

- at the Massachusetts institute of technology. 1986. 147 p.
- Капустина А.Е. Водные сооружения в ландшафтном дизайне. *Достижения и проблемы современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции* (30 апреля 2015 г., г. Уфа). Уфа: РИО МЦИИ ОМЕГА САЙНС. 2015. 140 с.
 - Гидротехнические объекты ландшафтной архитектуры*. С.-Петербург. ун-т высоких технологий. URL: <http://tehlib.com/arhitektura/gidrotehnicheskie-obekty-landshaftnoj-arhitektury-chast-i/>
 - Журба М.Г., Соколов Л.И., Говорова Ж.М. *Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений*. 2-е изд. перераб. и доп. Учебное пособие. М.: Издательство АСВ, 2004. 496 с.
 - Спышно П.А. *Фонтаны. Описание, конструкции, расчет*. М.: Государственное издательство архитектуры и градостроительства. 1950. 172 с.
 - Константинов Ю.М., Гіжа О.О. *Технічна механіка рідини і газу*. К.: Вища школа, 2002. 277 с.
 - Константинов Ю.М., Гіжа О.О. *Інженерна гідравліка*. К.: Вища школа, 2004. 432 с.
 - Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.И. и др. *Справочник по гидравлике*. 2-е изд. К.: Вища школа, 1984. 280 с.
 - Справочник по гидравлическим расчетам* / Под ред. П.Г. Киселева. Изд. 5-е. М.: «Энергия», 1974. 312 с.
 - Альтшуль А.Д., Калицун В.И., Майраневский Ф.Г., Польгунов П.П. *Примеры расчетов по гидравлике*. Учебное пособие для вузов / Под ред. А.Д. Альтшуля. М.: Стройиздат, 1977. 255 с.
 - Березинский А.Р. *Пропускная способность водослива с широким порогом*. М.-Л.: Стройиздат, 1950. 149 с.
 - Медзвелья М.Л., Пипия В.В. Коэффициент расхода водослива с широким порогом в области малых напоров. *Вестник МГСУ*, 2013. №4. С. 167-171.

Рязанцев А.И. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОСЛИВОВ С ШИРОКИМ ПОРОГОМ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ. В работе рассматриваются вопросы расчета водосливов с широким порогом для случаев их использования в объектах ландшафтной архитектуры.

Ключевые слова: водослив с широким порогом, водослив практического профиля, малый напор, коэффициент расхода, ландшафтная архитектура.

Rizantsev O.I. THE USING OF BROAD-CRESTED SPILLWAY IN WATER OBJECTS OF LANDSCAPE ARCHITECTURE.

The paper deals with the calculation of large-scale spillways, which are used in objects of landscape architecture

Key words: widespread spillway, practical spillway, low head, coefficient of head, landscape architecture.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-126-134
УДК 628.15

Ткачук О.А.¹, Шевчук А.Ю.²

¹ Національний університет водного господарства та природокористування
(вул. Соборна, 11, Рівне, 33028, Україна; e-mail: o.a.tkachuk@nuwm.edu.ua; orcid.org/0000-0002-3036-0010)

² Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
(вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, 58002; e-mail: a4427626@gmail.com; orcid.org/0000-0002-6905-3392)

ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДІЙНОСТІ СПОРУД ВОДОПОСТАЧАННЯ

У роботі обґрунтовано доцільність оцінки функціональної надійності споруд водопостачання за стаціонарними коефіцієнтами оперативної готовності з їх відповідністю нормативним величинам коефіцієнтів технічного використання. Визначено їхні числові значення для кожної із трьох категорій систем водопостачання для умов зниження подачі води та обмежень у водопостачанні. Теоретично обґрунтовано основні положення методики інженерних розрахунків функціональної надійності споруд водопостачання.

Ключові слова: коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт технічного використання, надійність, споруди водопостачання.

Вступ. Збої у водопостачанні населених пунктів, промислових та сільськогосподарських об'єктів призводять не

тільки до незручностей, зниження комфорту і санітарного благоустрою у місцях споживання води, але й до значних

економічних збитків і, навіть, екологічних катастроф. Тому забезпечення надійної роботи споруд систем водопостачання має велике значення, як в економічному, соціальному, так і екологічному аспектах.

Як технологічні структури сучасні системи водопостачання характеризуються конструктивною складністю, динамічністю стану і недосконалістю роботи. До складу навіть невеликих за продуктивністю систем водопостачання входять водозабірні та очисні споруди, десятки кілометрів водогонів з труб різних матеріалів і діаметрів, побудованих в різні роки, кілька потужних насосних станцій, напірно-регульовальні споруди, ємністю в десятки тисяч м. куб, десятки, а то і сотні кілометрів водопровідних мереж [4, 9, 17, 21]. Параметри цих споруд з часом змінюються: через старіння та зношення зростають гідравлічні опори труб та їхня аварійність, зношуються насосні агрегати, виникають тріщини у резервуарах тощо. Не завжди прогнозованим є вплив сторонніх факторів: зміни якості води у джерелах водопостачання, корозійна активність ґрунтів, їх просідання та ерозія, руйнівна дія рослин по трасі водоводів, господарська діяльність людей тощо. Такий стан споруд систем водопостачання вказує на необхідність їхньої реновації, що передбачає не тільки масову заміну трубопроводів та обладнання, але й зміну умов проектування, реконструкції та модернізації з урахуванням існуючих проблем і тенденцій розвитку, а також вимог надійності і ресурсощадження [17, 21].

Аналіз попередніх досліджень. Проблемами вивчення умов надійності систем водопостачання займалися такі провідні науковці як Абрамов М.М., Алексеев М.І., Гальперін Є.М., Ільїн Ю.О., Матяш О.В., Найманов А.Я., Науменко І.І., Новохатній В.Г., Українець М.О., Boruczko K., Janusz R., Kodikara J., Rajeev P., Rajani B., Robert D., Szpak D., Tchyrzewska-Cieslak B., Zeman P. [4- 16, 22, 24] та інші. Вони зробили певний внесок у дослідження процесів надійності функціонування водопровідних споруд та їхніх комплексів. Однак, не вирішеними залишаються питання комплексної

оцінки надійності споруд водопостачання на основі їхніх конструктивних та функціональних показників з урахуванням їх змін у процесі експлуатації. За цим напрямом в останні роки у Національному університеті водного господарства та природокористування м. Рівного проведено ряд досліджень [17, 19, 20], які продовжуються. При цьому важливе значення має удосконалення методів оцінки надійності комплексів споруд водопостачання, особливо при великих відстанях транспортування і значних об'ємах споживання води, а також нормативне закріплення оціночних параметрів надійності.

Метою даної роботи є визначення показників функціональної надійності систем водопостачання на основі комплексного аналізу показників безперебійного функціонування окремих споруд та їх взаємодії у конструктивній схемі комплексу споруд чи всієї системи.

Результати дослідження. Стан об'єкта, в якому він виконує потрібну функцію, є станом нормального функціонування, а об'єкт є дієздатним [2]. Ймовірність перебування об'єкта у такому стані визначається комплексом показників, які характеризують функціональну надійність об'єкта, тобто здатність об'єкта виконувати поставлені перед ним завдання. Для системи водопостачання це забезпечення споживачів водою належної якості і у заданій кількості. До показників, що характеризують надійність функціонування об'єктів системи водопостачання слід віднести [2, 4, 9, 14, 15, 17]:

- **імовірність безвідмовної роботи $R(t)$** – імовірність того, що протягом часу t система або її елемент буде зберігати свої робочі параметри у допустимих межах;
- **інтенсивність відмов $\lambda(t)$** – умовна щільність імовірності виникнення відмов на момент часу t , якщо до цього відмов не було;
- **параметр потоку відмов $z(t)$** – відношення математичного очікування кількості відмов відновлюваного об'єкта за досить малий його наробіток до значення цього наробітку;

- **інтенсивність відновлення $\mu(t)$** – умовна щільність імовірності відновлення працездатності об'єкта на момент часу t , за умови, що до моменту відновлення не завершилося;
- **середній наробіток на відмову T_o** – середня величина часу роботи обладнання між сусідніми відмовами, якщо воно відновлюється;
- **середній час безвідмовної роботи $T_{б.р}$** – математичне очікування випадкової величини тривалості роботи обладнання між відмовами в діапазоні часу $t = 0 \dots \infty$;
- **коефіцієнт готовності $A(t)$** – імовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено;
- **коефіцієнт оперативної готовності A_{or}** – імовірність того, що об'єкт у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено, знаходитиметься у придатному до роботи за призначенням стані й з даного моменту пропрацює безвідмовно протягом заданого часу t_3 ;
- **коефіцієнт технічного використання $K_{т.в}$** – відношення математичного сподівання сумарного часу перебування об'єкта (систем чи їхніх комплексів) у працездатному стані за деякий період експлуатації до тривалості цього періоду.

Елементи системи водопостачання, відносять до відновлювальних об'єктів, тобто тих які після проведених аварійно-відновлювальних робіт та ремонтів знову стають здатними виконувати потрібні функції із заданими кількісними та якісними показниками надійності [2, 4, 9]. Тому для практичних розрахунків надійності елементів системи водопостачання застосовують стаціонарні показники надійності, тобто значення показників надійності, визначених для умов роботи об'єкта, коли значення його характеристик залишаються практично незмінними. Найчастіше це стосується таких показників, як інтенсивність відмов λ , інтенсивність

відновлення μ , параметр потоку відмов z та інших. Якщо їхні значення набувають стаціонарного характеру, тобто є постійними величинами, мають місце такі залежності, що часто застосовують на практиці

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t}; \quad (1)$$

$$T_o = T_{б.р} = 1/\lambda; \quad (2)$$

$$A_{or}(t_3) = A(t) \cdot R(t_3). \quad (3)$$

При цьому, для практичних розрахунків в умовах стаціонарного характеру зазначених параметрів надійності можна достатньо просто визначати інші широко вживанні показники функціональної надійності об'єктів водопостачання [2, 3, 9, 11-13, 15-17]:

- **середній час відновлення T_e** – математичне очікування тривалості відновлення, тобто часу, необхідного для знаходження та усунення неполадки

$$T_e = 1/\mu; \quad (4)$$

- **питомий параметр потоку відмов** – стаціонарна величина потоку відмов трубопроводу для одиниці його довжини за одиницю часу

$$z_o = \frac{n}{t \cdot \Sigma L}; \quad (5)$$

де n – кількість відмов трубопроводів за період спостереження t , годин або рік; ΣL – протяжність трубопроводів, на яких ведеться спостереження за відмовами, км;

- **стаціонарний коефіцієнт готовності** – значення коефіцієнта готовності, визначене для умов роботи об'єкта, коли середній параметр потоку відмов і середня тривалість відновлення залишаються сталими, а періоди роботи і відновлення ідуть один за одним

$$A = \frac{T_o}{T_o + T_e} = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda}{\mu}}. \quad (6)$$

Враховуючи, що функціональна надійність системи водопостачання визначає її здатність протягом заданого часу забезпечувати подачу споживачам розрахункових витрат води належної якості, ймовірність її дієздатного стану не повинна бути нижчою попередньо заданих (нормативних) показників. Величини цих показників повинні відповідати допустимим зниженням подачі води, встановленим

чинними нормативами [1]. З цих міркувань, функціональну надійність системи водопостачання слід оцінювати за ймовірністю безвідмовної роботи $R(t)$ і коефіцієнтом оперативної готовності A_{or} , які характеризують саме здатність виробничого комплексу зберігати свої робочі параметри у допустимих межах. Однак, коефіцієнт оперативної готовності A_{or} більш точно характеризує надійність комплексу споруд, так як він залежить і від ймовірності безвідмовної роботи $R(t)$ і від коефіцієнта готовності A , який, в свою чергу, залежить від схеми системи водопостачання, тобто наявності чи відсутності резервних елементів, їх кількості та схеми розташування.

Надійне водопостачання передбачає забезпечення споживачів водою належної якості із тимчасовим зниженням її подачі не нижче допустимих рівнів, які залежать від категорії системи водопостачання. Чинні нормативи [1] обмежують тривалість зниження подачі води до 30% та тривалість обмеження у водопостачанні (зниження подачі води понад 30% і, навіть, повна її відсутність в термін до 3-х діб) на нормативно визначені строки для кожної із трьох категорій системи водопостачання (табл. 1).

Очевидно, що ці вимоги мають бути забезпечені умовами належного функціонування об'єктів водопостачання, а величини кількісних показників функціональної надійності не повинні бути меншими за нормативні. В якості останніх можуть бути прийняті коефіцієнти безвідмовної роботи $K_{б.р}$, які є відношенням сумарної тривалості безвідмовної роботи $T_{б.р}$ до тривалості всього розрахункового періоду T_p [17]. За змістом вони близькі до коефіцієнтів технічного використання $K_{м.в}$ [2]. При цьому математичне сподівання часу перебування об'єкта у працездатному стані є нічим іншим, як середній час безвідмовної роботи $T_{б.р}$, або тривалістю безперервного водопостачання, які визначають за статистичними даними експлуатаційних служб [10]. Для практичних розрахунків можна прийняти

$$K_{б.р} \cong K_{м.в} = \frac{T_{б.р}}{T_p}; \quad (7)$$

$$T_{б.р} = T_p - T_{ав}, \quad (8)$$

де $T_{ав}$ – тривалість функціонування системи водопостачання при ліквідації аварійних ситуацій протягом розрахункового періоду T_p (табл. 1).

Згідно чинного нормативу [1] надійність систем водопостачання слід визначати залежно від її категорії, ступеня забезпеченості подачі води та умов функціонування систем водопостачання при ліквідації аварійних ситуацій [1, п. 8.4]: а) зниження подачі до 30% протягом 1 місяця; б) обмеження у водопостачанні протягом 3 діб. Приймаючи значення цих строків за тривалості розрахункових періодів T_p , тривалості функціонування систем водопостачання при ліквідації аварійних ситуацій протягом розрахункового періоду $T_{ав}$ (табл. 1), визначено тривалості безвідмовної роботи $T_{б.р}$ (8) і нормативні значення коефіцієнтів безвідмовної роботи $K_{б.р}$ (7) для кожної із трьох категорій систем водопостачання.

Таблиця 1 – Нормативні величини коефіцієнтів безвідмовної роботи систем водопостачання

Категорія	Нормативні строки $T_{ав}$ [1]		Коефіцієнти безвідмовної роботи $K_{б.р}$ для	
	зниження подачі до 30%, діб	обмеження у водопостачанні	зниження подачі до 30%	обмеження у водопостачанні
I	3	10 хв	0,90	0,9977
II	10	6 год	0,67	0,917
III	15	24 год	0,50	0,67

Системи водопостачання та їх окремі елементи відносяться до відновлювальних об'єктів, які після ліквідації пошкоджень чи аварійного стану знову стають працездатними і можуть виконувати поставлені перед ними функціональні завдання на тому ж рівні, як і до аварійної ситуації. Ймовірність працездатного стану таких об'єктів, як зазначено вище, доцільно оцінювати за комплексним показником надійності – коефіцієнтом оперативної готовності A_{or} , який визначає ймовірність того, що об'єкт у довільний момент часу виявиться працездатним і надалі функціонуватиме у такому ж стані

протягом заданого інтервалу часу t_3 [2, 9]. Такими інтервалами часу, як і для коефіцієнтів безвідмовної роботи $K_{б.р.}$, повинні бути тривалості розрахункових періодів T_p .

Для будь якого елемента системи водопостачання (насос, засувка, клапан, ділянка трубопроводу тощо), коли показники надійності мають стаціонарний характер, їх значення слід визначати за формулами (1-7). Для практичних розрахунків параметр інтенсивності відмов λ можна приймати рівним близькому йому за змістом питомому параметру потоку відмов z_0 , тобто $\lambda = z_0$ [11, 12, 15, 16]. Для більшості об'єктів системи водопостачання інтенсивність відмов становить $\lambda = 0,00001 \dots 0,0003$ 1/год (для трубопроводів – 1/км/год), а інтенсивність відновлення – $\mu = 0,01 \dots 0,04$ 1/год [9, 11, 16, 17]. При цьому співвідношення цих величин знаходиться у межах $\lambda/\mu = 0,00025 \dots 0,00625$. На рис. 1 для цього діапазону показано залежність $A = f(\lambda/\mu)$, яка практично є прямою лінією.

Розрахунки показали, що в даному, і дещо ширшому, діапазоні значень стаціонарний коефіцієнт готовності A є імовірністю безвідмовної роботи протягом часу відновлення елемента T_0 і може визначатись за формулою

$$A = R(T_0) = e^{-\lambda \cdot T_0} = e^{-\frac{\lambda}{\mu}} \quad (9)$$

Разом з тим результати розрахунків і за формулою (6) і за формулою (9) достатньо точно апроксимуються залежністю

$$A = 1 - \frac{\lambda}{\mu} \quad (10)$$

При цьому максимальна похибка розрахунків в указаному діапазоні λ/μ за будь якою із цих формул (7, 9 чи 10) не перевищує – 0,004%. При розширенні цього діапазону, що є малоімовірним при практичних розрахунках, похибка зростає і становить для: $\lambda/\mu = 0,01$ – 0,01%; $\lambda/\mu = 0,07$ – 0,25%; $\lambda/\mu = 0,15$ – 1,0%. Отже, практичні розрахунки для обчислення коефіцієнта готовності можна проводити за будь якою із наведених формул: 7, 9 чи 10.

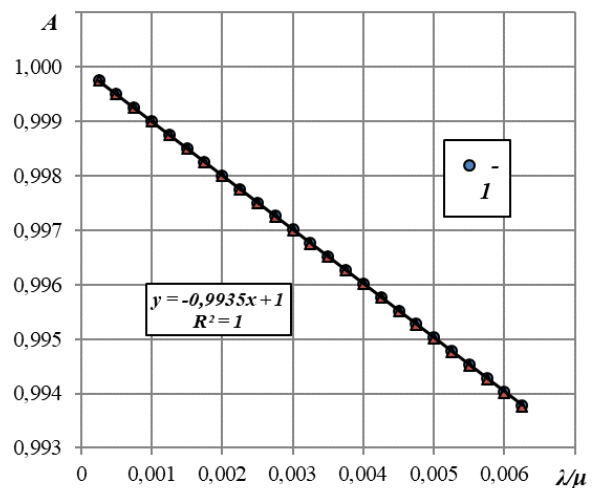


Рис. 1. Залежність стаціонарного коефіцієнта готовності A від співвідношення інтенсивності відмов λ до інтенсивності відновлення μ :

1 – розрахункові значення за формулою (6); 2 – те ж, за формулою (9)

Ймовірність безвідмовної роботи елементів системи водопостачання $R(t_3)$ слід розраховувати за формулою (1) для діапазону їхніх відмов $\lambda = 0,00001 \dots 0,0003$ 1/год (для трубопроводів – 1/км/год) для заданого часу обмеження у водопостачанні $t_3 = 72$ год (3-и доби) і для зниження подачі води $t_3 = 720$ год (30-ть діб), залежності яких показано на рис. 2.

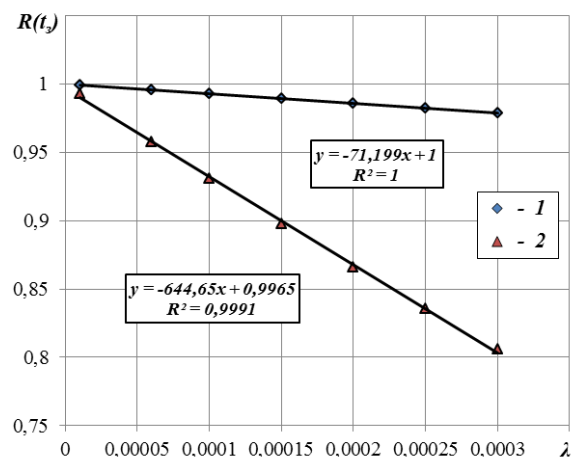


Рис. 2. Залежність ймовірності безвідмовної роботи елементів системи водопостачання $R(t_3)$ від інтенсивності їхніх відмов λ :

1 – розрахункові значення для обмеження у водопостачанні; 2 – те ж, для зниження подачі води

Значення коефіцієнтів оперативної готовності A_{op} окремих елементів системи

водопостачання для цих умов становлять: при обмеженні у водопостачанні (протягом 3-х діб, $t_3 = 72$ год) – $A_{or} = 0,95 \dots 0,999$; при зниженні подачі води до 30% ($t_3 = 720$ год) – $A_{or} = 0,78 \dots 0,993$.

Очевидно, що залежності $R(t_3) = f(\lambda, t_3)$ у заданому діапазоні значення, також, достатньо точно апроксимуються прямими лініями (рис. 2) виду

$$R(t_3) = 1 - a \cdot \lambda, \quad (11)$$

де a – коефіцієнт, що залежить від заданого часу t_3 і становить: для обмеження у водопостачанні ($t_3 = 72$ год) – $a = 71,2$; для зниження подачі води ($t_3 = 720$ год) – $a = 644,7$.

Послідовне з'єднання елементів системи водопостачання (при довжині водоводів понад 1 км, наявності на них засувок та іншого обладнання тощо) призведе до зменшення величин $R(t_3)$ і A_{or} , так як розрахункова величина стаціонарного коефіцієнта готовності всієї системи водопостачання буде визначатись як добуток A_{or} послідовно з'єднаних елементів [4, 9, 17]. При цьому значення A_{or} ділянки трубопроводу довжиною L , км, буде рівним A_{or} трубопроводу в 1 км у степені L . Однак, за рахунок дублювання ниток водоводів, їх резервування, а також використання резервуарів із аварійними запасами води загальна надійність всієї системи водопостачання суттєво підвищується [9, 17], а розрахункова величина A_{or} буде визначатись за формулою

$$A_{or} = \prod_{i=1}^m \left(1 - \prod_{j=1}^n \left(1 - A_{or_{i,j}} \right) \right), \quad (12)$$

де m – кількість послідовно з'єднаних i -х груп елементів; n – кількість паралельно з'єднаних j -х елементів i -ї групи; $A_{or_{i,j}}$ – коефіцієнт оперативної готовності j -го елемента i -ї групи.

Для практичних розрахунків у кожному конкретному випадку розрахунки необхідно проводити на основі розрахункової схеми системи водопостачання (рис. 3), на якій вказують всі споруди, основне технологічне обладнання та ділянки водопровідних ліній. Розрахункову схему системи водопостачання для розрахунків показників надійності слід визначати із врахуванням їх гідравлічних

взаємозв'язків із іншими елементами системи водопостачання (водопровідними мережами, водонапірними баштами тощо) з наявним резервуванням та дублюванням окремих споруд і водопровідних ліній [9, 15, 17].

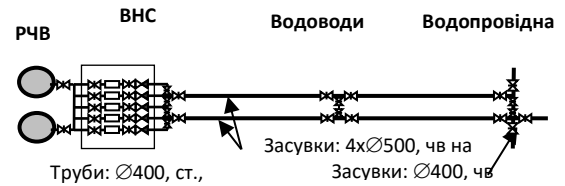


Рис. 3. Конструктивна схема типової системи водопостачання населених пунктів

Для кожного із елементів системи водопостачання визначають коефіцієнти оперативної готовності. Їх доцільно проводити у табличній формі (табл. 2). При паралельному розташуванні окремих елементів необхідно спочатку розрахувати значення A_{or} всієї групи цих елементів, що найчастіше скомпоновані у одній споруді (наприклад, насосній станції), а потім всього ланцюга таких груп.

При розрахунках показників надійності окремих елементів системи водопостачання (табл. 2) значення інтенсивності відмов λ і відновлення μ приймали за [9, 15, 17]. Для групи елементів, розташованих послідовно у межах кожної споруди (табл. 3), значення коефіцієнтів оперативної готовності A_{or} визначали як добуток їхніх значень кожного елемента. Для споруд, у яких групи елементів розташовані паралельно, A_{or} визначали за формулою (12). Наявність перемички на водоводі дозволяє розділити його на дві частини (дві нитки трубопроводів до перемички і дві – після неї), рахуючи їх як окрему групу елементів.

При визначенні коефіцієнтів A_{or} для насосної станції в розрахунках за формулою (12) було прийнято за паралельну роботу 5-ти груп елементів (табл. 3) із їх потрійним добутком (3-ри робочих насосних агрегати). При розрахунках A_{or} для водоводів враховано, що паралельно функціонують дві ділянки (групи елементів у табл. 3), а потім послідовно – ще одна пара паралельних ділянок.

Таблиця 2 – Показники надійності окремих елементів системи водопостачання (до рис. 3)

Елемент	$\lambda, 10^4$ 1/год, 1/км/год	A	$R(t_3)$ для умов:		A_{or} для умов:	
			a	b	a	b
РЧВ	0,57	0,99716	0,95979	0,99590	0,95706	0,99307
Засувки	0,15	0,99963	0,98926	0,99892	0,98889	0,99855
Насос Д 500-65	2,5	0,99379	0,83527	0,98216	0,83008	0,97606
Засувка з ел. приводом	0,6	0,99850	0,95772	0,99569	0,95629	0,99420
Зворотній клапан	0,8	0,99800	0,94403	0,99426	0,94214	0,99227
Труби сталь, $\varnothing 400, L=20$ м	0,15	0,99999	0,99978	0,99998	0,99977	0,99996
Блок управління насосн. агрегатом	0,95	0,99763	0,93389	0,99318	0,93167	0,99083
Труби чавун, $\varnothing 500, L=5$ км	0,52	0,98717	0,82928	0,98145	0,81864	0,96886
Труби сталь, $\varnothing 500, L=10$ м	0,2	0,99999	0,99986	0,99999	0,99985	0,99998

Примітки: 1. Значення $R(t_3)$ і A_{or} наведено для умов: а) зниження подачі води до 30%; б) обмеження у водопостачанні.

2. Інтенсивність відновлення μ прийнято рівною для: обладнання – 0,04 1/год; труб та РЧВ – 0,02 1/год.

Таблиця 3 – Показники надійності груп елементів системи водопостачання (до рис. 3)

Споруда	Групи елементів	A_{or} для умов:	
		a	b
Резервуари чистої води	Резервуар, засувка, сталева труба $\varnothing 400, L=20$ м	0,94621	0,99159
		0,99711*	0,99993*
Насосна станція	Насос, 2 засувки, зворотній клапан, сталева труба $\varnothing 400, L=20$ м	0,68887	0,95265
		0,99128*	1,00000*
Водоводи	Чавунна труба $\varnothing 500, L=5$ км, перемичка (сталева труба $\varnothing 500, L=10$ м), 5 засувок,	0,77403	0,96181
		0,90048*	0,99709*
Системи водопостачання в цілому:		0,89005	0,99701

Примітки: 1. Значення A_{or} наведено для тих же умов, що і у табл. 2.

2. * – значення коефіцієнтів A_{or} для всієї споруди.

Дані проведених розрахунків функціональної надійності системи водопостачання та їх порівняння із величинами коефіцієнтів технічного використання $K_{m.e}$ (табл. 1) показують, що за схемою системи водопостачання, наведеної на рис. 3 допускається подача води у системах водопостачання II-ї та III-ї категорій, так як отримані величини $K_{m.e}$ більші за рекомендовані нормативні (табл. 1): для умов зниження подачі води до 30% – 0,89 при нормативі 0,67 для II-ї і 0,50 для III-ї категорії системи водопостачання; для обмеження у водопостачанні – 0,9970 при нормативах, відповідно, 0,917 для II-ї і 0,67 для III-ї категорій. Із врахуванням роботи водозабірних і очисних споруд та водопровідної мережі розрахункові величини

A_{or} всієї системи будуть дещо нижчими ніж отримані значення A_{or} для системи водопостачання. Однак, як показують додаткові розрахунки, це зниження є несуттєвим (орієнтовно – на 0,05% для умов зниження подачі води і на 0,004% для обмеження у водопостачанні).

Отримані значення показників надійності показують, що для приведення системи водопостачання у відповідність до вимог I-ї категорії системи водопостачання за надійністю потрібно застосувати окремі елементи системи водопостачання з дещо вищими показниками надійності. Наприклад, прокласти водоводи із труб з меншою величиною інтенсивності відмов, або влаштувати не одну, а 2-ві перемички на водоводах. Серед інших варіантів

підвищення надійності подачі води у систему водопостачання заслуговують на увагу варіанти з влаштуванням резервуарів з підвищенням оперативності аварійно-відновлювальних робіт, із аварійними запасами води на території міста або із ще одним джерелом водопостачання.

Розраховані за наведеною методикою значення стаціонарних коефіцієнтів оперативної готовності A_{or} суттєво залежать від таких первинних показників надійності, як інтенсивність відмов λ , інтенсивність відновлення μ та питомий параметр потоку відмов z_o . Їхні достовірні значення можуть бути отримані на основі натурних досліджень на реальних водопроводів, а на їх основі створені бази статистичних даних для оцінки і розрахунків функціональної надійності системи водопостачання.

Висновки. Проведені розрахунки показують, що функціональна надійність системи водопостачання, визначена за стаціонарними коефіцієнтами оперативної готовності, відповідає коефіцієнтам технічного використання системи водопостачання, які розраховані за нормативними величинами обмежень тривалості зниження подачі води до 30% і обмежень у водопостачанні (до 3-х діб), для кожної із трьох категорій систем водопостачання. Доцільність і достовірність такої оцінки функціональної надійності підтверджено теоретичним обґрунтуванням основних положень методики інженерних розрахунків функціональної надійності системи водопостачання та прикладом розрахунків. Підвищення функціональної надійності системи водопостачання може бути забезпечене їх раціональними конструктивними схемами та ефективністю функціонування, зокрема, низькою аварійністю трубопроводів та оперативністю проведення аварійно-відновлювальних робіт у найкоротші строки.

ЛІТЕРАТУРА:

- ДБН В.2.5-74:2013. *Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування*. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 172 с.
- ДСТУ 2860-94. *Надійність техніки. Терміни та визначення*. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт, 75 с.
- ДСТУ 2862-94. *Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги*. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт, 38 с.
- Абрамов Н.Н. *Надежность систем водоснабжения*. Москва: Стройиздат, 1984. 216 с.
- Алексеев М.И., Ермолин Ю.А. Вероятностные характеристики времени наработки между отказами восстанавливаемых объектов водопроводно-канализационного хозяйства. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2009. № 5. С. 26-28.
- Гальперин Е. М. Еще раз о надежности функционирования водопроводной сети. *Известия вузов. Строительство*. 2014. № 5. С. 49-55.
- Гальперин Е. М., Стрелков А. К. О надежности систем водоснабжения и водоотведения. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2015. № 12. С. 51-54.
- Добровольская О.Г., Украинец Н.А., Сокольник В.И. О критериях надежности эксплуатации водопроводных сетей. Научно-технический сборник. *Коммунальное хозяйство городов*. Киев: Техніка, 2001. Вып. 27. С. 85-88.
- Ильин Ю. А. *Расчет надежности подачи воды*. Москва: Стройиздат, 1987. 320 с.
- Інструкція щодо заповнення форми звітності № 13-НКРЕКП-водопостачання (квартирна) «Звіт щодо показників надійності водопостачання та якості питної води». Затверджено Постановою НКРЕКП 23.02.2017 № 226. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0226874-17>.
- Матяш О.В., Новохатній В.Г. Надійність водопостачання промислового вузла міста. Науково-технічний збірник. *Комунальне господарство міст*. Київ: Техніка, 2017. Вип. 134. С. 47-51.
- Матяш О.В. *Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж*. Автореф. дис. канд. техн. наук. Рівне: НУВГП, 2012. 20 с.
- Найманов А. Я. Возможные нормы надежности элементов систем водоснабжения и водоотведения. *Научно-технический сборник. Коммунальное хозяйство городов*. Киев: Техніка, 2010. Вып. 93. С.62-66.
- Науменко І.І. *Оцінки надійності водогосподарських об'єктів*. Рівне: НУВГП, 2006. 182 с.
- Новохатній В.Г. *Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання*. Автореф. дис. докт. техн. наук. Київ: КНУБА, 2012. 32 с.
- Новохатній В.Г., Матяш О.В. Ремонтопридатність металевих водопровідних труб. Збірник наукових праць. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА, 2015. Вип. 80. С. 254- 256.

17. Ткачук О.А. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів. Монографія. Рівне: НУВГП, 2008. 301 с.
18. Усенко В.Г., Новохатній В.Г. Підвищення надійності структури діючої водопровідної мережі. Збірник наукових праць. *Науковий вісник будівництва*. Харків: ХДТУБА, 2015. Вип. 79. С. 259-262.
19. Шевчук А.Ю. Оцінка надійності трубопроводів системи транспортування води. Збірник наукових праць. *Вісник НУВГП*. Рівне. 2015. Вип.1(69). С.73-78.
20. Шевчук А.Ю. Оцінка статистичних даних пошкоджень трубопроводу водогону «Дністер-Чернівці». *Збірник наукових праць. Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентильції, водопостачання і водовідведення*. Рівне: НУВГП. 2015. С. 84-85.
21. Хомуцька Т.П. *Енергоощадне водопостачання*. Монографія. Київ: Аграрна наука, 2016. 304 с.
22. Boryczko K., Janusz R., Tchorzewska-Cieslak B. Analysis of risk and failure scenarios in water supply system. *Journal of Polish Safety and Reliability*. 2014. Vol. 5, Issue 2. P. 11-18.
23. Rajeev P., Kodikara J., Robert D., Zeman P., Rajani B. Factors contributing to large diameter water pipe failure. *Water asset management international*. 2014. P. 9-14.
24. Szpak D., Tchyrzewska-Cieslak B. Assessment of the failure rate of water supply system in terms of safety of critical infrastructure. *Chemik*. 2014. Vol. 68, Issue 10. P. 862-867.

Ткачук А.А., Шевчук А.Ю. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ. В работе обоснована целесообразность оценки функциональной

надежности сооружений водоснабжения по стационарным коэффициентам оперативной готовности с их соответствием нормативным величинам коэффициентам технического использования. Определены их числовые значения для каждой из трех категорий систем водоснабжения для условий снижения подачи воды и ограничений в водоснабжении. Теоретически обоснованы основные положения методики инженерных расчетов функциональной надежности сооружений водоснабжения.

Ключевые слова: коэффициент оперативной готовности, коэффициент технического использования, надежность, сооружения водоснабжения.

Tkachuk A.A, Shevchuk A.Yu. DETERMINATION OF INDICATORS OF FUNCTIONAL RELIABILITY OF WATER SUPPLY CONSTRUCTIONS. The work substantiates the feasibility of assessing the functional reliability of water supply facilities based on stationary coefficients of operational readiness with their compliance with standard values of technical utilization factors. Their numerical values are determined for each of the three categories of water supply systems for the conditions of reduced water supply and water supply restrictions. Theoretically substantiated the main provisions of the methodology for engineering calculations of the functional reliability of water supply facilities.

Key words: operational readiness coefficient, coefficient of technical use, reliability, water supply facilities.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-97-3-134-140

УДК 693.6.002.5

Шаповал М.В., Вірченко В.В., Скорик М.О., Криворот А.І.
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка
(Першотравневий проспект, 24, Полтава, 36000);

ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ ОДНОПОРШНЕВОГО РОЗЧИНОНАСОСА З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИВОДОМ

У статті розглядається розчинонасос з гідравлічним приводом, кульовими всмоктувальним і підпружиненим нагнітальним клапанами, спеціальною вставкою у всмоктувальній камері та компенсатором збільшеного об'єму. Представлено порівняльний аналіз режимів роботи розчинонасоса з різними приводами. На основі теоретичних досліджень визначення продуктивності, об'ємного ККД доведено, що гідроприводний розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму працює ефективніше по відношенню до розчинонасоса з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму. Визначено області раціональних режимів роботи гідроприводного розчинонасоса.

Ключові слова: розчинонасос з комбінованим компенсатором збільшеного об'єму, гідравлічний привод, продуктивність, об'ємний ККД, потужність, рухомість розчину.