

ISSN 2223-0858
DOI 10.31548/energiya2019.03

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

"ЕНЕРГЕТИКА І АВТОМАТИКА"

№ 3(43)

Київ - 2019

ЕНЕРГЕТИКА І АВТОМАТИКА

науковий журнал

№ 3(43), 2019

Засновник: Національний університет біоресурсів і природокористування України

Рекомендовано до друку Вченою радою НУБіП України, протокол №2 від 25 вересня 2019 р.

Головний

редактор: В. В. Козирський, д-р техн. наук, проф.

Заступник

головного О. Ю. Синявський, канд. техн. наук, доц.

редактора:

**Члени спеціальності 141 – електроенергетика, електротехніка та
редколегії: електромеханіка**

В. В. Бойко, канд. фіз.– мат. наук, доц.; І. М. Болбот, канд. техн. наук, доц.; М. В. Гребченко, д-р техн. наук, проф.; А. В. Жильцов, д-р техн. наук, проф.; М. М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; В. В. Каплун, д-р техн. наук, проф.; І. П. Кондратенко, д-р техн. наук, проф.; В. П. Лисенко, д-р техн. наук, проф.; М. Л. Лисиченко, д-р техн. наук, проф.; О. М. Мороз, д-р техн. наук, проф.; І. П. Назаренко, д-р техн. наук, проф.; А. П. Нікіфоров, д-р техн. наук, проф.; Т. Нурек, д-р техн. наук, проф.; Ю. І. Тугай, д-р техн. наук, с.н.с; В. С. Федорейко, д-р техн. наук, проф.; В. В. Харченко, д-р техн. наук, проф.; А. Хоховські, д-р техн. наук, проф.; Л. С. Червінський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Чміль, д-р техн. наук, проф.; Ю. Яцкевич, д-р техн. наук, проф.

спеціальність 144 – теплоенергетика

В. Г. Горобець, д-р техн. наук, проф.; Б. В. Давиденко, д-р техн. наук, проф.

спеціальність 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

А. О. Дудник, канд. техн. наук; В. В. Коваль, д-р техн. наук, проф.; О. І. Мартиненко, д-р техн. наук, проф.; В. М. Решетюк, канд. техн. наук, доц.; С. А. Шворов, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний В. В. Савченко, канд. техн. наук, доц.
секретар:

Фахова Наказ МОН України №747 від 13.07.2015 р.

реєстрація: Збірник наукових праць включено до бібліографічних баз даних наукових публікацій ПІНЦ, Index Copernicus, USJ, SIS, бази даних Ulrich's Periodicals Directory та проіндексовано в Google Scholar, Repes, MIAR, BASE, Research Bib.

Адреса Національний університет біоресурсів і природокористування
редакції: України, ННІ енергетики, автоматики і енергозбереження,
вул. Героїв Оборони, 12, Київ, Україна, 03040
тел.: (044) 527-85-20

ЕЛЕКТРОЕНЕРГОЄМНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

В. М. Штепа, кандидат технічних наук, доцент

Поліський державний університет

м. Пінськ, Республіка Білорусь

E-mail: shns1981@gmail.com

Анотація. Розглянуто доцільність встановлення електроенергоємності процесів очищення стічних вод. Проаналізовано сучасні світові тенденції щодо практичного впровадження підходів енергоменеджменту при технічному регулюванні на основі вимог ISO 50001:2018 та інших міжнародних стандартів. Оцінено напрацювання наукових шкіл стосовно встановлення ефективності діючих технічних систем, в рамках якого прийнято вважати, що енергія в технологічному процесі потрібна для вчинення дії в речовині, що приводить до появи потрібного результату. Обґрунтовано методiku оцінки електроенергоємності процесів видалення із водних розчинів забруднювачів, яка враховує технічну складність встановлення у режимі реального часу енергетичних перетворень у такому середовищі. Застосовано при такій оцінці лише електроенергетичні показники, оскільки саме вони є інтегральними для оцінки ресурсоефективності комбінованих процесів видалення забруднювачів: важко (фактично не можливо) врахувати комплексні енергетичні характеристики фізичних (механічних), біологічних, хімічних, фізико-хімічних способів водоочищення, що пов'язано із їх багатофакторністю та постійними енергетичними трансформаціям. Систематизовано вимоги науково-технічних засад українських нормативних документів у контексті вимог екологічної безпеки та наявних технологічних рішень їх дотримання стосовно водоскиду. Визначено ключовий вплив використання електроенергії на виробничу реалізацію водоочищення. Згідно нормативних документів та статистичних досліджень прийнято усереднені рекомендовані режимні параметри агрегатів без аналізу концентрації забруднень на вході та на виході відповідних процесів. Проаналізовано електроенергоємність очищення стічних вод та визначено її величини, особливо при комбінації різних способів видалення забруднювачів у єдиній системі, для різномірного обладнання на основі чого зроблено висновки щодо економічної перспективності створення відповідного управлінського методичного забезпечення на основі підходів енерго-, екологічного та ризик менеджментів.

Ключові слова: *електротехнологічне водоочищення, міжнародний стандарт, енергоменеджмент, енергоефективність, електроенергоємність*

Актуальність. Стічні води відрізняються один від одного видами і концентрацією забруднень, швидкістю надходження та іншими факторами [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі науковці-розробники у сфері видалення забруднювачів із водних розчинів: Ф. І. Гончаров, А. Г. Запольський, В. В. Гончарук, Л. А. Кульський, В. А. Клячко, І. Е. Апельцин, В. Ф. Конінова та інші. Виходячи із багатокомпонентності стоків, існують наступні базові способи очищення стічних вод [1, 2]: фізичні (механічні), хімічні, біологічні, фізико-хімічні та комбіновані. На реальних об'єктах, у переважній більшості, застосовуються останні, які створюються на основі науково-обґрунтованого поєднання інших способів видалення забруднювачів [3]. При цьому усі описані сучасні агрегати видалення забруднювачів із стічних вод використовують у тій чи іншій мірі електроенергію із її перетворенням в інші види енергії з одночасним здійсненням відповідних технологічних процесів.

Саме тому актуальним є завдання оцінки ступеня електроенергоємності (ЕЕ) процесів очищення стоків, що може стати базисом для підвищення їх енергоефективності при виконанні вимог щодо якості водоскиду.

Мета дослідження – аналіз електроенергоємності рекомендованих нормативними документами України щодо практичного застосування на реальних об'єктах процесів очищення стічних вод.

Матеріали і методика дослідження. Практика сучасного технологічного розвитку [4] показала, що зниження енергоємності продукції засноване на впровадженні сучасних технологій і стандартів енергоменеджменту. Підвищення рівня енергоефективності – це не тільки технічна проблема, яка потребує технологічних рішень, а і управлінська. Для її вирішення розроблено міжнародний стандарт ISO 50001: 2018 «Системи енергетичного менеджменту».

Основна ідея рішення управлінської проблеми підвищення рівня енергоефективності полягає в послідовному застосуванні системного підходу до енергоменеджменту. Таким чином, додаткові можливості підвищення рівня енергоефективності можуть бути отримані на основі застосування стандартної

методології PDCA (Plan-Do-Check-Act), властивій всім добре відомим міжнародним стандартам (ISO 9001, 14001 тощо). Переваги системного підходу наступні [5]: аналіз всіх аспектів, що впливають на енергоефективність, а також на її постійне поліпшення; бізнес-процеси, пов'язані з енергоменеджментом, чітко визначені і перевіряються, як з боку внутрішніх, так і зовнішніх аудиторів, включаючи можливість сертифікації; безперервний і планований процес енергоменеджменту, який має певні параметри порівняння (базові лінії) для досягнутих результатів і документовані енергоцілей.

Отже, початковим етапом є аналіз характеристик електротехнологій та їх кінцевих продуктів. Саме у цьому напрямку колективом наукової школи «Ефективне використання енергії» (керівник д.т.н., проф. Карпов В. М.) розроблено підхід для оцінки ефективності діючих технічних систем, в рамках якого прийнято вважати, що енергія в технологічному процесі потрібна для вчинення дії в речовині, що приводить до появи потрібного результату R , тому теоретичне мінімальне значення необхідної енергії може бути позначено як $Q_{теор}^{num}$ (стосовно одиниці результату) [6]:

$$Q_{теор} = Q_{теор}^{num} \cdot \Delta R, \quad (1)$$

У випадках механічного впливу така робота встановлюється досить легко, однак при впливі на внутрішню будову речовини розрахунок може бути виконаний лише у випадку, якщо відомий точний біо-фізико-хімічний механізм утворення необхідного результату R . Слід врахувати, що при здійсненні дії виникають втрати енергії ΔQ , які залежать як від виду і властивостей енергії, що підводиться, так і від ступеня незворотності процесу. Тому фактична енергія $Q_{ф}$, необхідна для здійснення технологічного процесу більше, ніж $Q_{теор}$ на величину втрат ΔQ :

$$Q_{ф} = Q_{теор} + \Delta Q. \quad (2)$$

Таким чином, $Q_{ф}$ для певного технологічного процесу містить постійну складову $Q_{теор}$ і змінну складову втрат ΔQ , на якій можна економити енергію за

рахунок зниження як повних (втрат підведення енергії до реакційних зон), так і термодинамічних втрат через низьку ефективність використання енергії.

Однак, у контексті процесів водоочищення застосовувались лише електроенергетичні показники, оскільки саме вони є інтегральними для оцінки ресурсоефективності комбінованих процесів видалення забруднювачів: важко (фактично не можливо) врахувати комплексні енергетичні характеристики фізичних (механічних), біологічних, хімічних, фізико-хімічних способів водоочищення, що пов'язано із їх багатофакторністю та постійними енергетичними трансформаціями та неможливістю експериментально встановити (або математично спрогнозувати) у режимі реального часу внутрішню будову водного розчину стоків після опрацювання у відповідному технологічному обладнанні.

Тоді ЕЕ водоочищення визначатиметься (стосовно одиницю часу):

$$EE = W_{заг} / l, \text{ кВт/м}^3 \quad (3)$$

де $W_{заг}$ – загальні витрати електроенергії на реалізацію процесів водоочищення (без врахування втрат та неефективного використання), кВт/год; l – витрати стічних вод, м³/год.

При цьому теоретично приймається, що:

- вся електроенергія постачається до зон біо-фізико-хімічних реакцій;
- процеси водоочищення протікають згідно аналітичних залежностей вказаних у нормативних документах, наприклад, ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування».

Такі спрощення дозволили сформулювати концепцію щодо теоретичної оцінки ЕЕ різних способів видалення забруднювачів із стоків.

Результати досліджень та їх обговорення. Аналіз вимог Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України та наявних технологій із ДБН В.2.5-75:2013 дозволили систематизувати заходи щодо водоочищення згідно вимог охорони навколишнього природного середовища (табл. 1) та експертно зробити висновки, що всі споруди видалення забруднювачів використовують електроенергію для реалізації по місцю

запроектованих технологічних процесів (мінімально порядку 80 %, у порівнянні із іншими видами енергії, її застосовують найменш ефективні фізичні (механічні) засоби).

1. Систематизовані вимоги до якості стічних вод та засобів їх очищення

Показники якості стоків згідно Наказу № 316 Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово- комунального господарства України 15 січня 2018 р. за N 56/31508	Агреговані базові очисні споруди вказаних у Розділі 10 ДБН В.2.5-75:2013 «Каналізація зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування»				
pH (6,5 – 9,0)	Споруди для видалення із стічних вод крупнодисперсних домішок (включаючи піскоуловлювачі). Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 80% у порівнянні із іншими видами енергії	Споруди для освітлення стічних вод (преаератори, біокоагулятори, освітлювачі, проціджувачі, гідроциклони, жируловлювачі, флотатори, септики) Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85% у порівнянні із іншими видами енергії	Біологічні фільтри (включаючи аеротенки) Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85% у порівнянні із іншими видами енергії	Фізико-хімічне очищення стічних вод Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 90% у порівнянні із іншими видами енергії	Знезараження стічних вод Застосування електроенергії для виконання процесів – не менше 85% у порівнянні із іншими видами енергії
Біологічне споживання кисню (БСК ₅) – не більше 350 мгО ₂ /л					
Хімічне споживання кисню (ХСК) – до 500 мгО ₂ /л					
Завислі речовини – до 300 мг/л					
Азот загальний – до 50 мг/л					
Фосфор загальний – до 5 мг/л					
Нафта та нафтопродукти – до 10 мг/л					
Жири рослинні та тваринні – до 50 мг/л					
Хлориди – до 350 мг/л					
Сульфати – до 400 мг/л					
Сульфіді – до 1,5 мг/л					
Синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), аніонні – до 10 мг/л					
Феноли – до 0,25 мг/л					
Залізо – до 3 мг/л					

Оцінка ЕЕ здійснено для аналізу різних способів водоочищення:

- біологічного (функціонування біологічного аерофільтра: витрати електроенергії на подачу повітря та насосне обладнання);
- хімічного (функціонування аерофлокулятора: витрати електроенергії на дозування регентів та інтенсифікацію їх змішування із водними розчинами та насосне обладнання);

- фізико-хімічного (функціонування електрокоагулятора: витрати електроенергії на електрогенерацію реагентів та насосне обладнання).

Згідно ДБН В.2.5-75:2013 та статистичних досліджень [1, 5], прийнято усереднені рекомендовані режимні параметри агрегатів без аналізу концентрації забруднень на вході та на виході відповідних процесів, встановлено показники ЕЕ (рис. 1); при цьому для видалення органічних та неорганічних забруднень стоків (має місце у більшості випадків) потрібно комбінувати базові способи впливу на водні розчини і, відповідно, ЕЕ такого електротехнологічного комплексу обладнання являтиме собою суму ЕЕ окремих елементів-вузлів (рис. 1, 2). (приймається, що функціонування седиментатора не потребує електроенергії; від електрокоагулятора до аерофлокулятора подається електрозгенерований реагент)

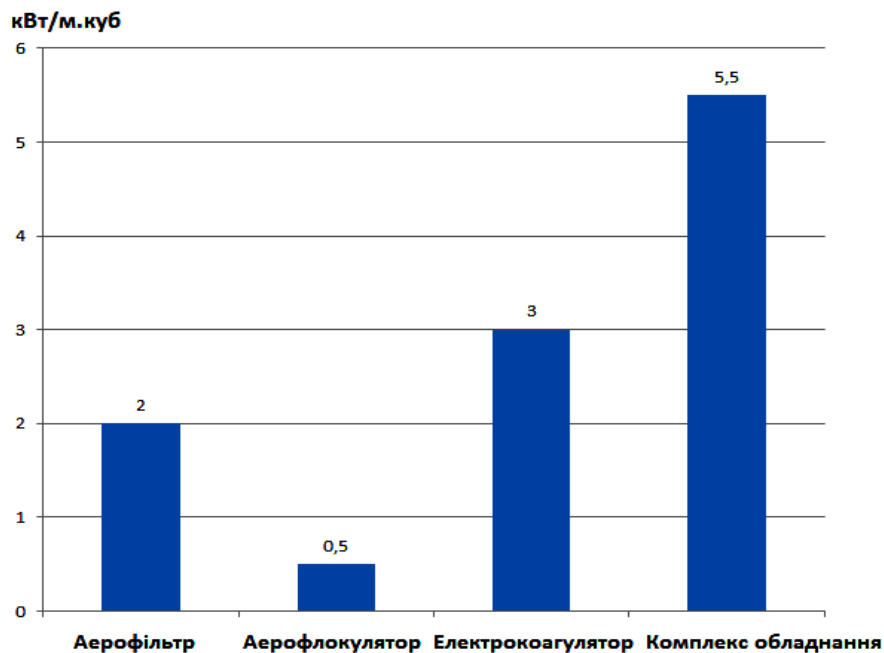


Рис. 1. Електроенергоємність процесів очищення стічних вод



Рис. 2. Спрощена структурна схема варіанту реалізації комбінованого очищення стоків

Для оцінки загальних витрат електроенергії на основі комплексного ЕЕ (див. рис. 1) прийняли різні витрати стоків (рис. 3):

- 100 м³/добу – типово для окремих цехів м'ясопереробних підприємств;
- 500 м³/добу – типово для маслосирзаводів;
- 1200 м³/добу – типово для консервних фабрик.

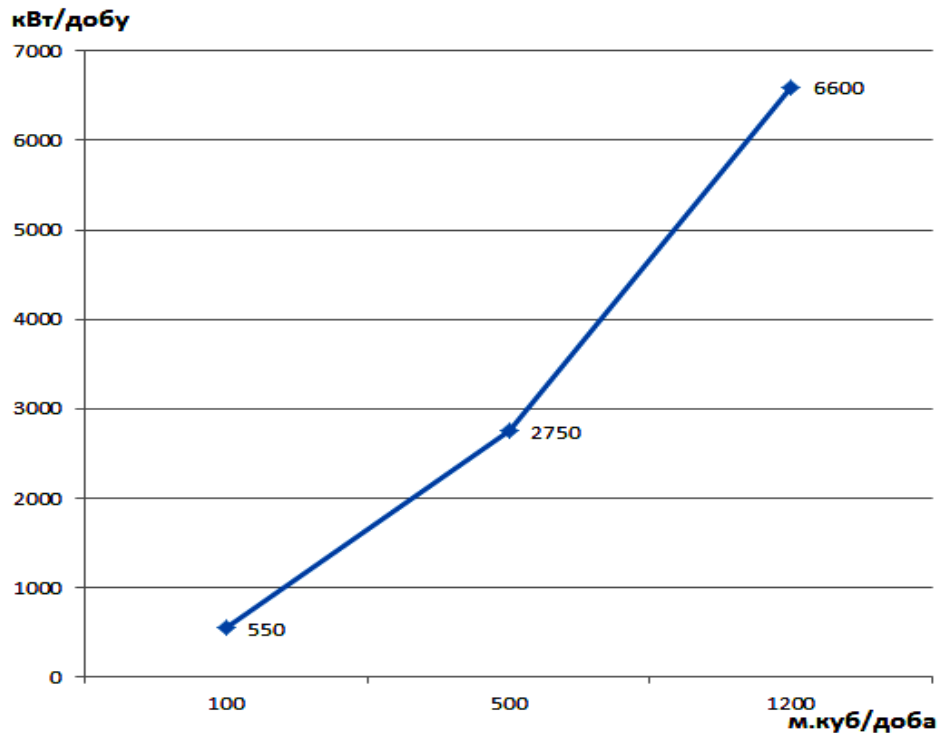


Рис. 3. Електровитрати на процеси очищення стічних вод отримані на основі їх електроенергоємності

Отримані статистичним шляхом, прийнявши ряд технологічних спрощень, показники ЕЕ електротехнологічного обладнання водоочищення стічних вод демонструють значні енерговитрати на реалізацію таких процесів та створюють економічні передумови для розроблення методичного забезпечення підвищення їх енергоефективності на основі концепцій ISO 50001:2018 «Системи енергетичного менеджменту».

Висновки і перспективи. Аналіз рекомендованих у ДБН В.2.5-75:2013 технологій водоочищення продемонстрував, що всі споруди видалення забруднювачів із водних розчинів використовують електроенергію для реалізації за місцем технологічних процесів (мінімально порядку 80 %, порівняно із іншими

видами енергії, її застосовують найменш ефективні фізичні (механічні) засоби; максимально фізико-хімічне обладнання – порядку 90 %).

У результаті статистичних досліджень встановлено, що процеси водоочищення мають суттєву електроенергоємність (для окремих електротехнологічних агрегатів: $0,5 \text{ кВт/м}^3$ – 5 кВт/м^3) і доцільними є подальші дослідження в напрямку створення методичного забезпечення щодо підвищення їх енергоефективності на основі вимог ISO 50001:2018 «Системи енергетичного менеджменту» (стратегії енергоменеджменту) та ISO 14001:2017 «Системи екологічного менеджменту» (стратегії екологічного управління) із врахуванням підходів ISO 31000:2018 «Менеджмент ризиків» (стратегії управління із протидією виникненню надзвичайних ситуацій).

Список літератури

1. Мазоренко Д. І. Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва / Д. І. Мазоренко, В. Г. Цапко, Ф. І. Гончаров. – К.: Знання, 2006 – 376 с.
2. Яромский В. Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В. Н. Яромский. – Минск: Издательский центр БГУ, 2009.– 171 с.
3. Швецов А. Б. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке / А. Б. Швецов, А. В. Козырева, С. Г. Седунов, К. А. Тараскин // Молекулярные технологии. – Саратов: СГУ, 2009. – № 3 – С. 98–121.
4. Вертай С. П. Обоснование структуры и заданий системы поддержки принятия решений обобщённой оценки перспективности инновационных технологий / С. П. Вертай, В. Н. Штепа // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК.. – 2016. – Вип. 240. – С. 86-93.
5. Штепа В. М. Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки / В. М. Штепа, Ф. І. Гончаров, М. А. Сироватка // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК: – 2011. – Вип. 161. – С. 187–193.
6. Юлдашев З. Ш. Определение энергоемкости результата технологического процесса / З.Ш. Юлдашев, А. Немцев, И.А. Немцев // Международный журнал экспериментального образования. – М.: Академия естествознания. – 2015. – № 8-3. – С. 421-422.

References

1. Mazorenko, D. I., Tsapko, V. H., Honcharov, F. I. (2006). Inzhenerna ekolohiia silskohospodarskoho vyrobnytstva [Engineering ecology of agricultural production]. Kyiv: Znannia, 376.
2. Yaromskiy, V. N. (2009). Ochistka stochnykh vod pishchevykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy [Sewage treatment of food and processing enterprises]. Minsk: Izdatel'skiy tsentr BGU, 171.
3. Shvetsov, A. B., Kozyreva, A. V., Sedunov, S. G., Taraskin, K. A. (2009). Khlornyye dezinfektanty i ikh primeneniye v sovremennoy vodopodgotovke / [Chlorine disinfectants and their application in modern water treatment]. Molekulyarnyye tekhnologii, 3, 98–121.
4. Vertay, S. P., Shtepa, V. N. (2016). Obosnovaniye struktury i zadaniy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy obobshchennoy otsenki perspektivnosti innovatsionnykh tekhnologiy [Justification of the structure and tasks of the system of support for decision-making of the generalized estimation of the perspective of innovative technologies]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya : Tekhnika ta enerhetyka APK, 240, 86-93.
5. Shtepa, V. M., Honcharov, F. I., Syrovatka, M. A. (2011). Obhruntuvannia ta rozrobka kryteriiu enerhoefektyvnosti funktsionuvannia elektrotekhnolohichnykh system vodopidhotovky [Justification and development of the energy efficiency criterion for the functioning of electro-technological water treatment systems]. Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK, 161, 187–193.
6. Yuldashev, Z. Sh., Nemtsev, A., Nemtsev, I. A. (2015). Opredeleniye energoyemkosti rezul'tata tekhnologicheskogo protsessa [Determination of energy intensity result of the process]. Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya, 8-3, 421-422.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГОЕМКОСТЬ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

В. Н. Штепа

Аннотация. Рассмотрена целесообразность установления электроэнергоемкости процессов очистки сточных вод. Проанализированы современные мировые тенденции практического внедрения подходов энергоменеджмента при техническом регулировании на основе требований ISO 50001:2018 и других международных стандартов. Оценены наработки научных школ по установлению эффективности действующих технических систем, в рамках которого принято считать, что энергия в технологическом процессе требуется для совершения действия в веществе, приводит к появлению нужного результата. Обоснована методика оценки электроэнергоемкости процессов удаления из водных растворов загрязнителей, которая учитывает техническую сложность установления в режиме реального времени энергетических преобразований в такой среде. Применены при такой оценке только электроэнергетические показатели, поскольку именно они являются

интегральными для оценки ресурсоэффективности комбинированных процессов удаления загрязнителей: трудно (практически невозможно) учесть комплексные энергетические характеристики физических (механических), биологических, химических, физико-химических способов водоочистки, что связано с их многофакторностью и постоянными энергетическими трансформациям. Систематизированы требования научно-технических основ украинских нормативных документов в контексте экологической безопасности и имеющихся технологических решений их соблюдения в отношении водосброса. Определены ключевое влияние использования электроэнергии на производственную реализацию водоочистки. Согласно нормативных документов и статистических исследований принято усредненные рекомендованные режимные параметры агрегатов без анализа концентрации загрязнений на входе и на выходе соответствующих процессов. Проанализированы электроэнергетические емкости очистки сточных вод и определены её значительные величины, особенно при комбинации различных способов удаления загрязнителей в единой системе, для разнотипного оборудования на основе чего сделаны выводы об экономической перспективности создания соответствующего управленческого методического обеспечения на основе подходов энерго-, экологического и риск менеджмента.

Ключевые слова: *электротехнологическая водоочистка, международный стандарт, энергоменеджмент, энергоэффективность, электроэнергетическая емкость*

ELECTRICAL ENERGY CAPACITY OF WATER TREATMENT PROCESSES

V. M. Shtepa

Abstract. The expediency setting the electric power consumption the sewage treatment processes is considered. The current world tendencies concerning the practical implementation energy management approaches with technical regulation based on the requirements of ISO 50001:2018 and other international standards are analyzed. The evaluation works the scientific schools in relation to the establishment of the effectiveness existing technical systems, in which it is assumed that energy in the technological process is necessary for action in the substance, which leads to the desired result. The method estimation the electric power consumption of the processes removal from aqueous solutions pollutants, which takes into account the technical complexity real time setting energy transformations in such environment, is substantiated. Only such electric energy indicators are used in this assessment, since they are integral to the assessment resource efficiency of the combined processes for the removal of pollutants: it is difficult (in fact not possible) to take into account the integrated energy characteristics physical (mechanical), biological, chemical, physico-chemical methods water purification, which is connected with their multifactor and constant energy transformations. The requirements of the scientific and technical principles Ukrainian normative documents in the context of the requirements ecological safety and existing technological solutions to their compliance with the water drain are systematized. The key influence electricity use on the production water purification is determined. According to the normative documents and statistical studies, the averaged recommended regime parameters aggregates are taken without

analysis of the concentration pollution at the input and output of the corresponding processes. The electric power consumption wastewater treatment is analyzed and its significant values are determined, especially with combination different methods of the removing pollutants in a single system, for various types equipment, based on which the conclusions about the economic prospects creating the appropriate administrative methodological support on the basis of energy, ecological and risk management approaches are made.

Key words: *electrotechnical water purification, international standard, energy management, energy efficiency, electric energy capacity*