

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ТЕПЛОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ (ТЕС)

Ободович О.М.¹, д.т.н., Сидоренко В.В.¹, к.т.н., Булій Ю.В.^{1,2}, к.т.н., Степанова О.Є.¹, к.т.н.

¹Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Капніст 2а, Київ, 03680, Україна

²Національний університет харчових технологій, вул. Володимирська 68, Київ, 01601, Україна

завідувач відділу, професор НАН України, e-mail: tdsittf@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>

с.н.с., старший дослідник, e-mail: vrangel08@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7735-7719>

пров.н.с., доцент, e-mail: yvbuliy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1905-3706>

с.н.с., e-mail: super-olesya2807@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7179-7251>

Проведений аналіз стічних вод ТЕС, а також технологій і обладнання для їх очищення, та вибору раціонального режиму. Запропоновано нове енергоефективне обладнання, за допомогою якого можна очищати воду від цілого ряду шкідливих речовин до їх гранично допустимих концентрацій.

An analysis of TPP wastewater, as well as technologies and equipment for their treatment, and the selection of a rational regime was carried out. New energy-efficient equipment has been proposed, with the help of which it is possible to purify water from a number of harmful substances up to their maximum permissible concentrations.

Бібл. 11, рис. 4, табл. 1

Ключові слова: водопідготовча установка, гранично допустима концентрація, дискретно-імпульсне введення енергії, стічні води, теплоелектростанція.

Експлуатація теплових електростанцій пов'язана з використанням великої кількості води. Основна частина води (понад 90 %) витрачається в системах охолодження різних апаратів: конденсаторів турбін, масло- та повітроохолоджувачів, рухомих механізмів та ін. [1].

Стічною водою є будь-який потік води, що виводиться із циклу електростанції.

До стічних або скидних вод, крім вод систем охолодження, відносяться: скидні води систем гідрозолоуловлювання (ГЗУ), відпрацьовані розчини після хімічних промивань теплосилового обладнання або його консервації: регенераційні та шламові води від водопідготовчих (водоочисних) установок (ВПУ): нафтозабруднені стоки, розчини та суспензії, що виникають при обмиванні зовнішніх поверхонь нагріву, головним чином повітропідігрівачів і водяних економайзерів котлів, що спалюють сірчистий мазут.

Склади перелічених стоків різні і визначаються типом теплоелектростанцій (ТЕС) та основного обладнання, її потужністю, видом палива, складом вихідної води, способом водопідготовки в основному виробництві та, звичайно, рівнем експлуатації.

Води після охолодження конденсаторів турбін і охолоджувачів повітря несуть, як правило, тільки так зване теплове забруднення, оскільки їх температура на 8...10 °С перевищує температуру води у вододжерелі. У деяких випадках охолоджувальні води можуть вносити в природні водойми і сторонні речовини. Це зумовлено тим, що в систему охолодження включені також і маслоохолоджувачі, порушення щільності яких може призводити до проникнення нафтопродуктів (масел) в охолоджувальну воду. На мазутних ТЕС утворюються стічні води, що містять мазут.

Масла можуть потрапляти в стічні води також з головного корпусу, гаражів, відкритих розподільних пристроїв, маслогосподарств.

Кількість вод систем охолодження визначається в основному кількістю пари, що відпрацювала, яка надходить в конденсатори турбін. Отже, найбільше цих вод на конденсаційних ТЕС (КЕС) та АЕС, де кількість води (т/год.), що охолоджує конденсатори турбін, може бути знайдено за формулою $Q = KW$, де W – потужність станції, МВт; K – коефіцієнт: для ТЕС $K = 100 \dots 150$, для АЕС – $150 \dots 200$ [2].

Хімічний склад кожного з цих стоків різний і залежить від типу ТЕС, встановленого на станції обладнання, потужності ТЕС, початкового складу вихідної води, обраного способу водопідготовки, виду палива, що використовується, а також від рівня експлуатації.

Метою даної роботи є класифікація стічних вод ТЕС, аналіз існуючих технологій та обладнання для їх очищення, визначення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин, що характерні для енергетики перед скиданням у водойми. Презентація нового енергоефективного обладнання для очищення стоків.

Стічні води систем охолодження

Стічні води систем охолодження – це води, які використовуються в конденсаторах турбін і в іншому теплообмінному устаткуванні, де вони тільки нагріваються, не піддаючись при цьому механічному або хімічному забрудненню. Однак теплове забруднення становить особливу небезпеку для водойм та їх мешканців. У зв'язку з цим скидання нагрітої на електростанції води повинно здійснюватися відповідно до нормативних документів, яке дозволяється лише в тому випадку, якщо середньомісячна температура води після скидання в створі водойми влітку не перевищить природну на $3 \dots 5$ °С.

Як засоби зниження температури стічних вод систем охолодження найбільш широке застосування отримали ставки-охолоджувачі, бризкальні басейни та градирні різних конструкцій.

Стічні води систем ГЗУ

Утворені при спалюванні палива шлаки та уловлена зола видаляються на золовідвали системою гідрозолоуловлювання. Найбільш широко поширені оборотні системи ГЗУ, які мають продування з метою підтримки сольового балансу та, як наслідок, мінімізації утворення відкладень.

Води продування системи ГЗУ вважаються одними з найтоксичніших стоків, тому оборотні системи всіх ТЕС (плановані, що будуються та реконструюються) мають бути спроектовані безстічними. Найбільш широко для зменшення шкідливого впливу продувних вод використовується вапно. У процесі обробки утворюються малорозчинні сполуки, які містять миш'як, фтор, хром, що випадають в осад. Однак застосування лише одного ступеня очищення – вапна, що не завжди може очистити воду до потрібних показників ГДК. Тому для більш глибокого ступеня очищення додатково вводяться інші реагенти (солі заліза, магнію, алюмінію та ін.) або ж проводиться доочищення за допомогою сорбційних методів [3].

Регенераційні води від водопідготовчих установок

Підготовка води на ВПУ проходить у два етапи: початкове очищення та повне знесолення. Тому стічні води, утворені в процесі роботи ВПУ, поділяються на два потоки:

- 1) води, що отримані при коагуляції та вапнуванні, в яких знаходиться велика кількість завислих речовин;
- 2) води підвищеної мінералізації.

Стічні води після першого ступеня очищення мають у своєму складі органіку, солі алюмінію та заліза, а також карбонат кальцію, гідроксид магнію та неспрацьований реагент. Для ефективної утилізації стічних вод від системи водопідготовки на ТЕС споруджують шламоушільнювальні станції, в яких отриманий шлам зневоднюється, а виділена в окрему фракцію вода повертається в цикл. Води з підвищеним вмістом солей (мінералізацією) відправляють у систему ГЗУ для видалення золи та шлаку, або на пом'якшення з подальшим поверненням на ВПУ, або на випарювання.

У майбутньому ефективним методом зменшення витрати необхідних реагентів та мінімізації стічних вод, які утворюються в процесі підготовки води виняткової якості, може стати заміна традиційного прямого на протиточне знесолення. Однак застосування найкращих і досконалих іонообмінних систем не

виключає утворення стічних вод. У зв'язку з цим ведуться численні розробки щодо вдосконалення різних методів обробки та утилізації стічних вод.

Світовий досвід показує, що досягти повної утилізації стічних вод зараз можливо лише з використанням випарників із виділенням солей у твердому вигляді.

Стічні води, забруднені нафтопродуктами

Забруднення води нафтопродуктами на ТЕС відбувається у процесах: експлуатації та ремонту різного обладнання мазутного господарства; витоків з маслосистем турбін, електричних генераторів та збудників; аварійного розливу мазуту та масла; витоків із систем охолодження підшипників насосів, димососів, вентиляторів та ін., а також від гаражів та місць миття автотранспорту.

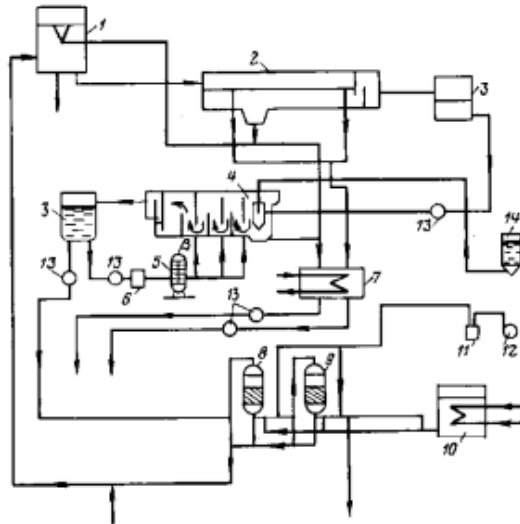


Рис. 1. Технологічна схема з очищення стічних вод, які містять нафтопродукти: 1 – бак-приймач; 2 – нафтовик; 3 – проміжні баки; 4 – флотатор; 5 – напірна ємність; 6 – ежектор; 7 – бак прийому мазуту; 8 – механічний фільтр; 9 – фільтр, завантажений вугіллям; 10 – бак промивної води; 11 – ресивер; 12 – компресор; 13 – насоси; 14 – розчин коагулянту.

Очищення нафтозабруднених вод є винятково важливим завданням через вплив нафтопродуктів на довкілля. Тому методи очищення цих вод завжди піддаються модернізації. Так, на сучасних ТЕС, окрім використання консервативних систем (рис. 1), що складаються з нафтовиків, механічних фільтрів і фільтрів, завантажених активованим вугіллям, також отримали застосування альтернативні фільтри [4].

Одним з таких способів модернізації системи очищення стічних вод є застосування шламу ХВО на останньому ступені очищення, що дозволяє знизити витрати на очищення стічних вод. При цьому шлам у цій схемі регенерації не піддаватимуть, а спільно спалюватимуть з допоміжним паливом, що значно спрощує утилізацію.

Обмивальні води

При спалюванні на електростанціях різного типу палива: мазутів та твердого палива, золи різноманітного складу, що осідає в системі регенеративних повітропідігрівачів та на стінках газоходу. Обмивальні води цих поверхонь після використання мають відносно високу кислотність і вміст токсичних речовин перебуває вище за норму (V, Ni, Cu та ін.). Найчастіше для нейтралізації та знешкодження обмивальних вод використовується метод двостадійної нейтралізації: на першій стадії проводиться обробка їдким натром, до значення $pH = 4,5 \dots 5$, а на другій – вапном ($pH = 9,5 \dots 10$) (рис. 2). Очищена таким чином вода повторно використовується для відмивання.

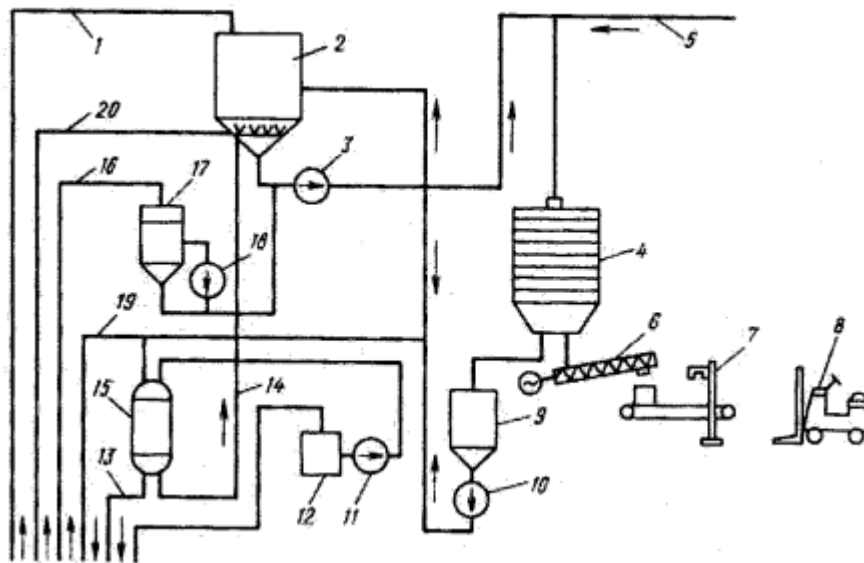


Рис. 2. Схема установки знешкодження та нейтралізації обмивальних вод:

- 1 – обмивальна вода; 2 – бак-нейтралізатор; 3 – насос; 4 – фільтр-прес; 5 – технічна промивна вода; 6 – шнековий транспортер; 7 – машина для зашивання мішків; 8 – навантажувач; 9 – бак-збірник; 10 – насос фільтрату; 11 – насос розчину солі; 12 – бак-мірник розчину солі; 13 – фільтрат; 14 – регенераційний розчин; 15 – катіонітний фільтр; 16 – вапняне молоко; 17 – мішалка; 18 – насос; 19 – освітлена вода; 20 – стиснене повітря.

Стічні води хімічних промивань та консервації обладнання

Вибір виду технології проведення промивки і хімічний склад необхідних реагентів виключно залежить від відкладень (склад, вид), які піддаються видаленню, а також від типу устаткування, що очищається. Хімпромивка обладнання проводиться в кілька етапів: попереднє промивання водою, знежирення лугом, промивання необхідним розчином і проведення в кінці пасивації.

Для хімічного промивання застосовуються реагенти різного складу: інгібована соляна кислота, сірчана кислота з гідразином, комплексони та ін., при цьому для промивань заборонено застосування реагентів, норма ГДК для яких не встановлена, а також які не можуть бути знешкоджені.

З метою зниження обсягу таких стічних вод доцільним є передбачене використання консервації, що ґрунтується на сухих способах, обробки теплообмінних поверхонь комплексонами, регенерації дорогих хімічних розчинів, що використовуються для промивання, та консервації обладнання контактними інгібіторами корозії. При цьому найкращим способом зниження кількості промивань є забезпечення ТЕС водою підживлення виняткової якості.

Для зниження негативного впливу промивних вод проводиться виділення та подальше окислення токсичних речовин. Після відокремлення шламів очищена вода використовується повторно для промивання обладнання [5].

Поверхневі зливи та талі води

Вид та склад забруднювачів поверхневого стоку електростанції залежить від погодних умов (інтенсивність та тривалість дощів, обсяги снігу, що випав, та тип його збирання), а також озеленення та благоустрою території. До основних забруднювачів цього типу стічних вод можна віднести нафтопродукти і зважені речовини.

Тому для кожної ТЕС розроблено власні алгоритми розрахунку обсягу поверхневих вод, які перебувають у прямій залежності від області знаходження станції та площі, яку вона займає. У процесі

розрахунків до даних стічних вод додають ливнівки (води від поливомийних заходів, мийки дорожніх покриттів).

З метою скорочення рівня забруднення ґрунтів та підземних вод на теплових електричних станціях сконструйовано локальні споруди з очищення стічних вод. Другим методом є збір стічних вод у спеціально створені ємності з подальшим очищенням на відстійниках і фільтрах, які як фільтруючий матеріал мають антрацит або активоване вугілля.

Незабруднені дощові та талі води можуть застосовуватися для власних потреб: підживлення оборотних систем водопостачання, водопідготовки тощо.

Очищені стічні води ТЕС, які не використовуються для відповідних потреб, скидаються у водоймища санітарно-побутового або рибогосподарського водовикористання. В таблиці 1 представлені гранично допустимі концентрації (ГДК) шкідливих речовин у водоймах, що характерні для енергетики.

Табл. 1. Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у водоймах

Речовина	Для водойм санітарно-побутового водокористування	Для рибогосподарських водойм
	ГДК, мг/дм ³	ГДК, мг/дм ³
Аміак NH ₃	2,0	0,05
Ванадій V ⁵⁺	0,1	0,001
Гідразин N ₂ H ₄	0,01	-
Залізо Fe ²⁺	0,3	0,005
Мідь Cu ²⁺	1,0	0,001
Миш'як As ²⁺	0,05	0,05
Нікель Ni ²⁺	0,1	0,01
Нітрати (NO ₂ ⁻)	3,3	0,08
Поліакриламід	2,0	0,8
Ртуть	0,0005	відсутність
Свинець Pb ²⁺	0,03	0,1
Формальдегід	0,05	-
Фтор F ⁻	1,5	0,05
Сульфати (SO ₄)	500	100
Феноли	0,001	0,001
Нафта та нафтопродукти	0,3	0,05

Гранично допустимою концентрацією (ГДК) шкідливої речовини у воді водоймища називається її концентрація, яка при щоденному впливі протягом тривалого часу на організм людини не викликає будь-яких патологічних змін та захворювань, що виявляються сучасними методами досліджень, а також не порушує біологічного оптимуму у водоймі.

Стічні води ТЕС різноманітні і хімічний склад кожного із стоків різний. Технологія очистки стоків складна і багатоетапна та потребує великої кількості різноманітного обладнання.

В ІТТФ НАНУ розроблено багатоцільову аераційно-окислювальну установку роторного типу (АОРТ) (рис. 3, 4), яка працює за методом дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) [6, 7]. Ця установка дозволяє пришвидшити швидкість тепломасообміну хімічних реакцій у воді та водних системах на 25-30 %. Вона дає можливість скоротити тривалість процесів очищення, у 2-3 рази зменшити енерговитрати та витрату реагентів на 20-25 %. Установку АОРТ застосовують для очищення стоків від заліза, марганцю, сірководню, діоксидвуглецю, сульфатів, нітратів. З її допомогою можна підвищити рН води [8-11].

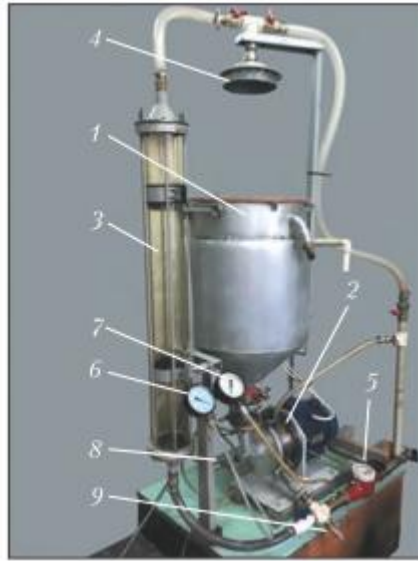


Рис. 3. Аераційно-окиснювальна установка роторного типу (АОРТ): 1 – збірник-накопичувач; 2 – аератор-окиснювач; 3 – фільтраційно-окиснювальна колона; 4 – розпилювальна головка; 5 – лічильник води; 6 – манометр; 7 – вакуумметр; 8 – кран подачі повітря; 9 – двоходовий кран.



Рис. 4. Дослідно-промислове обладнання: 1 – аераційно-окиснювальна установка; 2 – блок пуску та управління; 3 – проміжна ємність подачі води на фільтр; 4 – фільтр; 5 – збірник готової продукції.

Установка АОРТ дозволяє інтенсифікувати процеси перемішування, розчинення, нагрівання, диспергування, аерації та дегазації. Ці ефекти досягаються за рахунок того, що установка АОРТ працює на основі методу ДІВЕ. Реалізація методу ДІВЕ передбачає створення великої кількості рівномірно розподілених в дисперсному середовищі робочих органів, які трансформують стаціонарну теплову, механічну або інші види енергії в енергетично потужні імпульси, дискретні в часі і просторі. Супроводжуючі ці явища ударні хвилі, міжфазна турбулентність, мікрокавітація, протікаючи кумулятивні мікрострумені та вихори викликають на міжфазних поверхнях нестійкості типу Релея-Тейлора або Кельвіна-Гельмгольца, що призводить до інтенсивного подрібнення дисперсних включень, значного збільшення сумарної поверхні контакту фаз та інтенсифікації процесів тепломасопереносу.

Подібні ефекти зазвичай недосяжні при використанні традиційних методів при обробці води і водних систем, навіть при значно більшому рівні питомих енерговитрат.

Висновки

Очищення стічних вод ТЕС є важливим та необхідним фактором. Вибір раціонального режиму очищення залежить від хімічного складу стоків, який в свою чергу залежить від типу ТЕС, встановленого обладнання, потужності ТЕС, початкового складу вихідної води, обраного способу водопідготовки та рівня експлуатації.

У роботі представлена класифікація стічних вод ТЕС, а також технологія і обладнання для їх очищення. Вказані гранично допустимі концентрації шкідливих речовин, характерних для енергетики в стічних водах. Запропоновано нове енергоефективне обладнання, за допомогою якого можна очищати воду від цілого ряду шкідливих речовин до їх гранично допустимих концентрацій та нижче.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Копылов А.С., Лавыгин М.В., Очков В.Ф.* Водоподготовка в энергетике: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 309 с.
2. Сточные воды ТЭС и их очистка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.allbest.ru/>.
3. *Лаптев А.Г.* Энерго- и ресурсосберегающие технологии и аппараты очистки гиджидкостей в нефтехимии и энергетике / А.Г. Лаптев и др. – Казань: Отечество, 2010. – 410 с.
4. Ві-тес – очистные сооружения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bi-tec.ru/>.
5. *Беспалов В.И., Беспалова С.У., Вагнер М.А.* Природоохранные технологии на ТЭС: учебное пособие. –Томск: ТПУ, 2010. – 240 с.
6. “Микро- и наноразмерные процессы в технологиях ДИВЭ”: Тематический сборник статей / под. общей ред. А.А. Долинского; Институт технической теплофизики НАН Украины. – К.: Академперіодика, 2015. – 464 с.
7. *Долинский А.А., Ободович А.Н., Бархаленко Ю.А.* Метод дискретно-импульсного ввода энергии и его реализация: Монография.: Віровець А.П. “Апостроф”, 2012. – 185 с.
8. Патент UA 114143. Установка для аераційного знезалізнення води. 27.02.2017, Бюл. № 4.
9. Патент UA 102393. Спосіб аерації. 26.10.2015, Бюл. № 20.
10. Патент UA 114382. Спосіб окислювально-каталітичного очищення пластових і стічних вод. 25.05.2017, Бюл. № 10.
11. Патент UA 119083. Спосіб біологічного очищення стічних вод. 25.04.2019, Бюл. № 8.

WASTEWATER TREATMENT OF THERMAL POWER PLANTS (TPP)

Obodovych O.M.¹, Sydorenko V.V.², Bulii Y.V.³, Stepanova O.E.⁴

¹ - Dr. Sci. (Engin.), Professor, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7213-3118, e-mail: tdsittf@ukr.net

² - PhD (Engin.), Senior Researcher, Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0001-7735-7719, e-mail: vrangel08@i.ua

³ - PhD (Engin.), Assistant, National University of Food Technologies, Volodymyrska str., 68, Kyiv, 01601, Ukraine, orcid.org/0000-0002-1905-3706, e-mail: yvbuliy@gmail.com

⁴ - PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-7179-7251, e-mail: super-olesya2807@ukr.net

An analysis of TPP wastewater, as well as technologies and equipment for their treatment, for choosing a rational mode and determining the maximum permissible concentrations of harmful substances characteristic of the energy industry before discharge into reservoirs was carried out. The compositions of the listed effluents are different and are determined by the type of thermal power plants (TPP) and the main equipment, its capacity, type of fuel, composition of the source water, method of water treatment, etc. For example, water after cooling turbine condensers and air coolers usually carries so-called thermal pollution, since its temperature is 8...10 °C higher than

the temperature of water in the water source. In some cases, cooling water can introduce foreign substances into natural reservoirs. In order to reduce the level of soil and groundwater pollution, local wastewater treatment facilities were constructed at thermal power stations. The second method is the collection of waste water in specially created containers with subsequent purification using sedimentation tanks and filters, which have anthracite or activated carbon as a filter material.

TPP waste water is diverse and the chemical composition of each of the effluents is different. Wastewater treatment technology is complex and multi-stage and requires a large amount of various equipment.

The ITTF of the National Academy of Sciences has developed a multi-purpose rotor-type aeration and oxidation plant (AORT), which works according to the method of discrete-pulse energy input (DPEI). This installation makes it possible to speed up the rate of heat and mass exchange of chemical reactions in water and water systems by 25-30 %. It makes it possible to reduce the duration of cleaning processes, reduce energy consumption by 2-3 times and consumption of reagents by 20-25 %. The AORT installation is used to clean sewage from iron, manganese, hydrogen sulfide, carbon dioxide, sulfates, and nitrates.

References 11, figures 4, tables 1.

Key words: water treatment plants, maximum permissible concentration, discrete-pulse input of energy, waste water, thermal power plant.

1. *Kopylov A.S., Lavyhin M.V., Ochkov V.F. [Water treatment in the energy sector]: Uchebnoye posobiye dlya vuzov. – 2-ye izd., stereot. – M.: Izdatel'skiy dom MEI, 2006. 309 p. (in Rus.)*
2. *[Wastewater from thermal power plants and their treatment] [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.allbest.ru/>. (in Rus.)*
3. *Laptev A.G. [Energy- and resource-saving technologies and devices for cleaning liquids in petrochemistry and energy] / A.G. Laptev i dr. – Kazan: Otechestvo, 2010. 410 p. (in Rus.)*
4. *[Bi-tec – ochistnyye sooruzheniya] [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.bi-tec.ru/>. (in Rus.)*
5. *Bespalov V.I., Bespalova S.U., Vagner M.A. [Environmental technologies at thermal power plants]: Uchebnoye posobiye. – Tomsk: TPU, 2010. 240 p. (in Rus.)*
6. *Dolinsky A.A. [Mikro- i nanourovnevyye protsessy v tekhnologiyakh DIVE]: Tematicheskiy sbornik statey / pod. obshchey red. A.A. Dolinskogo; Institute of Technical Thermal Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. – Kyiv: Akadempriodika, 2015. 464 p. (in Rus.)*
7. *Dolinsky A.A., Obodovych O.M., Barkhalenko YU.A. [Discrete-pulse energy input method and its implementation]: Monografiya.: Virovets' A.P. “Apostrof”, 2012. 185 p. (in Rus.)*
8. *[Installation for aeration water cooling] Patent UA No. 114143; published 27.02.2017. № 4. (in Ukr.)*
9. *[Method of aeration] Patent UA No. 102393; published 26.10.2015. № 20. (in Ukr.)*
10. *[Method of oxidative-catalytic treatment of formation and wastewater] Patent UA No. 114382; published 25.05.2017. № 10. (in Ukr.)*
11. *[A method of biological wastewater treatment] Patent UA No. 119083; published 25.04.2019. № 8. (in Ukr.)*

*Отримано
Received*