УДК 628.14 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-3-163-16-21**

В.Г. Новохатній, С.О. Костенко, О.В. Матяш, С.М. Садовий

Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", Україна

НАДІЙНІСТЬ СПОРУД ВОДОПІДГОТОВКИ ЗА ДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

В роботі викладено розроблений принцип оцінювання надійності водопровідних очищувальних споруд (ВОС) за кількісними показниками якості очищеної води. Використані дані щодо очищення дніпровської води на Кременчуцьких ВОС за каламутністю і кольоровістю. Показана можливість обчислення коефіцієнтів простою $К_П$ і готовності $К_Г$ у разі перевищення ГДК очищеної води.

Ключові слова: *надійність, водопровідні очищувальні споруди, каламутність, кольоровість, коефіцієнт готовності.*

Постановка проблеми

Централізована система водопостачання від джерела води до споживача включає 3 основних комплекса: водозабірний, водоочищувальний і подавально-розподільний. Надійність водопостачання напряму залежить від надійності функціонування кожного з цих комплексів, які, у свою чергу, складаються з ряду споруд. Тому оцінювання надійності водопостачання зводиться до оцінювання надійності кожного комплексу, які поєднані послідовно з точки зору надійності. Це означає, що відмова будь-якого комплексу призводить до перерви у надходженні води до споживача. Фахівці з надійності водопостачання найбільшу увагу звертають на подавально-розподільний комплекс, тому що він включає насосні станції і водопровідну мережу, які напряму пов'язані зі споживачем. Технологи водопостачання у процесі функціонування водопровідних очищувальних споруд (ВОС) звертають свою увагу на технологію водоочищення, а оцінювання надійності функціонування водоочищувального комплексу залишається без уваги. Проте зрозуміло, що оцінити надійність водопостачання у цілому неможливо без розрахунків надійності усіх 3-х комплексів, у тому числі й водоочищувального.

Аналіз останніх досліджень

Проблему надійності систем водопостачання фахівці з водопостачання розробляють в Україні вже близько 50-ти років. Проте на сьогодні не можна стверджувати, що проблема вирішена, як наприклад, проблема гідравлічних розрахунків водопровідних мереж (у тому числі й на ПЕОМ). Викликано це, по-перше, складністю питання. Адже сучасний підхід до надійності не обмежується словесним описом, а потребує класичного математичного підходу, коли в поняття надійності включають [1, 2] як мінімум 3 складові: безвідмовність, ремонтопридатність і довговічність. По-друге, кількісні показники надійності споруд неможливо обчислити без показників надійності окремого обладнання. Для цього потрібно детально накопичувати статистичні дані щодо відмов цього обладнання у процесі експлуатації. Але ці питання не вважаються нагальними і фіксуються побіжно, що призводить до втрати цінних даних і необхідності користування задавненою інформацією [3, 4] щодо надійності обладнання і окремих споруд. І, накінець, в Україні питання надійності як споруд водопостачання, так і систем водопостачання у цілому не находять свого теоретичного вирішення за необхідності використання високого математичного апарату та відповідного рівня фахівців. Існують тільки рішення окремих питань, які свідчать про постійний інтерес до проблеми надійності [5–13] фахівців з водопостачання. За кордоном дані питання отримали набагато більше кінцевих рішень, про що свідчить видання навіть довідника [14, 15].

Мета статті

Метою статті є представлення принципу оцінювання надійності споруд водопідготовки природної води до стану питної води за даними експлуатації та з використанням ПЕОМ.

Викладення основного матеріалу досліджень

Загальна характеристика системи водопостачання

Централізована система водопостачання м. Кременчук складається з двох незалежних частин:

- система господарсько-питного водопостачання (СПВ);
- система технічного водопостачання (СТВ).

Джерелом системи водопостачання слугує Кременчуцьке водосховище на річці Дніпро. Власівський водозабір забирає дніпровську воду з водосховища і після очищення на барабанних мікрофільтрах подає її насосними станціями 1-го підняття

 © Новохатній В.Г., Костенко С.О., Матяш О.В., Садовий С.М.

напірними водогонами до розподільних камер. В розподільних камерах відбувається розподіл води на 2 напрямки. По першому напрямку вода подається на водопровідні очищувальні споруди (ВОС) для виробництва води питної якості. Потім питна вода подається у водопровідну мережу м. Кременчук. За другим напрямком дніпровська вода подається окремими водогонами до підприємств Північного промислового вузла (ППВ) як технічна вода.

Підготовка питної води на ВОС здійснюється за двома технологічним схемами, відповідно 1-ша та 2-га черги. 1-ша черга – блок горизонтальних відстійників та швидких фільтрів проектною продуктивністю 50 тис.м^3/добу. 2-га технологічна черга – блок контактних освітлювачів проектною потужністю 100 тис. м^3/добу. Основні показники якості води у Кременчуцькому водосховищі наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні показники якості дніпровської води

Показник	Значення показника min-max
Каламутність, мг/дм³	0,58 – 47,12
Запах, бали	1-2
Окиснюваність, мгO_2/дм³	6,51 – 16,16
Кольоровість, град.	14 - 70
Марганець, мг/дм³	0,05 – 1,41
pH, од. pH	7,05 – 9,30
Жорсткість, ммоль/дм³	2,60 – 4,74
Лужність, ммоль/дм³	1,90 – 4,0
Залізо загальне, мг/дм³	0,01 - 0,36
ХСК, мгO_2/дм³	16 – 68,8
Розчинений кисень, мгO_2/дм³	0,5 – 4,0
Температура, °С	0,2 – 27,1
Аміак, мг/дм³	0,05 – 1,38

Коливання цих показників мають як сезонний, так і добовий характер. Якість очищеної питної води відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною” і ДСТУ 7525:2014 “Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості”.

Принцип оцінювання надійності

Оцінювання надійності ВОС можна виконувати двома шляхами. За першим шляхом оцінюється надійність кожної споруди окремо, а потім – надійність усього комплексу у цілому. Таким методом оцінити надійність можна ще на стадії проектування.

Якщо оцінювати надійність діючих ВОС, то можна скористатись другим шляхом – оцінити надійність ВОС за показниками їх роботи. У такий спосіб реалізується так звана модель – “чорний ящик”. Тобто, відомо, що на вході в “чорний ящик” деякі параметри процесу мають одні значення, а на виході – інші значення. Недоліком такого способу є те, що неможливо оцінити надійність у разі, якщо технологічний процес не відбувається. Окрім того, неможливо оцінити надійність ВОС при іншому наборі окремих споруд. А перевага – це достатня простота обчислення показника надійності. Для його реалізації потрібно вибрати показник надійності і параметр, який буде оцінюватись на вході і на виході з ВОС. Якщо треба оцінювати надійність одночасно за декількома параметрами, то потрібно спочатку обчислити показник надійності за кожним параметром, а потім узяти “згортку” цих показників. Принцип такого оцінювання показано на рис. 1.

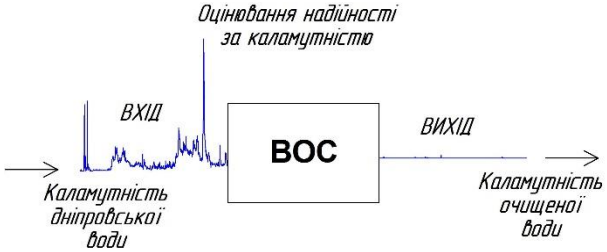

Рис. 1. Принцип оцінювання надійності ВОС за моделлю “чорний ящик”

Показники якості води для оцінювання надійності

Усього на контролі хіміко-мікробіологічної лабораторії 28 показників якості води на вході (дніпровська вода) і 28 показників якості води на виході (питна вода). Значення показників якості дніпровської води на вході ВОС коливаються у розрізі часу, тобто процес зміни величини показника – це випадковий процес. Задача ВОС зводиться до “зрізування” окремих “піків” (викидів) так, щоб на виході з ВОС значення показників якості очищеної води не перевищували гранично допустимих концентрацій (ГДК). Для прикладу були побудовані графіки середньозмінних показників каламутності за 2017 рік дніпровської води на вході ВОС (рис. 2) і графіки перевищень нижнього рівня ГДК 1 НОК (0,58 мг/дм^3) очищеної води на 1-й черзі ВОС (рис. 3). На графіку видно, що каламутність очищеної води ніколи не виходить за верхню межу 3,5 НОК (2,03 мг/дм^3).

Аналогічні графіки побудовані за кольоровістю дніпровської води (рис. 5), очищеної води на 1-й черзі ВОС (рис. 6) та на 2-й черзі ВОС (рис. 7). На графіках кольоровості видно, що кольоровість очищеної води ніколи не перевищує навіть нижню межу 20° ПКШ (платино-кобальтової шкали), а за дозволом санепідстанції верхня межа кольоровості становить 35° ПКШ.

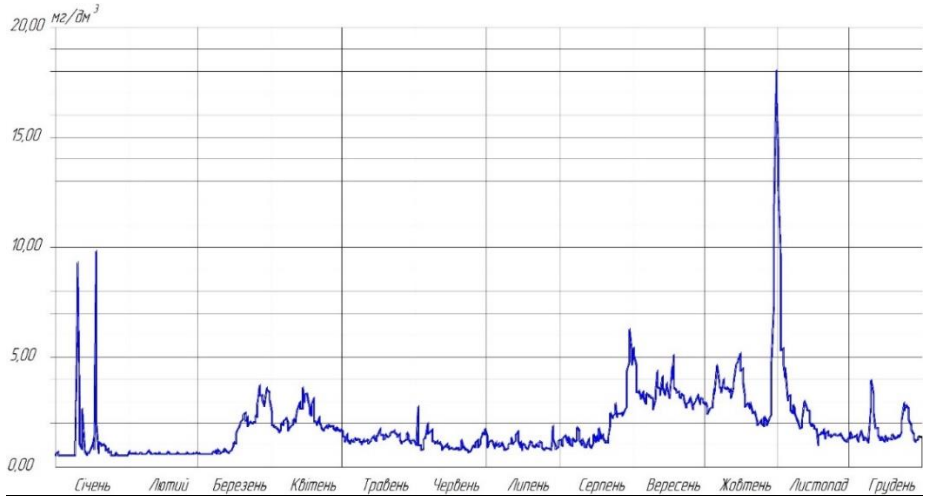

Рис. 2. Середньозмінні показники каламутності дніпровської води за 2017 рік

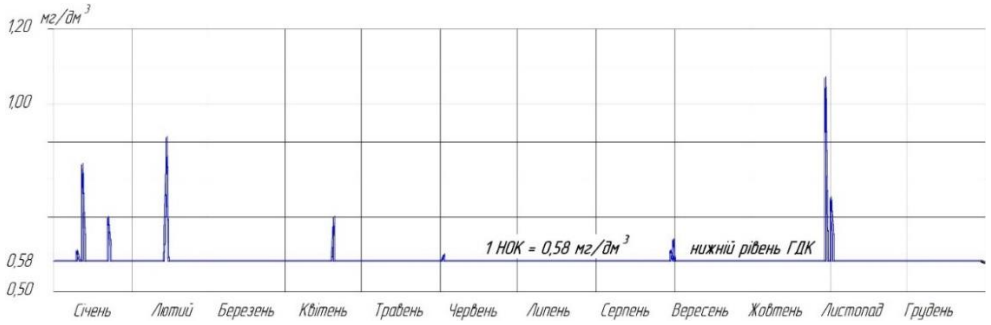

Рис. 3. Перевищення нижнього рівня ГДК 1 НОК після очищення води на 1-й черзі ВОС

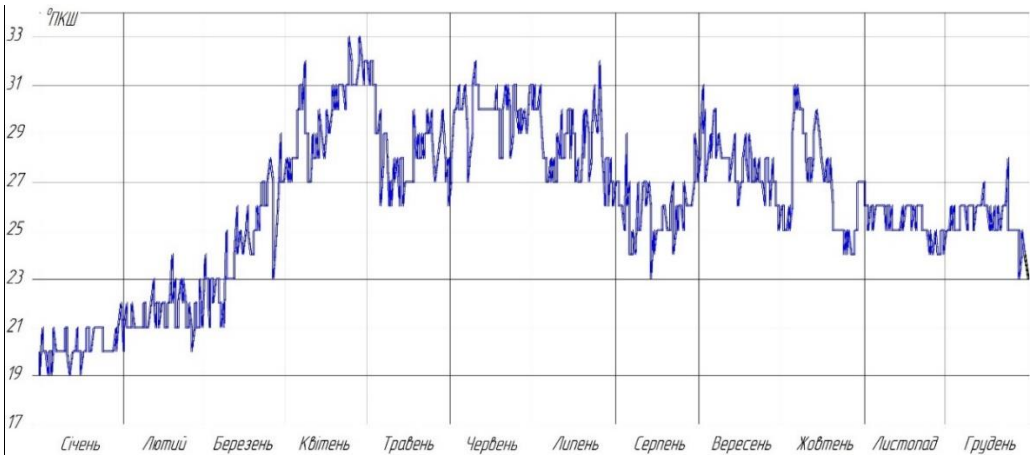

Рис. 4. Середньозмінні показники кольоровості дніпровської води за 2017 рік

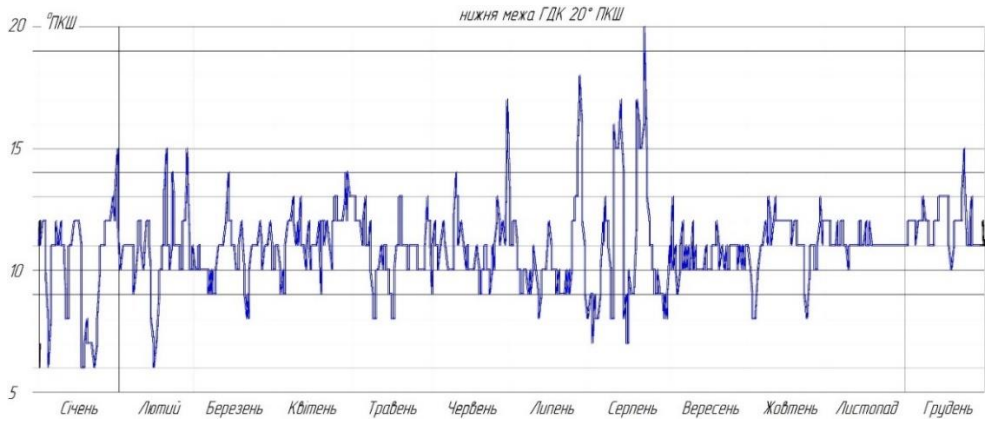

Рис. 5. Середньозмінні показники кольоровості води після очищення на 1-й черзі ВОС за 2017 рік

Розрахунок надійності ВОС за коефіцієнтом готовності

За класифікацією доктора технічних наук, професора Новохатнього В.Г. [7] основним показником надійності для споруд комунального водопостачання прийнято коефіцієнт готовності $K_Г$, а базовими показниками для обчислення $K_Г$ прийняті середнє напрацювання на відмову T і середній час відновлення працездатності $T_В$. Відношення $\frac{T_В}{T}$ дає коефіцієнт простою $K_П$, а коефіцієнт готовності обчислюємо за формулою

$$K_Г = 1 - K_П \quad (1)$$

З іншої сторони, коефіцієнт простою можна обчислити, якщо взяти відношення часу, протягом якого відбувалось перевищення значень показника ГДК, до фіксованого відрізка часу (1 рік = 8760 годин). Для одного показника якості води

$$K_{П_1} = \frac{\sum_{1}^{n} t_i}{8760}, \quad (2)$$

де t_i – і-й інтервал часу, протягом якого відбувалось перевищення значення ГДК, год;

n – кількість таких інтервалів;

8760 – кількість годин у році.

Відповідно, коефіцієнт готовності $K_{Г_1}$ за одним показником

$$K_{Г_1} = 1 - K_{П_1} \quad (3)$$

Коефіцієнт готовності ВОС за N показниками якості очищеної води визначається як добуток за окремими показниками

$$K_Г = K_{Г_1} \cdot K_{Г_2} \cdot \ldots \cdot K_{Г_N}, \quad (4)$$

де N – кількість показників якості очищеної води за якими виконується розрахунок.

Коефіцієнт готовності $K_Г$ кількісно визначає ймовірність того, що у довільний момент часу ВОС знаходиться у працездатному стані. Графічне представлення такого підходу показане на рис. 6. Для обчислення конкретних значень $K_П$ були проаналізовані у програмі Excel середньозмінні показники каламутності і кольоровості очищеної води за 2017 рік, для 1-ої та 2-ої чер-ги ВОС. Тривалість зміни прийнято 12 годин, кількість змін з перевищенням ГДК виявлена за програмою Excel, а загальний час перевищення ГДК протягом року обчислено як добуток тривалості зміни на їх кількість. Результати обчислень за каламутністю очищеної води представлені на рис. 7.

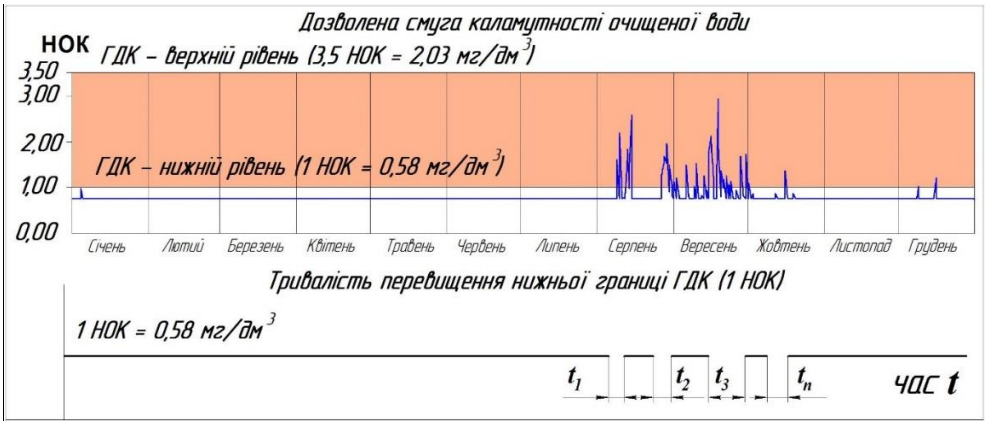

Рис. 6. Графічне представлення способу обчислення коефіцієнта простою ВОС за каламутністю

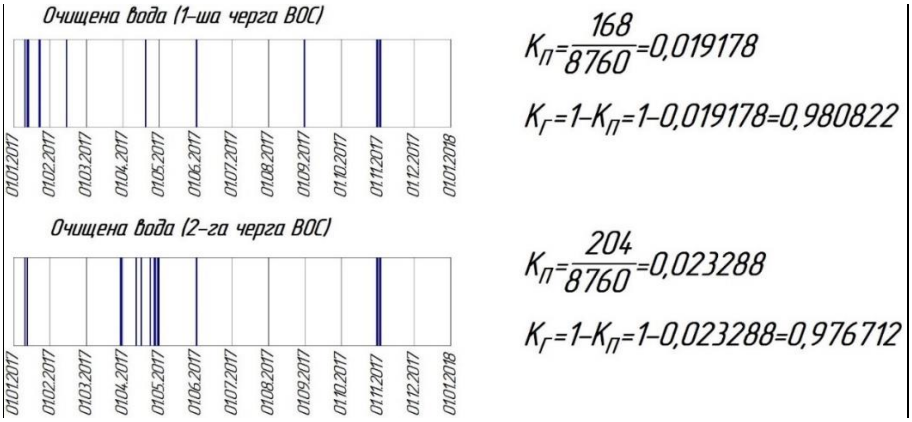

Рис. 7. "Викиди" каламутності за ГДК 1 НОК і коефіцієнти простою $К_П$ і готовності $К_Г$ ВОС

Висновки

1. Найбільша каламутність і кольоровість дніпровської води спостерігається в осінній період року. Перевищення нижньої границі ГДК очищеної води за каламутністю (1 НОК) спостерігається також в осінній період.

2. Надійність водопровідних очищувальних споруд за коефіцієнтом готовності $К_Г$ становила у 2017 році для 1-ої черги $К_Г$ = 0,981, а для 2-ої черги $К_Г$ = 0,977 за умови перевищення ГДК каламутності очищеної води 1 НОК. За верхню границю каламутності очищеної води 3,5 НОК перевищень не було і коефіцієнт готовності склав $К_Г$ = 1,0.

3. Перевищень навіть нижньої границі кольоровості очищеної води 20° ПКШ у 2017 р. не було і коефіцієнт готовності за кольоровістю склав $К_Г$ = 1,0.

Література

1. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1995. 92 с.

2. ГОСТ 27.003-2016. Состав и общие правила задания требований по надежности. М.: Стандартинформ, 2018. 18 с.

3. Ильин Ю.А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования. Москва: Стройиздат, 1985. 240 с.

4. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети. Москва: ОАО Стройиздат, 2005. 400 с.

5. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання. К.: Знання, 2009. 735 с.

6. Ткачук О.А. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. Рівне: НУВГП, 2008. 301 с.

7. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: дис. доктора техн. наук: 05.23.04 / Полтава: ПолтНТУ, 2012. 351 с.

8. Новохатній В.Г., Костенко С.О., Матяш О.В. Надійність водопостачання малих населених пунктів. Полтава: ПолтНТУ, 2019. 103 с.

9. Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S. (2018) Municipal Water Supply Systems of Giving-Distributive Complex Reliability with Branched Networks. International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2), pp. 653-660. URL: https://www.sciencepubco.com/index.php/IJET

10. Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S., Epoian S. (2020) Principle of equireliability at the internal water-supply system design. Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE). Vol. 73, pp 659-668. URL: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-42939-3_65.

11. Haiduchok O., Serovatsky O., Karahiaur A., Kostenko S., (2020) Mathematical model for clarifying low-concentration suspension by dissolved air flotation. Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE). Vol. 73, pp 59-64. URL: https://link.springer.com/chapter/ 10.1007/978-3-030-42939-3_7.

12. Нор В.В., Хомутецька Т.П. Забезпечення економічної та надійної роботи систем сільськогосподарського водопостачання (на прикладі системи водопостачання села Тарасівка Київської області). Меліорація і водне господарство. 2019. №2. С. 175–185.

13. Ткачук О.А., Шевчук А.Ю. Визначення показників функціональної надійності споруд водопостачання. Науковий вісник будівництва. 2019. т. 97. №3. С. 126–134.

14. Mays, L.W. (1999). Water distribution systems handbook. McGraw-Hill Professional Publishing.

15. Goulter J. etc. (2000) "Reliability analysis for design". Water distribution systems handbook. 18 – 1.

References

1. SSU 2860-94 (1995) Dependability in technics. Terms and definitions. Kyiv: Publishing house of standarts.

2. UIS 27.003:2016. (2018) Industrial product dependability. Contents and general rules for specifying dependability requirements. Moscow: Publishing house of standarts. 18 p.

3. Ilyin Yu.A. (1985) Reliability of water supply facilities and equipment. Moscow: Stroyizdat. 240 p.

4. Khramenkov S.V. (2005) Strategy of water network modernization. Moscow: Stroyizdat. 400 p.

5. Tugay A.M., Orlov V.O. (2009) Water supply. K.: Knowledge. 735 p.

6. Tkachuk O.A. (2008) Improving system giving and water distribution of settlements. Rivne: NUVGP. 301 p.

7. Novokhatniy V.G. (2012) *Reliability of functioning the giving-distributive complex water-supply systems* (Doctoral dissertation). Available from National Library of Ukraine named of V.I. Vernadsky. (ДС131058)

8. Novokhatniy V., Kostenko S., Matyash O. (2019). Reliability of small settlements water supply. Poltava: PNTU. 103 p.

9. Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S. (2018) Municipal Water Supply Systems of Giving-Distributive Complex Reliability with Branched Networks. *International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2)*, pp. 653–660. URL: https://www.sciencepubco.com/index.php/IJET

10. Novokhatniy V., Matyash A, Kostenko S., Epoian S. (2020) Principle of equireliability at the internal water-supply system design. *Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE). Vol. 73*, pp 659–668. URL: link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-42939-3_65.

11. Haiduchok O., Serovatsky O., Karahiaur A., Kostenko S., (2020) Mathematical model for clarifying low-concentration suspension by dissolved air flotation. *Lecture Notes in Civil Engineering (LNCE). Vol. 73*, pp. 59–64. URL: https://link.springer.com/chapter/ 10.1007/978-3-030-42939-3_7.

12. Nor V.V., Khomutetskaya T.P. (2019) Ensuring economic and reliable operation of agricultural water supply systems (on the example of the water supply system the village Tarasivka, Kyiv region). *Land reclamation and water management*. №2. pp. 175–185.

13. Tkachuk O.A., Shevchuk A.Y. (2019) Determination of indicators functional reliability water supply facilities. *Scientific Bulletin of Construction*. v. 97. №3. pp. 126–134.

14. Mays, L.W. (1999). *Water distribution systems handbook.* McGraw-Hill Professional Publishing.

15. Goulter J. etc. (2000) "Reliability analysis for design". *Water distribution systems handbook.* 18 – 1.

Рецензент: д-р техн. наук, доцент Д.А. Єрмоленко, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка", Україна.

Автор: НОВОХАТНІЙ Валерій Гаврилович
доктор технічних наук, професор
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
E-mail – vgn43@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8107-7912

Автор: МАТЯШ Олександр Васильович
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
E-mail – matyash19831010@gmail.com
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9817-8282

Автор: КОСТЕНКО Сергій Олександрович
кандидат технічних наук
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
E-mail – sergiy_kostenko@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7454-7269

Автор: САДОВИЙ Сергій Миколайович
аспірант
Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка"
E-mail – ssadovij1411@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1450-0044

RELIABILITY OF WATER TREATMENT FACILITIES ACCORDING TO OPERATING DATA

V. Novokhatniy, S. Kostenko, O. Matyash, S. Sadoviy
National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Ukraine

The centralized water supply system from the water source to the consumer includes 3 main complexes: water intake, water treatment and supply and distribution. The reliability of water supply in the area depends on the reliability of each of these complexes, which, in turn, consist of a number of structures. The paper develops the developed principle of assessing the reliability of water treatment plants (WPP) by quantitative indicators of the quality of treated water. The assessment of the reliability of the current WPP was performed to reflect its work, which implements the "black box" model. That is, some process parameters have one value at the input and other values at the output. The disadvantage of this method is that it is impossible to assess the reliability if the process does not occur. In addition, it is impossible to assess the reliability of the BOC for another set of individual structures. And the advantage is the sufficient simplicity of calculating the reliability indicator. Data on the purification of the Dnieper water at the Kremenchug WPP in terms of turbidity and chromaticity are used. Graphs of average variable indicators of turbidity and chromaticity of Dnieper water at the entrance of the WPP and graphs of exceedances of maximum permissible concentrations of treated water are constructed. The main indicator of reliability for municipal water supply facilities is the coefficient of readiness of K_D, and the basic indicators of reliability are the average operating time for failure T and the average recovery time of the T_R. The possibility of calculating the coefficients K_D downtime and K_R readiness in case of exceeding the MPC treated water is shown. After analyzing the graphs of water quality indicators, it was determined that the greatest turbidity and chromaticity of the Dnieper water is observed in the autumn.

Keywords: *reliability, water treatment facilities, turbidity, chromaticity, readiness factor.*