

УДК 628.35

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ЗА РАХУНОК НОВИХ ТЕПЛОМАСОБМІННИХ АЕРАЦІЙНО-ОКИСНЮВАЛЬНИХ АПАРАТІВ РОТОРНОГО ТИПУ

Долінський А.А., д.т.н., академік НАН України, Ободович О. М., д.т.н., Сидоренко В. В., к.т.н.

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна

У статті запропонована схема етапу біологічного очищення стічних вод з використанням в якості аератора і змішувача апарату роторного типу. Представлені експериментальні дані по швидкості розчинення кисню в установці роторного типу, швидкості очищення стічних вод (за показником БПК) в залежності від частоти пульсацій. Представлені порівняльні характеристики очищення побутових стічних вод аераторів різних конструкцій.

В статті предложена схема этапы биологической очистки сточных вод с использованием в качестве аэратора и смесителя аппарата роторного типа. Представлены экспериментальные данные по скорости растворения кислорода в установке роторного типа, скорости очистки сточных вод (по показателю БПК) в зависимости от частоты пульсаций. Представлены сравнительные характеристики очистки бытовых сточных вод аэраторов различных конструкций.

In the article the scheme of a stage of biological wastewater treatment with the use of rotary-type apparatus as an aerator and mixer is proposed. Experimental data on the rate of oxygen dissolution in a rotary-type setup, the rate of wastewater treatment (in terms of biological oxygen demand), depending on the frequency of pulsations are presented. Comparative characteristics of purification of domestic wastewater from aerators of various designs are presented.

Бібл. 3, рис. 5, табл. 2.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, аерація, частота пульсацій.

В даний час важливою науково-технічною проблемою є екологічний захист природного середовища від забруднення її відходами промислових виробництв та побутовими стоками населених пунктів. Попадання органічних і мінеральних забруднень у водні та ґрунтові басейни відбувається при скиданні комунальних та промислових стічних вод, що утворюються при реалізації технологічних процесів виробництва і переробки продукції і в процесі життєдіяльності людей. Особливість стічних вод, що скидаються на очисні споруди, полягає в тому, що вони в значній мірі забруднені речовинами органічного і мінерального походження, що знаходяться в дисперсній, колоїдній та розчиненій формах. Стічні води містять в своєму складі широкий спектр органічних вуглець, азот- і фосфоровмісних забруднень, що вимагають застосування різних фізико-хімічних і мікробіологічних способів вилучення їх із стічних вод.

Ефективність очищення стічних вод від забруднень в значній мірі залежить від організації гідравлічних і масообмінних процесів в аераційних спорудженнях (аеротенках), що є основною функціональною ланкою технологічної схеми аеробного біологічного очищення. Основними факторами, що впливають на вибір оптимальних режимів роботи аеротенків, є гідродинамічна схема течії потоків і ефективність процесу насичення рідкого середовища киснем повітря, що подається системами аерації [1].

Метою роботи є розробка нових тепломасообмінних аераційно-окиснювальних апаратів роторного типу, що дозволяють керувати гідродинамікою течії потоків і ефективно проводити процес масопереносу кис-

ню з газової фази в рідку, інтенсифікуючи тим самим технологію очищення стічних вод.

В даний час проблеми забезпечення ефективної та надійної роботи систем аеробного біологічного очищення стічних вод населених пунктів і підприємств промисловості і сільського господарства як і раніше залишаються в центрі уваги науково-дослідних і проектно-конструкторських організацій всіх країн.

Науково-обґрунтовану технологічну оцінку і підбір способів очищення стічних вод для конкретних умов водогосподарських об'єктів слід проводити на базі знань про кінетику процесів очищення і гідродинаміку споруд. Інженерне оформлення сучасних процесів очищення стічних вод в аеротенках – це комплексне технічне рішення, що включає як кінетику, так і гідродинаміку процесів біологічного очищення.

Одними з найпоширеніших забруднень міських і виробничих стоків, що важко вилучаються, є дрібнодисперсні (колоїдні) і розчинені органічні забруднення. Фізико-хімічні методи їх вилучення і деструкції такі, як адсорбція, реагентна обробка, використання окиснювачів, екстракція і ін., поки ще занадто дорогі і малозастосовні для великих витрат стічних вод. Найрезультативнішим є біологічний метод, тому, що біологічне очищення забезпечує деструкцію складних органічних забруднень, що здійснюється безреагентним шляхом в звичайних фізико-хімічних умовах і при мінімальних витратах енергії. Біологічний метод екологічно чистий, тому що вуглець органічних сполук в результаті деструкції окиснюється до вуглекислоти і води, азот – до нітритів і нітратів, а живі клітини аеробних бактерій не тільки нешкідливі, але часто корисні на-

вколишньому середовищу. Біологічне очищення стічних вод здійснюється в спорудах з закріпленою мікрофлорою (біофільтри), з вільно плаваючою мікрофлорою (аеротенки) або зі змішаною мікрофлорою (аеротенки з насадкою, біотенки) [2]. Найбільшого поширення набули аераційні споруди типу аеротенків завдяки своїй універсальності і ефективності в роботі.

На рис.1 представлена найбільш поширена схема очищення стічних вод. Перша стадія – це механічне очи-

щення. Для механічного очищення використовується наступне обладнання: решітки грубого очищення, пісковловлювач і первинний відстійник. Після первинного відстійника, очищена від грубих забруднень вода, надходить в аеротенк, а потім – у вторинний відстійник, де проходить біологічне очищення. Після біологічного очищення вода проходить стадію знезараження і викидається у водойму.

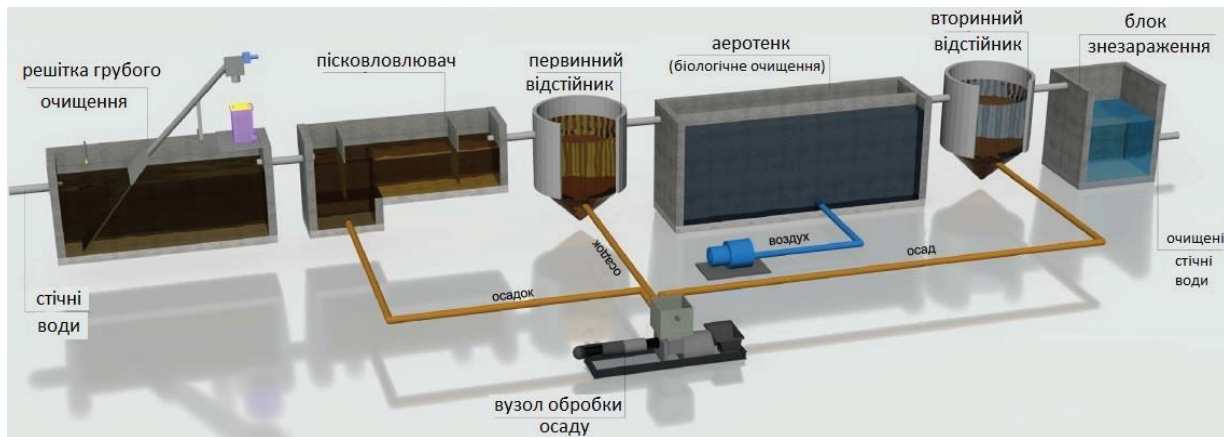


Рис. 1. Схема очищення стічних вод.

У схемі біологічного очищення найбільш важливим і складним вузлом є аеротенк, а точніше його система аерації. Аераційні системи бувають пневматичні, механічні та комбіновані.

Ефективність очищення стічних вод від забруднень в значній мірі залежить від організації гідравлічних і масообмінних процесів в аеротенках, що є основною функціональною ланкою технологічної схеми аеробного біологічного очищення.

Основними факторами, що впливають на вибір оптимальних режимів роботи аеротенків, є гідродинамічна

схема руху потоків і ефективність процесу насичення рідини киснем повітря, що подається системою аерації.

За останні роки стічні води, що надходять на очисні споруди, значно перевищують граничнодопустимі концентрації забруднюючих речовин (табл.1). Це ускладнює роботу класичного обладнання, що здійснює біологічне очищення. Тому, необхідно вирішувати практичні завдання по шляху підвищення технічних можливостей існуючих схем біологічного очищення стічних вод.

Табл. 1. Перевищення гранично-допустимої концентрації речовин, що скидаються (ГДК), %

% перевищення	Назва					
	Феноли	Мідь	Цинк	Важки метали	Азотисті з'єднання	Радіонукліди
	200	700	800	900	600	150

В Інституті технічної теплофізики НАНУ розроблено схему біологічного очищення стічних вод із застосуванням нового тепломасообмінного аераційно-окиснювального обладнання роторного типу (рис. 2).

За запропонованою схемою процес очищення води здійснюється наступним чином. Стічні води, що пройшли механічне очищення і первинний відстійник, направляються в аеротенк. Аеротенк забезпечений двома або більше аераторами-окиснювачами роторного типу з дискретно-імпульсним введенням енергії. Дискретно-імпульсний введення енергії дозволяє трансформувати

стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі і просторі. В результаті цього на кордоні розділу фаз виникають ударні хвилі, розвинена міжфазна турбулентність, мікрокавітація, проникаючі мікрострумені і вихори, що призводить до інтенсивного диспергування бульбашок газу і збільшення площі поверхні контакту фаз. Аератор-окиснювач роторного типу призначений для трансформації електричної енергії, що вводиться в фізичні, гідродинамічні, акустичні впливи на суміш води, що очищається, активного мулу і кисню повітря.

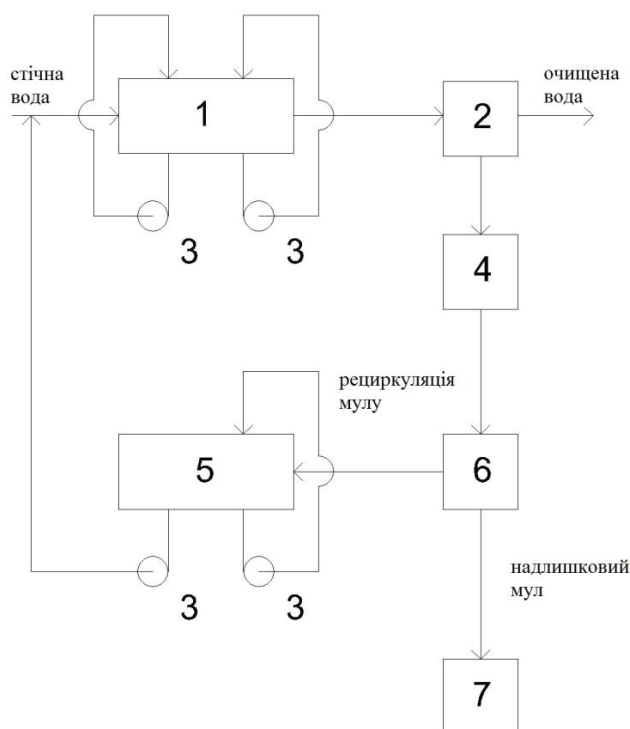


Рис. 2. Запропонована схема біологічного очищення стічних вод, розроблена в ІТТФ НАНУ:
 1 – аеротенк; 2 – відстійник; 3 – аератор-окиснювач роторного типу; 4 – збірник мулу;
 5 – реаератор; 6 – ущільнювач мулу; 7 – муловий майданчик.

Аератором-окиснювачем є роторно-пульсаційний апарат прохідного типу, який складається з корпусу з встановленими в ньому ротором і статором, виконаних у вигляді коаксиальних циліндрів з перерізами. Кількість перерізів, їх розміри, висота каналів, межциліндровий зазор вибираються в залежності від покладених на нього технологічних задач. Ротор, закріплений на валу електродвигуна, здійснює обертальний рух навколо своєї вісі. Повітря подається за рахунок самовсмоктування у вхідний патрубок, змішується зі стічною водою і активним мулом і газорідка суміш, що утворилась, надходить в порожнину ротора, проходить через канали ротора, канали статора, робочу камеру і виходить з апарату через вихідний патрубок. При обертанні ротора його канали періодично збігаються з каналами статора. Виходячи з каналу статора, рідина збирається в робочій камері і просувається до вихідного патрубка. У період часу, коли канали ротора перекриті стінкою статора, в порожнині ротора тиск зростає, а при поєднанні каналу ротора з каналом статора тиск за короткий проміжок часу скидається і в результаті цього в канал статора поширюється імпульс тиску.

Стічні води, що знаходяться в аеротенках, проходять через аератор-окиснювач роторного типу, в якому відбувається їх насичення і окиснення киснем повітря. Аератор-окиснювач одночасно виконує функції відцентрового насоса. Таким чином, один або кілька аераторів-окиснювачів (в залежності від об'єму аеротенка), працюючи в режимі рециркуляції, не тільки на-

сичують стічні води киснем, а й сприяють підвищенню швидкості масопереносу кисню з газової фази в рідку, а також з рідкої – в тверду. Клітини активного мулу можна вважати умовно твердою фазою.

Після обробки в аеротенках 1 стічна вода направляється у відстійник 2, де активний мул у вигляді пластівців випадає в осад. Осаджений мул зі збірника 2 направляється в збірник 4, а очищена вода з верхньої частини відстійника 2 йде на знезараження. Одна частина мулу зі збірника 4 йде на рециркуляцію, а надлишковий мул надходить в ущільнювач 6, звідки подається на муловий майданчик 7. Рециркуляційний мул надходить в реаератор 5, де за допомогою аератора-окиснювача роторного типу 3 насичується розчиненим киснем, диспертигується і гомогенізується. Підготовлений таким чином мул подається в трубопровід стічної води і спільно з нею направляється в аеротенк 1.

Розроблена схема дозволяє інтенсифікувати процес біологічного очищення стічних вод і підвищити якість води, що очищується.

Аераційно-окиснювальна установка роторного типу спроектована таким чином, що керуючи механізмами ДІВЕ і змінюючи конструктивні особливості роторного вузла можна регулювати швидкість масопереносу кисню з газової фази в рідку.

При проведенні досліджень брали дегазовану водопровідну воду і обробляли її в аераційно-окиснювальній установці роторного типу з частотою пульсацій потоку 2,0; 2,5; 3,0 кГц. У всіх експериментах

витрата повітря була однаковою і становила 8 м³/год.

На рис. 3 представлені графіки залежності насичення киснем повітря дегазованої водопровідної води від кількості циклів обробки і частоти пульсацій по-

току. За один цикл обробки прийнято час, за який весь обсяг рідини пройде через робочі органи апарату. При проведенні експерименту один цикл дорівнював 500 с.

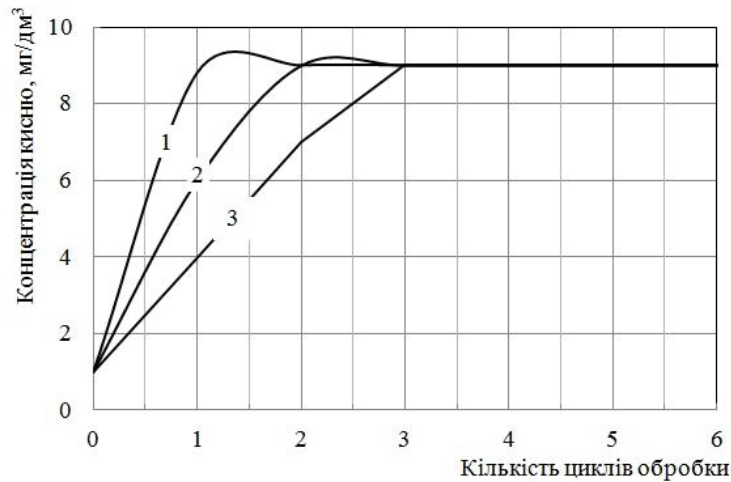


Рис. 3. Залежність насичення киснем повітря дегазованої водопровідної води від кількості циклів обробки і частоти пульсацій 1 – 3,0; 2 – 2,5; 3 – 2,0 кГц.

З рис. 3 видно, що найбільш ефектно проводити аерацію води при частоті пульсацій потоку 3,0 кГц. При такій обробці максимальне насичення води киснем повітря проходить за один цикл, тобто за один прохід через апарат і рециркуляція не потрібна.

Про ефективність роботи запропонованої установи можна судити по швидкості розчинення кисню. Далі показані порівняльні характеристики різних аераційних

пристроїв, що використовуються для біологічного очищення стічних вод. Найбільш часто для цієї мети використовуються перфоровані пластмасові аератори, аератори фірми "Екополімер" [3]. У табл. 2 наведено концентрацію розчиненого кисню, яку можна досягти за 500 с аерації в різних аераційних пристроях при однаковій витраті повітря 8 м³/год.

Табл. 2. Концентрація розчиненого кисню, яку можна отримати за 500 с аерації в різних аераційних пристроях при витраті повітря 8 м³/год

	Найменування аераційного пристрою					
	Перфорована труба	Сітчатий	Тканинний	Екополімер	RAUBIOXON	Аераційно-окиснювальна установка роторного типу
Концентрація кисню, мг/л	5,0	5,3	2,7	6,2	7,7	8,9

Дані таблиці 2 свідчать про те, що найбільш ефективним аераційним пристроєм для розчинення кисню у воді є аераційно-окиснювальний апарат роторного типу. За 500 с аерації, а це один прохід всього об'єму рідини через його робочі органи, концентрація кисню в воді досягає майже максимального значення, близько 9 мг/л. Більш висока швидкість розчинення кисню в аераційно-окиснювальній установці роторного типу пояснюється тим, що водовітряна суміш, проходячи через робочі органи апарату, піддається впливу ударних хвиль, міжфазній турбулентності, кавітації, кумулятивних мікроструменів і вихорів, що призводить до інтенсивного дроблення бульбашок повітря,

значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз і підвищенню об'ємного коефіцієнта масопереносу.

Для доказу ефективності використання аераційно-окиснювальної установки роторного типу в технології біологічного очищення стічних вод були проведені наступні експерименти.

Об'єктом дослідження була вода з первинних відстійників Бортницької станції аерації м.Києва, розбавлена до БПК₅ = 170 мгО₂/дм³. Обробку води проводили протягом 10 годин з різною частотою пульсацій потоку. Концентрація активного мулу в усіх випадках була постійною і становила 2 мг/л.

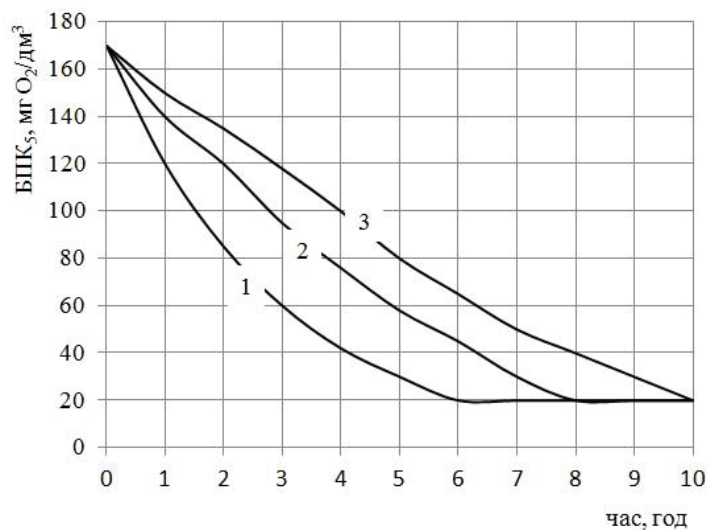


Рис. 4. Залежність зниження БПК стічної води від тривалості обробки в аераційно-окисній установці роторного типу при частоті пульсацій 1 – 3,0; 2 – 2,0; 3 – 1,0 кГц.

Дані з рис. 4 свідчать про те, що при обробці стічної води в аераційно-окиснювальній установці роторного типу протягом 10 годин БПК знижується з 170 до 20 мг/л. Найбільш ефективно обробка проходить при частоті пульсацій 3 кГц. В цьому випадку зниження БПК до 20 мг/л проходить за 5,5 години. Збільшення

частоти пульсацій понад 3 кГц не призводить до бажаного результату, так як спостерігається загибель найпростіших, що входять до складу активного мулу. На рис. 5 наведені порівняльні криві зниження БПК в побутових стічних водах, що обробляються із застосуванням різних аераційних систем.

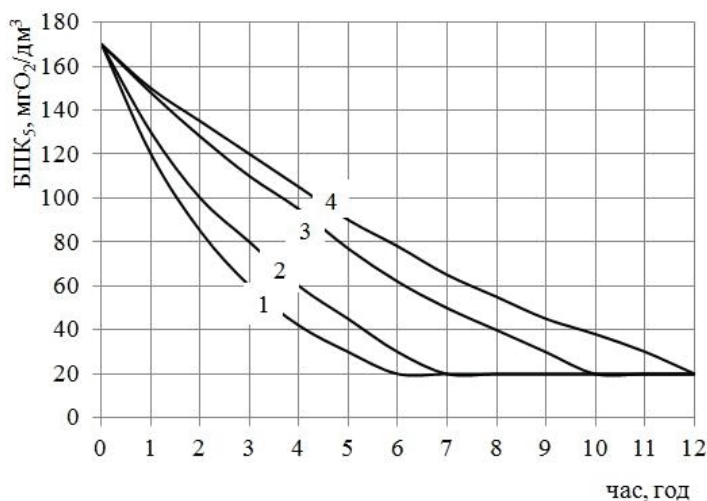


Рис. 5. Залежність зниження БПК побутової стічної води від тривалості обробки і марки аераційного пристрою: 1 – аераційно-окиснювальний апарат роторного типу; 2 – RAUBIOXON; 3 – перфорована труба; 4 – сітчастий.

Криві, наведені на рис. 10, свідчать про те, що найбільш ефективним аераційним пристроєм по зниженню БПК стічних вод є аераційно-окиснювальний апарат роторного типу. При його використанні зниження БПК від 170 до 20 г О₂/л проходить за 5,5 годин. Близьким за швидкістю очищення є апарат RAUBIOXON. Тут час очищення до БПК 20 мг/л становить близько 6,5...7 годин. Решта апаратів і систем аерації, що вико-

ристовують в промисловості, є менш ефективними. У них тривалість очищення сягає 10...12 годин. Зниження тривалості очищення стічної води в два рази дозволить знизити кількість аеротенків і зменшити площу, що займається очисними спорудами.

Висновки.

В результаті виконаної роботи розроблено новий вид тепломасообмінних аераційно-окиснювальних

апаратів роторного типу, в основу дії яких покладено метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Запропоновані апарати дозволяють керувати гідродинамікою течії потоків і ефективно проводити процес масопереносу кисню повітря з газової фази в рідку, інтенсифікуючи при цьому технологію біологічного очищення стічних вод.

Доведено, що застосування аераційно-окиснювальних апаратів роторного типу, в порівнянні з найбільш поширеними існуючими, дозволяє збільшити швидкість розчинення кисню у воді і, як наслідок, швидкість зниження показника забрудненості стічних вод по БПК майже в два рази.

IMPROVING TECHNOLOGY OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT BY NEW HEAT AND MASS TRANSFER, AERATION AND OXIDATION EQUIPMENT OF ROTOR TYPE

Dolinskyi A.A., Obodovych O.M., Sydorenko V.V.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
2a, Zhelyabova str., Kyiv, 03680, Ukraine

Key words: waste water, biological treatment, aeration, frequency of pulsations.

In the article the scheme of a stage of biological wastewater treatment with the use of rotary-type apparatus as an aerator and mixer is proposed. Experimental data on the rate of oxygen dissolution in a rotary-type setup, the rate of wastewater treatment (in terms of biological oxygen demand), depending on the frequency of pulsations are presented. Comparative characteristics of purification of domestic wastewater from aerators of various designs are presented. References 3, figures 5, tables 2.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Баженов В.И.* Комплексная рециркуляционная модель биохимических процессов аэробной биологической очистки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 03.00.23 "биотехнология" / Баженов Виктор Иванович – Щелково, 2008. – 56 с.
2. *Гудков А.Г.* Биологическая очистка городских сточных вод. Учебное пособие / А.Г. Гудков. – Вологда, ВоГТУ, 2002 – 127 с.
3. *Серпукрылов Н.С.* Снижение энергопотребления систем аэрации сточных вод / Н.С. Серпукрылов, А.С. Смолянченко. // Вестник ТГАСУ. – 2010. – №3. – С.192–199.

1. *Bazhenov, V.I.* Kompleksnaya retsirkulyatsionnaya model biokhimicheskikh protsessov aerobnoy biologicheskoy ochistki [Complex recirculation model of biochemical processes of aerobic biological treatment]. Extended abstract of Doctor's thesis. Schelkovo: 2008. VNITIB [in Russian].

2. *Gudkov A.G.* Biologicheskaya ochistka gorodskih stochnyih vod [Biological treatment of urban wastewater]. Vologda: 2002, VoGTU [in Russian].

3. *Serpokrylov, N.S., Smolyanichenko, A.S.* Snizhenie energopotrebleniya sistem aeratsii stochnyih vod [Reducing the energy consumption of wastewater aeration systems]. Vestnik TGASU, (2010). № 3, P. 192–199. [in Russian].

Получено 15.06.2017
Received 15.06.2017