

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**СЕЙФ ХУССЕЙН**

УДК 621.928.37


**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СЕПАРАЦІЇ У**  
**БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛЬНИХ ТРИФАЗНИХ**  
**НАФТОГАЗО-ВОДОРОЗДІЛЮВАЧАХ**

Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія

Галузь знань 16 – Хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

DocuSigned by:  
  
Сейф Х.  
3/29/2024 444944E...

DocuSigned by:  
  
9BE27F98A7154B4...  
3/29/2024

Наукові керівники:  
Ляпощенко Олександр Олександрович,  
доктор технічних наук, професор,  
Манойло Євгенія Володимирівна  
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2024

## АНОТАЦІЯ

*Сейф Хуссейн.* Моделювання процесів сепарації у багатофункціональних модульних трифазних нафтогазо-водорозділювачах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 161 – хімічні технології та інженерія (16 Хімічна та біоінженерія). – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2024.

*Об'єктом дослідження* є процеси сепарації у циліндроконічних гідроциклонних апаратах при розділенні багатокомпонентних сумішей.

*Предметом досліджень* є конструктивні та гідродинамічні параметри циліндроконічних гідроциклонних апаратів.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню конструктивних та режимних параметрів сепараційного обладнання, що працює під дією відцентрових сил та використовується для розділення багатокомпонентних сумішей при умові зниження енергетичних витрат на проведення процесу.

Систематизований розгляд гідродинаміки і розділових процесів у гідроциклонних сепараційних апаратах для гідроциклонування нафти, розробка наукових основ їх раціонального конструювання, створення ефективних і технологічних конструкцій і впровадження у промислову практику, малогабаритних апаратів та технологій комплексної підготовки нафти з отриманням легких вуглеводнів є актуальним завданням хімічної технології.

В дисертаційній роботі вирішена науково-практична задача підвищення ефективності технології підготовки нафти з отриманням легких вуглеводнів у вигляді супутнього газу, його підготовка до транспорту шляхом застосування ефективних пристроїв для проведення процесів сепарації багатофазних систем та створення загальних методів розрахунку сепараційних апаратів на основі структурного аналізу гідродинаміки закручених потоків, систематизація та теоретичне обґрунтування рекомендацій щодо їх конструювання, розробка на їх

основі ефективних та технологічних апаратів та їх впровадження в промислових установках розділення неоднорідних систем.

У процесі видобутку та підготовки нафти та газу забруднюються як повітряний, так і водний світовий басейн. У зв'язку з цим зростають нормативні вимоги як до якості підготовки цільової продукції (нафти та газу), так і вимоги до повноти використання і чистоти компонентів, що добуваються супутно (супутнього газу, води). Обмежується вміст у продуктах шкідливих компонентів, таких як сірководень, меркаптани. порушується питання про повну утилізацію супутнього газу. Для задоволення вимог охорони навколишнього середовища необхідне повне очищення від сірководню та меркаптанів супутнього нафтового газу та глибша стабілізація нафти.

В даний час скорочення втрат рідкої фази вирішується шляхом застосування багатоступінчастих методів дегазації із плавною зміною тиску в широкому діапазоні. Використання об'ємних гравітаційних сепараторів дозволяє частково вирішувати ці завдання. Однак, низька швидкість руху газу в поєднанні з високою металоємністю і, головне, з невисоким ступенем дегазації роблять ці методи малоефективними. Тому розробка нових конструкцій сепараторів та теоретичне вивчення процесів сепарації з метою підвищення їх ефективності є актуальним завданням представляє науковий інтерес та спрямоване на вирішення важливої практичної проблеми.

Традиційні типи техніки та технологія підготовки нафти передбачають застосування металомісткого, великогабаритного обладнання. У процесах знесолення та зневоднення, в деемульсаторах, у відстійниках та в інших апаратах установок підготовки нафти (УПН) на межі розділу фаз "нафта-вода" утворюється проміжний шар, що являє собою складну емульсію що складається, в основному, з асфальтосмолопарафінових включень який іноді скидається з цих апаратів і резервуарів у збірники внаслідок того, що підвищена кількість цього шару призводить до виведення цих апаратів з робочого режиму експлуатації. У багатьох нафтовидобувних регіонах світу ці установки є джерелами несприятливого техногенного впливу на довкілля. Крім того, у

процесах підготовки нафти передбачаються значні витрати електроенергії, тепла, прісної води, реагентів – деемульгаторів. Для вирішення поставлених завдань перспективними є апарати для підготовки нафти із застосуванням відцентрових сил. Такий технологічний прийом як гідроциклонування нафти дозволяє вирішити такі завдання як отримання товарної нафти високої якості та виділення і використання легких вуглеводнів та їх композицій, а також ефективну очистку промислових стічних вод.

Однак відсутність науково обґрунтованих розробок у галузі створення малогабаритних високопродуктивних апаратів, що використовують відцентрові сили, методик розрахунку гідроциклонних апаратів для підготовки нафти та технологій виділення легких вуглеводнів у промислових умовах. Також аналіз сучасних тенденцій у розвитку апаратного оформлення процесів одержання та переробки дисперсних матеріалів та емульсій, а також процесів очищення промислових потоків свідчить, що для розв'язання проблем поділу рідких і газових неоднорідних систем у сучасних технологіях дедалі ширше використовують гідроциклонні апарати, що поєднують простоту влаштування, компактність і високу надійність із високою інтенсивністю цільових розділювальних процесів.

При цьому багато важливих питань розрахунку і конструювання не знайшли поки що систематизованого розгляду. Незважаючи на уявну конструктивну простоту таких апаратів, досі не створено їх універсальної теоретичної моделі, що давала б можливість точно прогнозувати й оптимізувати їх параметри. Відсутність строго обґрунтованих рекомендацій щодо раціонального конструювання обмежує показники та галузі застосування створюваних промислових апаратів і установок.

У вступі обґрунтовано вибір теми дослідження та актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано зв'язок дисертаційного дослідження з науково-практичною роботою кафедри, наведено дані про наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено аналіз результатів попередніх досліджень за темою дисертаційної роботи. На підставі аналізу літературних джерел, було встановлено, що в даний час існуючі способи дегазації та зневоднення нафти передбачають використання металомістких, громіздких споруд, які потребують значних матеріальних і енергетичних витрат. Спосіб гідроциклонування нафти при великих швидкостях з одночасним зниженням тиску в центрі закрутки потоку дозволяє передати цю енергію молекулам газу, розчиненим у нафті, легким вуглеводням і знизити її в'язкість.

Зазначено, що для інтенсифікації процесів підготовки нафти найбільш перспективним є метод реалізований в малогабаритних високопродуктивних апаратах – гідроциклонах, що характеризуються меншими матеріальними і енергетичними витратами. Існуючі сепаратори з гідроциклонними голівками в силу їх конструктивних недоробок, викликаних недостатньою вивченістю гідродинаміки процесу виділення газу і води з нафти під дією відцентрових сил, не забезпечують всіх переваг універсальних залежностей для визначення ефективності роботи гідроциклону стосовно процесу дегазації і зневоднення та виділення бурових шламів ускладнює розрахунки і впровадження цих простих за конструкцією і надійних в експлуатації апаратів.

У розділі поставлені завдання дослідження, якими є вивчення процесів гідроциклонування і подальша розробка ефективних технологічних прийомів і технічних засобів для проведення процесів стабілізації нафти, а саме виділення легких вуглеводів і пластових вод під дією відцентрових сил із використанням гідроциклонних систем.

У другому розділі виконано структурний аналіз гідродинаміки несучого середовища у циліндроконічному гідроциклоні. Запропоновано декомпозиційний підхід до розрахунку структури потоків у гідроциклонному апараті та представлено універсальну гідродинамічну модель, розроблену на основі зазначеного підходу. Наведено приклад розрахунку параметрів гідродинаміки гідроциклону та наведено порівняння із експериментальними даними.

У третьому розділі проаналізовано закономірності процесів сепарації, що здійснюються у циліндроконічних гідроциклонах. Викладено математичну модель відцентрової сепарації полідисперсних середовищ. Представлені результати теоретичного та експериментального дослідження динаміки руху частинок у турбулентному закрученому потоці. Викладена узагальнена модель процесу розділення, яка враховує вплив руху та форми частинок на ефективність процесу сепарації.

Для дослідження гідродинамічних та режимних закономірностей нових конструкцій наведена установка для експериментального визначення параметрів досліджуваних гідроциклонів. В процесі експериментальних досліджень використовувалися візуальні методи спостереження за поведінкою системи в гідроциклоні, визначалися гідродинамічні параметри методами інструментального вимірювання. Графічне подання та статистичний аналіз результатів досліджень проводилися з використанням методик математичної статистики та прикладного програмного забезпечення. Також в роботі використані методи системного аналізу щодо складних технологічних процесів, аналітичне моделювання, методи, засновані на класичній теорії турбулентної міграції та математичному моделюванні процесів інерційного розділення сумішей.

У четвертому розділі в процесі аналізу виявлених закономірностей теоретично обґрунтовані та сформульовані рекомендації щодо конструювання циліндроконічних гідроциклонів. Ці рекомендації дозволяють обрати пропорції та розміри проточної частини гідроциклону, врахувати та використати важливі гідродинамічні ефекти, характерні для даного типу обладнання.

П'ятий розділ присвячено розробленню конструкції типових циліндроконічних циклонів з металу та пластику для застосування у нафтогазовій промисловості та для очищення стічних вод. Обґрунтовані типорозміри та конструкційні матеріали, наведені конструктивні параметри гідроциклонного обладнання та зазначена необхідність використання

батареїних компоновок підключення гідроциклонів.

У шостому розділі надані рекомендації щодо впровадження дослідженої конструкції у промислові технологічні схеми. При узагальненні теоретичних та експериментальних досліджень запропоноване технологічне обладнання для захисту навколишнього середовища від забруднення пластовими водами, яке забезпечує глибоке очищення промислових стічних вод до норм що, перевищують вимоги ГДК. Отримані промислові води можна повно використовувати на промислах у системах підтримки пластового тиску. Розроблена технологічна установки для вилучення з нафти розчинених газів термохімічним методом.

За висновками щодо дисертаційного дослідження відзначені наступні наукові результати:

1. Вперше виявлені взаємозв'язки між геометричними пропорціями апарату та критеріями гідродинамічної подібності та енергоємністю розділення;
2. Вперше отримана гідродинамічна модель гідроциклонного сепаратора, що відображає істотні особливості закрученого руху несучого середовища в характерних гідродинамічних зонах апарату;
3. Отримали подальшого розвитку узагальнені залежності для розрахунку гідродинамічних параметрів обладнання (розмірів циркуляційних зон, коефіцієнтів гідравлічного опору, розподілу вихідних потоків, ежекційних характеристик осьової зони);
4. Розширені уявлення про механізм динаміки та сепарації частинок довільної форми у гідроциклонах;
6. Отримали подальшого розвитку обґрунтування рекомендацій щодо раціонального вибору пропорцій і розмірів проточної частини гідроциклонних сепараційних апаратів;
7. Встановлені рекомендовані конструктивні параметри для промислового гідроциклонного сепаратора.

Достовірність отриманих теоретичних результатів підтверджено експериментальною перевіркою.

Практичне значення отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблені рекомендації щодо раціонального конструювання гідроциклонних апаратів. З використанням сформульованих рекомендацій розроблені ефективні та технологічні гідроциклони продуктивністю від 1,3 до 200 м<sup>3</sup>/год по рідині, що розділяється. Результати експериментальних досліджень представлені у вигляді графічних і математичних залежностей та алгоритму розрахунку гідроциклонних апаратів для нафтогазосепарації впроваджені у промислову практику.

*Ключові слова:* гідродинаміка, сепаратор, сепарація, гідроциклонування, циліндроконічний гідроциклон, стабілізація нафти, підготовка газу до транспортування та переробки, очистка пластових вод, енергоефективність, очистка нафтоутримуючих стічних вод, інтенсифікація

#### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати:*

1. В.Ф. Моїсєєв, Є.В. Манойло, О.О.Ляпощенко, Х.Сейф. Очищення нафтопромислових стічних вод // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення у сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2020. – № 4 (4). – С. 122-130. (Б)

2. Х. Сейф. Режимно-технологічна й апаратурно-конструктивна оптимізація сепараторів установки підготовки газу // *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Хімія, хімічна технологія та екологія = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. : Chemistry, Chemical Technology and Ecology : зб. наук. пр.* – Харків : НТУ «ХПІ». – 2023. – № 1 (9). – С. 29-41. (Б)

3. Liaposhchenko O., Moiseev V., Starynskyi O., Houssein Seif, Manoilo E. Equipment for oil field wastewater treatment using swirling flows. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – Springer, 2021. – P. 237–246. (Scopus, Німеччина)

4. Liaposhchenko O., Moiseev V., Manoilo E., Houssein Seif. Purification of



oilfield waste water by inertial methods. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – Springer, 2022. – P. 167-176.

5. Liaposhchenko O., Moiseev V., Starynskyi O., Iakymiv M., *Houssein Seif Numerical Simulation and Optimization of Separation Equipment for Gas Preparation Unit*. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. – Springer, 2023. – Volume 2: *Mechanical and Materials Engineering*. – P.138-147. (Scopus, Німеччина)

*Опубліковані праці апробаційного характеру:*

6. О.О. Ляпощенко, Сейф Хуссейн. Конструктивні особливості комбінованих нафтогазових сепараторів // *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи: матеріали V Всеукраїнської науково-методичної конференції*, (м. Шостка, 23 квітня 2020 р.), - Суми : Сумський державний університет, 2020. – 228 с. (12-13)

7. Сейф Хуссейн. О.О. Ляпощенко. Вплив конструкції нафтогазових сепараторів на екологічну безпеку видобутку нафти // *Екологічна безпека держави: тези доповідей XIII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, (м. Київ, 23 квітня 2020 р.), Національний авіаційний університет / редкол. О.І. Запорожець та ін. – К.: НАУ, 2020. – 168 с. с. 42-43

8. Сейф Хуссейн, О.О. Ляпощенко. Реконструкція систем очистки нафтопромислових стічних вод. // *Екологічна безпека держави: тези доповідей XV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів*, (м. Київ, 22 квітня 2021 р.) Національний авіаційний університет. К.: НАУ, 2021. С. 43-44

9. O. Liaposhchenko, Houssein Seif *Reconstruction of oilfield wastewater treatment systems*. // *Освіта, наука та виробництво: розвиток та перспективи: матеріали VI Всеукраїнської науково-методичної конференції*, (м. Шостка, 22 квітня 2021 р.) Шосткинський інститут СумДУ, СумДУ, Суми, 2021. С. 21-22

10. Houssein Seif, V.F. Moiseev. *Cleansing of oilfield wastewater using inertial forces*. // *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища: енергоощадність, збалансоване природокористування: тези доповідей VII Міжнародного*

молодіжного конгресу, (м. Львів, 10-11 лютого 2022 р.) Збірник матеріалів – К.: Яроченко Я.В., 2022. С.63.

11. Houssein Seif, V.F. Moiseev. Reconstruction of oilfield wastewater treatment systems. // Екологічна безпека держави: тези доповідей XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів, (м. Київ, 22 квітня 2022 р), Національний авіаційний університет. К.: НАУ, 2022. С. 17-18.

12. Ляпощенко О.О., Старинський О.Є., Сейф Хуссейн. Методика оптимізаційних моделювань процесів розділення багатофазних систем у сепараційному обладнанні. // Сучасні технології у промисловому виробництві: тези доповідей IX Всеукраїнської науково-технічної конференції, (м. Суми, 19-22 квітня 2022 р), Суми: Сумський державний університет, 2022. С 180-181.

13. О.О. Ляпощенко, В.Ф. Моїсєєв, О.Є. Старинський, Сейф Хуссейн. Оптимізація розділюючого обладнання установки атмосферної переробки вуглеводневої сировини. // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», (м. Шостка, 23 - 25 листопада 2022 р.), Суми : Сумський державний університет, 2022. – 267 с. с.85-88

14. О.О. Ляпощенко, В.Ф. Моїсєєв, О.О. Мандрика, Сейф Хуссейн. Оптимізація та числове моделювання розділюючого обладнання установок підготовки газу. // Тези доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», (м. Шостка, 23 - 25 листопада 2022 р), Суми: Сумський державний університет, 2022. – 267 с. с. 94-96

*Патенти:*

15. Ляпощенко О.О., Стороженко В.Я., Скиданенко М.С., Павленко І.В., Шматенко В.А., Дем'яненко М.М., Старинський О.Є., Сейф Хуссейн. Пристрій для розділення двофазних газорідних багатокомпонентних систем. Патент на корисну модель № 145173 від 25.11.2020, Бюл. №22.

16. Склабінський В.І., Ляпощенко О.О., Старинський О.Є., Сейф Хуссейн,

Мандрика О.О. Пристрій для сепарації стійких емульсій. Патент на корисну модель № 151790 145173 від 14.09.2022, Бюл. №37.

## ABSTRACT

*Seif Hussein. Modelling of separation processes in multifunctional modular three-phase oil, gas and water separators – Qualification scientific work in the form of a manuscript.*

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 161 - Chemical Technology and Engineering (16 Chemical and Bioengineering) – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, 2024.

*The object of study* is the separation processes in cylindrical-conical hydrocyclone devices for the separation of multicomponent mixtures.

*The subject of study* is the design and hydrodynamic parameters of cylindrical-conical hydrocyclone devices.

The thesis is devoted to the study of design and operating parameters of separation equipment operating under centrifugal forces and used for separation of multicomponent mixtures, provided that the energy costs of the process are reduced.

A systematic consideration of hydrodynamics and separation processes in hydrocyclone separation devices for hydrocyclone oil, development of scientific bases for their rational design, creation of efficient and technological structures and implementation of small-sized devices and technologies for complex oil treatment with obtaining light hydrocarbons into industrial practice is an urgent task of chemical technology.

The thesis solves the scientific and practical problem of increasing the efficiency of oil treatment technology to produce light hydrocarbons in the form of associated gas, its preparation for transport by using efficient devices for separation of multiphase systems and creating general methods for calculating separation devices based on structural analysis of the hydrodynamics of swirling flows, systematising and theoretically substantiating recommendations for their design, developing efficient and technologically advanced separation devices on their basis.

The process of oil and gas production and treatment pollutes both the air and water of the world's basins. In this regard, regulatory requirements for the quality of

preparation of target products (oil and gas) and requirements for the full use and purity of components extracted in the process (associated gas, water) are increasing. The content of harmful components such as hydrogen sulphide and mercaptans in products is limited. The issue of full utilisation of associated gas is being raised. To meet environmental protection requirements, complete purification of associated petroleum gas from hydrogen sulphide and mercaptans and deeper oil stabilisation are required.

Currently, liquid phase losses are reduced by using multi-stage degassing methods with smooth pressure changes over a wide range. The use of volumetric gravity separators can partially solve these problems. However, the low gas velocity combined with high metal consumption and, most importantly, low degassing degree make these methods inefficient. Therefore, the development of new separator designs and theoretical study of separation processes to improve their efficiency is an urgent task of scientific interest and is aimed at solving an important practical problem.

Traditional types of oil treatment equipment and technology involve the use of metal-intensive, large-sized equipment. In the desalination and dehydration processes, in demulsifiers, in sumps and in other apparatus of oil treatment plants, an intermediate layer is formed at the oil-water interface, which is a complex emulsion consisting mainly of asphalt-resin-paraffin inclusions, which is sometimes discharged from these apparatus and tanks into collectors due to the fact that an increased amount of this layer leads to the removal of these apparatus from the operating mode. In many oil-producing regions of the world, these facilities are sources of adverse environmental impact. In addition, the oil treatment processes involve significant consumption of electricity, heat, fresh water, and demulsifying agents. To solve these problems, oil treatment devices using centrifugal forces are promising. Such a technological technique as oil hydrocyclonation allows solving such problems as obtaining high-quality commercial oil and separation and use of light hydrocarbons and their compositions, as well as efficient treatment of industrial wastewater.

However, there is a lack of scientifically based developments in the field of creating small-sized high-performance devices that use centrifugal forces, methods

for calculating hydrocyclone devices for oil treatment and technologies for the separation of light hydrocarbons in industrial conditions. In addition, the analysis of current trends in the development of hardware design for the processes of obtaining and processing dispersed materials and emulsions, as well as for the processes of cleaning industrial streams, shows that hydrocyclone devices are increasingly used in modern technologies to solve the problems of separation of liquid and gas heterogeneous systems, combining simplicity of design, compactness and high reliability with high intensity of targeted separation processes.

At the same time, many important issues of calculation and design have not yet been systematically considered. Despite the apparent constructive simplicity of such devices, no universal theoretical model has been developed that would allow for accurate prediction and optimization of their parameters. The absence of strictly justified recommendations for rational design limits the performance and applications of the industrial machines and installations being developed.

The introduction substantiates the choice of the research topic and the relevance of the dissertation, formulates the goal and objectives, defines the object, subject and methods of the study, shows the connection of the dissertation research with the scientific and practical work of the department, and provides data on the scientific novelty and practical significance of the results obtained.

The first chapter analyses the results of previous studies on the topic of the dissertation. Based on the analysis of literature sources, it was found that currently existing methods of oil degassing and dehydration involve the use of metal-intensive, bulky structures that require significant material and energy costs. The method of hydrocyclonation of oil at high speeds with simultaneous pressure reduction in the centre of the flow swirl allows transferring this energy to gas molecules dissolved in oil, light hydrocarbons and reducing its viscosity.

The chapter sets out the research objectives, which are to study the hydrocyclone processes and further develop effective technological methods and technical means for oil stabilization processes, namely the separation of light carbohydrates and formation water under the action of centrifugal forces using

hydrocyclone systems.

In the second section, a structural analysis of the hydrodynamics of the carrier medium in a cylindrical-conical hydrocyclone is performed. A decomposition approach to the calculation of the flow structure in a hydrocyclone apparatus is proposed and a universal hydrodynamic model developed on the basis of this approach is presented. An example of calculating the hydrodynamic parameters of a hydrocyclone is given and compared with experimental data.

The third section analyses the regularities of separation processes carried out in cylindrical-conical hydrocyclones. A mathematical model of centrifugal separation of polydisperse media is presented. The results of theoretical and experimental studies of the dynamics of particle motion in a turbulent swirling flow are presented. A generalized model of the separation process is presented, which takes into account the influence of particle motion and shape on the efficiency of the separation process.

To study the hydrodynamic and operational regularities of the new designs, an installation for the experimental determination of the parameters of the studied hydrocyclones is presented. In the course of experimental studies, visual methods were used to observe the behavior of the system in the hydrocyclone, and hydrodynamic parameters were determined by instrumental measurement methods. The graphical presentation and statistical analysis of the research results were carried out using the methods of mathematical statistics and applied software. The study also used methods of system analysis for complex technological processes, analytical modeling, methods based on the classical theory of turbulent migration and mathematical modeling of inertial separation of mixtures.

In the fourth section, in the process of analyzing the identified regularities, recommendations for the design of cylindrical-conical hydrocyclones are theoretically substantiated and formulated. These recommendations make it possible to choose the proportions and dimensions of the hydrocyclone flow part, to take into account and use important hydrodynamic effects characteristic of this type of equipment.

The fifth section is devoted to the development of the design of typical