

УДК 628.316.13

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ
НА КІНЕТИКУ ВИЛУЧЕННЯ ФОСФАТІВ І ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ЗІ СТІЧНИХ ВОД****Д. О. Єлатонцев, А. В. Іванченко, О. А. Крюковська**

Дніпродзержинський державний технічний університет

вул. Дніпробудівська, 2а, м. Дніпродзержинськ, 51918, Україна. E-mail: science@dstu.dp.ua

Наведено відомості про стан технології реагентної очистки міських стічних вод з метою доведення вмісту завислих речовин і фосфатів у стоках після біологічної очистки до нормативного рівня. Обґрунтовано переваги гідроксихлориду алюмінію у порівнянні з традиційними коагулянтами. Досліджено процес реагентного видалення завислих речовин і фосфатів зі стічних вод на лабораторній установці із додаванням найбільш ефективних коагулянтів. Вперше встановлено закономірності процесу коагуляції міських стічних із застосуванням сумішей $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 мас.), $Al_2(OH)_5Cl$ та $AlCl_3$ при дозі коагулянтів 30 мг/дм^3 в інтервалі температур 281–303 К. За рівнянням Арреніуса визначено порядок та енергію активації реакцій осадження розчинених ортофосфатів указаними реагентами. Для промислового впровадження запропоновано технологічну схему вузла коагуляційної обробки стоків, що пройшли біологічну очистку для забезпечення високого рівня очистки від фосфатів і завислих речовин.

Ключові слова: завислі речовини, фосфати, коагулянт, осадження, кінетика.

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
НА КИНЕТИКУ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФАТОВ И ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД****Д. А. Єлатонцев, А. В. Іванченко, О. А. Крюковская**

Днепродзержинский государственный технический университет

ул. Днепростроевская, 2а, г. Днепродзержинск, 51918, Украина. E-mail: science@dstu.dp.ua

Приведены сведения о состоянии технологии реагентной очистки городских сточных вод с целью доведения содержания взвешенных веществ и фосфатов в стоках после биологической очистки до нормативного уровня. Обоснованы преимущества гидроксихлорида алюминия по сравнению с традиционными коагулянтами. Исследовано процесс реагентного удаления взвешенных веществ и фосфатов из сточных вод на лабораторной установке с добавлением наиболее эффективных коагулянтов. Впервые установлены закономерности процесса коагуляции городских сточных вод смесью $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 масс.), $Al_2(OH)_5Cl$ и $AlCl_3$ при дозе коагулянтов 30 мг/дм^3 в интервале температур 281–303 К. По уравнению Аррениуса определены порядок и энергия активации реакций осаднения растворенных ортофосфатов указанными реагентами. Для промышленного внедрения предложена технологическая схема узла коагуляционной обработки стоков, прошедших биологическую очистку для обеспечения высокого уровня очистки от фосфатов и взвешенных веществ.

Ключевые слова: взвешенные вещества, фосфаты, коагулянт, осаднение, кинетика.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На даний час однією з головних проблем у області очищення стічних вод є видалення біогенних елементів – сполук азоту й фосфору, що викликають евтрофікацію водних об'єктів. Цей процес характеризується активним зростанням вищої водної рослинності. При цьому з'являються присмак і запах, погіршується колір води, надмірно розвиваються водорості, переважають небажані види планктону і порушується життєдіяльність риб. Продукти метаболізму водоростей можуть викликати шкірні алергічні реакції і шлунково-кишкові захворювання у людей і тварин. Розчинний фосфор є основним лімітуючим елементом, що головним чином впливає на процес евтрофікації. Відомо, що евтрофікація водоймища не спостерігається при концентраціях фосфору (у перерахунку на P) менше показника $0,2 \text{ мг/дм}^3$ [1, 2].

Прийнято вважати, що для попередження евтрофікації водоймища простіше й економічно доцільніше видаляти сполуки фосфору, ніж азоту. Встановлено, що масовий розвиток водоростей у першу чергу відбувається за наявності вуглецю, азоту й фосфору. Оскільки CO_2 поглинається водою із повітря, обмежити концентрацію вуглецю у воді важко. Найдоцільніше боротися з евтрофікацією шляхом зведення до мінімуму концентрації фосфору у стічних водах, адже відомо, що 1 мг азоту продукує 21–25 мг водоростей, 1 мг фосфору – 40–50 мг водоростей [3].

Аналіз вмісту фосфатів – важлива складова комплексного контролю складу природних і питних вод. Одним із постійних джерел надходження біогенних забруднюючих речовин у водні об'єкти є міські стічні води, з яких при загальноприйнятих технологіях біологічного очищення не забезпечується видалення азоту і фосфору до необхідних нормативів. Більшість споруд очищення міських стоків, що функціонують в Україні, ґрунтуються на традиційній технології біологічної очистки і дають низький ступінь вилучення фосфатів (до 20–30 %). Високий вміст фосфатів в господарсько-побутових стічних водах є проблемою не тільки сьогодення, а й останнього десятиліття, протягом якого спостерігається його зростання із $6\text{--}8 \text{ мг/дм}^3$ до $20\text{--}25 \text{ мг/дм}^3$. Основним джерелом надходження фосфатів у стоки, згідно з даними статистики, є побутовий сектор і різні галузі промисловості, в яких широко застосовується безліч видів синтетичних миючих засобів.

У Швеції, Фінляндії, Німеччині норми вмісту загального фосфору у водах, що скидаються у водоймища, становлять $0,5\text{--}1 \text{ мг/дм}^3$ (у перерахунку на P), у Польщі, Румунії, Угорщині ГДК фосфатів у водах дорівнює $0,05\text{--}1 \text{ мг/дм}^3$ залежно від категорії водоймища. В Україні концентрація фосфоровмісних сполук у стічних водах при скиданні їх у водоймища встановлюється з умови недопустимості евтрофікації і залежить від природи сполук фосфору, ступеня

розбавлення стічних вод у водоймищі, фонові концентрації фосфору в ньому. ГДК фосфатів для деяких типів вод наступні:

- вода питна – 3,5 мг/дм³;
- вода водопровідна – 0,4 мг/дм³;
- водоймища проточні – 0,1 мг/дм³;
- озера, ставки – 0,05 мг/дм³;
- вода систем зворотного водопостачання – 0,03 мг/дм³ [4, 5].

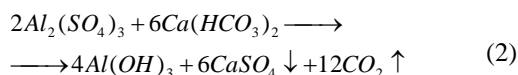
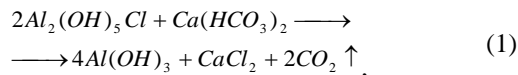
Завислі речовини (ЗР) є одними з найбільш розповсюджених забруднень як побутових, так і промислових стічних вод. У випадку міських стічних вод ЗР більшою частиною складаються з мінеральних домішок різноманітного походження дуже малого діаметра (~ 1–100 мкм). У промислових стоках ЗР – це суміш мікроскопічних часточок специфічної сировини з мінеральними включеннями. Незважаючи на низьку екологічну небезпечність, ЗР дуже важко піддаються віддаленню зі стічних вод через малу швидкість осадження, яка не дозволяє використовувати метод відстоювання для очистки від них. У той же час надмірна концентрація ЗР може призвести до порушення роботи очисних споруд шляхом захарашування комунікацій та апаратури. Також недотримання вимог регламенту щодо вмісту ЗР перед подачею на стадію біологічної очистки згубно впливає на діяльність мікроорганізмів активного мулу. Нажаль, подібні перевищення постійно супроводжують роботу переважної більшості очисних споруд України. Дієвим методом доведення вмісту ЗР до рівнів чинних нормативів є використання спеціальних реагентів – коагулянтів.

Реагентний метод передбачає використання коагулянтів на різних стадіях очистки. Традиційними коагулянтами є розповсюджені неорганічні електроліти: солі алюмінію і феруму – Al₂(SO₄)₃, Fe₂(SO₄)₃, FeSO₄, FeCl₃ тощо [6, 7].

Найбільш широко розповсюджені коагулянти для обробки міських стоків – алюміній сульфат Al₂(SO₄)₃ і ферум (III) хлорид FeCl₃. Недоліком сульфату алюмінію є висока чутливість до температури води, яка підлягає обробці. За низьких температур алюміній гідроксид сильно гідратований, і тому утворює високо стійкий золь. Підвищення стійкості відображається на швидкості утворення пластівців. Це викликає значну перевитрату коагулянту взимку.

Ферумвмісні коагулянти (на відміну від алюмінієвих) не чутливі до змін температури і рН, тому їх можна застосовувати для обробки вод найрізноманітнішого складу. Крім того, через більшу щільність пластівців Fe(OH)₃ порівняно з Al(OH)₃ (3,6 проти 2,4 г/дм³), процес осадження ферумвмісними коагулянтами відбувається швидше. Але, при коагулюванні крупні пластівці Fe(OH)₃ осідають дуже швидко, а більша частина маленьких надовго залишаються у розчині, погіршуючи тим самим процес очистки. Тому доцільно застосовувати змішані коагулянти, наприклад суміш Al₂(SO₄)₃ та FeCl₃ у масовому співвідношенні 1:1. Змішаному коагулянту притаманні всі позитивні властивості обох реагентів. Разом із тим, пластівці осаджуються більш рівномірно, й у відстійниках досягається більш повне освітлення. Застосування змішаного коагулянту призводить до економії Al₂(SO₄)₃ взимку до 60–65 %.

Крім перелічених коагулянтів, у процесах очистки стоків за кордоном широко застосовують алюміній гідроксихлорид Al₂(OH)₅Cl. У молекулі цієї речовини міститься у три рази більше алюмінію, ніж у алюміній сульфаті. При застосуванні цього реагенту солевміст води збільшується у значно меншому ступені, ніж при роботі з вищезазначеними коагулянтами. Алюміній гідроксихлорид не потребує підлуження, так як знижує лужний резерв води значно менше, ніж Al₂(SO₄)₃. Порівнюючи реакції



можна помітити, що за першою реакцією виділяється у шість разів менше CO₂, ніж за другою. Присутність двооксиду вуглецю у воді обумовлює її корозійні властивості та вимагає додаткового підлуження. Також встановлено, що Al₂(OH)₅Cl, на відміну від більшості коагулянтів, малочутливий до перепадів температур і значень рН.

У світовій практиці для глибокого видалення сполук фосфору застосовують хімічну обробку стічних вод сумісно з біологічним очищенням. Удосконалення таких технологічних схем продовжують і на даний час. Основними напрямками виконуваних робіт є: дослідження способів підвищення ефективності вживання реагентів; випробування нових і дешевших реагентів, у тому числі відходів промисловості; визначення впливу додавання реагенту на біологічні процеси очищення стічних вод [8–10].

Мета роботи – дослідження впливу температури водного середовища на швидкість та повноту осадження фосфатів і завислих речовин із міських стічних вод і запропонувати методіку очистки для досягнення вмісту фосфатів в очищених стічних водах на рівні європейських стандартів.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення наступних задач:

- 1) експериментально встановити закономірності процесу коагуляції міських стічних вод сумішшю Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ (1:1 мас.), Al₂(OH)₅Cl та AlCl₃ при дозі коагулянтів 30 мг/дм³ в інтервалі температур 281–303 К;
- 2) визначити найефективніший коагулянт для промислового впровадження на очисних спорудах;
- 3) обчислити енергію активації реакції осадження ортофосфатів кожним окремим реагентом;
- 4) розробити технологічну схему вузла реагентної обробки міських стоків, які пройшли біологічне очищення.

Методика досліджень полягала у наступному. У дев'ять реакторів перенесено стічну воду об'ємом 250 см³ в кожний. Перші три з них після додавання, відповідно, суміші Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ (1:1 мас.), Al₂(OH)₅Cl «Полвак-68» і AlCl₃ у кожний окремий реактор, витримано при температурі 281 К протягом одні-

єї години. Оптимальна доза кожного коагулянту (визначена експериментально у ході попередніх досліджень) становила 30 мг/дм³. Аналогічні операції були повторені для інших шести реакторів, але за різних температурних режимів – 291 і 303 К, кожний з яких відповідає середньо-сезонній температурі міських стоків.

Через визначені проміжки часу (30 і 60 хв.) з кожного реактору відбирали проби, в яких визначали вміст розчинених ортофосфатів і завислих речовин за стандартними методиками.

Об'єктом досліджень обрано стоки, що пройшли стадію біологічної очистки комплексу правобережних очисних споруд м. Дніпродзержинська. Наразі

на об'єкті спостерігається стійка тенденція до перевищення ГДК за завислими речовинами і фосфатами у стічній воді, яка спрямовується на скид у поверхневі водойми, у результаті цього становище водних екосистем регіону викликає все більшого занепокоєння. Тому актуальність визначення способів доведення вмісту фосфору в очищених водах до нормативів як ніколи висока.

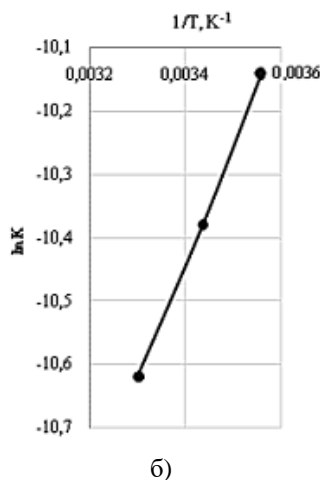
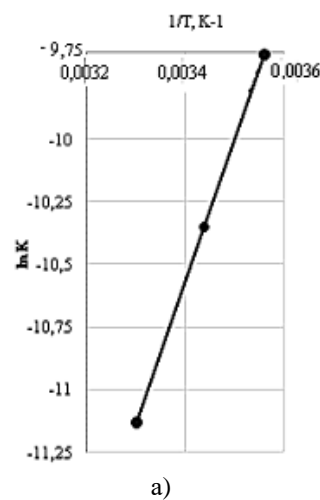
Проведені дослідження направлені на доведення концентрацій вказаних забруднень до нормативного рівня. Результати експериментів представлено у табл. 1.

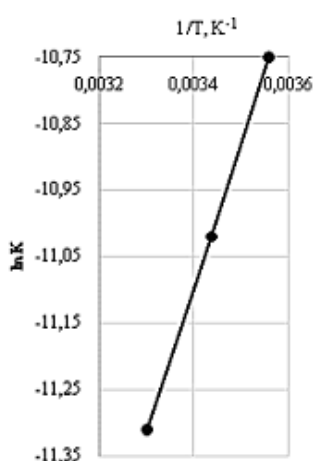
Таблиця 1 – Залежність концентрації фосфатів та завислих речовин від тривалості процесу коагуляції при різних температурних режимах

Коагулянт	Температура, К	Концентрація, мг/дм ³							
		Фосфати		Завислі речовини		Фосфати		Завислі речовини	
Al ₂ (SO ₄) ₃ + FeCl ₃	281	6,5	80	6,00	64	2,75	60		
	291	6,5	80	3,00	50	0,50	45		
	303	6,5	80	2,25	30	0,25	20		
Al ₂ (OH) ₅ Cl	281	6,5	80	5,25	75	3,50	70		
	291	6,5	80	3,75	50	2,55	30		
	303	6,5	80	3,25	40	2,25	25		
AlCl ₃	281	6,5	80	6,00	64,5	0,75	60		
	291	6,5	80	2,75	60	0,50	50		
	303	6,5	80	1,45	50	0,25	40		
Тривалість процесу коагуляції, хв		0		30		60			

Проаналізувавши дані табл. 1, можна дійти висновку, що збільшення тривалості коагулювання рівно як і температури водного середовища значно збільшує ефективність очистки стічної води. Це підтверджується даними статистики: відомо, що в теплі періоди року інтенсивність процесів очистки вища, ніж у холодні. Зокрема, суміш алюміній сульфату та ферум (III) хлориду видаляє усі статті забруднень найбільш повно у порівнянні з іншими реагентами при усіх температурних режимах. Натомість, алюміній гідроксихлорид марки «Полвак-68» несподівано виявився найменш ефективним з усіх реагентів. Вірогідно, що низький ступінь очистки пояснюється неправильним підбором оптимальної дози при високій вихідній концентрації забруднень (початкова концентрація завислих речовин становила 80 мг/дм³, фосфатів – 6,5 мг/дм³). В подальшому слід провести додаткові дослідження для встановлення причини цього явища. У будь-якому разі, застосування суміші Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ дозволяє довести вміст фосфатів до прийнятної позначки (ГДК фосфатів 3,5 мг/дм³).

З метою розкриття кінетичних закономірностей процесу осадження ортофосфатів різними коагулянтами експериментальні дані були математично оброблені і представлені у вигляді графіків залежності логарифму константи швидкості хімічної реакції від оберненої температури. Надалі, за допомогою рівняння Арреніуса визначили енергію активації реакції осадження фосфатів кожним окремим реагентом. На рис. 1 наведені експериментальні криві за допомогою яких було визначено кут нахилу кривих до осі x.





в)

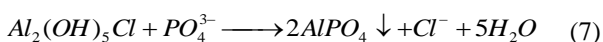
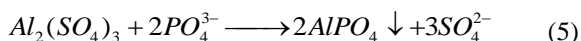
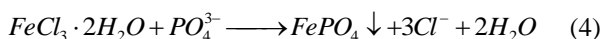
Рисунок 1 – Залежність логарифму константи швидкості реакції осадження фосфатів від 1/T в інтервалі температур 281–303 К: а – суміш $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 мас.); б – $Al_2(OH)_5Cl$; в – $AlCl_3$

Механізм хімічного осадження фосфатів полягає в утворенні нерозчинних сполук фосфору, таких як ферум (III) фосфат або алюміній фосфат. У процесі осадження іонами металів розчинні фосфати, перш за все ортофосфати, перетворюються на малорозчинні речовини (фосфор переводиться в нерозчинну форму і виводиться разом з осадом). При додаванні до стічної води солей алюмінію і феруму в результаті реакції гідролізу утворюються малорозчинні у воді гідроксиди феруму й алюмінію, які на розвиненій пластівчастій поверхні сорбують завислі, дрібнодисперсні і колоїдні речовини. Паралельно з коагуляцією спостерігається утворення нерозчинних фосфатів алюмінію і феруму, які також сорбуються на поверхні гідроксидів і осідають.

Основна реакція:



у нашому випадку



Експериментально встановлено порядок кожної з реакцій – він виявився близькими до «1». Для реакції першого порядку залежність концентрації вихідної речовини від часу експоненціальна, період напівперетворення не залежить від початкової концентрації вихідної речовини. В результаті підрахунків отримано наступні значення енергії активації: суміш $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 мас.) – 15,63 кДж/моль; $Al_2(OH)_5Cl$ – 17,82 кДж/моль; $AlCl_3$ –

42,75 кДж/моль. Величина енергії активації для перших двох реагентів свідчить про дифузійний характер процесу видалення фосфатів, натомість високе значення її у випадку застосування $AlCl_3$ указує на існування деякого енергетичного бар'єру, котрий перешкоджає перебігу реакції за даних умов. Але, як показали дослідження, реакція осадження фосфатів алюміній хлоридом, рівно як і завислих речовин, відбувається достатньо повно і швидко.

Застосовувати в промислових масштабах рекомендовано суміш $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 мас.) з наступних причин. По-перше, вторинне забруднення стоків хлоридами та сульфатами буде знаходитись у прийнятних межах. По-друге, при добавці такого роду коагулянту спостерігаються найвищі показники очистки стоків від завислих речовин і фосфатів при температурі 303 К відповідно 96 та 66 %. Шляхом індивідуального підбору дози та виду коагулянту відповідно до потрібного складу стічних вод об'єкту можливо буде досягти навіть вищих показників очистки.

Упровадження методу реагентної обробки на міських очисних спорудах призведе до підвищення ефективності їх роботи, при цьому вміст фосфатів і завислих речовин в очищених водах відповідатиме європейським стандартам. Осад, який утворюватиметься в процесі коагуляції, можна складувати на мулових майданчиках або в суміші з надлишковим активним мулом і добавкою органічних відходів переробляти на цінні побічні продукти – комплексні добрива і біогаз. Запропоноване технологічне рішення за попередніми підрахунками окупиться за 1,5–2 роки.

Технологічна схема вузла реагентної обробки біологічно очищених стічних вод перед скидом у водойму в умовах міських очисних споруд приведено на рис. 2.

Розроблену технологічну схему рекомендовано використовувати на міських очисних спорудах України, де вміст фосфатів і завислих речовин в очищених стоках не відповідає нормативним вимогам. Через високу технологічну гнучкість, дана схема добре підійде й усім іншим спорудам очистки міських стоків, де наявна стадія біологічної очистки.

ВИСНОВКИ. Обґрунтовано актуальність проблеми інтенсифікації технології очистки міських стоків за допомогою реагентної обробки.

Експериментально показано, що, застосовуючи процес коагуляції стічних вод, які пройшли етапи біологічної очистки, можна досягти високого рівня очищення від біогенного елементу фосфору – менше 1 мг/дм³, тобто до європейських норм, а також знизити вміст завислих речовин у два рази. Усе це дозволить повністю або частково попередити евтрофікацію р. Дніпро.

При математичному описі кінетики хімічної реакції процесу видалення фосфатів сумішшю $Al_2(SO_4)_3+FeCl_3$ (1:1 мас.), $Al_2(OH)_5Cl$ та $AlCl_3$ за рівнянням Арреніуса встановлено, що процес протікає перебігає за реакцією першого порядку.

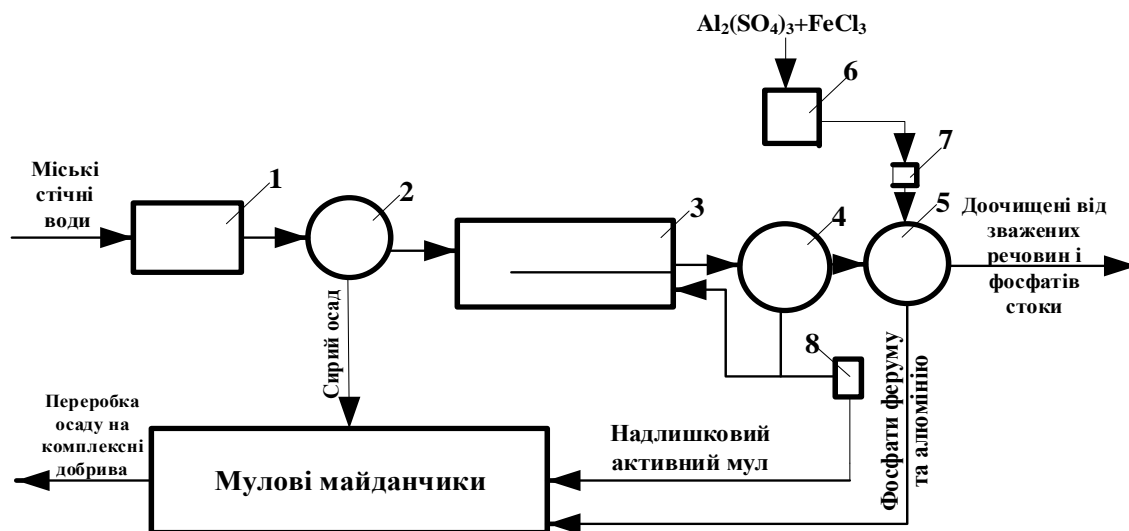


Рисунок 2 – Технологічна схема вузла реагентної обробки біологічно очищених стічних вод в умовах міських очисних споруд: 1 – приймальна камера; 2 – первинний відстійник; 3 – аеротенк; 4, 5 – вторинні відстійники; 6 – збірник розчину коагулянту; 7 – дозатор; 8 – мулова камера

Залежність концентрації вихідної речовини від часу експоненціальна, період напівперетворення не залежить від початкової концентрації вихідної речовини.

Визначено енергію активації реакції осадження ортофосфатів в інтервалі температур 281–303 К для трьох різних коагулянтів. Приймаючи до уваги дифузійний характер перебігу процесу осадження, доцільно буде забезпечити інтенсивне перемішування реагенту із стічними водами, особливо у холодну пору року.

Розроблено технологічну схему вузла реагентної обробки біологічно очищених стічних вод для запровадження на міських очисних спорудах. Удосконалена технологія очистки дозволяє додатково отримувати корисні та екологічні побічні продукти – добриво і біогаз. Вважаємо перспективними продовжити дослідження впливу температури на кінетику осадження фосфатів і завислих речовин із міських стічних вод за допомогою інших неорганічних та органічних електролітів, а також із додаванням флокулянтів.

Публікація містить результати досліджень, проведених за грантової підтримки Державного фонду фундаментальних досліджень конкурсного проекту 584 (грант Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2016 рік).

ЛІТЕРАТУРА

1. Андрусичина І.М. Обережно – фосфати // Вода и водоочистные технологии. – 2012. – № 5 (65). – С. 4–9.
2. Подорван Н.И., Глоба Л.И., Куликов Н.И., Гвоздяк П.И. Удаление соединений фосфора из

сточных вод // Химия и технология воды. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 591–610.

3. Кресин В.С., Еременко Е.В., Захарченко М.А. Динамика поступления соединений фосфора в украинские прибрежные воды Черного моря и комплекс водоохраных мероприятий // Экология докільля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 28–34.

4. Клименко М.О., Вознюк Н.М. Екологічний стан басейну ріки Західний Буг // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – Вип. 1/2011 (66). – С. 127–129.

5. Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 760 с.

6. Методы очистки городских сточных вод от биогенных элементов / Е.М. Крючихин, А.Н. Николаев, Н.А. Жильникова, Н.Ю. Большаков // Водоочистка. – 2007. – № 1. – С. 30–34.

7. Arcadio P. Sincero, Gregoria A. Sincero Physical-chemical treatment of water and wastewater. – Florida: CRC Press LLC, 2003. – 815 p.

8. Review on chemical treatment of industrial wastewater / Sahu O.P., Chaudhari P.K. // Journal of Applied Science and Environmental Management. – 2013. – Vol. 17 (2). – PP. 241–257.

9. Vivek V. Ranade, Vinay M. Bhandari Industrial wastewater treatment, recycling, and reuse. – Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2014. – 560 p.

10. Mark M. Benjamin, Desmond F. Lawler Water Quality Engineering: Physical/Chemical Treatment Processes. – John Wiley & Sons, Inc., 2013. – 879 p.

RESEARCH AND MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE KINETICS OF PHOSPHATES AND SUSPENDED SOLIDS EXTRACTION FROM WASTEWATER

D. Yelatontsev, A. Ivanchenko, O. Kryukovska

Dniprodzerzhynsk State Technical University

vul. Dniprobudivska, 2a, Dniprodzerzhynsk, 51918, Ukraine. E-mail: science@dstu.dp.ua

Purpose. The investigation of process of phosphates and suspended solids removal from wastewater were conducted. Based on achieved data, the mathematical model of phosphates precipitation according to Arrhenius equation was created. Also, the main statements about the state of coagulation treatment technology of urban wastewater were briefly argued. **Methodology.** The study of coagulation process was carried by means of Jar-test method and further measure of phosphates and suspended solids concentration using standard method. Initial concentration of phosphates was 6,5 mg/dm³ and suspended solids – 80 mg/dm³, respectively. **Results.** The greatest degree purification of waste water from phosphates and suspended solids – 96 and 66 % respectively, is observed when using a mixture of Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ (1:1 mass.) at a temperature 303 K. Residual concentration of phosphates was reached less than 0,5 mg/dm³ and suspended solids – less than 30 mg/dm³, respectively. **Originality.** The regularities of the coagulation process of urban waste water with a mixture of Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ (1:1 mass.), Al₂(OH)₅Cl, AlCl₃ at a dose of coagulants 30 mg/dm³ in the temperature range 281 – 303 K was established for the first time. The Arrhenius equation determined that the activation energy of precipitation reactions of dissolved orthophosphate, by a mixture of Al₂(SO₄)₃+FeCl₃ (1:1 mass.) – 15,63 kJ/mol, Al₂(OH)₅Cl – 17,82 kJ/mol, AlCl₃ – 42,75 kJ/mol, respectively. **Practical value.** Paper presents a technological scheme of coagulation treating unit of effluents, which passed the stages of biological purification. We recommend it to apply on urban wastewater treatment plants of Ukraine. **Conclusions.** It was shown that chemical precipitation is highly effective technique for urban wastewater treatment and the most preferable chemicals used for that purpose, are salts of iron and aluminum and their combinations. References 10, tables 1, figures 2.

Key words: suspended solids, phosphates, coagulant, precipitation, kinetics.

REFERENCES

1. Andrusyshyna, I.M. (2012), "Beware of phosphates", *Voda i vodoochisnye tekhnologii* vol. 5, no. 65, pp. 4–9.
2. Podorvan, N.I., Globa, L.I., Kulikov, N.I. and Gvozdyak, P.I. (2004), "Removal of phosphorus compounds from waste water", *Himiya i tehnologiya vodyi*, vol. 6m no. 26, pp. 591–610.
3. Kresin, V.S., Eremenko, E.V., Zaharchenko, M.A. (2008), "Dynamics of income of phosphorus compounds in the Ukrainian Black Sea coastal waters and the complex of water protection measures", *Ekologiya dovkillya ta bezpeka zhittediyalnosti*, vol. 5, pp. 28–34.
4. Klimenko, N.A., Voznyuk, N.N. (2011), "The ecological state of pool of river Western Bug", *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, iss. 1, no. 66, pp. 127–129.
5. Voronov, Yu.V. (2009), *Vodootvedenie i ochistka stochnykh vod* [Sewage and wastewater treatment], Izdatelstvo Assotsiatsii stroitelnykh vuzov, Moscow, Russia.
6. Kryuchikhin, E.T., Nikolaev, A.N., Zhil'nikova, N.A., Bol'shakov, N.Yu. (2007), "Methods of urban wastewater treatment from nutrients", *Vodoochistka*, vol. 1, pp. 30–34.
7. Sincero, A.P., Sincero, G.A. (2003), *Physical-chemical treatment of water and wastewater*, CRC Press LLC, Florida, USA.
8. Sahu, O.P., Chaudhari, P.K. (2013), "Review on chemical treatment of industrial wastewater", *Journal of Applied Science and Environmental Management*, vol. 17, no. 2, pp. 241–257.
9. Ranade, V.V., Bhandari, V.M. (2014), *Industrial wastewater treatment, recycling and reuse*, Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, Waltham, MA, USA.
10. Benjamin, M.M., Lawler, D.F. (2013), *Water Quality Engineering: Physical/Chemical Treatment Processes*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, USA.

Стаття надійшла 08.04.2016.