

UDC 66.06:502/504

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING A MIXED COAGULANT FROM THE MAIN WASTE OF TITANIUM PRODUCTION

Hanna V. Barsukova, Marina Y. Savchenko-Pererva

Sumy National Agrarian University, H. Kondratieva str., 160, Sumy, Ukraine, 40021

Annotation

The study investigated the production of a mixed coagulant as a target product when utilizing ferrous sulfate, which negatively affects the technogenic load of the environment. Iron vitriol, in the form of large-tonnage acid waste of titanium production, is identified with a number of hazardous, producing environmental problems in places where enterprises for its manufacture are located. Due to the fact that in its composition it contains free sulfuric acid, solutions of which through underground waters fall on large areas of land, the structure of the soil changes. Contamination occurs with titanium and chromium ions, which are part of the waste. A common method of artificial clarification and discoloration of water, in which the color of water is increased, is the use of coagulants: aluminum sulfate $Al_2(SO_4)_3$, aluminum chloride $AlCl_3$, iron (II) sulfate $FeSO_4$ and iron (III) sulfate $Fe_2(SO_4)_3$, aluminum chloride pentahydroxide $Al_2(OH)_5Cl$, sodium aluminum oxide $NaAlO_2$ and others, which form poorly soluble metal hydroxides $Al(OH)_3$ and $Fe(OH)_3$ as a result of hydrolysis.

The aim of the work is to develop a technology for the utilization of ferrous sulfate to obtain a mixed coagulant that will reduce the technogenic load.

To achieve this goal, prototypes of a mixed coagulant with a different ratio of substances useful for coagulation (Al_2O_3/Fe_2O_3) have been developed.

Key words: environment; ferrous sulfate; oxidant; alloy; sulfation; mixed coagulant.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ ЗМІШАНОГО КОАГУЛЯНТУ З ОСНОВНОГО ВІДХОДУ ТИТАНОВОГО ВИРОБНИЦТВА

Ганна В. Барсукова, Марина Ю. Савченко-Перерва

Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кіндратієва, 160, Суми, Сумська обл., 40021, Україна

Анотація

У роботі досліджено отримання змішаного коагулянту як цільового продукту в процесі утилізації залізного купоросу, який негативно впливає на техногенне навантаження навколишнього середовища. Залізний купорос у вигляді багатотоннажних кислотних відходів титанового виробництва відносять до ряду найнебезпечніших факторів, які продукують екологічні проблеми в місцях, де розташовані відповідні підприємства. Внаслідок того, що у своєму складі він містить вільну сульфатну кислоту, розчини якої із підземними водами потрапляють на великі площі суші, змінюючи структуру ґрунтів. Відбувається забруднення іонами Титану і Хрому, які є частиною відходів. Поширеним методом штучного освітлення і знебарвлення вод, у яких кольоровість води підвищена, є використання коагулянтів: алюміній (III) сульфату $Al_2(SO_4)_3$, алюміній (III) хлориду $AlCl_3$, ферум (II) сульфату $FeSO_4$ і ферум (III) сульфату $Fe_2(SO_4)_3$, алюміній пентагідроксид хлориду $Al_2(OH)_5Cl$, натрій алюміній оксиду $NaAlO_2$ і інших, які утворюють у результаті гідролізу малорозчинні гідроксиди $Al(OH)_3$ і $Fe(OH)_3$.

Метою роботи є розробка технології утилізації залізного купоросу з отриманням змішаного коагулянту, який знизить техногенне навантаження.

Для реалізації поставленої мети напрацьовано дослідні зразки змішаного коагулянту з різними співвідношеннями корисних для коагуляції речовин (Al_2O_3/Fe_2O_3).

Ключові слова: довокілья; залізний купорос; окиснювач; плав; сульфатизація; змішаний коагулянт.

*Corresponding author: tel. +380660091070; ; e-mail: rodik2311@gmail.com

© 2020 Oles Honchar Dnipro National University

doi: 10.15421/082031

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СМЕШАННОГО КОАГУЛЯНТА ИЗ ОСНОВНОГО ОТХОДА ТИТАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Анна В. Барсукова, Марина Ю. Савченко-Перерва

Сумський національний аграрний університет, ул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, Сумська обл., 40021, Україна

Аннотация

В работе исследовано получение смешанного коагулянта в качестве целевого продукта для утилизации железного купороса, негативно влияющего на техногенную нагрузку окружающей среды. Железный купорос в виде многотоннажных кислотных отходов титанового производства относят к ряду опасных факторов, продуцирующих экологические проблемы в местах расположения соответствующих предприятий. Вследствие того, что в своем составе он содержит свободную серную кислоту, растворы которой вместе с подземными водами попадают на большие площади суши и меняют структуру почв. Происходит загрязнение ионами титана и хрома, которые являются частью отходов. Распространенным методом искусственного осветления и обесцвечивания вод, в которых наблюдается повышенная цветность, является использование коагулянтов: сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$, хлорида алюминия $AlCl_3$, сульфата железа (II) $FeSO_4$ и сульфата железа (III) $Fe_2(SO_4)_3$, алюминий пентагидроксид хлорида $Al_2(OH)_5Cl$, алюмината натрия $NaAlO_2$ и других, образующих в результате гидролиза малорастворимые гидроксиды $Al(OH)_3$ и $Fe(OH)_3$.

Целью работы является разработка технологии утилизации железного купороса с получением смешанного коагулянта, который будет снижать техногенную нагрузку.

Для реализации поставленной цели наработаны опытные образцы смешанного коагулянта с различным соотношением полезных коагулянтов (Al_2O_3/Fe_2O_3).

Ключевые слова: окружающая среда; железный купорос; окислитель; сплав; сульфатизация; смешанный коагулянт.

Вступ

Одним із багатотоннажних джерел утворення небезпечних відходів як в Сумській області, так і в Україні в цілому є підприємство хімічної промисловості ПАТ «Сумхімпром». Цей завод постійно негативно впливає на навколишнє середовище. При виробництві титан (VI) оксиду формується твердий відхід на основі ферум (II) сульфату, що є проблемою світового масштабу. У результаті тривалої діяльності цехів по виробництву титан (VI) оксиду в відвалі на території ПАТ «Сумхімпром» накопичилося близько 1,5 млн т залізного купоросу. Через відсутність безпечних та здешевлених технологій накопичений залізний купорос не переробляється, а різниця між обсягами накопичення відходів і обсягами їх знешкодження та використання значна. Наразі, накопичення сульфатної кислоти, яка є четвертою частиною залізного купоросу, призводить до руйнівної екологічної кризи, що є актуальною проблемою сьогодення [1–4].

Одним із напрямків покращення екологічного становища є переробка небезпечного відходу залізного купоросу і утворення коагулянту на його основі для очищення стічних вод. Таке технічне рішення дозволить скоротити використання питної води і поліпшити стан навколишнього середовища [5–7].

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Вода, яка є гарним розчинником для багатьох твердих, рідких і газоподібних речовин, являє

собой в природних умовах складну багатоконпонентну систему. Крім того, природна вода в більшості випадків містить органічні речовини – залишки рослинного і тваринного походження, а також живі організми [8; 9].

Практичне використання природних вод вимагає дотримання ретельно розроблених методів очищення від найрізноманітніших домішок. Завдання штучного поліпшення якості природної питної води стає центральною проблемою водопостачання міст і промислових об'єктів [10; 11].

Разом з цим, розвиток промисловості часто спричиняє збільшення забруднень природних вод і, в першу чергу, вод відкритих водойм – річок і озер, ускладнюючи цим задачу водоочищення [12].

Якість води природних джерел часто не задовольняє вимогам, які пред'являють до питної води. Звідси виникає необхідність очищення води від забруднених речовин для її подальшого використання [13; 14].

Основна задача очищення питних природних вод зводиться до видалення суспензій – колоїдних речовин органічного і неорганічного походження [15–17].

У практиці існує два способи такого очищення:

- метод природного освітлення води, заснований на відстоюванні її з послідовним фільтруванням, застосовуваний для очищення мутних і природних вод, у яких кольоровість знижена [8; 18];

- більш поширений метод штучного освітлення і знебарвлення вод, у яких кольоровість підвищена, заснований на застосуванні коагулянтів: алюміній (III) сульфату $Al_2(SO_4)_3$, алюміній (III) хлориду $AlCl_3$, ферум (II) сульфату $FeSO_4$ і ферум (III) сульфату $Fe_2(SO_4)_3$, алюміній пентагідроксид хлориду $Al_2(OH)_5Cl$, натрій алюміній оксиду $NaAlO_2$ і інших, які утворюють у результаті гідролізу малорозчинні гідроксиди $Al(OH)_3$ і $Fe(OH)_3$. Вони є основними діючими речовинами при очищенні води коагулянтами [19; 20]. Застосування коагулянтів дозволяє значно прискорити процес очищення води [21; 22].

Розробка технології одержання і подальше застосування змішаних коагулянтів на основі солей тривалентних Al і Fe є одним з перспективних напрямків для одержання економічно вигідного реагенту в порівнянні з традиційним коагулянтом – алюміній (III) сульфатом [22; 23].

У практиці водопідготовки на даному етапі в основному використовують солі алюмінію і заліза, які можна дослідити на спеціальному устаткуванні [24–26]. Коагулянти як ті, що містять алюміній, як і залізовмісні, мають ряд відомих суттєвих недоліків [16; 27]:

1. $Al_2(SO_4)_3 \times 18H_2O$ – основний коагулянт, що застосовується для освітлення і знебарвлення води. Істотний недолік алюмінію (III) сульфату – чутливість до температури води, яку очищують. Це пояснює велику гідратацію алюміній (III) гідроксиду за низьких температур (1–2 °C). Зростання гідратації в цих умовах сприяє стабілізації золю алюмінію (III) гідроксиду, який погано коагулює в даному випадку, іонами HCO_3^- і SO_3^{2-} навіть у концентраціях, у кілька разів перевищуючих їх звичайний вміст у воді. Підвищення стійкості золю сильно впливає на швидкість утворення лапатоного осаду; при використанні алюміній (III) сульфату в умовах низьких температур спостерігається сповільнення процесу утворення лапатоного осаду, переходу залишкового алюмінію в очищену воду й випаданню осаду алюміній (III) гідроксиду в трубах.

2. Ферум (III) сульфат $Fe_2(SO_4)_3 \times 2H_2O$ звичайно готують розчиненням залізного купоросу. Продукт кристалічний, дуже гігроскопічний, добре розчиняється у воді.

Солі тривалентного Феруму застосовані як коагулянти, мають перевагу над $Al_2(SO_4)_3$. Так, при їхньому використанні поліпшується коагуляція за низьких температур води,

причому на процес мало впливає рН середовища, прискорюється осадження зкоагульованих частинок і скорочується тривалість відстоювання (густина лапатоного осаду $Fe(OH)_3$ більша, ніж у $Al(OH)_3$).

Недолік солей тривалентного Феруму як коагулянтів – необхідність їх ретельного дозування, оскільки його порушення призводить до потрапляння Феруму в очищену воду. Лапаті частинки $Fe(OH)_3$ осідають нерівномірно, у зв'язку з чим у воді залишається велика кількість дрібних лапатих часточок, що псують фільтри. Ці недоліки значною мірою можна усунути, додавши $Al_2(SO_4)_3$ [2].

На даний час у технології водоочищення не можна цілком відмовлятися від використання однокомпонентних коагулянтів солей Феруму й Алюмінію [28; 29]. Застосування змішаних коагулянтів дає можливість усунути недоліки використання однокомпонентних коагулянтів. Значення ж коагулянтів полягає в якісному проведенні сорбції та осадженні частини природних забруднень [30; 31].

Застосовувані в техніці водоочищення коагулянти найчастіше є солями слабких основ і сильних кислот. При розчиненні їх у воді відбувається гідроліз. Процесу гідролізу піддаються коагулянти, що утворюють гідроксиди, які є слабкими електролітами, і мають невисокі значення ступеня дисоціації - $\alpha < 2\%$, в порівнянні з сильними електролітами - $\alpha > 30\%$). Відповідно гідроліз солей заліза [20] повинен протікати повніше, ніж солей алюмінію і заліза [19], бо $DP(Fe(OH)_3) = 3.8 \cdot 10^{-38}$, а $DP(Al(OH)_3) = 1.9 \cdot 10^{-33}$, $DP(Fe(OH)_2) = 6.3 \cdot 10^{-16}$ [13].

У водопідготовці при коагуляції змішаного коагулянту алюміній (III) гідроксид, що утворився при гідролізі коагулянту, абсорбується на ферум (III) гідроксиді [20; 32]. Відбувається одночасне і спільне утворення пластівців й їх осадження, а ефект очищення води змішаним коагулянтом визначається здебільшого властивостями ферум (III) гідроксиду, тобто питома вага ферум (III) гідроксиду $Fe(OH)_3 = 3.6$, а $Al(OH)_3 = 2.4$.

Застосування змішаних коагулянтів має ряд переваг у порівнянні з однокомпонентними коагулянтами:

- 1) коагуляція поліпшується за низьких температур води;
- 2) пластівці осаджуються рівномірно;
- 3) досягається досить повне освітлення води.

Застосування змішаного коагулянту дозволяє суттєво скоротити витрати алюміній (III) сульфату, особливо в холодну пору року [19]. За низьких температур у зимову пору року очищення води алюміній (III) сульфатом протікає незадовільно: процеси утворення пластівців й їх осадження сповільнюються; пластівці утворюються дуже дрібні; в очищеній воді з'являється помітна кількість залишкового алюмінію. Збільшення кількості солей Феруму [20] у складі змішаного коагулянту дозволяє зменшити негативні наслідки гідролізу алюмінію [19; 33].

Метою досліджень є розробка технології утилізації залізного купоросу з отриманням змішаного коагулянту, який знижуватиме техногенне навантаження на навколишнє середовище.

Завдання дослідження:

- відпрацювання технологічного режиму виробництва змішаного коагулянту;
- розробка принципової технологічної схеми виробництва;
- напрацювання зразків коагулянту.

Матеріали та методи досліджень

Розробка технології отримання змішаного коагулянту базувалась на:

- експерименті та лабораторних дослідженнях;
- використанні вітчизняної сировини.

Робота проведена на основі господарчого договору № 1-69-01 від 04.06.2001 р. на базі ДП «НДІ «МінДіП» [23].

У процесі проведення лабораторних досліджень з одержання змішаного коагулянту були використані: залізний купорос, NaClO, сульфатна кислота, алюміній (III) гідроксид.

Відповідно до поставленої задачі лабораторні дослідження були спрямовані на одержання змішаного коагулянту з різним співвідношенням Al_2O_3/Fe_2O_3 [23].

Дані дослідження проводилися в три етапи:

- окиснення відходу ($FeSO_4$) з одержанням ферум (III) сульфату $Fe_2(SO_4)_3$;
- отримання алюмінію (III) сульфату;
- змішування компонентів у необхідних пропорціях.

Вихідні компоненти:

1. *Залізний купорос.* Для проведення дослідів по окисненню був використаний залізний купорос – відхід титанового виробництва ПАТ «Сумихімпром». Залізний купорос є прозорими зеленувато-блакитними кристалами, що швидко буріють на повітрі,

насихуючись вологою, і має наступний хімічний склад [34]:

Fe^{3+} – 1.74 %; $Fe_{заг}$ – 19.16 %; $H_2SO_{4вильн}$ – 0.16 %.

2. *Натрій гіпохлорит.* Використовуваний натрій гіпохлорит виробництва ДП «Кремнійполімер» м. Запоріжжя, має наступний хімічний склад [35]: $Cl_{акт}$ – 149.5 г/дм³; NaOH – 14.375 г/дм³; pH – 11.2; ρ – 1.25 г/см³.

3. *Сульфатна кислота технічна.* Використана сульфатна кислота виробництва ПАТ «Сумихімпром» [34]: ρ = 1.828 г/см³; C = 93 %.

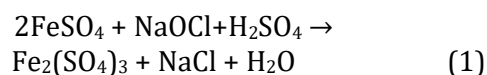
4. *Алюміній (III) гідроксид.* Використаний алюміній(III) гідроксид виробництва «Миколаївський глиноземний завод» був досліджений в умовах ДП «НДІ «МінДіП» [23]. H_2O = 0.4 %; ППП = 34.26 %.

Устаткування. Отримання змішаного коагулянту з залізного купоросу проводили на лабораторній установці. До складу установки входить колба ємністю 500 мл з механічною мішалкою лопатевого типу IKA RW20 digital. Швидкість обертання валу мішалки, згідно з паспортом, може досягати 2000 об/хв в залежності від в'язкості суспензії. В умовах експерименту забезпечувалося перемішування по всьому об'єму реакційної маси та відсутність застою. Для отримання необхідної консистенції суспензії використовувався барботер, який постійно подає повітря до колби. Температуру реакційної маси контролювали за допомогою ртутного термометру. Зовнішній обігрів забезпечувався звичайною електричною плиткою, яка живиться від мережі змінного струму з напругою 220 В [1].

Результати та їх обговорення

Перша серія дослідів була спрямована на окиснення залізного купоросу, відходу титанового виробництва (одержання Fe^{3+} з Fe^{2+}), з використанням вітчизняного окиснювача – натрію гіпохлорита.

Відповідно, з літературних даних [20; 30] відомо, що хлор, який входить до складу оксигеновмісних кислот і їх солей, відновлюється до ступеня окислювання -1. Тому при окисненні залізного купоросу натрію гіпохлоритом відбувається наступна реакція:



У цьому процесі утворюється ферум (III) сульфат, що має коагулюючі властивості.

У даній серії дослідів натрій гіпохлорит брали в надлишку від розрахункової (стехіометричної) кількості на 15–100 %. Процес окиснення проводили при температурі 70 °С протягом 40–55 хвилин при постійному перемішуванні та вимірюванні рН кожні 5–7 хвилин.

Слід також зазначити, що в даній серії дослідів була досліджена залежність ступеня окиснення від температури і часу окиснення. Дані дослідів наведені в табл. 1 та 2.

Table 1
The composition of the investigated solutions

Таблиця 1

Склад досліджених розчинів			
Raw			
FeSO ₄ ·7H ₂ O, g	NaClO, g	H ₂ SO ₄ , g	H ₂ O, g
200	108	45	0
200	150	46	30
200	160	46	30
200	160	44	40
200	160	44	50
200	170	45	50
200	170	45	70
200	170	44	70
200	180	44	65
200	180	46	65

Table 2
Experimental conditions and results obtained

Таблиця 2

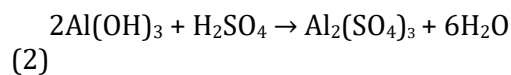
Умови експериментів та отримані результати

Parameters							
T, °C	t, °C	Fe ²⁺ , %	Fe ³⁺ , %	Fe _g , %	oxidation, %	Fe ₂ O ₃ , %	pH
70	40	4.9	6.0	10.9	55	15.7	1.3
70	40	1.7	9.0	10.8	84.3	15.6	1.3
70	40	1.5	9.0	10.5	85.7	15.2	1.5
80	40	0.9	8.8	9.7	90.1	14	1.45
80	55	0.5	8.8	9.3	94.6	13.4	1.5
70	40	0.6	8.2	8.8	93.2	12.7	1.35
80	40	0.3	8.1	8.4	96.4	12.1	1.4
80	50	-	8.7	8.7	100	12.5	1.45
70	40	-	8.7	8.7	100	12.5	1.35
80	40	-	8.7	8.7	100	12.5	1.4

З отриманих даних слід зазначити, що при збільшенні кількості окиснювача, а також

збільшенні часу окиснювання простежується тенденція до збільшення ступені окиснення Fe²⁺ у Fe³⁺ до 100 %. У результаті проведених лабораторних досліджень було досягнуто повне окиснення Fe²⁺ у Fe³⁺.

Другий напрямок у роботі – одержання плаву алюміній (III) сульфату. Процес одержання плаву алюміній (III) сульфату описується наступним рівнянням:



Процес одержання плаву алюміній (III) сульфату (сульфатизація) проводили відповідно до діючого технологічного регламенту виробництва алюміній (III) сульфату в ДП заводі «Коагулянт» ПАТ «Сумихімпром». Суть технології одержання плаву полягає в наступному:

з води і алюміній (III) гідроксиду готували пульпу густиною 1.3 г/см³. За ретельного перемішування пульпи в неї додавали розраховану кількість сульфатної кислоти. Також за рахунок розведення сульфатної кислоти водою з пульпи відбувалося підвищення температури реакційної маси до 105–125 °С. Дану температуру реакційної маси підтримували за допомогою електроплитки протягом 1.0–1.5 години до одержання кондиційного плаву, тобто плаву з нерозчинним залишком не більш 0.7 %, концентрація за Al₂O₃ – 14.5 %, H₂SO₄ – відсутня.

Третя серія дослідів була спрямована на одержання змішаного коагулянту з різними співвідношеннями корисних для коагуляції компонентів Al₂O₃/Fe₂O₃ (30/70, 50/50, 70/30). У даній серії дослідів робили змішування плаву алюміній (III) сульфату із заданою кількістю розчину ферум (III) сульфату. У результаті проведених лабораторних робіт були отримані зразки складно-змішаного коагулянту з різними співвідношеннями Al₂O₃/Fe₂O₃.

Зразки коагулянтів проаналізовані і мають наступні показники:

Зразок № 1

Al₂O₃ – 11.8 %; Fe₂O₃ – 4.5 %; H₂O – 0.4 %.

Зразок № 2

Al₂O₃ – 8.1 %; Fe₂O₃ – 7.9 %; H₂O – 0.6 %.

Зразок № 3

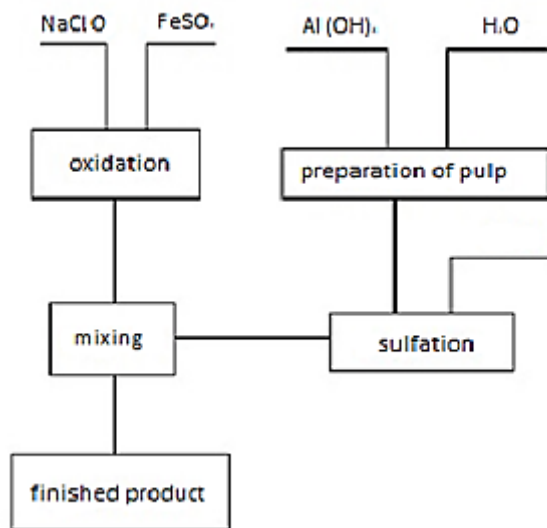
Al₂O₃ – 5.1 %; Fe₂O₃ – 10.5 %; H₂O – 0.5 %.

Змішаний коагулянт – це поєднання двох коагулянтів: Fe₂(SO₄)₃ та Al₂(SO₄)₃. В отриманих коагулянтах вміст Al₂O₃, Fe₂O₃ та

води разом складає близько 16 %, а $SO_{3\text{зар.}}$ ~ 84 %.

Слід також зазначити, що при підвищенні концентрації Fe_2O_3 у складно-змішаному коагулянті по відношенню до Al_2O_3 погіршується процес кристалізації продукту.

У результаті проведених лабораторних досліджень була розроблена принципова технологічна схема виробництва змішаного коагулянту (схема 1).



Scheme 1. Technological process of production of mixed coagulant

Схема 1. Технологічний процес виробництва змішаного коагулянту

Визначено видаткові норми сировини і технологічні параметри одержання змішаного коагулянту (табл. 3 і табл. 4).

Table 3

Consumption standards and technological parameters for the oxidation of iron (II) sulfate

Таблиця 3

Видаткові норми і технологічні параметри для окиснення ферум (II) сульфату

NaClO, kg	H ₂ SO ₄ , kg	T, °C	t, min	oxidation, %
800-950	200-250	70-80	40-55	95-100

Table 4

Consumption standards and technological parameters for the production of aluminum (III) sulfate

Таблиця 4

Видаткові норми і технологічні параметри для отримання алюміній (III) сульфату

Al(OH) ₃ , kg	H ₂ SO ₄ , kg	H ₂ O, m ³	ρ, g/cm ³	T, °C	t, min
158	443	0.3	1.28-1.32	100-120	60-120

Висновки

1. На підставі проведених лабораторних досліджень була встановлена можливість:

- максимального (100 %) окиснення ферум (II) сульфату (залізного купоросу) з одержанням ферум (III) сульфату, використовуючи окиснювач, що випускається підприємствами України;

- одержання змішаного коагулянту.

2. У процесі одержання змішаного коагулянту була розроблена принципова технологічна схема.

3. Визначено витрати сировини і технологічні параметри одержання змішаного коагулянту для отримання ферум (III) сульфату і для отримання алюміній (III) сульфату.

4. Для реалізації поставленої мети напрацьовано дослідні зразки змішаного коагулянту з різним співвідношенням корисних для коагуляції речовин (Al_2O_3/Fe_2O_3).

5. Отриманні в результаті лабораторних досліджень зразки коагулянтів передані в Інститут колоїдної хімії і хімії води НАН України, м. Київ, для лабораторних досліджень їх коагулюючої ефективності при водопідготовці та вибору оптимального співвідношення активних компонентів у змішаному коагулянті.

Bibliography

- [1] Барсукова Г. В. Зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище при утилізації заліза залізного пігменту діоксиду титану: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата / Ганна Володимирівна Барсукова. – Сумський державний університет, 2017. – 157 с.
- [2] Барсукова Г. В., Савченко-Перерва М.Ю. Зниження техногенної навантаження на довкілля за рахунок технічного рішення по утилізації залізного купоросу / Г.В. Барсукова, М.Ю. Савченко-Перерва // журнал хімії та технології. – 2020. – 28(2). – С.168-176 doi: 10.15421/082018
- [3] Данілішин Б.М. Державна цільова екологічна програма «Програма упорядкування водовідведення в населених пунктах України» як основний документ перспективного розвитку водокористування в країні / Б.М. Данілішин, О.О. Дмитрієва // Вода і водоочисні технології. – 2006. – № 3. – С. 17-22.
- [4] Кузнецов О.В. Гігієнічна оцінка ефективності очищення і знезараження стічних вод за санітарно-вірусологічними показниками (аналітичні дослідження) / О.В. Кузнецов // Актуальные проблемы транспортной медицины. – 2008. – № 2 (12). – С.13-106.
- [5] Винокуров А.Ю. Охрана окружающей природной среды / А.Ю. Винокуров // Сборник нормативных

- актов: международный независимый эколого-политолог. – Москва: Изд-во МНЭПУ. – 1995. – 200 с.
- [6] Prevalence of enteropathogenic bacteria in treated effluents and receiving water bodies and their potential health risks / G.Z. Teklehaimanot, B. Genthe [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2015. – 518-519:441-9.
- [7] Бахир В.М. Установка АКВАХЛОР: оптимальная система для обеззараживания воды / В.М. Бахир // *Водоснабжение и канализация.* – 2009. – № 3 – 36с.
- [8] Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підручник / А.К. Запольський. – Київ: Вища школа, 2013. – 671 с.
- [9] Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes / R. Dixit, D. Malaviya, K. Pandiyan [et al.] // *Sustainability.* – 2015. – 7 (2). – P. 2189–2212.
- [10] Алипов А. Н. Водообеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства Донбасса. Вовлечение собственных ресурсов / А.Н. Алипов, Д.Д. Мягкий, С.В. Янковская // *Вода і водоочисні технології.* – 2007. – № 4. – С. 17–22.
- [11] Кульский Л. А. Основы химии и технологии воды / Л.А. Кульский. – Київ: Наукова думка, 1991. – 680 с.
- [12] Степанова Н.Ю. Экологические критерии управления нагрузкой на водоем в условиях загрязнения многокомпонентными сточными водами / Н.Ю. Степанова, А.М. Петров, В.З. Латыпова // *Экологическая химия.* – 2000. – № 9 (1). – С.38–48.
- [13] Толстопалова Н.М. Теоретичні основи хімії та технології обробки води / Н.М. Толстопалова. – Програма навчальної дисципліни. – 2018. – С. 13–20.
- [14] Храменков С.В. Обеззараживание очищенных сточных вод ультрафиолетовым излучением на Московских станциях аэрации [Глава из книги «Развитие Московской канализации»] / С.В. Храменков, В.А. Загорский, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцев // *Водоснабжение и санитарная техника.* – 2004. – № 4. – С. 39–42.
- [15] Biochar for Wastewater Treatment – Conversion Technologies and Applications / G. Enaïme, A. Yaçaoui, A. Yaacoubi, M. Lübken // *Appl. Sci.* – 2020. – 10(10). – P. 3492.
- [16] On-farm wastewater treatment using biochar from local agroresidues reduces pathogens from irrigation water for safer food production in developing countries / K. Kaetzl, M. Lübken, G. Uzuna [et al.] // *Sci. Total Environ.* – 2019. – 682. – P. 601–610.
- [17] Запольський А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод: підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін [та ін.]. – Київ: Лібра, 2000. – С.171–178.
- [18] Environmental Policy Parameters in Urban Planning to Reduce Air Pollution and Save Energy / A. Bhargava, P. Patel // *International Journal of Environmental Engineering and Management.* – 2011. – Vol. 2. – N 2. – P. 129–134.
- [19] Соломенцева И. М. Проблема остаточного алюминия в очищенной воде / И. М. Соломенцева, Л. А. Величанская, И. Г. Герасименко // *Химия и технология воды.* – 1991. – №13(6). – С.10–12.
- [20] Physico-Chemical Waste Water Treatment Technologies: An Overview / A. Bhargava // *IJSRE.* – 2016. – Vol. 4. – N 5. – P. 5308 – 5319.
- [21] Bond T. Themed issue on drinking water oxidation and disinfection processes / T. Bond, W. Chu, U. Guntened, M. Farrée // *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* – 2020. – N 6. – P. 2252-2256.
- [22] Пащенко А.В. Перспективы применения растворимых биоцидных полимеров для обеззараживания городских сточных вод / А.В. Пащенко // *Науковий вісник будівництва.* – Харків: ХДТУБА, ХОТВАБУ. – 2002. – №18. – С. 264–268.
- [23] Карпович Е.О. Проведення лабораторних досліджень по одержанню змішаного коагулянту, напрацювання укрупненого зразка / Е.О. Карпович // *Анотаційний звіт про НДР. СД НІІ МінДіП.* – Суми. – 2004. – С. 2-17.
- [24] Optical piezometer and precision researches of food properties at pressures from 0 to 1000 MPa / Valerii A. Sukmanov, Oleg V. Radchuk, Marina Y. Savchenko-Pererva, Nina V. Budnik // *Journal of Chemistry and Technologies.* – 2020. – 28(1). – P.68-87.
- [25] Конончук О.О. Передовые химические технологии переработки алюминиевых отходов / О.О. Конончук, А.И. Алексеев, Н.В. Николаева // *Сборник докладов круглого стола Высокие технологии: потенциал и перспективы.* СПб. – 2014. – С. 20–23.
- [26] Конончук О.О. Высокотехнологичные подходы к переработке токсичных отходов очистных сооружений нефтеперерабатывающих предприятий / О.О. Конончук, А.И. Алексеев, О.С. Чуркина // *Сборник докладов круглого стола Высокие технологии: потенциал и перспективы.* СПб. – 2014. – С. 23–24.
- [27] The use of effective coagulants and flocculants to intensify the process of water purification at coke plants / O. Galkina, H. Blahodarna // *Slovak Journal of Civil Engineering.* – 2019. – Vol. 27. – N 2. – P. 21 – 28.
- [28] Gobena B. Evaluation of Mix-Chemical Coagulants in Water Purification Process / B. Gobena, Y. Adela, E. Alemayehu // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* – 2018. – Vol. 7. – N 1. – P. 431–435
- [29] Петренко Н. Ф. К обоснованию применения диоксида хлора для обеззараживания бытовых сточных вод / Н. Ф. Петренко, А. В. Мокиенко // *Довкілля та здоров'я.* – 2004. – № 1. – С. 14–17.
- [30] Applications of Natural Coagulants to Treat Wastewater – A Review / V. Kumar, N. Othman, S. Asharuddin // *MATEC Web of Conferences.* – 2017. – 103(3).
- [31] Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations / N.A. Oladoja // *J. of Water Process Engineering.* – 2015. – N6. – P. 174–192.
- [32] Беликов С.Е. Водоподготовка: Справочник / С. Е. Беликов. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.
- [33] Подгорский В. С. Оптимизация процесса очистки сульфатосодержащих сточных вод / В. С. Подгорский, Т.М. Ключникова, Г.Ф. Смирнова // *Химия и технология воды.* – 1996. – Т.18, № 2. – С. 206–211.
- [34] Никитин В.И. Статистические методы обработки экспериментальных данных: [Учебное пособие] / В.И. Никитин. – Самара: САМ ГТУ, 2016. – С. 40–43.
- [35] Горлач В. В. Обработка, представление, интерпретация результатов измерений / В. В. Горлач, В. Л. Егоров, Н. А. Иванов. – Омск, 2006. – С. 73–83.

References

- [1] Barsukova, H. V. (2017). Reducing anthropogenic impact on the environment on disposal of iron sulphate pigment titanium dioxide production (Candidate of Technical Sciences dissertation).

- [2] Barsukova, H. V., Savchenko-Pererva M. Y. (2020). Reducing the technogenic load on the environment due to the technical solution for the disposal of iron sulphate. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(2), 168–176 (in Ukrainian). <http://doi.org/10.15421/082018>
- [3] Danilishin, B.M. (2006). [State target environmental program "Program for streamlining drainage in the settlements of Ukraine" the main document of prospective development of water use in the country]. *Water and water treatment technologies*, 3, 17–22 (in Ukrainian).
- [4] Kuznetsov, O.V. (2008). [Hygienic evaluation of wastewater treatment and disinfection efficiency according to sanitary and virological indicators (analytical research)]. *Actual problems of transport medicine*, 2(12), 13–106 (in Ukrainian).
- [5] Vinokurov, A. Yu. (1995). [Environmental protection]. *Collection of normative acts: international independent environmental and political scientist. - Moscow: Publishing house of MNEPU*, 200 (in Russian).
- [6] Teklehaimanot, G.Z., Genthe, B., Kamika, I., Momba M.N.B. (2015). Prevalence of enteropathogenic bacteria in treated effluents and receiving water bodies and their potential health risks. *Sci. Total Environ.*, 518-519:441-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.03.019>.
- [7] Bakhir, V.M. (2009). [AQUACHLOR unit: an optimal system for water disinfection]. *Water supply and sewerage*, 3, 36 (in Russian).
- [8] Zapolsky, A.K. (2013). [*Water supply, drainage and water quality*]. Textbook. Kyiv: Higher School (in Ukrainian).
- [9] Dixit, R., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U.B., Sahu, A., Shukla, R., Singh, B.P., Rai, J.P., Sharma, P.K., Lade, H., Paul, D. (2015). Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: an overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability*, 7(2), 2189.
- [10] Alipov, A.N. (2007). [Water supply to the population, industry and agriculture of Donbass]. *Involvement of own resources Water and water treatment technologies*, 4, 17–22 (in Russian).
- [11] Kul'sky, L.A. (1991) [*Fundamentals of water chemistry and technology*]. Tutorial. Kyiv: Naukova Dumka (in Russian).
- [12] Stepanova, N. Yu., Petrov, A.M., Latypova, V.Z. (2000). [Environmental criteria for managing the load on a water body under conditions of pollution with multicomponent waste waters] *Ecological chemistry*, 9 (1), 38–48. (in Russian).
- [13] Tolstopalova, N.M. (2018). [*Theoretical foundations of chemistry and technology of water treatment*]. The program of the discipline, 13, 13–20 (in Ukrainian).
- [14] Khramenkov, S.V., Zagorsky, V.A., Kostyuchenko, S.V., Kudryavtsev, N.N. (2004). [Disinfection of treated wastewater by ultraviolet radiation at the Moscow aeration stations (Chapter from the book "Development of the Moscow Sewerage")]. *Water supply and sanitary engineering*, 4, 39–42 (in Russian).
- [15] Enaime, G., Baçaoui, A., Yaacoubi, A., Lübken, M. (2020). Biochar for Wastewater Treatment-Conversion Technologies and Applications. *Appl. Sci.*, 10, 3492. <http://doi.org/10.3390/app10103492>
- [16] Kaetzl, K., Lübken, M., Uzuna, G., Gehring, T., Nettmann, E., Stenchly, K., Wichern, M. (2019). On-farm wastewater treatment using biochar from local agroresidues reduces pathogens from irrigation water for safer food production in developing countries. *Sci. Total Environ*, 682, 601–610.
- [17] Zapolsky, A.K. Mishkova-Klimenko, N.A, Astrelin, I.M. (2000). [*Physico-chemical bases of wastewater treatment technology*]. Textbook. Kyiv: Libra, 171– 178 (in Ukrainian).
- [18] Bhargava, A., Patel, P. (2011) Environmental Policy Parameters in Urban Planning to Reduce Air Pollution and Save Energy. *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 2(2), 129–134.
- [19] Solomentseva, I.M., Velichanskaya, L.A., Gerasimenko, I.G. (1991). [The problem of residual aluminum in purified water]. *Water chemistry and technology*, 13 (6), 10–12 (in Russian).
- [20] Bhargava, A. (2016). Physico-Chemical Waste Water Treatment Technologies: An Overview. *IJSRE*, 4 (5), 5308 – 5319.
- [21] Bond, T., Chu, W., Guntened, U., Farrée, M. (2020). Themed issue on drinking water oxidation and disinfection processes. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 6, 2252-2256. <https://doi.org/10.1039/D0EW90042G>
- [22] Pashchenko, A.V. (2002). [Prospects for the use of soluble biocidal polymers for the disinfection of urban wastewater]. *Scientific Bull. of Construction, Kharkiv: KhDTUBA, KhOTV ABU*, 18, 264–268 (in Russian).
- [23] Karpovich, E.O. (2004). [Carrying out of laboratory researches on reception of the mixed coagulant, working out of the enlarged sample]. *Abstract report on GDR. MinDiP. Sumy*, 2–17 (in Ukrainian).
- [24] Sukmanov, V. A., Radchuk, O. V., Savchenko-Pererva, M. Y., Budnik, N. V. (2020). Optical piezometer and precision researches of food properties at pressures from 0 to 1000 MPa. *Journal of Chemistry and Technologies*, 28(1), 68–87. <http://dx.doi.org/10.15421/082009>
- [25] Kononchuk, O.O., Alekseev, A.I., Nikolaeva, N.V. (2014). [Advanced chemical technologies for processing aluminum waste]. *Collection of reports of the round table High technologies: potential and prospects*, 20–23 (in Russian).
- [26] Kononchuk, O.O., Alekseev, A.I., Churkina, O.S. (2014). [High-tech approaches to the processing of toxic waste from treatment facilities of oil refineries]. *Collection of round table reports High technologies: potential and prospects*, 23-24 (in Russian).
- [27] Galkina, O., Blahodarna, H. (2019). The use of effective coagulants and flocculants to intensify the process of water purification at coke plants. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 27(2), 21–28. <http://dx.doi.org/10.2478/sjce-2019-0012>

- [28] [28] Gobena, B., Adela, Y., Alemayehu, E. (2018). Evaluation of Mix-Chemical Coagulants in Water Purification Process. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 7(1), 431-435. <http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV7IS010171>
- [29] Petrenko, N.F., Mokienko, A.V. (2004). [To the justification of the use of chlorine dioxide for the disinfection of domestic wastewater]. *Environment and health*, 1, 14-17 (in Russian).
- [30] Kumar, V., Othman, N., Asharuddin, S. (2017). Applications of Natural Coagulants to Treat Wastewater – A Review. *MATEC Web of Conferences*, 103(3). <http://doi.org/10.1051/mateconf/201710306016>
- [31] Oladoja, N.A. (2015). Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations, *J. of Water Process Engineering*, 6, 174-192
- [32] Belikov, S.E. (2007). [*Water treatment*]. Handbook. M.: Aqua-Term, 240 (in Russian).
- [33] Podgorskiy, V., Klyushnikova, T., Smirnova, G. (1996). [Optimization of the sulphate-containing wastewater treatment process]. *Water chemistry and technology*, 18(2), 206-211 (in Russian).
- [34] Nikitin, V. (2016). [*Statistical methods of experimental data processing*]. Study guide. Samara: SAM GTU, 40-43 (in Russian).
- [35] Gorlach, V., Egorov, V., Ivanov, N. (2006). [*Processing, presentation, interpretation of measurement results*]. Tutorial. Omsk, 73-83 (in Russian).