

О. О. ГРИЦИНА, кандидат технічних наук  
В. А. ВОЛОЩУК, кандидат технічних наук  
Національний університет водного господарства та природокористування

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ ОЧИЩЕННЯ МУНІЦИПАЛЬНИХ СТІЧНИХ ВОД МІСТА РІВНЕ**

*Виконані дослідження температурного режиму очищення муніципальних стічних вод на прикладі очисних споруд м. Рівне, Україна. Розроблена та дослідно апробована автоматизована система вимірювання температури середовищ: стічна вода, активний мул, суміш стічних вод та активного мулу, навколишнього повітря. Обробка дослідних даних дозволяє виконати вибір розрахункової температури для забезпечення процесу нітрифікації у випадку модернізації очисних споруд та уникнути можливих проектних помилок.*

**Ключові слова:** стічна вода, температура, нітрифікація.

*Выполнены исследования температурного режима очистки муниципальных сточных вод на примере очистных сооружений г. Ровно, Украина. Разработана и опытно апробирована автоматизированная система измерения температуры среды: сточная вода, активный ил, смесь сточных вод и активного ила, окружающего воздуха. Обработка опытных данных позволяет осуществить выбор расчетной температуры для обеспечения процесса нитрификации в случае модернизации очистных сооружений и избежать возможных проектных ошибок.*

**Ключевые слова:** сточная вода, температура, нитрификация.

*The researches were conducted on wastewater treatment plants in Rivne to define the temperature conditions of wastewater treatment processes. The unique automated temperature measurement system was developed for researches. Researches provided the installation of seven temperature sensors along the profile of the main treatment process line and one sensor to measure the air temperature. Measuring environments were divided into 5 groups: clarified waste water, mixture of waste water and activated sludge, the activated sludge, treated waste water and the surrounding air.*

**Keywords:** wastewater, temperature, nitrification.

**Вступ та актуальність дослідження.** Екологічний стан водних об'єктів є важливим для людини та держави. Не достатній ступінь очищення стічних вод від біогенних елементів приводить до погіршення стану водних об'єктів. Більшість каналізаційних очисних споруд України потребує модернізації. Модернізація очисних має передбачати видалення біогенних елементів і зокрема амонійного азоту.

Аеробне біологічне окиснення амонійного азоту здійснюється процесом нітрифікація. Нітрифікація чутлива до температури [1-7], тому температура є важливим фактором при проектуванні станцій [8, 9]. Різниця в температурі проведення процесу всього на один градус суттєво впливає на вартість проекту. Оскільки швидкість росту нітрифікуючих бактерій безпосередньо впливає на необхідний вік мулу, його кількість і об'єм активного мулу та реакторів [1-9]. Калібрування моделей при різних значеннях температури стічної води дозволяє уточнити коефіцієнти моделей [10-12]. Крім того при зміні температури відбувається і зміна біорізноманіття бактерій активного мулу, особливо при низьких температурах проведення процесів очищення стічних вод від сполук нітрогену та фосфору [13-16].

**Мета і завдання досліджень.** Метою роботи є дослідження температурних режимів очищення стічних вод каналізаційних очисних споруд. Для досягнення мети вирішувались задачі: дослідити температурні режими очищення освітлених стічних вод та взаємозв'язок з режимами рециркуляційного активного мулу; обґрунтувати розрахункове значення температури стічної води для забезпечення процесів окиснення органічних речовин та нітрифікації при модернізації станцій очищення України.

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, очищеної стічної води та навколишнього повітря. Вимірювання температури виконувалось термометрами опору.

**Матеріальне забезпечення.** 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-Д3-24). Зображення блоку наведено на рис. 1. З'єднання термоперетворювачів та блоку здійснювалося за допомогою кабелю ПВС 3x1. Давачем температури середовища був термоперетворювач ТСМ1-7-100М. Влаштування термоперетворювача в потоці вимірюваного середовища здійснювалося за допомогою футляра зі сталеві труби діаметром 15 мм (рис. 1).



Рис. 1. Зовнішній вигляд системи автоматизованого вимірювання температури стічної води, активного мулу та суміші стічної води та активного мулу.

**Методика визначення.** Дослідження проводилися на каналізаційних очисних спорудах м. Рівне. Дані споруди були введені в експлуатацію в 1964р. Основна технологічна лінія очисних включає споруди: будівлю решіток, пісковловлювачі, первинні відстійники, аеротенки, вторинні відстійники та контактні резервуари. Біологічну очистку стічних вод здійснюють за допомогою трикоридорних аеротенків-витискувачів, в кількості 5 секцій (50х5х5м). Проектна витрата стічних вод 25000 м<sup>3</sup>/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. 2). Датчі температури в точках 1 і 2 вимірювали температуру стічної води після первинного відстоювання (точка 1 на виході з первинного відстійника, а точка 2 на вході стічної води в аеротенк). Датчі температури в точках в точках 3, 4, 5 вимірювали температуру суміші стічної води та активного мулу (точка 3 в місці змішування активного мулу та стічної води, точка 4 через 50 метрів після змішування, точка 5 в кінці процесу біологічного очищення через 100 метрів). Датч температури в точці 6 вимірював температуру очищеної стічної води на виході з вторинного відстійника. Температуру активного мулу в точці 7 вимірювалася посередині регенератора активного мулу аеротенка.

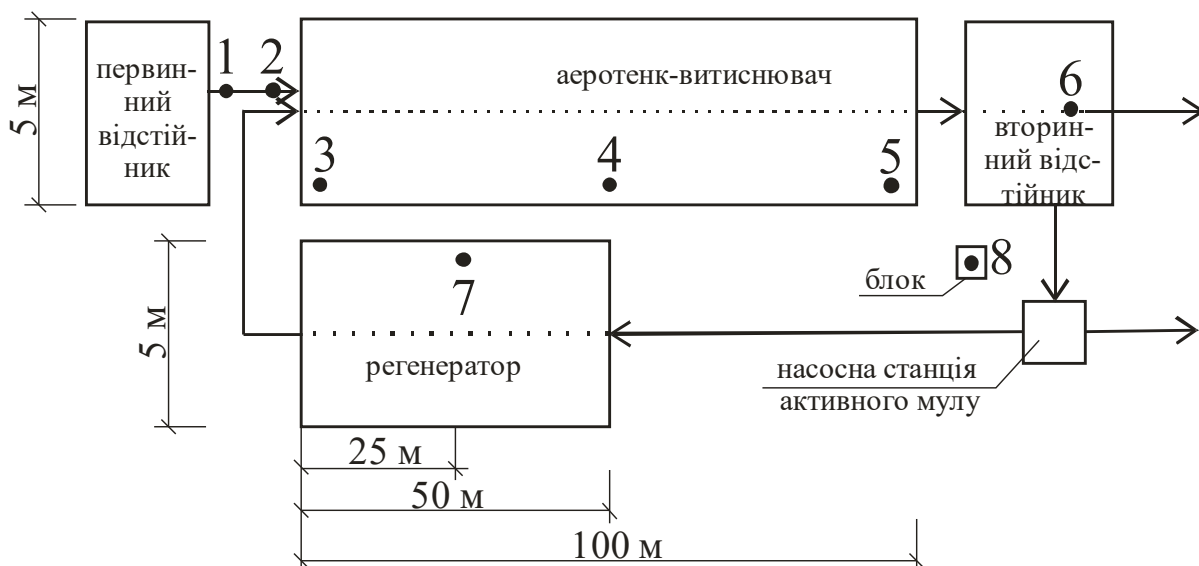


Рис. 2. Схема розташування датчиків температури середовища основної технологічної лінії очисних споруд м. Рівне (секція аеротенка №3)

Датчі 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.

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 очищеної 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 виконувалася 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 датчі періодично виконувалося вивільнення забруднень з датчика. Похибка датчиків оцінювалася за паспортними даними заводу-виготовлювача.

**Результати досліджень.** Зміни температури можуть бути короткочасними і тривалими [1,7,9]. При короткочасному зниженні температури біологічне очищення стічних вод погіршиться до тих пір поки температура буде залишатися низькою. Тривале пониження температури найбільш небезпечне для процесу нітрифікації. При тривалому пониженні температури швидкість росту нітрифікуючих бактерій буде нижче швидкості їх виносу з реактору. Через певний час нітрифікуючі бактерії будуть витиснені з реактору і для відновлення їх кількості необхідні будуть тижні.

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  $T_{IWW} = 9,1$ ; 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.

Статистичні дані лабораторного контролю температури стічних вод, що надходить на очищення за період 2004-16 рр. на основі журналів реєстрації, °C: середньорічна 17,7; середньозимова 13,3; середньомісячна за літній період 24,4; мінімальна середньомісячна 11,0.

Відповідно до п. В.2.1 ДБН В.2.5-75:2013 “Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування” проектування аеротенків здійснюється на середньорічну температуру стічної води. Тобто для розрахунку об’єму реакторів необхідно прийняти температуру 17,0...17,7°C.

Проте якщо здійснюється модернізація очисних споруд і перед очисними спорудами ставиться завдання не лише окиснення органічних речовин, а і амонійного азоту то відповідно до п. 10.3.2.5 ДБН при розрахунку аеротенків слід визначати для всіх технологій, що передбачають окиснення амонійного азоту – вік мулу.

Розрахунок віку аеробного активного мулу передбачає вибір мінімальної температури стічної води при якій необхідно забезпечити процес нітрифікації. Правильний вибір температури для процесу нітрифікації є дуже важливий. Допущена помилка може приводити до виносу нітрифікуючих бактерій з реактору і відповідного тривалого погіршення процесів нітрифікації в реакторі.

Статистичний аналіз роботи дослідних даних температури води в системі первинний відстійник – аеротенк – вторинний відстійник при низьких температурах наведений на рис. 3.

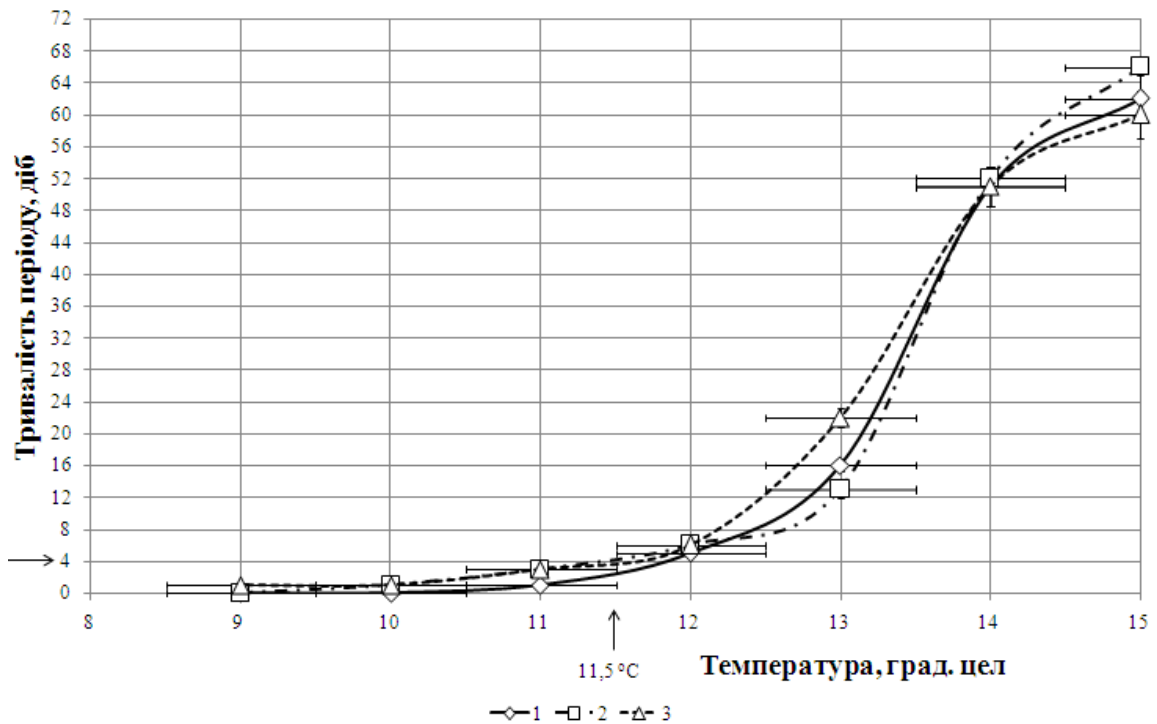


Рис. 3. Результати статистичного аналізу залежності кількості днів з температурою нижче вказаної температури за період досліджень: 1 – мінімальної температури суміші стічної води та активного мулу; 2 – освітленої стічної води; 3 – біологічно очищеної стічної води

Вік аеробного мулу очисних споруд м. Рівне становить  $\sim 8$  діб. До прикладу досвід модернізації очисних споруд м. Копенгаген (Данія) оснований на проектуванні очисних для значення найменших температур за період, що відповідає половині віку мулу [17]. Для випадку очисних споруд м. Рівне це значення рівне 4 доби. Відповідно до рис. 3 значення температури для 4 діб складе  $11,5^{\circ}\text{C}$ . Навіть якщо протягом 4 діб із температурою нижче  $11,5^{\circ}\text{C}$  відбудеться різке зниження швидкості росту нітрифікуючих бактерій і частковий їх виніс із системи аеротенк-вторинний відстійник то лишиться вагома частка нітрифікуючого мулу, який за відповідного технологічного керування можна відновити до проектних потужностей.

Крім того як аналогію можна використати методика яка використовується при розрахунку теплових режимів будівель і споруд. Згідно методики розрахунки виконуються на температуру найбільш холодних п'яти діб. За період досліджень найбільш холодна п'ятиденка була зафіксована з 22 по 26 лютого 2017 року і становили,  $^{\circ}\text{C}$  для: температури освітленої стічної води  $T_{\text{WW}} = 11,4$ ; температури суміші стічних від та активного мулу  $T_{\text{MIX}} = 11,7$ ; температури активного мулу в регенераторі  $T_{\text{AS}} = 12,4$ ; температури біологічно очищеної води  $T_{\text{WW}} = 11,8$ . Отримані значення є близькими до значень отриманих в попередньому висновку.

Таким чином за розрахункову температуру для процесу нітрифікації доцільно прийняти температуру  $11,5^{\circ}\text{C}$ .

**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, [8]:

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

де  $\mu_{max,A}$  – максимальна питома швидкість росту нітрифікаторів, доба<sup>-1</sup>;  $S_{NH_4}^{ex}$  – концентрація амонійного азоту на виході з зони аерації, г NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N /м<sup>3</sup>;  $K_{NH_4}$  – константа насичення, г NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N /м<sup>3</sup>;  $S_{O_2}$  – концентрація кисню в зоні аерації, г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>;  $K_{O_2}$  – константа насичення, г O<sub>2</sub>/м<sup>3</sup>;  $b_A$  – константа розпаду, доба<sup>-1</sup>.

Виконавши відповідні розрахунки необхідний вік аеробного мулу для розрахункової температури стічної води 17°C буде становити 5 діб, а для розрахункової температури стічної води 11,5°C – 8 діб. Тоді необхідний об'єм реактору для віку мулу 5 діб (17°C) буде становити 6700 м<sup>3</sup>, а для віку мулу 8 діб (11,5°C) – 11000 м<sup>3</sup>. Таким чином різниця між необхідними об'ємами реакторів для розрахункових температур 17 і 11,5°C складе ~ 4300 м<sup>3</sup>.

Визначимо за рівнянням (1), яка буде залишкова концентрація амонійного азоту  $S_{NH_4}^{ex}$  при температурі 11,5°C, але коли в розрахунках буде прийнятий вік мулу 5 діб.

$$\frac{1}{5} = 0,325 \cdot \frac{S_{NH_4}^{ex}}{S_{NH_4}^{ex} + 0,5} \cdot \frac{2,5}{0,8 + 2,5} - 0,023$$

відповідно  $S_{NH_4}^{ex} = 4,75$  г NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N /м<sup>3</sup>, що приблизно в 6 разів перевищить встановлену розрахункову концентрацію. Розрахункові залишкові концентрації амонійного азоту близькі до значень отриманих вимірюванням лабораторією котролю споруд.

### **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).

3. Обробка дослідних даних дозволяє виконати вибір розрахункової температури для забезпечення процесу нітрифікації у випадку модернізації очисних споруд та уникнути можливих проектних помилок.

#### **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).

### **Список літератури**

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. *Gnida A.* The effect of temperature on the efficiency of industrial wastewater nitrification and its (geno)toxicity / A. Gnida, J. Wiszniowski, E. Felis, Jan Sikora, J. Surmacz-Górska, K. Miksch // Archives of Environmental Protection, 2016, Vol. 42 no. 1, pp. 27–34.
3. *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.
4. *Zou Shiqiang* High-efficient nitrogen removal by coupling enriched autotrophic-nitrification and aerobic-denitrification consortiums at cold temperature / Zou Shiqiang, Yao Shuo, Ni Jinren// Bioresource Technology, 2014, Vol. 161, pp. 288–296.
5. *Rodriguez-Caballero A.* Ammonia oxidizing bacterial community composition and process performance in wastewater treatment plants under low temperature conditions / Rodriguez-Caballero A., Hallin S., Pålsson C., Odlare M., Dahlquist E.// Water Science & Technology, 65.2, 2012, pp. 197-204.
6. *Gujer W.* Design of Nitrifying Activated Sludge Process with the Aid of Dynamic Simulation / W. Gujer // Prog. Wat. Tech., 1977, vol. 9, (2) pp. 323 – 336.
7. *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.

8. *Henze M.* Wastewater Treatment. Biological and Chemical processes / M. Henze, P. Harremoës, I. Cour Jansen, E. Arvin // Moskva: Mir, 2004. – 480 p.

9. *Guyér W.* Ein Dynamisches Modell für die Simulation von komplexen Belebtschlammverfahren, Habilitationsschrift, W.Guyér//, 1985, Institut für Gewässerschutz und Wassertechnologie, IGW, Eidgenössische technische Hochschule, Zürich

10. *Espinosa-Rodríguez. M. A.* Effect of temperature in the growth rates and decay heterotrophic in the range of 20-32°C in activated sludge process / M. A. Espinosa-Rodríguez., N. Flores-Alamo, M. Esparza-Soto, C. Fall.// Revista Mexicana de Ingeniería Química, 2012, Vol. 11, No. 2, pp. 309-321.

11. *Görgün Erdem.* Model evaluation of temperature dependency for carbon and nitrogen removal in a full-scale activated sludge plant treating leather-tanning wastewater / Erdem Görgün, Güçlü Insel, Nazik Artan, Derin Orhon.// Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2007, Vol. 42:6, pp.747-756.

12. *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.

13. *Head M.A.* Bioaugmentation for nitrification at cold temperatures / M.A.Head, J.A. Oleszkiewicz // Water Research, 2004, Vol. 38, pp. 523–530.

14. *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.

15. *Kos Peter, A.* Demonstration of low temperature nitrification with a short SRT / Peter A.Kos, Melanie Head, Jan Oleszkiewicz, Alphonse Warakomski.// In Proceedings of the 73rd Water Environment Federation Annual Conference, Anaheim, CA, Oct 14–18, 2000.

16. *Lishman L. A.* Temperature effects on wastewater treatment under aerobic and anoxic conditions / L. A. Lishman, R. L. Legge, G. J. Farquhar// Wat. Res., 2000, Vol. 34, No. 8, pp. 2263-2276.

17. *Harremoës P.* Six years of pilot plant studies for design of treatment plants for nutrient removal / P. Harremoës, A. Haarbo, M. Winther-Nielsen, C. Thirring // Water Science and Technology, 1998, Vol. 38, Issue 1, pp 219-226.

18. *Sharma Bhavender.* Nitrification and nitrogen removal / Sharma Bhavender, R.C. Ahlert // Water Research, 1977, Vol. 11, Issue 10, , pp. 897-925.

19. *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.

*Стаття надійшла до редакції 5.11.17*