

УДК 625.731

Висоцький С.П., д-р техн. наук, **Столярова Н.О.**, канд. техн. наук.,
Коновальчик М.В., **Чмихалова Ю.Ю.**

ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ СИСТЕМ ВОДОВІДЕННЯ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ

Анотація. У статті проаналізовано склад стічних вод із систем водовідведення на автомобільних дорогах. Рекомендовано здійснювати окремий збір ливневих та комунальних вод, що значно спрощує їх наступне використання. Досліджені умови обробки стічних вод вапном для видалення важких металів. Запропоновано застосування для інтенсифікації процесу відстоювання дозування мікропіску (процес “Actiflo”)

Ключові слова: стічні води, коагуляція, завислі речовини, нафтопродукти, вапно, добуток розчинності, процес «Actiflo»

Аннотация. В статье проанализирован состав сточных вод из систем водоотведения на автомобильных дорогах. Рекомендовано осуществлять отдельный сбор ливневых и коммунальных вод, что значительно упрощает их последующее использование. Исследована обработка сточных вод известью для удаления тяжелых металлов. Предложено применение метода интенсификации процесса отстаивания и дозирования микропеска (процесс “Actiflo”).

Ключевые слова: сточные воды, коагуляция, взвешенные частицы, нефтепродукты, известь, произведение растворимости процесс «Actiflo»

Annotation. Composition and methods of waste water cleaning after road water collection systems are analyzed. The separate collection of rain and snow water (precipitation) and municipal wastes are well-founded. It makes easier their further using. Methods of waste water treatment with lime is investigated. Water treatment clarification of rain and snow water after road systems by process «Actiflo» is recommended.

Key words: waste water, coagulation, suspended matters, oil products, lime treatment, «Actiflo» process

В процесі будівництва і експлуатації автомобільних доріг відбувається порушення екологічного балансу і постійне збільшення техногенного навантаження на довкілля. В Україні основну забруднюючу дію на довкілля надає транспортний комплекс, екологічний збиток від автомобілів складає 63%. Викиди транспортних засобів є дуже високою долею всіх викидів: більше 80% всіх свинцевих викидів, більше 40% всіх викидів оксидів азоту і більше 20% всіх летких органічних складових [1]. Дії транспортних засобів на довкілля найчастіше зводяться до оцінки забруднення повітряного середовища і шумового рівня, при цьому незначна увага приділяється забрудненню прилеглої до автомобільних доріг та мостових переходів території, водоймищ і ґрунтових вод дорожніми поверхневими стоками [1]. У крупних містах і на позаміських швидкісних автомобільних дорогах поверхневий стік є значними об'ємами забруднених вод, які найчастіше без очищення, із значеннями гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин, що перевищують норму у декілька разів, потрапляють у водні об'єкти і на прилеглу територію, що протирічить природоохоронним вимогам.

Одним із способів зниження негативної дії забруднених поверхневих стоків з автомобільних доріг на прилеглу територію і водні об'єкти є своєчасний організований збір поверхневих стічних вод в систему водовідводу з їх подальшим очищенням. Проте наявні в нашій країні системи поверхневого водовідводу часто непрацездатні і не відповідають вимогам нормативних документів [1]. Лише у 2000 р. на території України об'єм скидання забруднених стічних вод з автомобільних доріг у водоймища склав 81 тис. т завислих речовин, 3 тис. т нафтопродуктів і більше 350 тис. т протиожеледних матеріалів. Найбільшу небезпеку при попаданні стічних вод з покриття автомобільних доріг на прилеглу територію і у водоймища представляють

нафтопродукти, до складу яких входять бензол, стирол, толуол, ксилол та ін. Встановлено, що 1 г нафти здатний повністю погубити життя в 1 м³ води [2].

Поверхневі стоки, що містять в своєму складі нафтопродукти, сприяють утворенню на поверхні водоймища нафтової плівки товщиною 0,4 - 1 мм і зниженню кількості розчиненого кисню, що діє згубним чином на життєдіяльність водних організмів. Важкі залишки нафтопродуктів, що осідають у водоймищі, розкладаючись, забруднюють воду продуктами розпаду, а частина з них виноситься на поверхню у вигляді бульбашок газу, які, лопаючись, утворюють нафтову пляму.

Стоки талих вод з поверхні автомобільних доріг мають в своєму складі розчинені хімічні речовини протиожеледних матеріалів, природа дії яких на довкілля до цих пір детально не вивчена. Як протиожеледні матеріали найчастіше використовують реагенти, що містять хлористий натрій; залістисті ціаниди, ціаниди натрію і жовті ціаниди вуглекислого натрію (для гранулювання реагентів); гіпс; солі кальцію і магнію; карбамід та ін. Зарубіжними дослідниками [3, 4] було виявлено, що хлориди натрію, що концентруються в ґрунтах прилеглої до автомобільної дороги території, здатні заміщати катіони кальцію, магнію і калію, що приводить до зміни характеристик ґрунтів, пептизації гранул, рівня рН і видозміні рослинності, а вірогідність проростання багатьох типів рослин на цих ґрунтах може складати всього 50% [5]. У США при проведенні досліджень величини вмісту забруднюючих речовин у водоймищах, розташованих на відстані 50 - 100 м від автомобільної дороги, було встановлено, що у водних об'єктах, розташованих в місцях, де поздовжній профіль автомобільної дороги має увігнутий контур, рівень вмісту хлоридів в 31 раз більший, ніж у водоймищах, розташованих біля ділянок автомобільних доріг з опуклим поздовжнім профілем, що зумовлено тим, що увігнутий поздовжній профіль діє як своєрідний акумулятор в якому накопичуються забруднення [6]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, до 80% захворювань людини пов'язано з вжитком неякісної води, при цьому більше 95% води, що використовують з господарсько-питною метою добувається з поверхневих джерел. В зв'язку з цим дія автомобільних доріг як техногенних споруд на природне середовище виявляється досить значною, оскільки вона знижує самоочищення природних систем.

Водний баланс території проходження автомобільної дороги формується в результаті взаємодії складових його показників, тобто об'єму зливого і

снігового стоку, об'єму інфільтрації і величини випару, які впливають на зміну запасів вологи на водозборі. В даному випадку очисні споруди, на які поступає закумуляований на поверхні автомобільної дороги і мостового полотна зливовий і сніговий стік, виконують роль конструкцій, що дозволяють зберегти екологічний баланс та є водобалансними спорудами. При будівництві очисних споруд і використанні особливостей прилеглої до автомобільної дороги території особливу увагу необхідно приділяти сполученню цих конструкцій з системою дорожнього поверхневого водовідводу. Стічні води з двохскатного поперечного профілю дороги збираються у лотках вздовж проїзної частини. По водоприймальному колектору забруднений сток подається у приймальний лоток водоочищуючої споруди.

Середньостатичний склад дощового стоку: завислі речовини - 400 мг/дм³, БПК₂₀ - 40 мг/дм³, нафтопродукти - 8 мг/дм³; талого стоку: завислі речовини - 2000 мг/дм³, БПК₂₀ - 70 мг/дм³, нафтопродукти - 20 мг/дм³. Сольовий склад суттєво залежить від місця розташування.

Злилові води в більшості випадків мають відносно малу мінералізацію, що дозволяє змішувати їх з деякими шахтними водами підвищеної мінералізації та використовувати для зрошування сільськогосподарських угідь.

В сучасних умовах злилові та комунальні стоки об'єднуються та піддаються сумісному очищенню, що впливає як на ефективність очищення, так і на витрати [8]. Суттєва відмінність якості поверхневих зливових та комунальних стоків вказує на доцільність їх розділення та використання різних технологій очищення.

У зв'язку з забрудненням поверхневих водоймищ та дефіцитом води стоки з систем водовідведення автомобільних доріг доцільно використовувати після попереднього очищення для потреб промисловості або сільського господарства.

Основними забруднювачами стічних вод є завислі речовини. Вони досить ефективно видаляються методами коагуляції [7]. Пластівці, що утворилися в процесі коагуляції та флокуляції видаляються з води осадженням у вертикальних відстійниках або фільтруванням.

Скоагульовані забруднення зазвичай виділяють з води в процесі її відстоювання або флоатації з наступним фільтруванням освітленої води через зернисту загрузку [10]. Тривалість процесу відстоювання у вертикальних, горизонтальних та радіальних відстійників, а також освітлювачів різних

конструкції складає 1 – 1,5 години. При використанні пластинчатих або трубчастих відстійників тривалість відстоювання скорочується до 30–40 хвилин. Перевагами використання комбінованих споруд в схемах фізико-хімічної очистки є можливість рециркуляції стічної води та осаду. Ефективні тонкошарові відстійники з механічною камерою утворення пластівців. Використання методу відстоювання у тонкому шарі дозволяє значно інтенсифікувати процес виділення механічних домішок та забезпечити високий ступінь освітлення для споруд, що потребують компактності розташування.

Розрахунковий час перебування води у камері утворення пластівців складає приблизно від 5 до 15 хвилин незалежно від способу перемішування, проте залежить від тривалості та інтенсивності. Градієнт швидкості у камерах утворення пластівців можна розрахувати за формулою:

$$G = \left(\frac{N}{W \cdot \eta} \cdot 2\pi n \right)^{1/2}, \quad (1)$$

де N – початкова потужність, що витрачається на обертання, Вт;

W – об'єм камери, м³;

η – динамічна в'язкість води, Па·с;

n – частота обертання мішалки.

Серед прогресивних технічних рішень, що заслуговують впровадження у найближчій перспективі є метод інтенсифікації процесу відстоювання шляхом дозування мікропіску (процес «Actiflo»). Систему «Actiflo» можна використовувати для очищення стоків з систем водовідведення на автомобільних дорогах для збільшення продуктивності та зменшення капітальних витрат.

Тривалість очищення на існуючих спорудах складає приблизно від однієї до трьох годин, а безпосередньо коагуляція може займати від 20 до 40 хвилин [7]. Технологія "Actiflo" дозволяє інтенсифікувати процес, не втрачаючи якісних характеристик (рис. 1). Ця технологія поєднує в собі процеси коагуляції, флокуляції та седиментації. Відмінністю останньої є те, що в зону реакції подається високодисперсний пісок, який сприяє збільшенню ваги пластівців шламу при використанні флокуляції. Останній рециркулює завдяки використанню гідроциклону. Як наслідок період кристалізації скорочується, густина осаду збільшується. Технологія передбачає перемішування на трьох стадіях (коагуляції, флокуляції та в камері утворення пластівців).

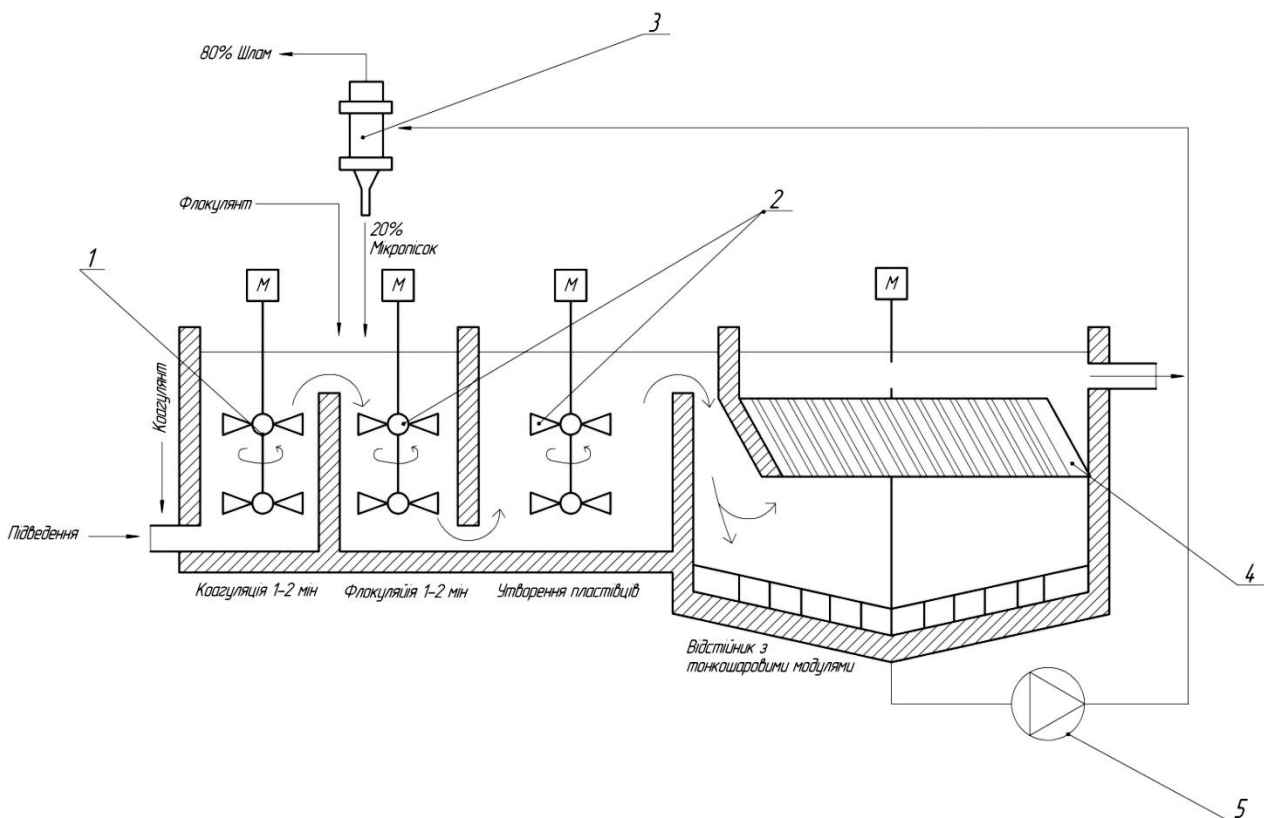


Рисунок 1 – Схема обробки води з рециркуляцією шламу та піску

- 1 – зона коагуляції – перемішування води, що поступає на очищення з коагулянтном;
- 2 – зона флокуляції – агрегація часток після коагуляції;
- 3 – зона дозрівання – подальше укрупнення шламу;
- 4 – зога видалення часток шламу в тонкошарових модулях.
- 5 – насос відкатки шламу на гідроциклон.

Установка ефективна для видалення важких металів (свинець), присутніх у стоках з систем водовідведення автомобільних доріг.

Продуктивність процесу "Actiflo" складає до 20000 м³ для стічної води. Основні параметри процесу наведено у табл. 2.

Таблиця 1 – Основні показники процесу коагуляції

Показник	Стічні води	Традиційні методи
Тривалість процесу	5-6 мин.	1-4 ч
Тривалість коагуляції	3-5 мин.	20-40 мин.

При використанні Actisand Actiflo процес очищення досягає найкращих результатів в порівнянні зі всіма існуючими освітлювальними процесами, показує стійке видалення каламутності, кольоровості, загального органічного вуглецю, водоростей, колоїдних частинок, хвороботворних мікроорганізмів, окисленого заліза, марганцю, миш'яку і ін [6]. Очищена вода може бути використана для відновлення води зворотної промивки від швидкісних гравітаційних фільтрів. Це значно зменшує втрати води і експлуатаційні витрати. Експлуатаційні характеристики для поверхневої і очищеної води, очищеної методом «Actiflo» наведено у таблиці 3.

Таблиця 2 - Експлуатаційні характеристики для поверхневої і очищеної води.

Назва	Вода (значення на вході), мг/л	Ступінь очищення води у процесі «Actiflo», %
Каламутність	0 - 2000	95-99
Завислі речовини	0 - 3000	90-99
Кольоровість	0 - 350	85-97
ТОК (загальний органічний вуглець)	1 - 30	30 - 60 %
Хлорофіл А	0 - 100	90 - 99 %
Марганець	0 - 2,5	60 - 95 %
Миш'як	0 - 2,0	50 - 90 %
Залізо	0 - 5,0	60 - 98 %
Водорості	0 - $1 \cdot 10^5$ клітин/мл	90 - 99 %

Характеристики дощового та талого стоків з систем водовідведення на автомобільних дорогах відрізняються від комунально-побутових стоків тому необхідно здійснювати окремий збір цих стоків. Система «Actiflo» ефективна практично на всіх етапах обробки комунальних стоків. Видалення фосфору становить більш 90%.

В поверхневих водах, що збираються з автомобільних доріг суттєву масу забруднень складають важкі метали. Важкі метали відносяться до найбільш небезпечних для здоров'я та найменш зрозумілих за своєю дією сполук. При

визначених низьких концентраціях деякі з них важливі для забезпечення нормальної життєдіяльності організму людини, інші ж настільки токсичні, що дози, які не перевищують 1 мг можуть призводити до фатальних наслідків.

Проблемі видалення сполук токсичних металів із стоків приділяється достатньо велика увага. Відповідно до існуючих у нашій країні достатньо жорстких норм необхідно практично повне видалення сполук важких металів з стоків перед їх скиданням у поверхневі водоймища.

Віддають перевагу методу очищення промислових стоків від сполук важких металів шляхом їх осадження. У процесі осадження одержують достатньо компактним відхід, який можна направити на захоронення чи на використання у інших галузях промисловості. При цьому можливе одержання відносно мало забруднених сполук металів, що сприяє їх утилізації. Осадження може бути автоматизовано та виконано у вигляді безперервного процесу у освітлювачах та відстійниках.

При осадженні важливо у якості осаджувача вибирати такі реагенти, які були б недефіцитними, нетоксичними та недорогими. Одним з таких реагентів є вапно. Із відомих хімічних сполук вона має найменшу еквівалентну масу (28), що забезпечує малу питому витрату цього реагенту на осадження металів.

Більшість гідроокисів металів мають відносно велику щільність, що сприяє їх сепарації в осаджувальних сепараторах.

Особливості видалення важких металів в процесі їх висадження вапном наведено в таблиці 4

Таблиця 3 – Результати дослідів за видаленням сполук важких металів вапном

Метал	РН	Кількість додатку СаО, мг/кг	Концентрація дзабруднень перед очищенням, мг/кг	Концентрація після очищення, мг/кг	Ступінь очищення, %
1	2	3	4	5	6
Хром у вигляді CrCl ₃ ·6H ₂ O	3,45	-	-	-	-
	5,6	0,15	92	55	40,2
	6,95	0,165	92	< 0,1	> 99,9
	8,1	0,175	92	< 0,1	> 99,9
	9,6	0,185		< 0,1	> 99,9

Кінець табл. 3

1	2	3	4	5	6
	10,25	0,2	92	< 0,1	> 99,9
	10,95	0,25	92	< 0,1	> 99,9
	11,1	0,3	92	< 0,1	> 99,9
	11,2	0,4	92	< 0,1	> 99,9
	11,35	0,5	92	< 0,1	> 99,9
Мідь у вигляді $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	5,15	-	93	-	-
	6,55	0,05	93	35	62,4
	6,85	0,075	93	5,3	94,3
	8,0	0,090	93	< 0,1	> 99,9
	9,52	0,1	93	< 0,1	> 99,9
	10,9	0,15	93	< 0,1	> 99,9
	11,1	0,2	93	< 0,1	> 99,9
	11,3	0,3	93	< 0,1	> 99,9
	11,62	0,4	93	< 0,1	> 99,9
Залізо у вигляді $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2,8	-	109	-	-
	3,0	0,1	109	95	12,8
	3,7	0,15	109	19	82,6
	4,4	0,165	109	6,7	93,8
	5,2	0,168	109	< 0,1	> 99,9
	6,55	0,17	109	< 0,1	> 99,9
	7,0	0,172	109	< 0,1	> 99,9
	7,5	0,175	109	< 0,1	> 99,9
	10,25	0,2	109	< 0,1	> 99,9

При наявності у воді сполук свинцю їх доцільно видаляти за рахунок присадки в розчин еквівалентної кількості сульфїду натрію після висадження вапном основної маси забруднювачів. Це зумовлено тим, що добуток розчинності $\text{PbS}[6,3 \cdot 10^{-29}]$ значно менший порівняно з $\text{Pb}(\text{OH})_2[6,3 \cdot 10^{-13}]$ на 16 порядків. Відповідно розчинність цих сполук складає $8,2 \cdot 10^{-15}$ та $5,510^{-5}$ моль/л. Деякі метали (наприклад $\text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^+$) доцільно окислювати перед їх висадженням вапном, наприклад за рахунок подачі в освітлювач відповідної кількості розчину хлорного вапна. В табл. 5 наведено характеристики процесу видалення деяких важких металів при наявності в розчині сполук різної валентності

Таблиця 4 – Добуток розчинності та розчинність малорозчинних сполук окремих металів

Метал	Символ	Гідроксиди Me(OH) ₂			Сульфіди, MeS		
		Добуток розчинності	Розчинність, моль/кг	Розчинність, мкг/кг	Добуток розчинності	Розчинність, моль/кг	Розчинність, моль/кг
Залізо	Fe ²⁺	1,64·10 ⁻¹⁴	1,6·10 ⁻⁵	8,94·10 ²	3,8·10 ⁻²⁰	2,0·10 ⁻¹⁰	1,12·10 ⁻²
Залізо	Fe ³⁺	1,1·10 ⁻³⁶	4,5·10 ⁻¹⁰	2,5·10 ⁻²	-	-	-
Хром	Cr ³⁺	5,4·10 ⁻³¹	1,2·10 ⁻⁸	0,62	-	-	-
Хром	Cr ⁶⁺	-	-	-	-	-	-
Цинк	Zn ²⁺	1,0·10 ⁻¹⁷	3,2·10 ⁻⁹	0,21	7,9·10 ⁻²⁶	2,8·10 ⁻¹³	-
Никель	Ni ²⁺	8,7·10 ⁻¹⁹	6,0·10 ⁻⁷	35,2	1,4·10 ⁻²⁴	1,2·10 ⁻¹²	-
Мідь	Cu ⁺	-	-	-	26·10 ⁻⁴⁹	4,1·10 ⁻¹⁷	-
Мідь	Cu ²⁺	5,6·10 ⁻²⁰	2,4·10 ⁻⁷	15,25	3,2·10 ⁻³⁸	1,8·10 ⁻¹⁹	-

Розглянуті способи очищення мають свої переваги та недоліки, а також сферу застосування, що визначається комплексом гідрологічних, геологічних, кліматичних і метеорологічних характеристик території вулиць міста та автомобільних доріг.

За очисними спорудами, які знаходяться у експлуатації необхідно здійснювати постійний нагляд та лабораторний контроль за концентрацією речовин у очищених стоках, не допускаючи перевищення встановлених нормативів.

Висновки

1. Увігнутий поздовжній профіль автомобільної дороги сприяє накопичуванню забруднень дощових та талих стоків з систем водовідведення автомобільної дороги у нижніх точках її профілю. Накопичення доцільно здійснювати у ставках (секціонованих ємностях). Після ретельного контролю, накопичена вода піддається очищенню, в першу чергу, від завислих речовин та нафтопродуктів, а в окремих випадках, і від сполук важких металів. Очищена вода може використовуватися для зрошення у сільському господарстві.

2. Автомобільні дороги можна розглядати як накопичувач дощового та талого стоків, з відносно малою мінералізацією (при великих об'ємах талого стоку у зимовий період).
3. Доцільно здійснювати окремий збір ливневих та комунальних вод, тому що технологія їх очищення суттєво відрізняється. Комунальні стічні води потрібно очищувати з використанням біохімічної технології та коагуляції, а ливневі – методами коагуляції та висадження важких металів та знезаражування.
4. Для очищення ливневих стоків пропонується застосовувати технологію "Actiflo", з використанням вапна для висадження сполук важких металів, які змиваються з поверхні автомобільних доріг.

Література

1. Ильина А.А. Экологические аспекты очистки поверхностных стоков с автомобильных дорог. - М., 2004. - (Сб. науч.-метод. Работ по повышению уровня обоснованности проектов автомоб. дорог и сооружений на них / Союздорпроект; Вып. 7).
2. Fleck A.M., Lacki M.J., Sutherland J. Response by white birch (*Betula papyrifera*) to road salt applications at Cascade Lakes, New York // *Journal of Environmental Management*. - 1988.
3. Hofstra G., Smith D.W. The effects of road de-icing salt on the levels of ions in roadside soils in southern Ontario // *Journal of Environmental Management*. - 1984.
4. Isabelle P.S., Fooks L.J., Keddy P.A., Wilson S.D. Effects of roadside snowmelt on wetland vegetation: An experimental study // *Journal of Environmental Management*. - 1987.
5. Demers C.L., Sage Jr. R.W. Effects of road de-icing salt on chloride levels in four Adirondack streams // *Water, Air and Soil Pollution*. - 1989.
6. <http://www.veoliawaterst.com/actiflo/en/actiflo.htm>
7. Физико-химическая очистка городских сточных вод. Г.Н. Луценко, А.И. Цветкова, И.Ш. Свердлов.
8. Отведение и очистка поверхностных сточных вод: Учеб. Пособие для вузов / В.С. Дикаревский, А.М. Курганов, А.П. Нечаев, М.И. Алексеев. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 224 с.
9. Технологический регламент центральных канализационных очистных сооружений г. Горловки, 2009 г.
10. Ксенофонов Б.С. Очистка сточных вод: флотация и сгущение осадков. – М.: Химия, 1992. – 144 с.