

УДК 628.35

**ДИНАМІКА ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНОЇ ВОДИ
В СИСТЕМІ “ВІДСТІЙНИК-АЕРОТЕНК-ВІДСТІЙНИК”
КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД м. РІВНЕ**

Грицина О.О., к.т.н., доцент,
Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне
o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

Анотація. Каналізаційні очисні споруди України потребують модернізації. Модернізація повинна передбачати окиснення органічних речовин та видалення сполук нітрогену. Для проектування реакторів процесів окиснення органічних речовин та нітрифікації проведені дослідження температурного режиму очищення муніципальних стічних вод на прикладі очисних споруд м. Рівне, Україна. Обробка дослідних даних дозволяє виконати вибір розрахункової температури для забезпечення процесу нітрифікації у випадку модернізації очисних споруд та уникнути можливих проектних помилок. Проаналізована зміна температурного режиму очищення вздовж профілю основної технологічної лінії очисних споруд.

Ключові слова: стічна вода, температура, аеротенк, відстійник.

**ДИНАМИКА ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ОЧИСТКИ СТОЧНОЙ ВОДЫ
В СИСТЕМЕ «ОТСТОЙНИК-АЭРОТЕНК-ОТСТОЙНИК»
КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ г. РОВНО**

Грицына А.А., к.т.н., доцент,
Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно
o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

Аннотация. Канализационные очистные сооружения Украины нуждаются в модернизации. Модернизация должна предусматривать окисления органических веществ и удаления соединений азота. Для проектирования реакторов процессов окисленных органических веществ и нитрификации проведены исследования температурного режима очистки муниципальных сточных вод на примере очистных сооружений г. Ровно, Украина. Обработка опытных данных позволяет осуществить выбор расчетной температуры для обеспечения процесса нитрификации в случае модернизации очистных сооружений и избежать возможных проектных ошибок. Выполнен анализ изменение температурного режима очистки вдоль профиля основной технологической линии очистных сооружений.

Ключевые слова: сточная вода, температура, аэротенк, отстойник.

**THE TEMPERATURE MODES' DYNAMICS IN THE SYSTEM
“PRIMARY CLARIFIER - AEROTANK - SECONDARY CLARIFIER” OF RIVNE WWTP**

Hrytsyna O.O., PhD., Assistant Professor,
National University of Water and Environmental Engineering, Rivne,
o.o.hrytsyna@nuwm.edu.ua

Abstract. Wastewater treatment plants in Ukraine need modernization. Modernization should include the oxidation of organic substances and removal of nitrogen compounds. The temperature

regime research was carried out at Rivne municipal wastewater treatment plant in Ukraine for reactors' design of the oxidation of organic substances and nitrogen compounds. The biological wastewater treatment is performed in aeration tanks of 5 corridor construction. The design wastewater flow rate is 25,000 m³/day. The treated wastewater is discharged into River Ustya.

The automated system of environment temperature measurement is developed and tested: clarified wastewater, mixture of wastewater and activated sludge, the activated sludge, treated waste water and the surrounding air. The unit of automatic fixing and data storage consists of the input module (MV110-224.8A), a data collecting module (MSD-200), memory card (MicroSD 8G) and power supply unit (BP30B-D3-24).

Experimental data processing allows to choose the design temperature for the nitrification process in case of WWTP modernization and to avoid possible design errors. The temperature change is analyzed through all the profile of wastewater flow sheet of WWTP. Among the main causes of the sharp temperature change of wastewater ($\Delta T > 2 \dots 3^{\circ}\text{C}$) that comes to the system primary clarifier - aerotank - secondary clarifier of Rivne WWTP is a sharp increase or decrease of wastewater flow rate in the system. The research results allow considering the temperature regimes during the WWTP operation.

Keywords: wastewater, temperature, aeration, clarifier.

Вступ. Екологічний стан поверхневих водних об'єктів і якість води в них є вирішальними чинниками санітарного та епідемічного благополуччя населення. Охорона водних ресурсів є однією з першочергових задач екологічної безпеки України. Підвищені концентрації біогенних елементів у воді після очисних споруд, потрапляючи в водойму, призводять до інтенсивної евтрофікації останнього, що значно ускладнює повторне використання водойми для потреб водопостачання населених місць та промислових підприємств. Одним із важливих параметрів, що впливає на процеси освітлення води, біологічного очищення від забруднень є температура. Дослідження режимів зміни температури стічної води системи первинний відстійник – аеротенк – вторинний відстійник є цінним і актуальним.

Аналіз наукових досліджень проблеми. Процеси біологічного очищення чутливі до температури [1-3], тому температура є важливим фактором при проектуванні станцій [4, 5]. Різниця в температурі проведення процесу всього на один градус сильно впливає на вартість проекту, оскільки швидкість росту бактерій безпосередньо впливає на необхідний вік мулу, його кількість і об'єм активного мулу та реакторів [1-7]. Крім того при зміні температури відбувається і зміна біорізноманіття бактерій активного мулу, особливо при низьких температурах проведення процесів очищення стічних вод від сполук азоту та фосфору [7, 8]. Окремий напрямок досліджень становлять дослідження на комплексне поєднання процесів транспортування, очищення стічних вод та утилізацію енергетичного потенціалу стічної води [9-13].

Мета і завдання досліджень. Метою роботи є дослідження та аналіз температурних режимів очищення стічних вод каналізаційних очисних споруд. Для досягнення мети вирішувались задачі: дослідити температурні режими очищення стічних вод основної технологічної лінії очисних споруд для п'яти середовищ; провести аналіз отриманих результатів та встановити основні закономірності зміни температури стічної води в системі первинний відстійник – аеротенк – вторинний відстійник.

Матеріальне забезпечення. Для вирішення задач досліджень була розроблена автоматизована система вимірювання температури середовища основної технологічної лінії каналізаційних очисних споруд м. Рівне. Розроблена система дозволяла фіксувати та зберігати дані про температуру освітленої стічної води, активного мулу, суміші стічної води та активного мулу, відстояної стічної води та навколишнього повітря. Вимірювання температури виконувалось термометрами опору. Система автоматизованого вимірювання температури стічної води, активного мулу та суміші стічної води та активного мулу складалася з блоку автоматичного фіксування та зберігання даних, кабелю та термоперетворювачів. Блок автоматичного фіксування та зберігання даних складався з

модулю вводу (MB110-224.8A), модулю збору даних (МСД-200), карти пам'яті (MicroSD 8G) та блоку живлення (БП30Б-ДЗ-24). З'єднання термоперетворювачів та блоку здійснювалося за допомогою кабелю ПВС 3×1. Датчиком температури середовища був термоперетворювач ТСМ1-7-100М. Влаштування термоперетворювача в потоці вимірюваного середовища здійснювалося за допомогою футляра зі сталеві труби.

Методика досліджень. Дослідження проводилися на каналізаційних очисних спорудах м. Рівне. Основна технологічна лінія очисних включає споруди: будівлю решіток, піскоуловлювачі, первинні відстійники, аеротенки, вторинні відстійники та контактні резервуари. Біологічну очистку стічних вод здійснюють за допомогою трикоридорних аеротенків витиснювачів, в кількості 5 секцій (50×5×5(3)м). Проектна витрата стічних вод 25000 м³/добу. Очищені стічні води скидаються в р.Устя, яка є водоймою рибогосподарського призначення. За умови модернізації перед очисними спорудами ставиться додаткове завдання – очищення стічних вод від амонійного азоту до вимог скиду в р. Устя.

Для вирішення задач досліджень були прийнята наступна схема розміщення датчиків температури середовища основної технологічної лінії очисних споруд (рис. 1). Датчики температури в точках 1 і 2 вимірювали температуру стічної води після первинного відстоювання. Датчики температури в точках 3, 4, 5 вимірювали температуру суміші стічної води та активного мулу. Датчик температури в точці 6 вимірював температуру очищеної стічної води на виході з вторинного відстійника. Температуру активного мулу в точці 7 вимірювали посередині регенератора активного мулу аеротенка.

Датчики температури ТСМ1-7-100М в точках 1-7 були занурені у вимірюване середовище на глибину приблизно 1,0 м. Температуру повітря навколишнього середовища вимірювали в точці 8 розташованій на висоті 2,2 метра над рівнем землі очисних споруд.

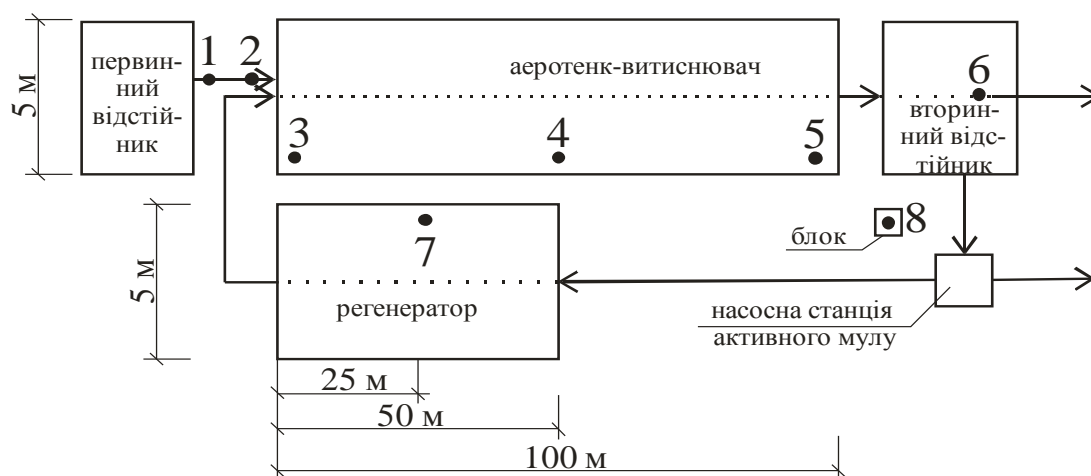


Рис. 1. Схема встановлення датчиків температури середовища основної технологічної лінії очисних споруд м. Рівне (секція аеротенка №3)

Вимірювальні середовища були поділені на п'ять груп: перша група (точки 1, 2) вимірювання температури освітленої стічної води, друга група (точки 3-5) для вимірювання температури суміші стічної води та активного мулу, третя група для вимірювання температури відстояної стічної води (точка 6), четверта група для вимірювання температури активного мулу (точка 7) та п'ята група для вимірювання температури навколишнього повітря. В точках 3-5, 7 відбувалася аерація суміші та активного мулу за допомогою пневматичних аераторів, що приводило до інтенсивного перемішування вимірюваного середовища.

Кожні 10 хвилин відбувалася фіксація та запис даних з термоперетворювачів ТСМ1-7-100М у блоці автоматичного фіксування та зберігання даних на карту пам'яті. Звіт за день вимірювань формувався в форматі файлу *.csv. Вимірювання проводились з 14 січня по 05 серпня 2017. З метою встановлення кореляції між результатами вимірювання датчиків, перед дослідженнями вони були розташовані в приміщенні з сталою температурою, де впродовж

2 годин здійснювалося вимірювання температури повітря. За результатами вимірювання були встановлені поправочні значення температур кожного датчика. Для уникнення накопичення забруднень на датчику періодично виконувалося вивільнення забруднень з датчика. Похибка датчиків оцінювалася за паспортними даними заводу-виготовлювача.

Результати досліджень. Вимірювання температури кожні 10 хвилин протягом доби для 5-ти груп середовищ дозволила встановити такі мінімальні значення за період досліджень (14.01.17-05.08.17), °C: температури освітленої стічної води $T_{ww}=9,1$; температури суміші стічних від та активного мулу $T_{mix}=10,5$; температури активного мулу в регенераторі $T_{as}=11,3$; температури біологічно очищеної води $T_{tww}=10,7$; температура повітря $T_{air}=-18,8$. Середня температура освітленої стічної води за період досліджень склала $17,0$ °C.

Відповідно до [4] на температуру в реакторі впливають позитивно: температура стічної води, що надходить в реактор, сонячне випромінювання, механічна енергія і енергія, що виділяється в біологічному процесі. Температурні втрати пов'язані з випаровуванням і конвекцією, викликаною вітрами, довгохвильовим випромінюванням, таненням снігу, що випав та втратами тепла крізь конструкцію реактору в ґрунт. Методика проведених досліджень дозволяла лише оцінити взаємо залежний результат як надходжень так і втрат енергії в її комплексному показнику – температура вимірюваного середовища. Досліджувалося п'ять середовищ.

За період досліджень можна виділити три групи температурних режимів очищення стічних вод основної технологічної лінії КОС м. Рівне первинний відстійник-аеротенк-вторинний відстійник (ПВ-А-ВВ):

1) Температурний режим очищення за якого відбувається зниження температури очищеної стічної води порівняно з температурою стічної води після первинного відстоювання (освітлена стічна вода). За результатами даних досліджень це період температурного режиму впродовж січня-березня (рис. 2). В цей період тепловтрати стічної води системи ПВ-А-ВВ перевищують надходження тепла. Різниця температури між освітленою та очищеною стічною водою становить $0,5 \dots 3$ °C.

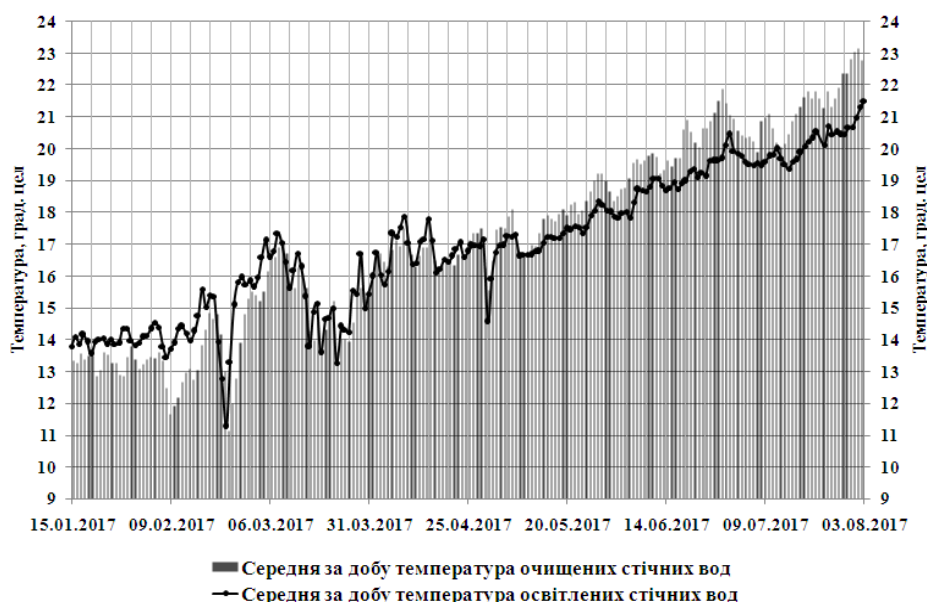


Рис. 2. Динаміка температури освітлених стічних вод та очищених стічних вод за період досліджень

Серед основних причин різкої зміни температури стічної води ($\Delta T > 2 \dots 3$ °C), що надходить в систему ПВ-А-ВВ КОС м. Рівне є різке збільшення чи зниження витрати стічної води в системі (рис. 3). В залежності від призначення та розмірів споруди реакторів системи ПВ-А-ВВ стічна вода перебуває впродовж певного проміжку часу. В системі, що розглядається найбільший проміжок часу стічна вода перебуває в аеротенку. На КОС м. Рівне біологічне очищення здійснюється в аеротенках із регенерацією активного мулу.

Таким чином на температурний режим очищення впливають температурні режими рециркуляційного активного мулу, який циркулює в системі регенератор аеротенка-аеротенк-вторинний відстійник. Різка зміна витрати неочищеної стічної води приводить до зміни часу перебування стічної води в системі ПВ-А-ВВ та зміни коефіцієнта рециркуляції зворотного мулу. Що як наслідок приводить до різкої зміни температури стічної води в системі та зміни показників якості очищуваних стічних вод.

2) Температурний режим очищення за якого температури очищеної стічної води приблизно рівна температурі стічної води після первинного відстоювання (освітлена стічна вода). За результатами даних досліджень це період температурного режиму впродовж березня-квітня (рис. 2). В цей період тепловтрати стічної води системи ПВ-А-ВВ приблизно рівні надходження тепла.

3) Температурний режим очищення за якого відбувається збільшення температури очищеної стічної води порівняно з температурою стічної води після первинного відстоювання (освітлена стічна вода). За результатами даних досліджень це період температурного режиму впродовж травня-серпня (рис. 2). В цей період надходження тепла в систему ПВ-А-ВВ перевищують втрати тепла. Різниця температури між очищеною та освітленою стічною водою становить більше $0,5^{\circ}\text{C}$.

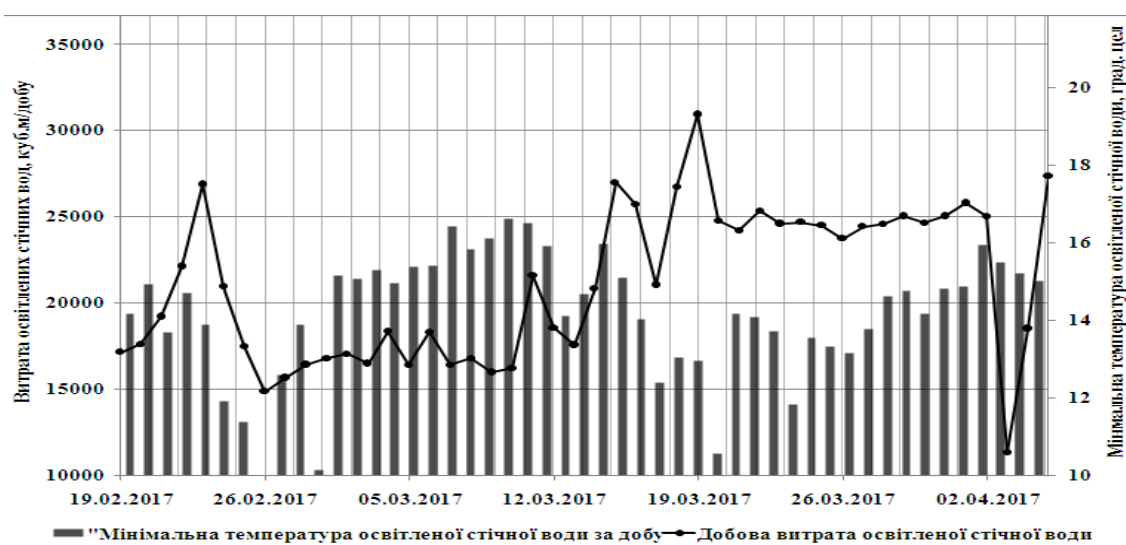


Рис. 3. Динаміка температури освітлених стічних вод та витрати стічних вод за період досліджень

Температура стічної води є параметром, який суттєво впливає на процеси біологічного очищення, освітлення води та розділення мулової суміші. Результати досліджень дозволяють врахувати отримані температурні режими при експлуатації каналізаційних очисних споруд. Зокрема розроблені рекомендації, де в залежності від температурного режиму основної технологічної лінії КОС м. Рівне та температурних режимів рециркуляційного активного мулу обслуговуючий персонал та інженерно-технічні працівники можуть здійснювати певні операційні заходи. Оскільки зміна температури стічних вод, суміші стічних вод та активного мулу та рециркуляційного активного мулу на КОС відбувається без можливості впливу на дані процеси. Тому важливим є розроблення таких рекомендацій, які б дозволили в залежності від періоду температурного режиму, конкретних значень витрати та температури досягати необхідного ступеню очищення від завислих, органічних та біогенних речовин. Серед таких заходів може бути операційний контроль кисневих режимів роботи аеротенків, підтримання певних значень маси активного мулу в системі регенератор-аеротенк-вторинний відстійник. Особливо актуальними результати досліджень є при різких змінах витрати стічних вод, що надходять на очищення.

Проектування на основі аеробного віку мулу. Даний спосіб проектування оснований на врахуванні умов необхідних для розвитку нітрифікуючих бактерій в реакторі. Проте так

само важливими складовими для проектування є вміст органічних речовин в стічній воді і загальна маса мулу. Наступні розрахунки виконані для системи аеротенк-витиснювач (окиснення органічних речовин та амонійного азоту) та вторинний відстійник з рециркуляцією активного мулу (на прикладі очисних споруд м. Рівне).

Визначити необхідний вік аеробного мулу для процесу нітрифікації в системі, що розглядається можна з виразу, [4]:

$$\frac{1}{\theta_X} = \mu_{maxA} \cdot \frac{S_{NH_4}^{ex}}{S_{NH_4}^{ex} + K_{NH_4}} \cdot \frac{S_{O_2}}{K_{O_2} + S_{O_2}} - b_A, \quad (1)$$

де μ_{maxA} – максимальна питома швидкість росту нітрифікаторів, доба⁻¹; $S_{NH_4}^{ex}$ – концентрація амонійного азоту на виході з зони аерації, г $NH_4^+ - N / m^3$; K_{NH_4} – константа насичення, г $NH_4^+ - N / m^3$; S_{O_2} – концентрація кисню в зоні аерації, г O_2 / m^3 ; K_{O_2} – константа насичення, г O_2 / m^3 ; b_A – константа розпаду, доба⁻¹.

Для розрахунків прийнято значення кінетичних коефіцієнтів для 20 °C: $\mu_{maxA} = 0,7$ доба⁻¹; $K_{NH_4} = 0,5$ г N / m^3 ; $K_{O_2} = 0,8$ г O_2 / m^3 ; $b_A = 0,05$ діб⁻¹, [4, 14]. Та значення $S_{NH_4}^{ex} = 0,75$ г $NH_4^+ - N / m^3$.

Залежність швидкості біологічного процесу від температури можна описати рівнянням Вант-Гоффа:

$$\mu_{max}(T) = \mu_{max}(20^{\circ}C) \cdot \exp(\chi \cdot (T - 20)), \quad (2)$$

де T – розрахункова температура стічної води, °C.

Температурна константа для μ_{maxA} та b_A прийнята $\chi = 0,09$ град⁻¹, [4, 14].

За рівнянням (1, 2) залишкова концентрація амонійного азоту $S_{NH_4}^{ex}$ при температурі 17 °C, та віці мулу 5 діб, $S_{O_2} = 2,0$ г O_2 / m^3 відповідно буде становити $S_{NH_4}^{ex} = 0,8$ г $NH_4^+ - N / m^3$. Якщо відбудеться зміна температури стічної води наприклад із 17 до 12 °C, то при віці мулу $\theta_X = 5$ діб, $S_{O_2} = 2,0$ г O_2 / m^3 залишкова концентрація амонійного азоту буде становити $S_{NH_4}^{ex} = 5,9$ г $NH_4^+ - N / m^3$, що в 7,4 разів перевищить встановлену розрахункову концентрацію.

Для досягнення необхідного ступеня очищення, в даному випадку $S_{NH_4}^{ex} = 0,8$ г $NH_4^+ - N / m^3$, як варіант можна збільшити масу мулу в системі і відповідно вік мулу (за умови нормальної роботи вторинних відстійників) із 5 до 8 діб, при тій самій концентрації розчиненого кисню $S_{O_2} = 2,0$ г O_2 / m^3 . Збільшення концентрації кисню S_{O_2} до 3,0 г O_2 / m^3 , але при віці мулу 5 діб дозволить отримати розрахункову залишкова концентрація амонійного азоту $S_{NH_4}^{ex} = 2,5$ г $NH_4^+ - N / m^3$, що в 3,3 разів перевищить встановлену розрахункову концентрацію. Комбінації значення віку мулу 7 діб і концентрації кисню 3 г O_2 / m^3 дозволить отримати розрахункову залишкова концентрація амонійного азоту $S_{NH_4}^{ex} = 0,8$ г $NH_4^+ - N / m^3$. Остаточне рішення щодо вибору технологічних операцій при зміні температури стічної води варто приймати на основі техніко-економічних розрахунків.

Висновки. 1. Розроблена та дослідно апробована автоматизована система вимірювання температури середовища на прикладі стічних вод, активного мулу, суміші стічних вод та активного мулу, навколишнього повітря.

2. Результати досліджень дозволяють аналізувати температурні режими 5-ти груп (освітлених стічних вод, активного мулу, суміші стічних вод та активного мулу, очищених стічних вод, навколишнього повітря), здійснювати оперативний контроль та заходи щодо забезпечення залишкових концентрацій забруднюючих речовин в очищеній стічній воді (ХСК, амонійний азот, азот нітратів, нітритів).

Перспективи подальших досліджень. 1. Дослідження будуть продовжені до лютого 2018 року. 2. Буде виконана оцінка стічних вод як джерела енергії для забезпечення

енергетичних потреб різних споживачів. 3. Планується дослідити вплив температури на швидкість процесу нітрифікації.

Подяки. Стаття підготовлена в рамках виконання проекту “Комплекс ресурсозберігаючих технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних та військових об’єктів”(номер державної реєстрації НДР 0116U007384).

Література

1. Hwang Jong Hyuk. Effect of Cold-Temperature Shock on Nitrification / Hwang Jong Hyuk, Oleszkiewicz Jan A. // *Water Environment Research*, 2007, Vol. 79, no. 9, pp. 964–968.
2. Guo Jingbo. Trade-off between carbon emission and effluent quality of activated sludge processes under seasonal variations of wastewater temperature and mean cell retention time / Guo Jingbo, Fu Xin, Andrés Baquero G., Sobhani Reza, Nolasco Daniel A., Rosso Diego // *Science of the Total Environment* 547, 2016, pp. 331–344.
3. Christensen M.H. Nitrification and denitrification in wastewater treatment / M.H. Christensen, P.Harremoës // In: Mitchell, R. (ed.), *Water pollution microbiology*, 1978, vol. 2, pp. 391-414. John Wiley & Sons, New York, N.Y.
4. Henze M. Wastewater Treatment. Biological and Chemical processes / M. Henze, P. Harremoës, I. Cour Jansen, E. Arvin // *Moskva: Mir*, 2004. – 480 p.
5. Guyer W. Ein Dynamisches Modell für die Simulation von komplexen Belebtschlammverfahren, Habilitationsschrift / W. Guyer // *Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie, IGW, Eidgenössische technische Hochschule, Zürich*, 1985.
6. Choubert Jean-Marc. Nitrogen removal from urban wastewater by activated sludge process operated over the conventional carbon loading rate limit at low temperature / Jean-Marc Choubert, Yvan Racault, Alain Grasmick, Christian Beck, Alain Heduit // *Water SA*, 2005, Vol. 31 No. 4, pp. 503-510.
7. Head M.A. Bioaugmentation for nitrification at cold temperatures / M.A.Head, J.A. Oleszkiewicz // *Water Research*, 2004, Vol. 38, pp. 523–530.
8. Ducey Thomas F. Characterization of a microbial community capable of nitrification at cold temperature / Thomas F. Ducey, Matias B. Vanotti, Anthony D.Shriener, Ariel A.Szogi // *Bioresource Technology*, 2010, Vol. 101, pp. 491–500.
9. Gandiglio Marta. Enhancing the Energy Efficiency of Wastewater Treatment Plants through Co-digestion and Fuel Cell Systems / Marta Gandiglio, Andrea Lanzini, Alicia Soto and other // *Frontiers in Environmental Science*, 2017, Vol. 5, pp. 1-21.
10. Spiller Marc. Measuring adaptive capacity of urban wastewater infrastructure – Change impact and change propagation / Marc Spiller // *Science of the Total Environment*, 2017, pp. 571–579.
11. Voloshchuk V. Assessment of domestic wastewater potential for in-house heat pump systems / V. Voloshchuk, O.Hrytsyna, M. Blyashyna, V. Zhukova // *Ventilation, lighting and heat-and gas supply*, 2016, KNUBA. Kyiv, pp. 81-90.
12. Грицина О.О. Концепція комплексу технологій з очищення стічних вод та використання тепла стічних вод цивільних об’єктів та оцінка систем очищення стічних вод / О.О. Грицина, М.В. Бляшина, В.С. Жукова, В.А. Волощук // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. – КНУБА. – Київ, 2016. – С. 105-113.
13. Волощук В.А. Стічні води як джерело енергії у системах теплозабезпечення нового покоління / В.А. Волощук, О.О. Грицина // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки*. – КНУБА. – Київ, 2016. – С. 63-70.
14. Sharma Bhavender. Nitrification and nitrogen removal / Sharma Bhavender, R.C. Ahlert // *Water Research*, 1977, Vol. 11, Issue 10, pp. 897-925.

Стаття надійшла 16.11.2017