сопел. Сегрегація вуглеводневої рідкофазної гетерогенної системи здійснюється шляхом седиментації дисперсної складової на стінку ротора. Очищене від забруднень моторне масло надходить у верхню частину порожнистої осі і далі відводиться через спеціальний канал. Після зупинки центрифуги пружинні механізми повертаються в початкове положення, а кульові клапани відкривають канали до сопел. З недоліків цих машин можна відзначити необхідність зняття кожуха для видалення, що скупчився на стінці ротора, осаду, що знижує їх продуктивність.

Іншим прикладом машини для відцентрової обробки високов'язких суспензій виступає надшвидкісна центрифуга (рис. 1.14) [17].

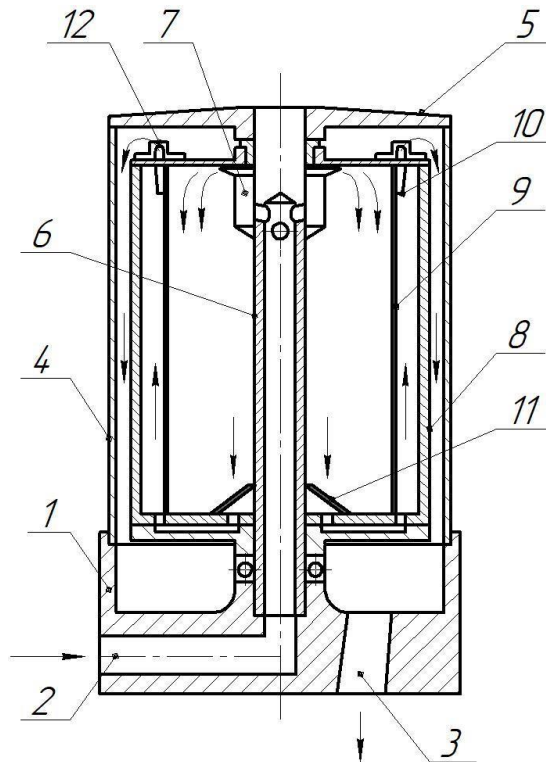


Рис. 1.14 – Сверхцентрифуга для очистки відпрацьованого моторного мастила: 1 – станина; 2 – канал для подачі мастила; 3 – канал для відведення масла; 4 – корпус; 5 – кришка; 6 – пола ось; 7 – розподільний стакан; 8 – ротор; 9 – перегородка; 10 – малий відбійний; 11 – великий відбійник; 12 – сопло

Процес реалізується в такий спосіб. Моторне масло, яке підлягає регенерації, подається через спеціальний канал в станині в распределительный стакан і порожнисту нерухому вісь, на кінці якої виконані отвори під кутом 30° . Така конструкція сприяє рівномірному розподілу очищуваного масла в обертovому циліндричному роторі, де під дією відцентрових сил відбувається осадження забруднюючих компонентів на спеціальну перегородку. Частково очищене моторне масло направляється до великого відбійника і, пройшовши через отвори в нижній кришці ротора, потрапляє в область між перегородкою і стінкою ротора, де під дією максимальних відцентрових сил проходить додаткового - тільну очистку. Далі масло піднімається вгору і, пройшовши через малий відбійник, викидається з сопла, створюючи додатковий крутний

момент, що розкручує ротор центрифуги до 5000-6000 об / хв. Таким чином, досягається більший час перебування суспензії або емульсії в відцентровому полі та високий ступінь очищення відпрацьованих моторних масел.

На сьогоднішній день існують конструкції відцентрових машин дозволяють очищати відпрацьоване моторне масло не тільки від механічних забруднень, але і від крапель води і інших рідин. До таких машин відносяться розділяють центрифуги типу ОРТ (рис. 1.15), їх відмінність від інших типів полягає в наявності трубчастого ротора з плаваючою нижньою опорою ковзання.

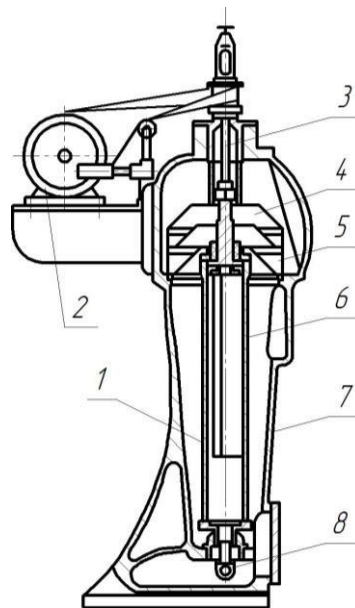


Рис. 1.15 – Схема зверхцентрифуги типу ОРТ: 1 – трьохлопадна крильчатка; 2 – електропривід; 3 – вал; 4 – верхня зливна тарілка; 5 – нижня зливна тарілка; 6 – трубчатий ротор; 7 – станина; 8 – сопло живлячого штуцера

Через сопло живлячої штуцера колективна емульсія подається в нижню частину трубчастого ротора і, обертаючись разом з ним, тече вгору в осьовому напрямку. Компонент, що має більшу щільність, проходить через отвори в голівці, розташовані біля стінки ротора, і, пройшовши нижню зливну тарілку, відводиться з центрифуги. Більш легкий компонент відводиться через отвори, що знаходяться ближче до осі ротора. Пройшовши через ці отвори, легкий

компонент потрапляє на верхню зливну тарілку і відводиться через розвантажувальний штуцер.

Основною перевагою центрифуг типу ОРТ вважається високі швидкість обертання ротора (до 15000 об / хв) і, відповідно, фактор поділу (до 13200) .

Таким чином, широкий модельний ряд центрифуг і їх конструктивні особливості свідчить про перспективи технології відцентрової обробки жидкофазная дисперсних систем в промисловості, сільському і житлово-комунальному господарстві, а також в інших суміжних галузях. Застосування відцентрових машин роторного типу дозволяє інтенсифікувати процеси виділення часток твердої фракції або крапель чужорідної рідини з дисперсійного середовища, а також сприяє отриманню твердого осаду з низьким змістом вологи, який може знайти застосування в сільському господарстві як добриво, меліорантів, вологосорбентів або поліпшувач ґрунту при меліорації і рекультивації земель.

РОЗДІЛ 2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ

2.1 Математичне моделювання локального та інтегрального ступенів уловлювання частинок дисперсної фази в осаджувальній центрифугі

Лімітуючим фактором використання відцентрових машин роторного типу виступає складність вибору їх конструктивного виконання, а також підбір оптимального технологічного режиму, при якому буде забезпечуватися максимальна ступінь очищення при мінімальних енерговитратах. З метою прогнозування ефективності відцентрового поділу дисперсних систем з властивостями ньютонівських рідин була розроблена математична модель, в основі якої лежить детермінований метод розрахунку гідродинамічних параметрів гетерогенного потоку і стохастичний метод визначення локальних ступенів уловлювання.

При складанні математичної моделі задавалися наступними граничними умовами:

- 1) рідина має Ньютонівські властивості;
- 2) дисперсні частинки не змінюють свої початкові форми і розміри;
- 3) осадження дисперсних частинок відбувається в ламінарному режимі;
- 4) час осадження η_{oc} і час перебування $\eta_{п}$ дисперсних частинок в роторі центрифуги рівні;
- 5) дотичні напруження на вільній поверхні рідини відсутні, тобто $\eta_{гy0} = 0$;
- 6) рух рідини на відстані $r = R_H$ відсутня, тобто $v_{y0} = 0$ (умова прилипання);
- 7) перемішування кільцевих шарів рідини відсутній;
- 8) дисперсні частинки кожної фракції рівномірний але розподілені по кільцевому перетину потоку рідини.

На рис. 2.1 представлена схема роботи осаджувальної центрифуги із заданими геометричними параметрами. Незмінна швидкість обертання ротора

центрифуги ω забезпечує постійну товщину шару рідини δ по всій висоті H і може бути визначена наступним чином:

$$\delta = R_H - R_B \quad (2.1)$$

Тиск, індуковані відцентровим полем, в різних шарах рідини характеризується залежністю:

$$p = p_a + \frac{\rho \cdot \omega^2 \cdot (r^2 - R_B^2)}{2} \quad (2.2)$$

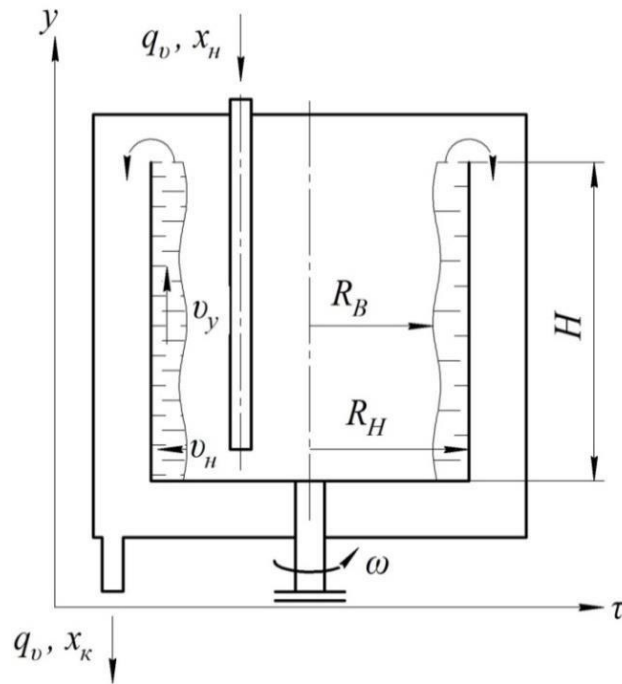


Рис. 2.1 – Схема роботи осаджувальної центрифуги

Тоді диференціальне рівняння руху рідини в осьовому напрямку після перетворень набуде вигляду:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r \tau_{ry}) - \rho g = 0. \quad (2.3)$$

Розв'язуючи рівняння при граничній умові відсутності дотичних напружень на вільній поверхні рідини отримаємо:

$$\tau_y = \frac{r g}{2} \cdot (r - R_B). \quad (2.4)$$

З врахуванням рідини:

$$\tau_y = \mu \frac{dv_y}{dr}. \quad (2.5)$$

Спільне рішення рівнянь (2.4) і (2.5) при граничному умови прилипання: $v_y = 0$ при $r = R_B$, дозволяє отримати рівняння профілю швидкості осьового руху рідини:

$$v_y = \frac{\rho g}{4\mu} \cdot (r^2 - R_H^2) - \frac{\rho g R_B (r - R_H)}{2\mu}. \quad (2.6)$$

Для визначення внутрішнього радіусу R_B вільної поверхні рідини, що обертається скористаємося інтегральним рівнянням нерозривності:

$$q_v = 2\pi \int_{R_B}^{R_H} r v_y dr. \quad (2.7)$$

З спільного вирішення рівнянь (2.5) і (2.6) отримуємо рівняння:

$$q_v = \frac{\pi r g}{\mu} \left[\frac{R_H^4 - R_B^4}{8} - \frac{R_H^2 (R_H^2 - R_B^2)}{4} - \frac{R_B (R_H^3 - R_B^3)}{3} + \frac{R_B R_H (R_H^2 - R_B^2)}{2} \right]. \quad (2.8)$$

в якому значення R_B знаходиться методом половинного ділення [18].

Середня швидкість рідини в осьовому напрямку v_c характеризується залежністю:

$$v_c = \frac{q_v}{\pi(R_H^2 - R_B^2)}. \quad (2.9)$$

Визначимо значення швидкості рідини v_y з рівняння (2.6), використовуючи формули (2.8) і (2.9):

$$v_c = A v_c [2R_B (r - R_H) - (r^2 - R_H^2)]. \quad (2.10)$$

$$A = \frac{R_H^2 - R_B^2}{4} \cdot \left[\frac{R_H^2 (R_H^2 - R_B^2)}{4} + \frac{R_B (R_H^3 - R_B^3)}{3} - \frac{R_B R_H (R_H^2 - R_B^2)}{2} + \frac{R_H^4 - R_B^4}{8} \right]. \quad (2.11)$$

Для визначення номінального розміру часток, що потрапили на саму несприятливу траєкторію, при якій $r = R_B$, а шлях осадження - $\delta = R_H - R_B$, задамося умовою уловлювання частинок в гравітаційних відстійниках [27, 28]:

$$\tau_n = \tau_{oc}, \quad (2.12)$$

де η_n , η_{oc} - відповідно час перебування частинок в апараті та час їх осадження, с.

З диференціального рівняння часу осадження:

$$d\tau_{oc} = \frac{dr}{v_{oc}}. \quad (2.13)$$

$$v_{oc} = \frac{g d_n}{18\mu} \left(\frac{\omega^2 r}{g} \right). \quad (2.14)$$

Знаходимо після інтегрування:

$$\tau_{oc} = \frac{18\mu}{d_H^2 \omega^2} \int_{R_B}^{R_H} \frac{dr}{r} = \frac{18\mu}{\Delta\rho d_H^2 \omega^2} \ln \frac{R_H}{R_B}. \quad (2.15)$$

Так як час перебування частинок номінального діаметра одно середнього часу перебування рідини в центрифугі:

$$\tau_n = \frac{\pi(R_H^2 - R_B^2)H}{q_v}, \quad (2.16)$$

то номінальний діаметр частинок, що вловлюються на 100%, дорівнює:

$$d_H = \sqrt{\frac{18\mu q_v \ln(R_H/R_B)}{\pi \omega^2 H (R_H^2 - R_B^2)}}. \quad (2.17)$$

Варто відзначити, що уловлювання частинок діаметром менше номінального відбуватиметься з траєкторії $R > R_B$, тоді умова уловлювання таких частинок в диференціальному вигляді запишеться наступним чином:

$$d\tau_{oc} \leq d\tau_n \text{ або } \frac{dr}{v_{oc}} \leq \frac{dy}{v_y}. \quad (2.18)$$

Підставляючи замість v_{oc} і v_y в рівняння (2.18) залежності (2.6) і (2.13) після інтегрування одержимо рівняння для визначення радіуса траєкторії $R(i)$, з якого частинки діаметром $d(i)$, менше номінального в заданій їх щільності розподілу уловлюються на 100%:

$$\int_{R_B}^{R_H} \frac{R_H^2 - r^2 + 2R_B(r - R_H)}{r} dr = H d_{(i)}^2, \quad (2.19)$$

де i – номер фракції частинок розміром менше d_H .

Інтегруючи вираз (2.19), отримуємо залежність діаметра частинок менше номінального від початкового радіуса їх траєкторії, з якої вони рухаються до стінки ротора R_H :

$$d_{(i)} = \sqrt{\frac{18\mu A v_c}{\Delta\rho \omega^2 H}} \cdot \left[(R_H^2 - 2R_B R_H) \ln \frac{R_H}{R_{(i)}} - \frac{R_H^2 - R_{(i)}^2}{2} + 2R_B (R_B - R_{(i)}) \right]. \quad (2.20)$$

Поставивши собі за умовою, що частинки кожної фракції $d_{(i)}$ рівномірно розподілені по кільцевому перетину рідинного потоку, товщина якого характеризується залежністю (2.1), отримаємо вираз для локальної частки уловлювання частинок кожної фракції:

$$\chi_{(i)} = \frac{R_H - R_{(i)}}{R_H - R_B}. \quad (2.21)$$

В такому випадку локальна ступінь уловлювання частинок з розміром менше номінального буде визначатися відповідно до формули:

$$C_{y(i)} = C_{(i)}\chi_{(i)},$$

а для частинок розміром більше d_H – $C_{y(i)} = C_{(i)}$, так як $\chi_{(i)} = 1$.

Загальну ступінь очищення, з урахуванням локальних ступенів уловлювання, можна визначити за формулою

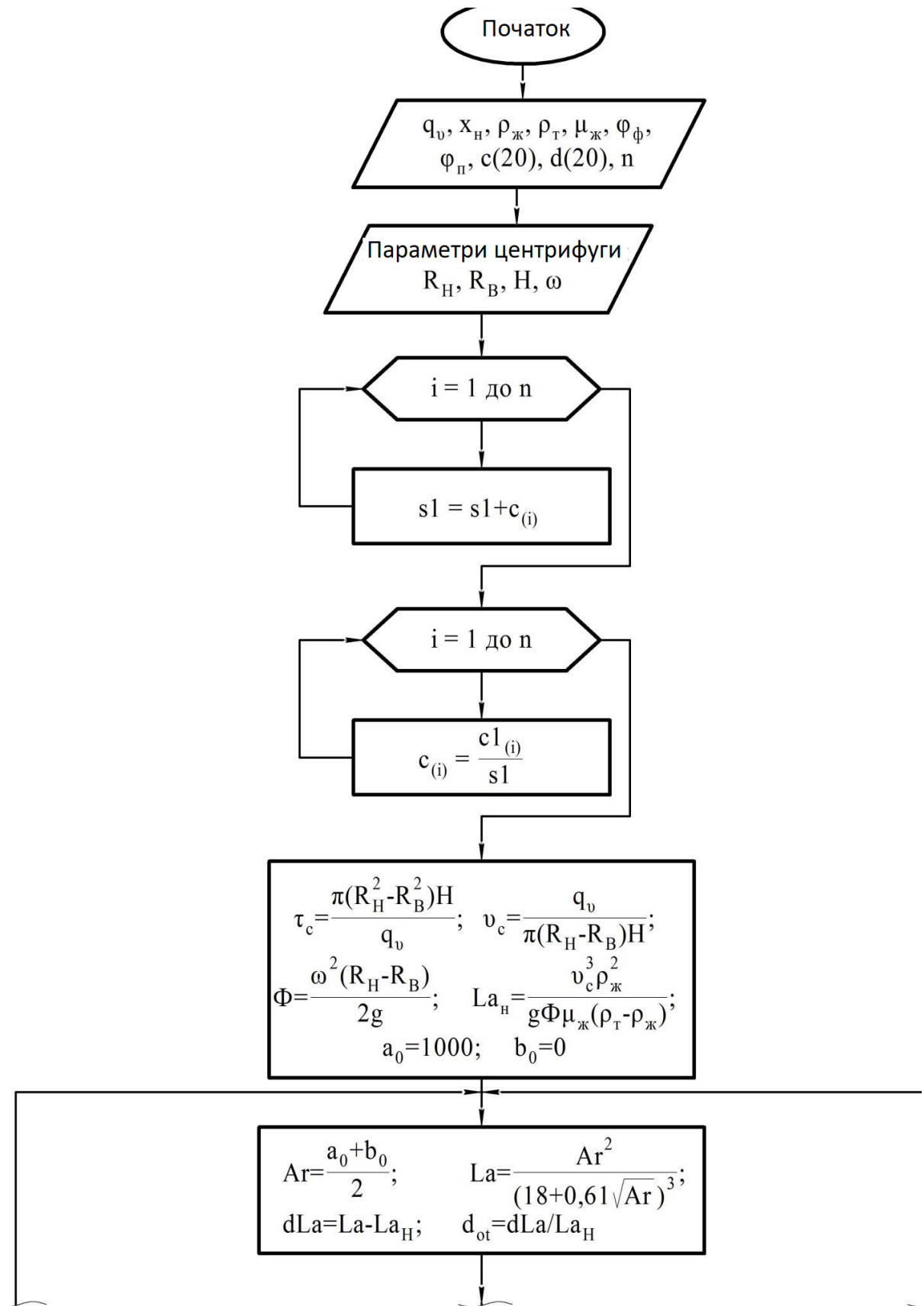
$$\eta = \sum_{i=1}^n C_{y(i)}, \quad (2.22)$$

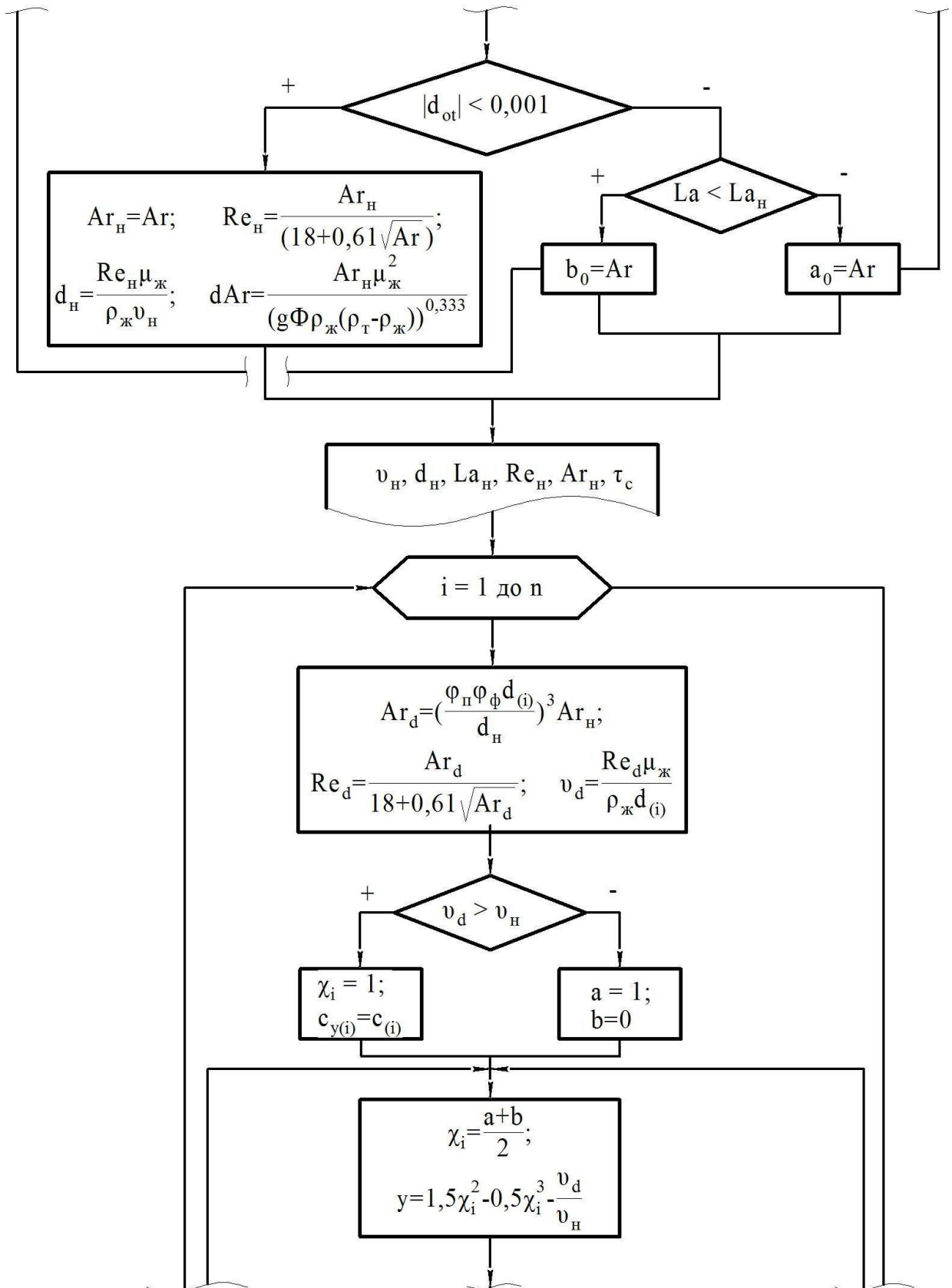
де n – кількість фракцій частинок.

Таким чином, запропонований алгоритм розрахунку дозволяє визначити локальні ступеня уловлювання частинок дисперсної фази і інтегральну (загальну) ступінь очищення, що характеризують ефективність відцентрового поділу рідкофазних гетерогенних систем в центрифугах з урахуванням їх конструктивних особливостей і технологічних режимів роботи.

Блок-схема математичної моделі процесу центрифугування рідкофазної гетерогенної системи в осаджувальній центрифугі з виходом на локальний та інтегральний ступінь уловлювання частинок дисперсної фази при організації одношарового кільцевого потоку представлена на рис. 2.2. Формалізація алгоритму моделі у вигляді діалогових вікон відповідної програми представлена на рис. 2.3-2.5 (мова програмування Delphi).

Таким чином, розроблена програма дозволяє автоматизувати розрахунок розділової здатності осаджувальних центрифуг, і сприяє оптимізації їх конструкторсько-технологічних параметрів





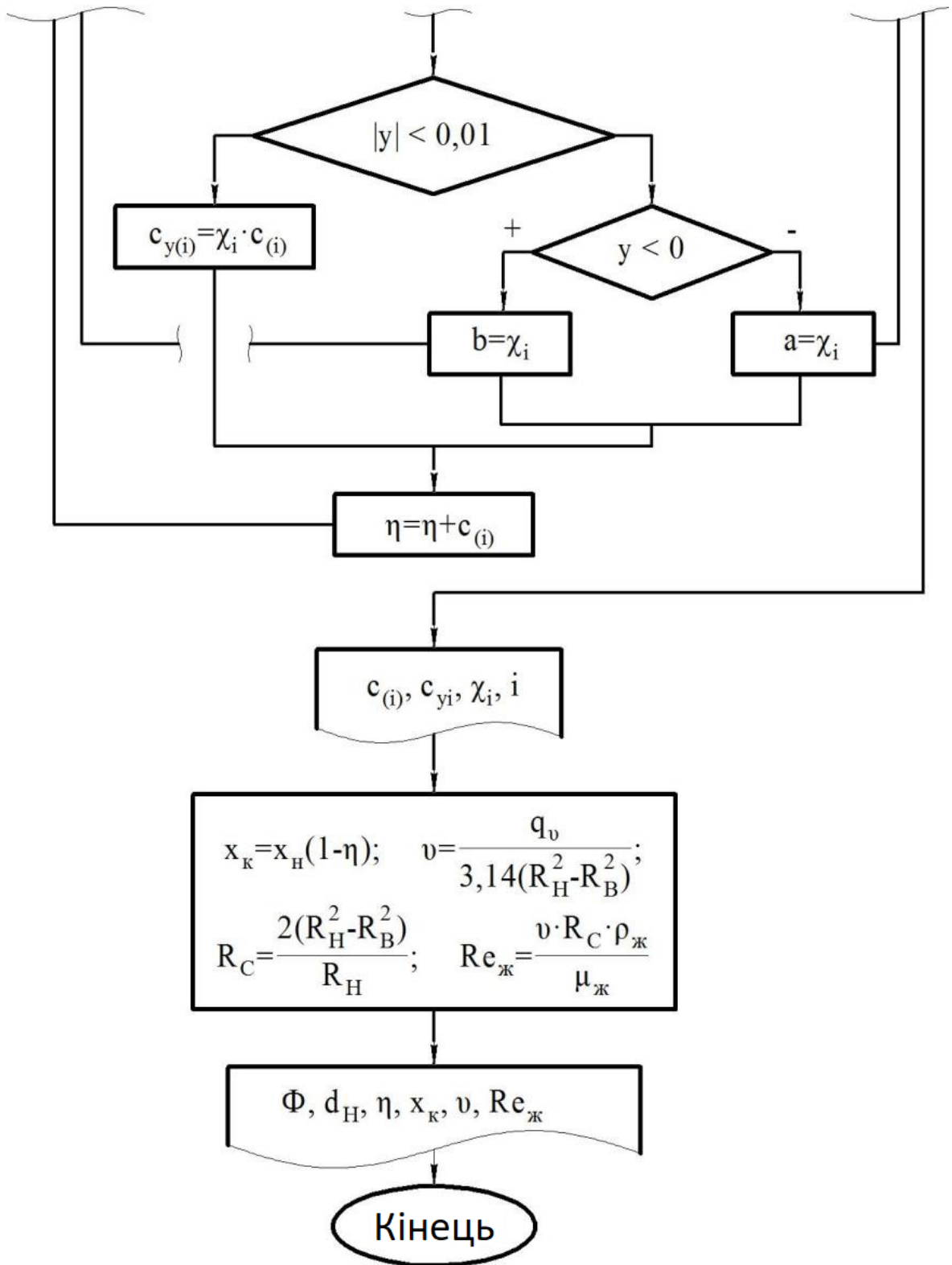


Рис. 2.2 – Блок-схема математичної моделі процесу центрифугування суспензії в осаджувальній центрифугі (мова програмування Fortran)

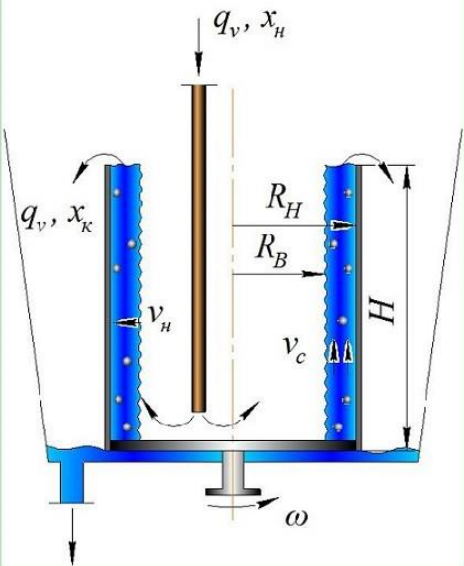
Расчет степеней очистки

Расчет локальных и интегральной степеней очистки суспензии в осадительной центрифуге

Введите число фракций

Введите плотность распределения частиц твердой фазы по фракциям C_i , г/л

Введите диаметр частиц по фракциям d_i , мк



Введите производительность по суспензии q_v , куб. м / час

радиус ротора R_n , мм

длину (высоту) ротора H , мм

плотность жидкости ρ_j , кг/куб.м

динамическая вязкость жидкости μ , Па·с

плотность частиц твердой фазы ρ_t , кг/куб.м

начальная концентрация частиц в суспензии x_n , кг/л

число оборотов ротора ω , рад/с

радиус свободной поверхности жидкости R_B , мм

количество центрифуг m

Рис. 2.3 – Ввід вихідних даних в програму

Результаты расчетов

Расчетные данные

№ фракции	Диаметр частиц по фракциям, мк	Концентрация частиц в исходной суспензии, %	Локальные степени улавливания
1	40	4,205	4,205
2	50	8,295	8,295
3	160	39,773	39,773
4	315	28,409	28,409
5	1250	19,318	19,318

Результаты расчетов осадительной центрифуги

фактор разделения $Fg = 419,04014$

номинальный размер частиц, уловленных на 100 %, дном = 0,56819, мк

концентрация частиц на выходе из центрифуги $x_k = 0, \%$

общая степень очистки $\eta = 1$

критерий Рейнольдса осевого потока жидкости $Re = 21,231$

Рис. 2.4 – Результати математичного моделювання



Рис. 2.5 – Продовження рисунка 2.4

2.2 Математичне моделювання уловлювання частинок дисперсної фази на ультрафільтраційній мембрані

При розробці сучасних технологій очистки побутових і сільськогосподарських СВ необхідно передбачати не тільки можливість з-потягу механічних фракцій, а й видалення біологічних забруднень, які представляють серйозну небезпеку для здоров'я людей і тварин. Наявність в стічних водах патогенної мікрофлори, вірусів і паразитів (наприклад, гельмінтів) збільшує ризик епідемій і спалахів захворювань амебіазом, ехінококоз та іншими небезпечними хворобами.

На сьогоднішній день на водоочисних спорудах зниження бактеріального вмісту здійснюється різними способами, ефективність яких представлена в табл. 2.1. Аналітичні відомості дозволяють зробити висновок, що існуючі способи зниження з-тримання патогенної мікрофлори (в їх числі паразити і віруси) в господарсько-побутових і сільськогосподарських СВ при строгому дотриманні режимів технології забезпечують високу ефективність. Застосування хімічних компонентів для знезараження СВ ініціює

окислювально-відновні реакції, створюючи умови для загибелі патогенної мікрофлори, паразитів і вірусів. Однак висока вартість реагентів робить процес знезараження малоефективним з економічної точки зору. Крім того, застосування хімікатів різко погіршує якість одержуваних рідких і твердих продуктів.

До перспективних напрямків переробки СВ відноситься їх зброджування в біоенергетичних установках, в ході якого утворюється твердий осад (еффлоент), очищена вода і біогаз. Для забезпечення стабільного бродіння необхідно підтримувати вузький температурний інтервал, що в зимовий час супроводжується підвищенням енергетичних затрат на про-грев. Варто зазначити, що для запобігання утворення «мертвих зон» і розшарування осаду необхідно організувати його переміщення. Сукупність перерахованих вимог для нормальної роботи біоенергетичних установок по знезараженню СВ різко знижує їх ефективність

Таблиця 2.1 – Ефективність способів знезараження стічних вод [19]

Спосіб обеззаражування	Мікрофлора	Ефективність обеззаражування
Освітлення в присутності коагулянту	Бактерії	30-90%
	Віруси	30-70%
	Паразити	30-90%
Вапняне пом'якшення в присутності коагулянту ($pH = 11,5$ на протязі 6 годин)	Бактерії	20-99%
	Віруси	~ 90%
	Паразити	~ 90%
Обеззаражування хлором	Бактерії	~ 99% (при 3,3 мг хв/л)
	Віруси	~ 99% (при 12 мг хв/л)
	Паразити	~ 99% (при 230 мг хв/л)
Обеззаражування монохлораміном	Бактерії	~ 99% (при 94 мг хв/л)
	Віруси	~ 99% (при 1240 мг хв/л)
	Паразити	~99% (при 2550 мг хв/л)
Ультрафіолетове опромінення	бактерії	~ 99% (при 7 мДж/см^2)
	Віруси	~ 99% (при 59 мДж/см^2)
	Паразити	~ 99% (при 10 мДж/см^2)
Зброджування	Бактерії	~ 99%
	Віруси	~ 99%
	Паразити	~ 99%
Фільтрація через піщане завантаження	Бактерії	~ 99%
	Віруси	~ 99%
	Паразити	~ 99%
Ультрафільтрація на мембрані	Бактерії	99,9% (при належній попередній очистці і збереженні цілісності мембрани)
	Віруси	
	Паразити	

Серед розглянутих способів дезінфекції СВ найбільшу ефективність при мінімальних економічних затратах забезпечує фільтрування із застосуванням напівпроникних мембран, які представляють собою мікропористий плівковий матеріал на основі поліамідів, фторопласта і ацетатів целюлози [13].

Розмір мікроорганізмів, а також їх концентрація в СВ визначає основні характеристики мембрани, а саме: середній діаметр пір, продуктивність по дистильованій воді і мінімальний тиск проскока бульбашки. Важливою перевагою напівпроникних мембран вважається можливість виготовлення їх у вигляді рулону, що дозволяє забезпечити велику поверхню поділу при мінімальних розмірах ультрафільтраційних установок [35].

Для підбору типу мембрани, а також оперативного розрахунку її робочої поверхні для ультрафільтрації жидкофазная дисперсних систем був складений математичний алгоритм, який передбачає визначення ступеня концентрування:

$$K = \frac{x_k}{x_n}, \quad (2.23)$$

де x_k – кінцева масова концентрація біогенних елементів в ретанте, г/л;

x_n – початкова масова концентрація біогенних елементів у вихідній рідині, г/л.

Концентрація частинок, проскочивши через мембрану, з урахуванням ступеня концентрування складатиме:

1) визначення середнього часу перебування:

$$x_p \cdot K = \frac{K\theta - K}{K\theta - 1}, \quad (2.24)$$

де θ – селективність мембрани, що характеризує відношення діаметра молекул до діаметру пор мембрани.

Питома продуктивність мембрани по чистій воді з урахуванням константи її проникності а розраховуємо за рівнянням:

$$G_0 = a \cdot \Delta p, \quad (2.25)$$

де Δp – перепад тиску на мембрані, МПа.

Тоді питома продуктивність мембрани по роздільному розчину складе:

$$G = \frac{G_0 \mu_0}{\mu}, \quad (2.26)$$

витрата очищеної рідини (пермеата) з урахуванням селективності мембрани знайдемо за формулою:

$$L_p = G_H (1 - K)^{-1/\varphi}. \quad (2.27)$$

Тоді витрата біогенного концентрату (ретанта) складе:

$$L_p = G_H - L_p. \quad (2.28)$$

З урахуванням знайдених витрат потрібну поверхню мембрани розрахуємо за рівнянням:

$$F = \frac{L_p}{G}. \quad (2.29)$$

Використовуючи описаний алгоритм розрахунку, була розроблена програма на мові Fortran, що включає введення технологічних параметрів установки і характеристики використовуваної мембрани, з виходом на потрібну поверхню поділу. Блок-схема запропонованої імітаційної моделі представлена на рис. 2.6.

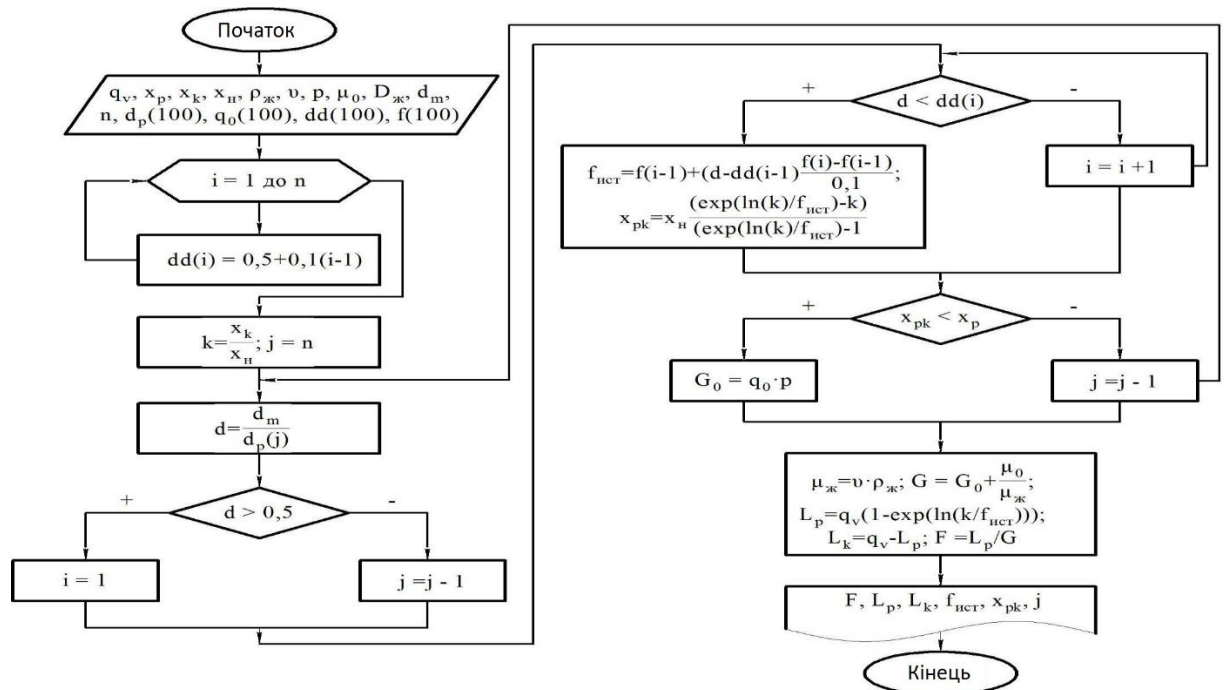


Рис. 2.6 – Блок-схема розрахунку параметрів мембрани для ультрафільтрації рідкофазних дисперсних систем

РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ОЧИЩЕННЯ РІДКОФАЗНИХ ДИСПЕРСНИХ ВІДХОДІВ

3.1 Опис лабораторної установки, лабораторного обладнання та методики проведення експерименту

Для проведення лабораторних дослідів була розроблена і зібрана експериментальна установка (рис. 3.1), що включає вертикально встановлений в герметичному кожусі 1 ротор 2, електропривод 3, відцентровий насос 4, ємності вихідної суспензії 5, освітленої рідини (фугата) 6 та промивної рідини 7, запірно-регулюючу арматуру 8, 9 і 10, а також контрольно-вимірювальні прилади: лічильник води 11, електродний блок 12 з мультиметром 15, частотний перетворювач 13, тахометр 14. Конструкція центрифуги дозволяє використовувати суцільний ротор для відцентрового осадження та перфорований ротор для фільтрації в відцентровому полі.

Обертальний момент від ведучого шківів електроприводу на ведений шків ротора передається за допомогою пасової передачі.

Для безпечної експлуатації лабораторної установки ротор у герметичному кожусі та електропривод поміщені у захисний короб 17. Елементи установки між собою сполучені системою трубопроводів 18.

Для введення індикатора всередину ротора центрифуга оснащена спеціальним штуцером 16, який закріплений у верхній кришці герметичного кожуха.

Установка (рис. 3.2) може працювати у двох режимах.

У режимі «пуско-налагодження» регулюючи частотним перетворювачем частоту електричного струму на електроприводі, задаємо необхідну кількість обертів ротора центрифуги. Вентиль 8 встановлюємо в положення «закрито», а вентиль 9 – «відкрито», включаємо насос і вентилем 10 встановлюємо необхідну витрату промивної рідини, яка по трубопроводу надходить в центральну частину плоского днища ротора, що обертається.

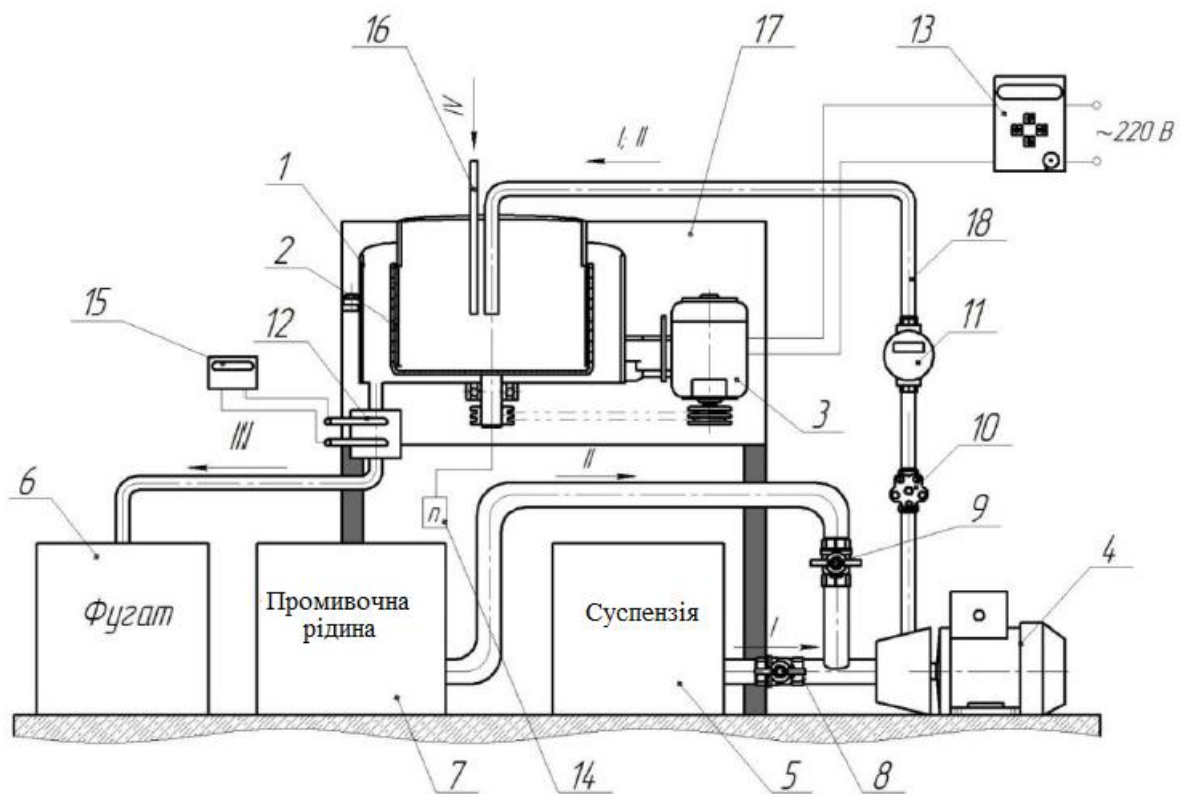


Рис. 3.1 – Схема експериментальної установки: I – подача вихідної суспензії; II – подача промивної рідини; III – відведення фугату із центрифуги; IV – подача індикатора до ротора



Рис. 3.2 – Експериментальна установка

При використанні суцільного ротора рідина у вигляді плівки піднімається до верхньої кромки і переливається в герметичний кожух. У разі застосування перфорованого ротора з фільтрувальним матеріалом, рідина під дією відцентрового тиску, продавлюється через пори і, проходячи крізь отвори в роторі, також потрапляє в герметичний кожух. Далі незалежно від конструкції ротора рідина з герметичного кожуха відводиться через зливний трубопровід, на якому встановлений електродний блок.

Для переходу в режим «поділ суспензії» необхідно, не змінюючи технологічних параметрів роботи установки (частоти обертання ротора і витрати рідини), закрити вентиль 9 і відкрити вентиль 8. При подачі суспензії в суцільний ротор центрифуги, що обертається, дисперсна система під тиском, ін-дуцируемым відцентровим полем, розподіляється по периферії ротора, а частки твердої фракції осідають на його поверхні. Освітлена рідина піднімається до верхньої кромки ротора і, переливаючись через неї, потрапляє в герметичний кожух, звідки фугат самопливом віддаляється через зливний штуцер.

При використанні перфорованого ротора з фільтрувальним матеріалом робота установки здійснюється в тій же послідовності, як і з суцільним ротором, при цьому рідина під дією відцентрового тиску продавлюється через пори фільтрувального матеріалу, а тверді частинки затримуються на її поверхні.

3.2 Результати визначення локальних та інтегральних ступенів вловлювання частинок дисперсної фази в осаджувальній центрифугі

Дослідження локальних ступенів уловлювання частинок дисперсної фази в осаджувальній центрифугі проводили за різних технологічних режимів. Як параметри варіювання використовували витрату суспензії, що подається в діапазоні від 100 до 400 л/год і частоту обертання ротора центрифуги в діапазоні від 350 до 750 об/хв.

Результати лабораторних досліджень, представлені на рис. 3.3, свідчать про те, що зі збільшенням витрати суспензії, що подається від 100 до 400 л/год номінальний діаметр частинок твердої фракції, уловлюваних на 100%, збільшується і, відповідно, знижуються локальний ступінь уловлювання. При мінімальній витраті – 100 л/годину, частинки з розміром 40 мкм уловлюються на 100% лише за швидкості обертання ротора 750 об/хв. При витраті суспензії 200 л/год і варіюванні частоти обертання ротора центрифуги від 350 до 750 об/хв d_n знижується відповідно зі 100 мкм майже до 45 мкм, а при витраті 400 л/год – з 180 мкм до 65 мкм.

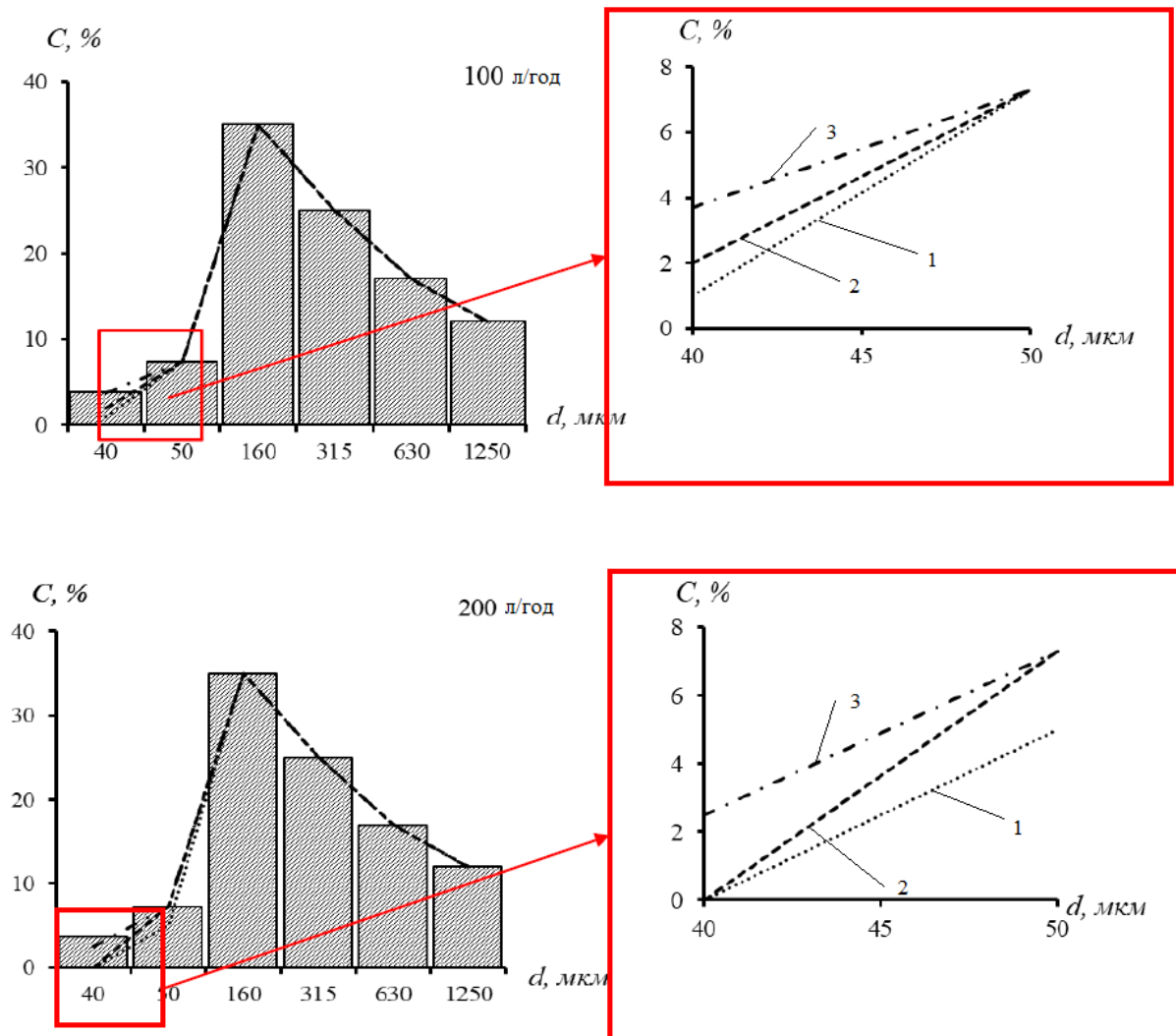


Рис. 3.3 – Фракційний склад осаду та локальні ступені його уловлювання при різних технологічних режимах: 1 – $n=350$ об/хв.; 2 – $n=550$ об/хв.; 3 – $n=750$ об/хв.

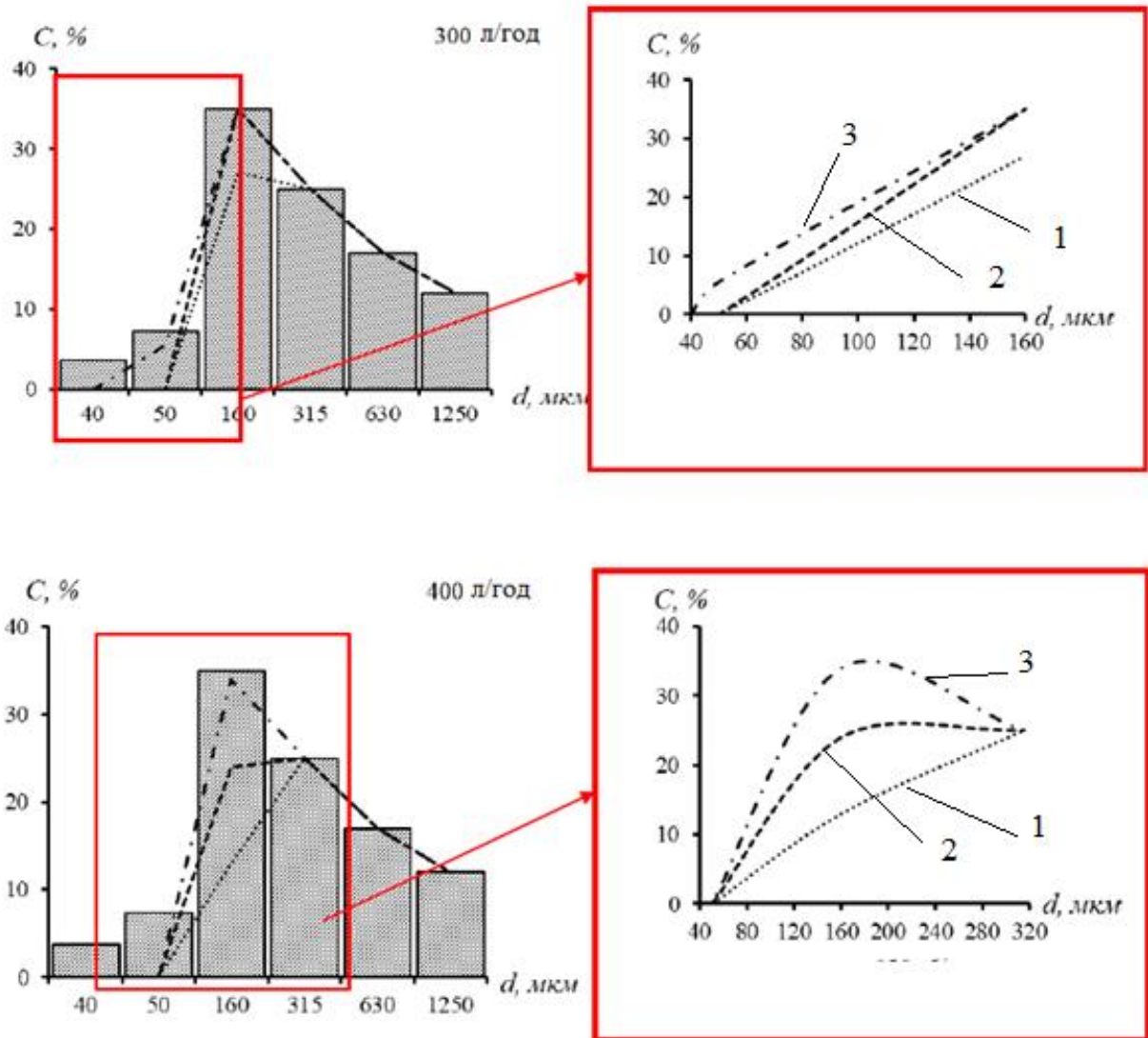


Рис. 3.4 – Фракційний склад осаду та локальні ступені його уловлювання при різних технологічних режимах: 1 – $n=350$ об/хв.; 2 – $n=550$ об/хв.; 3 – $n=750$ об/хв.

Підставляючи отримані значення локальних ступенів уловлювання визначали інтегральний ступінь очищення суспензії при різних технологічних режимах роботи центрифуги. Використовуючи програмний комплекс Curve Expert Professional 2.0, було отримано рівняння регресії виду:

$$\eta = a + bq_0 + cn + dq_0^2 + en^2 + fq_0n, \quad (3.1)$$

де q_0 – витрата суспензії, що подається, л/год; n – частота обертання ротора, об/хв; a, b, c, d, e, f – коефіцієнти регресійного рівняння ($a = 0,992$; $b = -5,09 \cdot 10^{-4}$; $c = 5,63 \cdot 10^{-5}$; $d = -1,83 \cdot 10^{-6}$; $e = -1,88 \cdot 10^{-7}$; $f = 1,55 \cdot 10^{-6}$), рішення якого представлено рис. 3.4 як поверхні відгуку.

Для обробки результатів експерименту використали методику кореляційно-регресійного аналізу. За результатами розрахунку критерію Колмогорова доведено, що залежність від витрати вихідної суспензії та частоти обертання ротора не суперечить закону нормального розподілу, а за критерієм Кохрена вплив випадкових факторів на цільову функцію незначний і гіпотеза про однорідність дисперсій не відкидається.

Порівнюючи розрахункові та критичні значення критерію Фішера встановлено, що отримане регресійне рівняння адекватно визначає характер зміни η залежно від q_v і n . За результатами розрахунку критерію Стьюдента доведено, що ці коефіцієнти мають високу значимість.

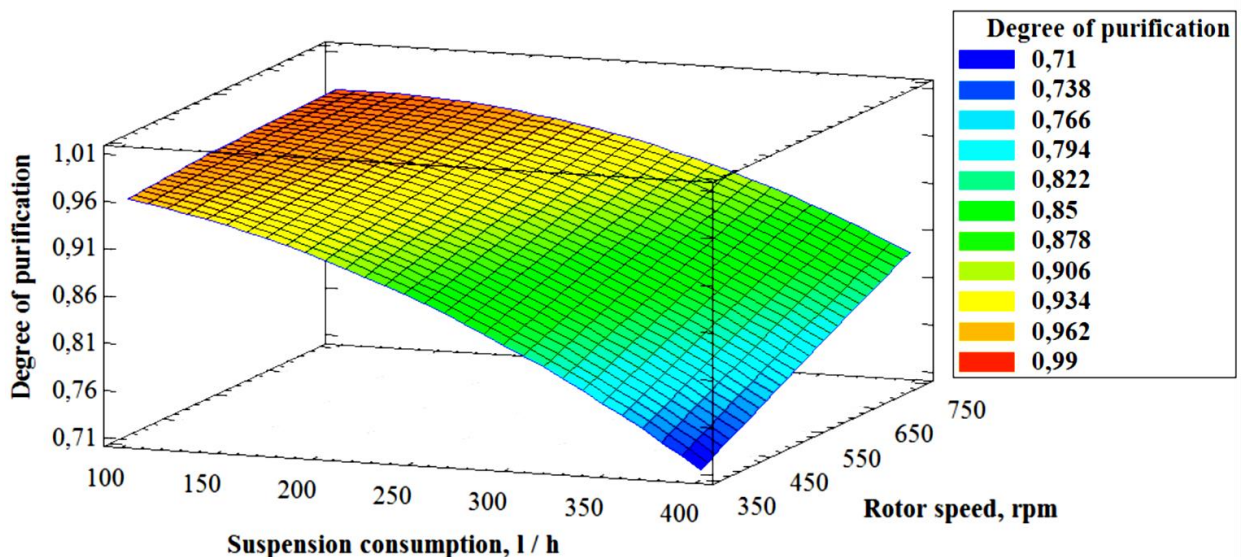


Рис. 3.5 – Залежність інтегрального ступеня очищення суспензії при варіюванні витрати суспензії та частоти обертання ротора центрифуги

Таким чином, за результатами експерименту можна зробити висновок, що ефективне поділ шламової суспензії в центрифугі можливе при малих значеннях витрати рідини 100-200 л/год, подальше збільшення витрати призводить до різкого зниження ступеня очищення. Це зумовлено турбулізацією осьового потоку, який, утворюючи завихрення, піднімає і забирає частинки дисперсної фази, що осіли на стінку ротора. Так за найнесприятливіших умов ($q_v = 400$ л/годину і $n = 350$ об/хв) інтегральний ступінь уловлювання частинок становить 0,71. Збільшення частоти обертання

ротора до 750 об/хв при тому ж значенні витрат суспензії призводить до зростання η до 0,84, що пояснюється підвищенням фактора поділу з 54,6 до 251 (табл. 3.1), який знаходиться в ступеневій залежності від швидкості обертання ротора і може бути розрахований за формулою [33]:

$$\Phi = \frac{\omega^2 R}{g} = \frac{\pi^2 R \cdot n^2}{900g}, \quad (3.2)$$

де ω – кутова швидкість ротора, с^{-1} ; R – внутрішній радіус ротора центрифуги, $R = 0,4$ м; n – частота обертання ротора, об/хв; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с².

Результати розрахунку фактора поділу для лабораторної осаджувальної центрифуги представлені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок фактора розділення лабораторної осаджувальної центрифуги

Частота обертання ротора n , об/хв	Фактор розділення, Φ
350	54,6
550	135
750	251

3.3 Розробка та дослідження технології відцентрової очистки для вторинного використання регенованої води в іригаційних системах

Підвищена енергоємність і ресурсозатратність технології підстилкового утримання ВРХ через необхідність збирання соломи з полів та її транспортування до місць утримання сільськогосподарських тварин, вивезення та утилізації відпрацьованої соломи з фекальними масами попередили широке поширення у практиці проектування та будівництва тваринницьких комплексів ферм безпідстилкової технології.

Утилізація на сільгоспугіддях продуктів життєдіяльності сільськогосподарських тварин при їх безпідстилковому розташуванні, як органомінеральне добрива або удобрювальне поливання дуже перспективна, що обумовлено, з одного боку, оптимальним співвідношенням N, P і K для

живлення рослин, а також наявністю мікроелементів, а з іншого – раціональним використанням цього ресурсу та екологізацією сільськогосподарського виробництва [9, 13].

Однак внесення необроблених спеціальними способами тваринницьких стоків, що утворюються за технології безпідстилкового утримання, призводить до зараження ґрунту і водозбірних басейнів хвороботворними бактеріями, яйцями та личинками гельмінтів. Причому особливу небезпеку для навколишнього середовища є непідготовлена рідка фаза стоків, яка за обсягом перевищує кількість твердої фракції в 7-8 разів.

Процес відділення рідкої фази від твердої фракції є визначальним у технології обробки тваринницьких стоків, так як від якості відокремлених компонентів залежить її ресурсоефективність. Дослідження в області поділу багатокомпонентних середовищ вказують на доцільність використання апаратів і машин, в основі яких лежить використання відцентрових полів [23, 24].

Розробку технології утилізації гнойових стоків здійснювали на прикладі племінної ферми (рис. 3.6).

На фермі використовують прив'язне стійлово-пасовищне утримання тварин без підстилки. Напування ВРХ здійснюють за допомогою автоматизованих клапанних напувалок АП-1А, в холодну пору року воду підігрівають нагрівачем ВЕП-6000.

Раціон тварин включає сіно, силос, коренеплоди, концентровані корми і білково-вітамінні добавки. Технологічні операції з підготовки, змішування і роздачі кормів механізовані з використанням агрегатів ДМ-250/1,1; 3-12; РСП-10.

Доїння корів проводиться за допомогою вакуумних доїльних установок АДМ-8А з молокопроводом. Гній зі стійлового приміщення періодично видаляють (один раз на добу) гідрозмивним способом. З цією метою приміщення корівника обладнано гнойовими каналами, закритими сталевими решітками і чотирма напірними баками, заповненими водою. У процесі

гідрозмиву воду подають з напірних баків в гною і на майданчики дефекації, утворена суміш потрапляє в загальний магістральний канал і далі в заглиблений гній. Для повного видалення продуктів життєдіяльності ВРХ тиск води становить 0,5 МПа. Відповідно до СП4542-87 система гідрозмиву передбачає використання непитної води.

При безпідстилковому утриманні ВРХ тваринницькі стоки являють собою 10 % суспензію, з яких 97 % – це пісок, мул, залишки кормів і твердих екскрементів, а 3 % – хвороботворні бактерії [33, 34].

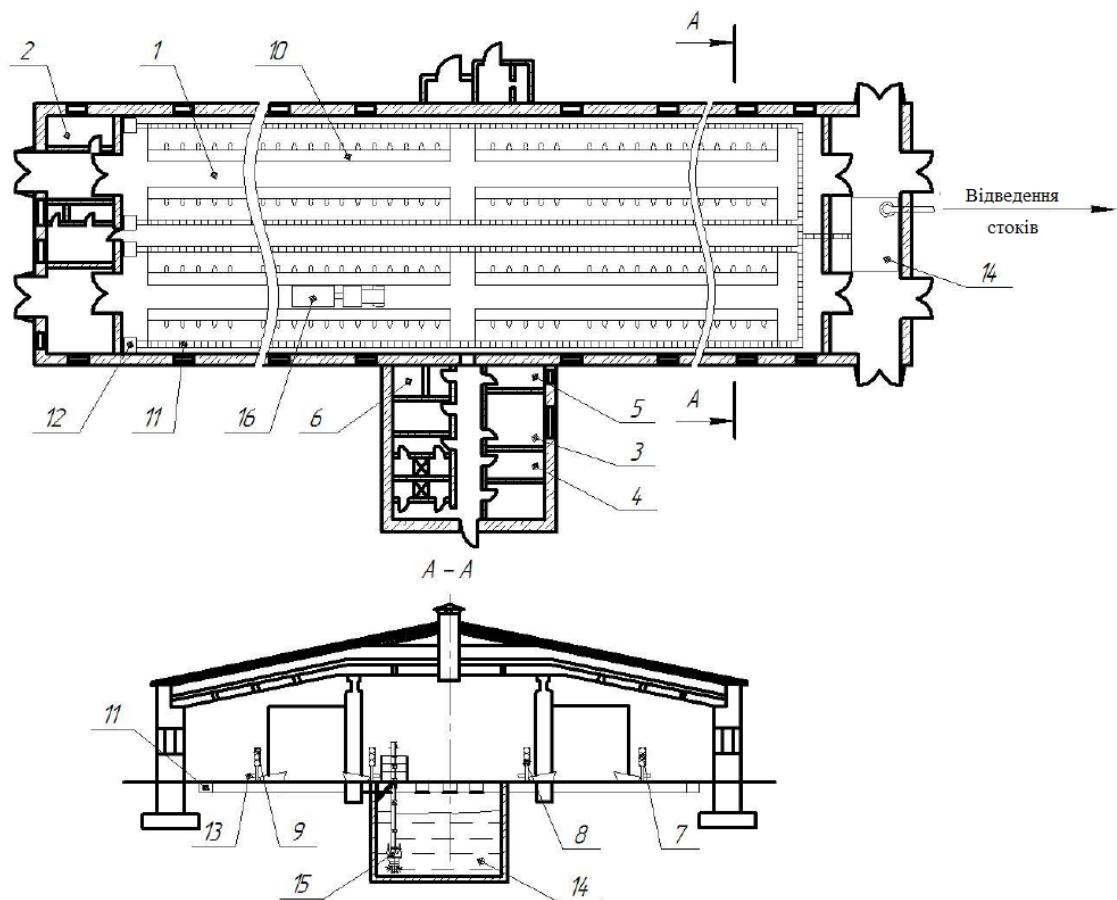


Рис. 3.6 – Корівник на 100 голів прив'язного утримання тварин: 1 – стійлове приміщення; 2 – фуражна; 3 – молочна; 4 – мийна; 5 – службове приміщення; 6 – холодильна установка; 7 – вакуумопровід; 8 – молокопровід; 9 – водопровід; 10 – годівниця; 11 – гнойовий канал; 12 – напірний бак; 13 – автонапувалка; 14 – гноєприймач; 15 – гомогенезатор; 16 – кормороздавач

Беручи до уваги фізичні властивості стоків, а також необхідність організації безперервного процесу, найбільш доцільним є використання центрифуг безперервної дії з постійним вивантаженням продуктів поділу. Цим вимогам відповідають деканторні машини зі шнековим вивантаженням осаду марки ОГШ, які забезпечують ефективність поділу до 98% при залишковій вологості осаду від 25% до 30%, що сприяє інтенсифікації його компостування.

Оптимізацію конструктивного виконання центрифуг за критерієм інтегральний ступінь очищення, що характеризує ефективність поділу тваринницьких стоків на продукти, проводили за допомогою програми, блок-схема якої представлена в попередньому розділі, продуктивність приймали з розрахунку на 100 умовних голів ВРХ.

Вихідні дані, необхідні для імітаційного моделювання, параметри досліджуваних центрифуг, а також розрахункові значення ефективності процесу відцентрового поділу представлені в таблиці 3.2. Аналіз отриманих результатів дозволяє укласти, що всі центрифуги, що розглядаються, забезпечують повне видалення механічної складової з тваринницьких стоків, при цьому винесення частинок твердої фракції не відбувається, оскільки режим осьового перебігу рідини – ламінарний ($Re_{ж} < 2300$). При цьому з метою мінімізації енергетичних витрат найбільш доцільним буде застосування центрифуги типу ОГШ-202К-03 з потужністю приводу 5,5 кВт.

Слід зазначити, що крім твердих забруднюючих компонентів, тваринницькі стоки містять патогенні мікроорганізми та паразитів, які провокують тяжкі отруєння з розвитком гнійно-запальних процесів у людей та тварин. Так мікробна засміченість тваринницьких стоків може досягати 104-105 тіл в 1 мл. Тому перед їх використанням на землеробських полях зрошення необхідним заходом є знезараження продуктів поділу.

Враховуючи концентрацію та розмір мікроорганізмів у тваринницьких стоках, їх ефективне знезараження можливе за допомогою ультра-фільтраційних установок, укомплектованих напівпроникними мембранами з

діаметром пор, що не перевищують 0,5-1,0 мкм. Найбільш підходящими для цих цілей є мікропористі плівкові мембрани, виготовлені на основі суміші ацетатів целюлози, які в робочому діапазоні тисків p від 0,1 до 1,0 МПа забезпечують ступінь очищення близький до 100%.

Таблиця 3.2 – Розрахунок ефективності розділення тваринницьких стоків осаджувальною центрифугою

Параметр	Розмірність	Позначення	Значення			
Вихідні дані						
Продуктивність	м ³ /с	q_v	1,05·10 ⁻³			
Густина частинок	кг/м ³	q_m	1400			
Густина рідкої фази	кг/м ³	$q_{ж}$	1085			
Вязкість рідкої фази	Па·с	$\mu_{ж}$	0,0025			
Початкова концентрація частинок	% мас.	x_n	10			
Коефіцієнт форми частинок	-	φ_n	1,16			
Коефіцієнт поверхні частинок	-	φ_n	0,83			
Дисперсність частинок	%	$c_{(i)}$	3	15	58	21
Розмір частинок	мк	$d_{(i)}$	50	75	125	250
Довідникові дані						
Тип центрифуги	-	-	ОГШ-202К-03	ОГШ-321К-01	ОГШ-501К-06	ОГШ-631К-02
Внутрішній радіус ротора	м	R_H	0,1	0,16	0,25	0,31
Внутрішній радіус кільцевого шару рідини	м	R_B	0,05	0,11	0,2	0,265
Довжина ротора	м	L	0,6	0,576	0,93	2,34
Потужність приводу	кВт	N	5,5	11	30	90
Частота обертання	об/хв	ω	6000	4000	2800	2000
Розрахункові дані						
Інтегральний ступінь очистки	%	η	97	97	97	97
Номинальний діаметр частинок, уловлених на 100 %	мкм	d_n	19	13	9,2	7,5
Фактор розділення	-	F_r	3015	2412	1969	1293
Критерій Рейнольдса	-	$Re_{ж}$	2190	1465	1900	1770

Згідно з отриманими результатами розрахунку необхідної поверхні F поділу її зміна в залежності від діапазону робочих тисків відбувається нелінійно (рис. 3.7). Різке зростання F спостерігається в діапазоні p від 0,5 до 0,1 МПа: для МФАС-П-5 – від 4,9 до 19,7 м², для МФАС-Б-4 – від 12,7 до 51,1 м² для МУСА-6П – від 14,1 до 56,7. При тиску ультрафільтрації від 0,5 до

1,0 МПа динаміка зміни необхідної поверхні поділу для різних типів мембран наближається до лінійної залежності і має дещо низхідний характер. Таким чином, оптимальним, на нашу думку, слід вважати тиск, що дорівнює 0,55 МПа.

Зіставляючи отримані результати, представлені на рисунках 3.7 і 3.8, з метою зниження ресурсозатрат на технологію підготовки тваринницьких стоків рекомендується для заданої продуктивності $q_v = 1,13$ кг/с (з розрахунку на 100 голів ВРХ) прийняти тип мембрани МФАС-П-5 із поверхнею ультрафільтрації при робочому тиску $p = 0,55$ МПа $F = 3,58$ м². Дана поверхня формується за рахунок скручування напівпроникної мембрани в рулон. При цьому ефективність мембранного поділу рідкої фази тваринницьких стоків при ступені концентрації $K = 10$ складе $\psi = 91\%$.

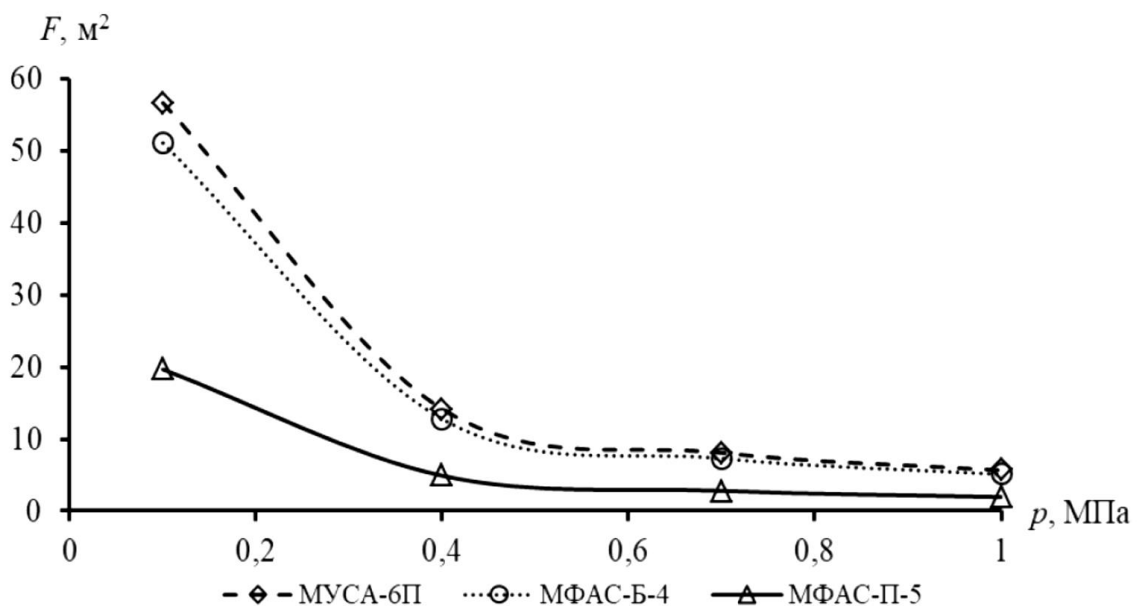


Рис. 3.7 – Залежність необхідної поверхні мембран для поділу рідкої фази тваринницьких стоків від їхнього робочого діапазону тисків

За результатами аналітичних досліджень на рис. 3.9 представлена вдосконалена технологія комплексного очищення та знезараження тваринницьких стоків з наступними потоками: I – стоки, II – рідка фаза після

центрифугування, III – тверда фракція, IV – біоорганічний концентрат (V – рідка фаза після ультрафільтрації (пермеат).

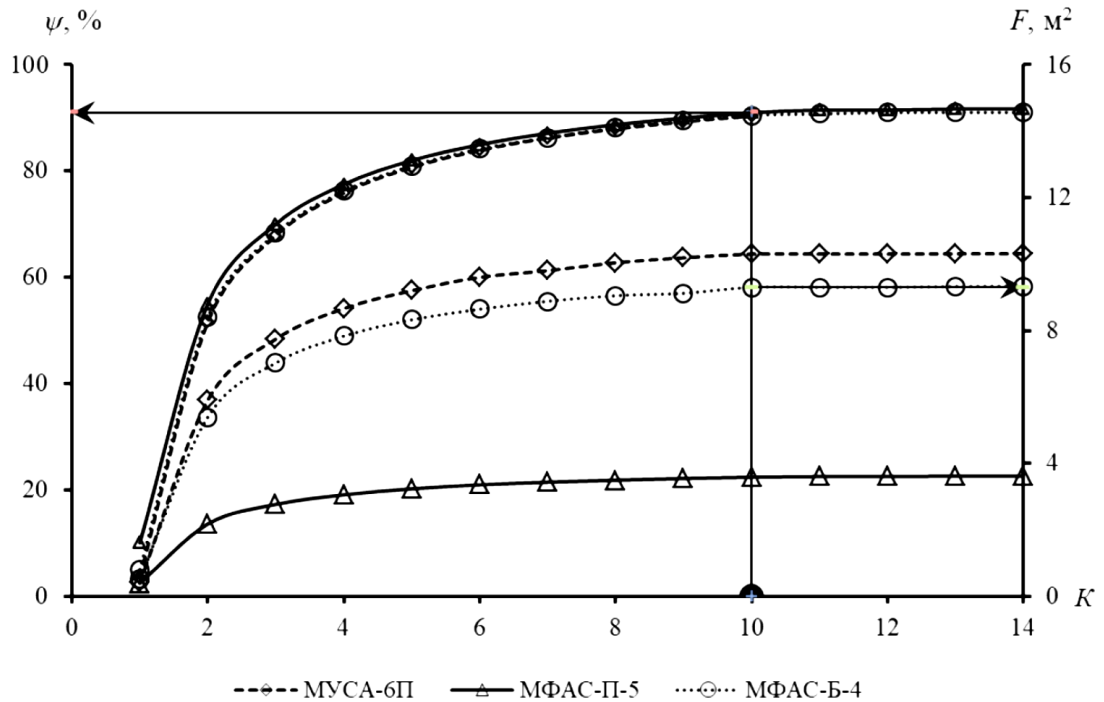


Рис. 3.8 – Ефективність роботи мембран за різного ступеня концентрування ($p = 0,55$ МПа)

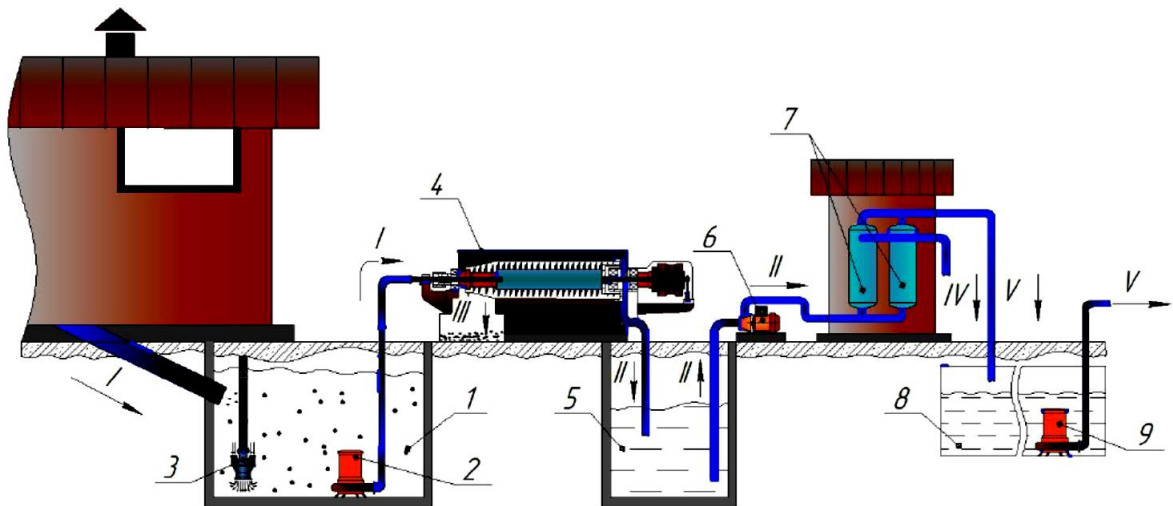


Рис. 3.9 – Схема комплексного очищення тваринницьких стоків (позиції за текстом)

Запропонована технологія реалізується в такий спосіб. Фекальні маси, що утворюються в процесі життєдіяльності сільськогосподарських тварин,

щодобово змиваються в гноєприймач 1, де за допомогою гомогенізатора 3 доводяться до однорідного складу. Гомогенізована гнойова маса фекальним насосом 2 подається в осаджувальну центрифугу 4 марки ОГШ-202К-03, де відбувається її поділ на тверду фракцію і рідку фазу, з безперервним вивантаженням осаду, що направляється на компостування.

Очищена від механічних домішок рідка фаза збирається в збірнику 5, звідки в міру наповнення відкачується насосом 6 на установку ультрафільтрації 7 для уловлювання хвороботворних бактерій і гельмінтів. Основним робочим елементом ультрафільтраційної установки є мембрана типу МФАС-П-5, скручена в рулон із загальною поверхнею 3,58 м². Після мембранного поділу ретант (біоорганічний концентрат) знезаражують, наприклад, біотермічним способом, або компостують, а пермеат самопливом відводиться в ставок-накопичувач 8, звідки насосом 9, подається на зрошувальні установки або машини для поливів сільськогосподарських культур.

3.4 Розробка та дослідження технології очищення стічних вод виробництва каустичної соди для вторинного використання осаду при мелірації

Енергетика та динаміка ґрунтоутворення, а також супутні їм процеси в ґрунтах обумовлені їх водним та тепловим режимами. Причому ґрунтова волога, яка головним чином виступає в якості регулятора теплового балансу та інших режимів ґрунтів, багато в чому визначає їх агрофізичні властивості та рівень ефективної родючості, оскільки саме ґрунтова волога лімітує інтенсивність та вектор протікання процесів біохімічної трансформації органічної речовини, формування кількості та рівень якості врожаю сільськогосподарських культур. При цьому водний режим ґрунтів визначається водним балансом, який унаслідок ґрунтово-кліматичних різниць неоднорідний для різних територій. Таким чином, в умовах підвищених

техногенних навантажень при сільськогосподарському виробництві рослинницької продукції фундаментальні питання родючості ґрунтів, формування та підтримання стабільності та продуктивності агроценозів, а також їх екології неможливо розглядати окремо від водного та харчового режимів ґрунтів.

За даними багаторічних досліджень [22], першим і необхідним заходом при розробці системи удобрення сівозміни є вапнування кислих ґрунтів, що обумовлено не тільки рентабельністю виробництва сільськогосподарських культур, а й широким спектром природоохоронної дії кальцієвих добрив на екосистему, у тому числі можливістю використання відходів виробництва, як добрив-меліорантів, і навіть ліквідації відповідних полігонів. Багатотоннажні неорганічні відходи підприємств хімічного комплексу мають високий економічний та екологічний потенціал. Він обумовлений як складом відходів, так і їх нерозривним зв'язком із природними об'єктами [14, 23].

Досвід світового землеробства показує, що на територіях з промивним режимом ґрунтів протікають процеси збіднення їх основами – головним чином кальцієм. У зв'язку з цим проведення заходів з хімічної меліорації ґрунтів має бути обов'язковим і регулярним, так як реакція середовища та насиченість ґрунтового поглинаючого комплексу основами (які є одними з фундаментальних показників ґрунтової родючості) багато в чому визначають ефективність агротехніки виробництва сільськогосподарських культур [12].

Традиційним способом отримання кальцієвих добрив-меліорантів є розробка вапняних осадових порід, з яких шляхом їх подрібнення отримують доломітове та вапняне борошно. Однак ці технології отримання сировини вимагають розробки кар'єрів, будівництва підземних шляхів, що подрібнюють станцій, що в цілому негативно позначається на екологічній обстановці природного середовища і призводить до суттєвих економічних витрат.

Альтернативним способом отримання вапняних добрив-меліорантів вважається переробка відходів підприємств хімічного комплексу, які,

використовуючи як сировину розсіл хлориду натрію (NaCl) та випускають широкий спектр побутової хімії та засобів гігієни [90].

Для ефективного виділення осаду з адгезійними властивостями із шламової суспензії нами запропоновано використовувати осаджувальну центрифугу марки ОМБ-803 з маятниковими опорами. Вибір цієї машини обумовлений необхідністю компенсації вібрацій, що виникають внаслідок утворення нерівномірного шару осаду на суцільному поверхні ротора.

Оптимізацію параметрів режиму роботи центрифуги проводили з використанням математичної моделі, що ґрунтується на залежностях, представлених у попередньому розділі. Номінальний діаметр уловлених частинок і частки уловлених частинок кожної фракції визначали з використанням методу половинного поділу:

$$3\chi^2 - 2\chi^3 = \frac{v_{\theta}}{v_n}. \quad (3.3)$$

При моделюванні процесу центрифугування параметри режиму роботи машини вибирали з урахуванням забезпечення ламінарного течії висхідного рідкофазного дисперсного потоку по поверхні суцільного ротора, що характеризується числом Рейнольдса $Re_{ж} \leq 2300$. Перевищення $Re_{ж} > 2300$ призводить до турбулізації осьового потоку і, відповідно, Через це спостерігається зниження ступеня очищення суспензії, що обробляється внаслідок віднесення частинок твердої фракції, що осіли на стінку ротора. Значення числа Рейнольдса визначали за такою формулою:

$$Re_{ж} = \frac{2\rho_{ж}q_v}{3,14R_H\mu_{ж}}. \quad (3.4)$$

Вихідні та довідкові дані, необхідні для аналітичного рішення математичної моделі, а також параметри, що варіюються, представлені в табл. 3.3.

Аналітичне рішення математичної моделі з виходом на номінальний діаметр уловлених частинок та інтегральний ступінь очищення оброблюваної суспензії, що визначається як сума локальних уловлених фракцій, показано на рис. 3.9. З підвищенням продуктивності q_v від 100 до 400 л/годину

номінальний діаметр уловлених частинок зростає: при $n = 350$ об/хв – з 50 до 290 мкм, при $n = 550$ об/хв – з 45 до 275 мкм, а при $n = 750$ об/хв – з 40 до 175 мкм.

Таблиця 3.3 – Розрахунок ефективності розділення суспензії в осаджувальній центрифугі марки ОМБ-803

Назва параметрів	Розмірність	Позначення	Величина			
Вихідні дані						
Густина частинок	кг/м ³	ρ_m	2220			
Густина суспензії	кг/м ³	$\rho_{ж}$	1200			
В'язкість суспензії	Па·с	$\mu_{ж}$	0,0025			
Концентрація частинок	%	x_n	5			
Коефіцієнт форми частинок	-	φ_f	1,45			
Коефіцієнт поверхні частинок	-	$\varphi_{ж}$	1,33			
Щільність розподілу частинок	%	$c_{(i)}$				
Діаметр частинок по фракціях	мк	$d_{(i)}$				
Довідникові дані						
Внутрішній діаметр ротора	м	R_n	0,4			
Внутрішній радіус кільцевого шару рідини	м	R_B	0,35			
Довжина ротора	м	H	0,4			
Потужність привода	кВт	p	7,5			
Варійовані параметри						
Витрата суспензії	л/год	q_v	100	200	300	400
Частота обертання ротора	об/хв	n	350	550	750	

Динаміка показника інтегральний рівень очищення η носить кардинально протилежний характер. При мінімальній витраті 100 л/год і незалежно від частоти обертання ротора n інтегральний ступінь очищення суспензії, що обробляється, становить 100%. Зі збільшенням q_v до 400 л/год η знижується до 90% при $n = 750$ об/хв, до 81% при $n = 550$ об/хв і до 70% при $n = 350$ об/хв.

В умовах натурального моделювання (позначено маркерами на рис. 3.10) тенденція зниження η з підвищенням продуктивності та, навпаки, збільшення

η зі зростанням частоти обертання ротора n зберігається. Розбіжність досвідчених результатів від теоретичних спостережень вбирається у 5%, а адекватність математичної моделі підтверджується перевищенням критичного значення критерію Фішера, знайденого за довідковими таблицями [5], над його розрахунковим значенням.

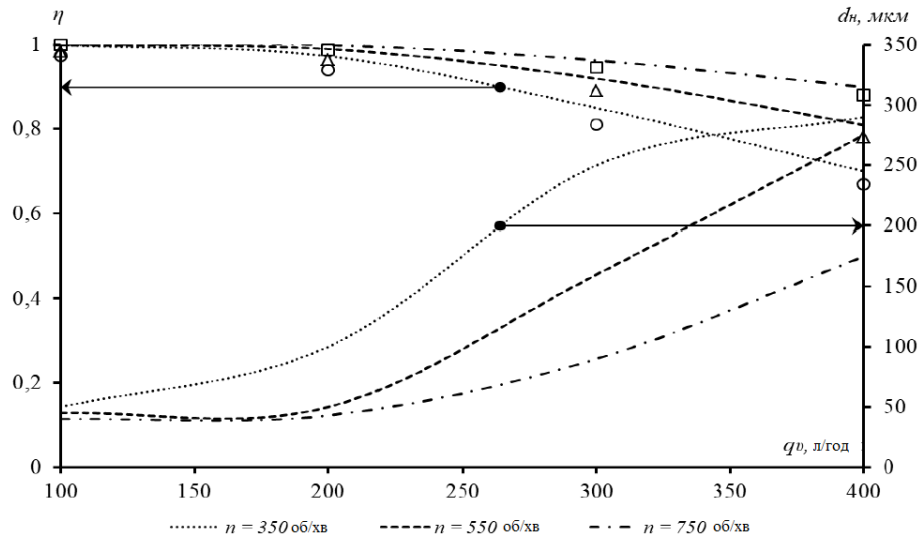


Рис. 3.10 – Ефективність поділу суспензії, що обробляється, в центрифугі при варіюванні параметрів режиму процесу в умовах імітаційного та натурального моделювання

Таким чином, модернізація технології підготовки розсолу $NaCl$ для виробничих потреб шляхом встановлення центрифуги ОМБ-803 для осадження з шламової суспензії, що надходить з освітлювача, кальцієвого осаду забезпечує отримання додаткового продукту – добрива меліоранта для вапнування кислих ґрунтів, та економію води на підприємстві за рахунок її рециркуляції, а не утилізації на ставки-накопичувачі.

За результатами моделювання процесу відцентрового поділу шламової суспензії $NaCl$ встановлено, що ефективне вловлювання кальційвмісного осаду досягається при q_v від 100 до 200 л/годину і $n = 350$ об/хв.

Для підвищення продуктивності осаджувальної центрифуги та збереження значення $\eta \approx 100\%$ необхідно забезпечувати частоту обертання ротору не нижче 750 об/хв.

РОЗДІЛ 4 ПЕРСПЕКТИВНІ КОНСТРУКТОРСЬКІ РІШЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВІДЦЕНТРОВОГО РОЗДІЛЕННЯ

В останні роки спостерігається підвищений інтерес до машин і апаратів, що використовують у своїй роботі сили відцентрового поля для виділення дисперсної складової з рідкої фази [19]. Можливість відокремлення частинок розміром більше 5 мкм при їх концентрації в суспензії до 40 % робить це обладнання незамінним у системах водоочищення. Однак використання типових конструкцій не завжди забезпечує необхідну продуктивність, оскільки утворюється при розділенні суспензій осад, ущільнюється і призводить до підвищення гідравлічного опору.

Для інтенсифікації відцентрового поділу і, відповідно, підвищення продуктивності була розроблена фільтруюча центрифуга, конструкція якої включає кожух 3 з встановленим всередині ро-тором 4, оснащеним ситом 5 (рис. 4.1).

Обертання ротора з ситом здійснюється через вертикально розташований вал 1 за допомогою електроприводу 2. Осе-симетрично валу в роторі на штанзі 6 жорстко закріплений диск 7, виконаний у формі еліпса, а в нижній частині ротора встановлено кільце 8, що має також форму еліпса, при цьому необхідно дотримуватися наступного співвідношення $d/D = 0,82-0,92$.

Для подачі суспензії та відведення очищеної рідини (фугату) центрифуга оснащена штуцерами 9 та 10 відповідно.

Центрифуга працює в такий спосіб. Фільтрована рідина подають через штуцер 9 в нижню частину циліндричного ротора 4, де знаходиться щілинний зазор між диском 7 і кільцем 8. Одночасно включають електропривод 2, який обертає вал 1 з прикріпленим до нього ротором.

Під дією відцентрової сили рідина притискається до бічної стінки циліндричного ротора 4 і продавлюється через сита отвори 5, при цьому механічні частинки затримуються на його внутрішній поверхні. Так як диск 7 і кільце 8 мають форму еліпса, то при обертанні кільця 8 навколо диска 7

щілинний зазор між деталями постійно змінюється – то зменшуючись до мінімуму, то зростаючи до максимуму.

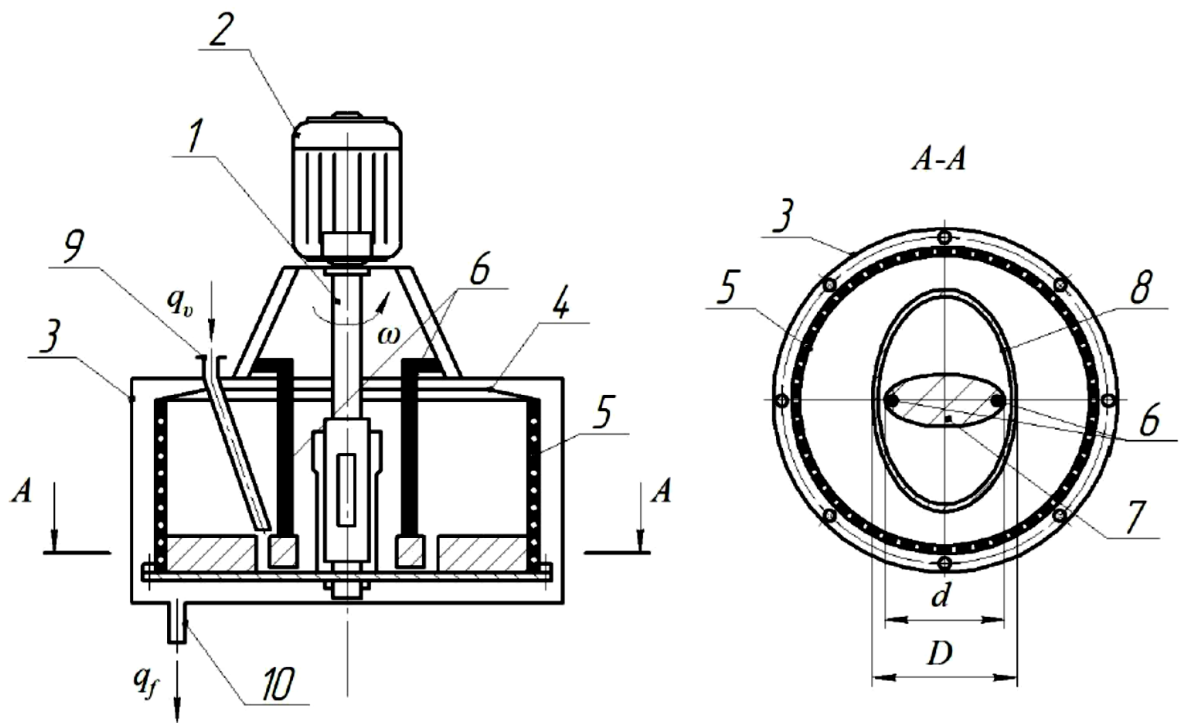


Рис. 4.1 – Схема фільтруючої центрифуги (позиції за текстом)

Циклічна зміна щілинного зазору сприяє зміні від максимуму до мінімуму моменту опору при обертанні кільця 8 щодо диска 7. За один оберт валу 1 зміни моменту опору відбуваються двічі, відповідно, то загальмовуючи, то прискорюючи обертання кільця 7 разом з валом 1 і ротором 4. Крутильні коливання приводять до тиксотропного розрідження осаду, що накопичується на внутрішній стінці сита 5, зменшенню його ефективної в'язкості і стіканню осаду на дно циліндричного ротора 4. Безперервне розрідження осаду зменшує його гідравлічний опір, збільшує швидкість відцентрової фільтрації через сито і призводить до зростання продуктивності.

Найчастіше в сільському господарстві та промисловості зустрічаються високомолекулярні колоїдні розчини, а також рідини з великим вмістом асфальтенів і парафінів, що відрізняються неоднорідною структурою і мають високу в'язкість, що створює ряд труднощів при поділі їх на компоненти.

Вирішенням проблеми очищення неньютонівських рідин може стати фільтруюча центрифуга (рис. 4.2) [17], яка включає перфорований ротор 2, еліптичний валик 4, закріплений на валу 3 в корпусі 1.

Для подачі вихідної суспензії та відведення фільтрату центрифуга обладнана штуцерами 5 та 6 відповідно. Обертання перфорованого ротора та еліптичного валика здійснюється за допомогою двох електродвигунів 7 та 8, при цьому вся конструкція встановлена на платформі, закріпленій на опорних циліндричних пружинах 9, пружність яких визначається за формулою:

$$a = \frac{(4\pi\omega)^2 m}{n}, \quad (4.1)$$

де ω – швидкість обертання приводу, об/с;

m – маса платформи із центрифугою, заповненою суспензією, кг;

n – кількість опорних пружин, шт.

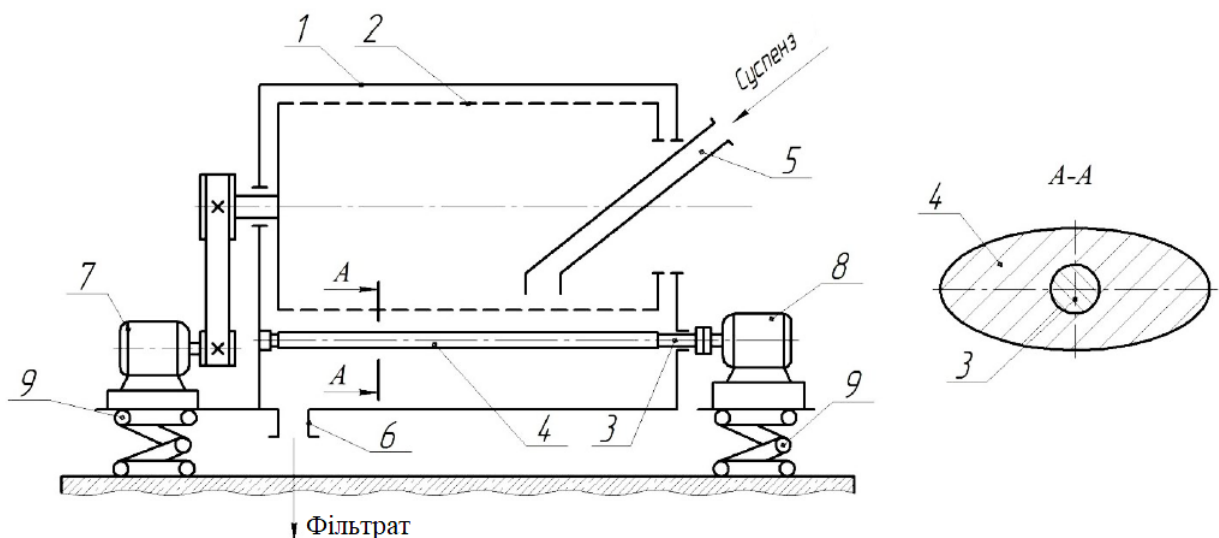


Рис. 4.2 – Схема центрифуги для високов'язких суспензій (позиції по тексту)

Установка центрифуги, що фільтрує, на платформу з опорними пружинами сприяє створенню безперервних коливань ротора центрифуги, і, як наслідок, до руйнування структури високов'язкої рідини і збільшення швидкості її фільтрування. Також варто відзначити, що безперервна вібрація конструкції в сукупності з обертанням еліптичного валика забезпечують

очищення пор фільтрувального матеріалу від частинок осаду, тим самим зберігаючи швидкість постійної фільтрації.

Під час роботи центрифуги вихідна суспензія, що володіє властивостями неньютонівської рідини, подається в ротор, що обертається 2 через штуцер 5 і під дією відцентрових сил в сукупності з вібраційними коливаннями рівномірно розподіляється по всій його поверхні і фільтрується. У міру проведення процесу дрібні частинки твердої фракції проникають углиб фільтрувального матеріалу та закупорюють його пори.

Обертання еліптичного валика, закріпленого в зазорі між корпусом 1 і обертовим ротором 2, сприяє появі ефекту гідроклина, що створює протитиск, який вибиває дрібні частинки, що застрягли у фільтрувальному матеріалі, і руйнує шар утвореного осаду. Таким чином, відбувається регенерація фільтрувального матеріалу і зниження опору осаду, що в сукупності дозволяє інтенсифікувати поділ неньютонівських рідин в поле відцентрових сил.

Крім відділення механічних домішок на практиці виникає необхідність поділу високомолекулярних сполук, колоїдних розчинів, а також відділення біоорганічних забруднень (бактерії, віруси та паразити). В останні роки для вирішення сформульованих завдань все частіше застосовується мембранний поділ, в основі якого лежить здатність напівпроникних мембран вільно пропускати низькомолекулярні з'єднання і затримувати високомолекулярні компоненти. Загальновизнаним недоліком у роботі мембранних установок вважається необхідність створення високого надлишкового тиску, що зумовлює необхідність використання енергоємного насосного та компресорного обладнання. З метою мінімізації енергетичних витрат розроблено конструкцію маятникової центрифуги, схема якої зображена на рис. 4.3 [27].

При роботі центрифуги вихідна суспензія подається у всередину перфорованого ротора 2, який приводиться в обертання електродвигуном через шків за допомогою клинопасової передачі, через штуцер 6. Під дією

відцентрової сили суспензія притискається до бічної стінки ротора 2 і під дією відцентрового тиску закріплений на внутрішній стінці.

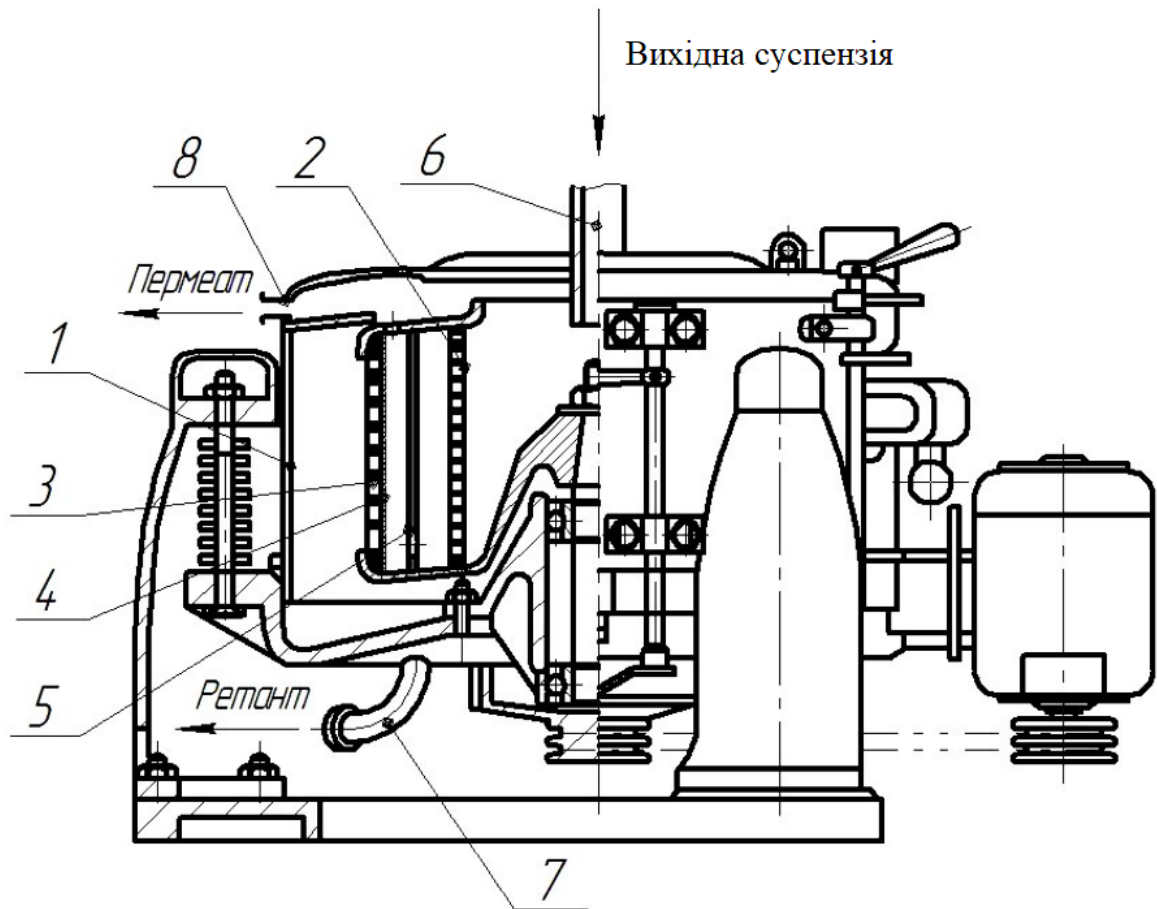


Рис. 4.3 – Маятникова центрифуга (позиції за текстом)

Очищений від частинок дисперсної фази фільтрат відцентрової силою притискається до циліндричної перегородки 5 і, пройшовши через отвір, розташований в її нижній частині, притискається до поверхні напівпроникної мембрани 4, закріпленої на бічній поверхні додаткового перфорованого ротора 3. Під дією градієнта тиску, йде процес ультрафільтрації на напівпроникній мембрані з утворенням пермеату, який являє собою рідкий компонент, очищений від високомолекулярних сполук та біоорганічних забруднень. Отриманий пермеат виводиться із кожуха центрифуги через штуцер 7, а концентрований розчин фільтрату (ретант) через штуцер 8.

Вивантаження осаду, що утворюється на фільтрувальному матеріалі, здійснюється періодично, при цьому подачу рідини, що очищається, припиняють, електродвигун вимикають і після повної зупинки роторів 2 і 3, вручну видаляють осад через борт. При цьому напівпроникна мембрана 4 такої чистки не вимагає, так як всі сконцентровані домішки у вигляді ретанта виходять через отвір у верхній кришці ротора 2 і далі по патрубку 8 з кожуха 1.

Застосування додаткового перфорованого ротора 3 з напівпроникною мембраною 4 дозволяє поєднати механічну обробку та мембранний поділ високомолекулярних сполук за один технологічний прийом, що сприяє інтенсифікації процесу очищення суспензій та є більш раціональним з позиції ресурсозатрат. Невід'ємною складовою технологічних ліній, що передбачають перекачування рідин, є лопатеві насоси, повсюдне застосування яких обумовлено простотою конструкції, економічністю та високою надійністю. В результаті проведених досліджень, була запропонована конструкція відцентрового насоса, що дозволяє не тільки перемішувати робочі рідини, а й відокремлювати високомолекулярні сполуки та біоорганічний концентрат на напівпроникній мембрані (рис. 4.4).

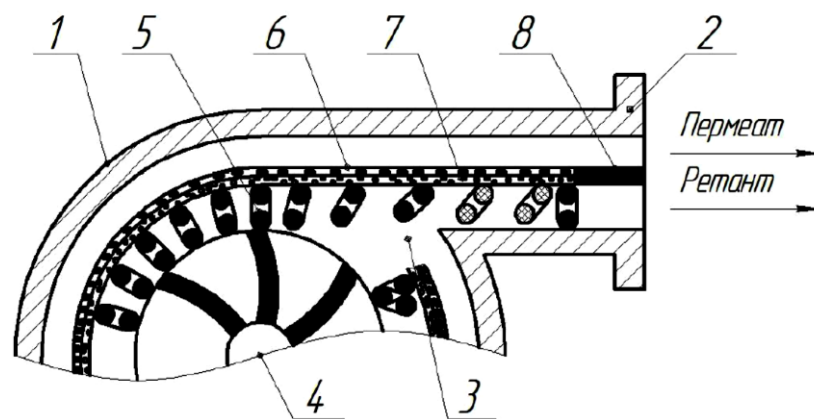


Рис. 4.4 – Схема відцентрового насоса (позиції за текстом)

Основним робочим органом пристрою є лопатеве колесо 4, встановлене в кільцевій камері 3 корпусу 1. У свою чергу, кільцева камера насоса поділена на дві частини за допомогою перфорованої торової перегородки 6, на якій за допомогою дротяної спіралі 5 закріплена напівпроникна мембрана 7.

Відведення робочої рідини з насоса здійснюється через нагнітальний патрубок 2, на виході якого встановлена суцільна перегородка 8.

При роботі відцентрового насоса рідина, що підлягає обробці, надходить в робочу камеру 3 за рахунок обертання лопатевого колеса 4 і під дією градієнта тиску, обумовленого відцентровою силою, частково продавлюється через напівпроникну мембрану 7, закріплену на перфорованій тороподібній перегородці. Частина рідини, що не пройшла крізь мембрану, становить внутрішній шар потоку і є концентратом високомолекулярних сполук (ретантом). Наявність суцільної перегородки 8 в нагнітальному патрубку 2 перешкоджає змішанню потоків, що утворилися, і сприяє безперешкодному збору рідин в окремі ємності (не показано). Варто відзначити, що дротяна спіраль, забезпечена текстильною оболонкою, забезпечує не тільки притискання мембрани до перфорованої перегородки, але і сприяє закручуванню і турбулізації внутрішнього потоку, що нагнітається (ретанта). Тим самим запобігаючи концентраційній поляризації молекул, що знаходяться поблизу напівпроникної мембрани, і інтенсифікуючи поділ оброблюваної рідини.

Таким чином, конструкція відцентрового насоса дозволяє поєднувати перекачування рідини з процесом ультрафільтрації на напівпроникної мембрані, що тягне за собою зниження ремонтно-експлуатаційних витрат на обробку гетерогенних рідкофазних систем.

ВИСНОВКИ

1. Гідродинамічна структура рідкофазного дисперсного потоку в центрифугі з суцільним і перфорованим роторами відповідає моделі послідовного з'єднання двох осередків нерівного об'єму. З збільшенням частоти обертання перфорованого ротора від 350 до 750 об/хв обсяг застійних зон нелінійно знижується з 12,5 % до 8,0 %, у варіанті з суцільним ротором при тих же технологічних режимах – становить близько 10,0 %. Отримані результати дослідження доводять, що центрифуги з суцільним ротором або осаджувальні центрифуги в системах обробки рідкофазних дисперсних відходів характеризуються високою ефективністю поділу при відносно малих енергетичних витратах.

2. На основі детермінованого і стохастичного підходів розроблена математична модель розділової здатності осаджувальної центрифуги з одно- і двошаровим кільцевими перебігами рідкофазної дисперсної системи з виходом на локальний та інтегральний ступінь уловлювання дисперсних частинок, заснована на рівності часу перебування і часу осадження. За результатами імітаційного моделювання розділової здатності осаджувальної центрифуги типу ОТР встановлено, що при одношаровому кільцевому перебігу модельної рідкофазної дисперсної системи η досягає 90%, у тому числі 100% для дисперсних частинок діаметром більше 2,0 мкм. При двошаровому кільцевому перебігу з часткою рециклу від 1,0 до 1,5 η зростає до 96%, а d_n зменшується до 1,6 мкм. Таким чином, застосування двошарового кільцевого перебігу рідкофазної дисперсної системи забезпечує збільшення інтегрального ступеня її очищення за рахунок зменшення номінального діаметра частинок, що вловлюються.

3. Ефективний поділ рідкофазної дисперсної системи в осаджувальній центрифугі досягається при малих значеннях витрати рідини 100-200 л / год, подальше збільшення витрати призводить до різкого зниження ступеня очищення. Це зумовлено турбулізацією осьового потоку, який, утворюючи завихрення, піднімає і забирає дисперсні частинки, що осіли на стінку ротора.

Так за найнесприятливіших умов ($q_v = 400$ л/годину і $n = 350$ об/хв) інтегральний ступінь уловлювання дисперсних частинок становить 0,71. Збільшення частоти обертання ротора до 750 об/хв при тому ж значенні витрати суспензії призводить до зростання η до 0,84, що пояснюється підвищенням фактора поділу з 54,6 до 251.

4. Запропоновано вдосконалену технологічну схему очищення та знезараження ЖВС великої рогатої худоби з використанням осаджувальних центрифуг безперервної дії з постійним шнековим вивантаженням продуктів поділу типу ОГШ та ультрафільтраційних установок з мікропористими плівковими мембранами на основі суміші ацетатів целюлози. Встановлено, що серійні центрифуги забезпечують 97 % ступінь очищення ЖВС від дисперсної складової, при цьому з позицій енергоефективності найбільш доцільно застосування машин типу ОГШ-202К-03 з потужністю приводу 5,5 кВт. Використання мембрани МФАС-П-5, що забезпечує ефективне вловлювання хвороботворних мікроорганізмів на рівні $\psi = 91\%$ при робочій поверхні $F = 3,58$ м² (продуктивність з розрахунку на 100 умовних голів ВРХ), робочому тиску $p = 0,55$ МПа та степені концентрації $K = 10$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54, 1. P. 95–104.
2. Bulgakov V., Sevostianov I., Kaletnik G., Babyn I., Ivanovs S., Holovach I., Ihnatiev Y. Theoretical Studies of the Vibration Process of the Dryer for Waste of Food. *Rural sustainability research* 44(339), 2020.
3. Honcharuk I. Use of wastes of the livestock industry as a possibility for increasing the efficiency of aic and replenishing the energy balance. *Visegrad Journal on Bioeconomy and Sustainable Development*. 2020. vol. 9, № 1. P. 9–14 (online) (Index Copernicus)
4. Honcharuk I., Kovalchuk S. Agricultural Production Greening Management in the Eastern Partnership countries with the EU. The theoretical and practical aspects of the development of the European Research Area: monograph. Riga, Latvia: Publishing House «Baltija Publishing», 2020. P. 42-68.
5. Kaletnik G., Honcharuk I., Okhota Yu. The Waste-Free Production Development for the Energy Autonomy Formation of Ukrainian Agricultural Enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2020. (Volume XI, Summer), № 3(43). P. 513-522 (Scopus).
6. Kaletnik G., Honcharuk I., Yemchyk T., Okhota Y. The World Experience in the Regulation of the Land Circulation. *European Journal of Sustainable Development*. 2020. №9(2). P. 557-568 (Scopus).
7. Kaletnik H., Sevostianov I., Bulgakov V., Holovach I., Melnik V., Ihnatiev Ye, Olt J. Development and examination of high-performance fluidisedbed vibration drier for processing food production waste. *Agronomy Research*. 18(4), 2020. P. 2391-2409.
8. Kobets A. S., Naumenko M. M., Ponomarenko N. O., Kharytonov M. M., Velychko O. P., Yaropud V. M. Design substantiation of the three-tier centrifugal type mineral fertilizers spreader. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53, 3. P. 13–20.

9. Pryshliak N., Lutsiak V., Tokarchuk D., Semchuk I. The Empirical Research of the Potential, Awareness, and Current State of Agricultural Waste Use to Ensure Energy Autonomy of Agricultural Enterprises of Ukraine. *Journal of Environmental Management and Tourism*, (Volume XI, Winter), 2020, 7(47). P. 1634 -1648. (Scopus).

10. Pryshliak N., Tokarchuk D. Socio-economic and environmental benefits of biofuel production development from agricultural waste in Ukraine. *Environmental and socio-economic studies*. 2020. №8(1). P. 18-27 (Scopus, WoS).

11. Sevostianov I., Ivanchuk Ya., Kravets S. Elaboration and researches of highly effective installation for vibro-blowing dehydration of dispersive waste of food productions. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №3 (110). С. 24-33.

12. Sevostianov I., Kraevsky S. Intensification of mixing of heterogeneous food mixtures under the impact of ultrasonic vibrations. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №4 (111). С. 80 – 89.

13. Sevostianov I., S. Kravets, M. Pidlypna. Use of criterial synthesis and analysis for modernization of objects of machine building production. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №2 (109). С. 88-96.

14. Sevostianov, I. V., Ivanchuk Ya. V., Polishchuk, O. V. Lutsyk, V. L., Dobrovolska, K. V., Smailova S., Wójcik, W., Kalizhanova A. Development of the scheme of the installation for mechanical wastewater treatment. *Journal of Ecological Engineering*, 2021. Volume 22, Issue 1. P. 20-28.

15. Tokarchuk D. Methodology of calculating the cost of production of biofuels from agricultural waste, share of replacement of traditional fuels by them and economic benefits from such substitution. *Colloquium-journal*. 2020. №27(79). P. 21-29 (Index Copernicus).

16. Varchenko O., Krysanov D., Shubravska O., Khakhula L., Gavryk O., Byba V., Honcharuk I. Supply Chain Strategy in Modernization of State Support Instruments for Small Farms in Ukraine. *International Journal of Supply Chain Management*. 2020. Vol. 9. № 1. P. 536-543 (Scopus).

17. Бандура В. Математичні моделі режимів функціонування екстракторів з мікрохвильовим підведенням теплоти / В. Бандура, Б. Котов, Р. Калініченко // *Енергетика і автоматика*. – 2018. – №5. – С.183-194.

18. Берник І.М. Інтенсифікація процесу екстрагування рослинної сировини з використанням ультразвукової кавітації / І.М. Берник // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2017. – №2 (98). – С.69-73.

19. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В.. Прикладна механіка: Навчальний посібник. *Київ : Аграр. наука*, 2016. 816 с.

20. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. вузів. *Київ : Друк*, 2005. 464 с.

21. Гевко Б. М. Технологія сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб / Б. М. Гевко, І. Б. Гевко, Д. Л. Радик. – К. : Кондор, 2006. – 496 с.

22. Гончарук І.В., Вовк В.Ю. Понятійний апарат категорії сільськогосподарські відходи, їх класифікація та перспективи подальшого використання для виробництва біоенергії. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020. №3(53). С.23-38 (Index Copernicus).

23. Гунько І. В., Севостьянов І. В., Орлюк Ю. Т. Дослідження напрямків удосконалення пластинчастих теплообмінників. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2019. №2 (105). С. 59-65.

24. Гуцол О. П., Ковбаса В.П., Курка В.П., К определению физических уравнений упруговязкопластической среды с условием разрушения по модифицированному критерию кулона-мора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. №2, 11. С. 162-175.

25. Довідник з механізації приготування та внесення добрив / В.М. Соколов, Ю. Г. Вожик, М.К. Лінник, Ф.П. Смаковський; ред. В. М. Соколов. – К. : Урожай, 1983. – 150 с.

26. Довідник по регулюванню сільськогосподарських машин / В. І. Кочев, А. С. Кушнар'ов, В. Д. Роговий, П. П. Карпуша [та ін.]; за ред. В. І. Кочева. – К. : Урожай, 1985. – 312 с.

27. Іскович-Лотоцький Р. Д., Обертюх Р. Р., Севостьянов І. В. Процеси та машини вібраційних і віброударних технологій. Монографія. Вінниця: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. 291 с.

28. Калетнік Г. М., Гончарук І. В., Ємчик Т. В., Лутковська С. М. Аграрна політика та земельні відносини. Частина 1: підручник. Вінниця: ВНАУ, 2020. 307 с.

29. Калетнік Г.М., Токарчук Д.М., Скорук О.П. Організація і економіка використання біоресурсів: підручник. Вид. 2-ге, переробл. і доповн. Вінниця: ТОВ «ДРУК», 2020. 371 с.

30. Кириленко І.В. Токарчук Д.М. Ефективна організація використання відходів аграрних підприємств у формуванні енергетичної та екологічної безпеки. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2020. №2. С. 66-83 (Index Copernicus).

31. Кобець А. С. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин: практикум / А. С. Кобець, О. М. Кобець, А. М. Пугач. – Дніпропетровськ : Свідлер А. Л., 2011. – 163 с.

32. Ковбаса В. П., Алі Ахмед Кадем, Калініченко Д. Ю. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його коливань. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. № 1. С. 36-41.

33. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ: навч. посібник. *Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М.*, 2015. 536 с.

34. Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П., В.М. Волошиненко Математична модель динаміки: середовище – пружний шнек екструдера. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки*. 2016. Вип. 1, 93. С. 43-47.

35. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. Вібрації в техніці та технологіях. 2018. №3. С. 44-52.

36. Лозановская И.Н. Теория и практика использования органических удобрений. / Лозановская И.Н., Орлов Д.С., Попов П.Д. – М.: ВО Агропромиздат, 1988, 96 с.

37. Малаков О.І., Бурлака С.А., Михальова Ю.О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. Вісник Хмельницького національного університету. 2019. 5, 277. С. 30-33.

38. Матвійчук В.А., Любін М.В., Токарчук О.А., Рубаненко О.О. Особливості частотно-регульованого електроприводу для транспортуючих систем АПК. Хмельницький: Вісник Хмельницького національного університету, серія: Технічні науки, 2018 р., №6, С. 39-43

39. Механізація транспортуючих робіт: [навч. посіб.]. Ч. II : Транспортуючі машини без тягового органу / М. В. Любін. - Вінниця: ВНАУ, 2010. - 230 с.

40. Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу / Р.Д.Іскович-Лотоцький, О.В. Зелінська, Н.Р.Веселовська, Я.П. Веселовський // Техніка енергетики транспорт АПК – №2(97) – 2017. – С. 109-114

41. Паламарчук И.П. Перспективы использования комбинированного вибромеханического действия в процессах перерабатывающих и пищевых производств / И.П. Паламарчук, О.В. Цуркан, А.Ю. Гурич // Вібрації в техніці та технологіях. – 2016. – №2 (82). – С.100-108.

42. Паламарчук І.П. Дослідження реологічних характеристик зернової крохмалевмісної сировини спиртового виробництва / І.П. Паламарчук, В.П.Янович, І.М. Купчук // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2016. – №3(95). – С. 24-30

43. Пришляк Н.В., Паламаренко Я.В., Березюк С.В. Стратегічне управління інноваційним розвитком взаємопов'язані галузей з виробництва біопалива. Монографія. ВНАУ. 2020. 404 с.

44. Пришляк Н.В., Токарчук Д.М., Паламаренко Я.В. Рекомендації з вибору оптимальної сировини для виробництва біогазу на основі експериментальних даних щодо енергетичної цінності відходів. *Інвестиції: практика та досвід*. 2020. №24. С. 58-66.

45. Севостьянов И. В. Процессы и оборудование для виброударного разделения пищевых отходов. Монография. Saarbrücken: LAB LAMBERT Academic Publishing, 2013. 417 с.

46. Севостьянов И. В. Підвищення продуктивного потенціалу земель за рахунок удосконалення технології та обладнання для розчинення мінеральних речовин у біологічних добривах. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2019. №3 (106). С. 26-34.

47. Севостьянов И. В. Технологія та обладнання для віброударного зневоднення вологих дисперсних матеріалів : монографія. Вінниця : ВНАУ, 2020. 303 с.

48. Севостьянов И. В., Грицун А. В., Бабін І. А. Обладнання для високоефективного очищення стічних вод на підприємствах АПК. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2019. №1 (104). С. 29-39.

49. Севостьянов И. В., Зозуляк І. А. Технологічне обладнання цехів переробки продукції тваринництва. Навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2020. 127 с. ISBN 978-617-7789-16-0.

50. Севостьянов И. В., Іскович-Лотоцький Р. Д. Підвищення ефективності роботи машин для розмелювання дисперсних матеріалів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2008. №3. С. 88-93.

51. Севостьянов И. В., Луцик В. Л. Установка для багатостадійного зневоднення відходів харчових виробництв. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2017. №1. С. 105-113.

52. Севостьянов І. В., Токарчук О.А., Горбаченко А.А. Розробка технології для високоефективного безперервного очищення стічних вод переробних підприємств. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2020. №3 (110). С. 103- 116.

53. Сивак Р.І. Короткий курс теоретичної механіки / Р.І. Сивак, І.А. Деревенько. – Вінниця: ТОВ «Вінницька міська друкарня», 2016. – 200 с.

54. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання практичних робіт / О.В. Солона, І.М. Купчук – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 116 с.

55. Солона О.В. Прикладна механіка. Методичні рекомендації для виконання курсового проекту / О.В. Солона, І.М. Купчук, В.І. Паламарчук. – Вінниця: ВНАУ, 2017. – 84 с.

56. Солона О.В., Купчук І.М. Практикум з Теорії механізмів і машин : навчальний посібник. *Вінниця : Друк*, 2020. 250 с.

57. Солона О.В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування. Навчальний посібник. – Вінниця, 2019. – 254 с.

58. Стадник Н.И. Исследование тяговых характеристик электромагнитов системы автоматизации / Н.И. Стадник Н.И., Н.И. Иванов, О.А. Моторная, А.Н. Переяславский // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2018. – Vol. 101, No 2. – С. 54 – 59

59. Стаднік М.І. Мехатронные системы адаптивного управления технологическими процессами в АПК / М.І. Стаднік // *Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК*– 2016. № 3 (95). – С. 245-249.

60. Стаднік М.І. Оптимізація функціональної структури системи автоматизації однорідних об'єктів / М.І. Стаднік // *Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки*. – № 3 (237). – 2016. – С. 62-66.

61. Стаднік М.І. Функціональні структури систем автоматизації однорідних об'єктів / М.І. Стаднік // Науковий журнал Вісник Хмельницького національного університету серія: Технічні науки. – №2 (235). – 2016. – С. 84-89.

62. Токарчук Д.М., Пришляк Н.В., Паламаренко Я.В. Перспективи використання відходів рослинництва на виробництво біогазу в Україні. *Агросвіт*. 2020. №22. С. 51-57 (Index Copernicus).

63. Ходаківська О.В. Раціональне використання природно-ресурсного потенціалу сільських територій. Стратегічні напрями сталого розвитку сільських територій на період до 2030 року; [Лупенко Ю.О., Малік М.Й., Булавка О.Г. та ін.]; за ред. Ю.О. Лупенка та О.Г. Булавки. Київ: ННЦ ІАЕ, 2020. 60 с.