

О.В. Матяш, В.Г. Новохатній

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Україна

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ МІСТА ШЛЯХОМ РАЙОНУВАННЯ

Оцінено надійність централізованої системи водопостачання м. Кременчук Полтавської області до та після районування. Обчислено кількісні значення показників безвідмовності об'єднаної та районуваної системи водопостачання. На основі виконаних розрахунків обґрунтовано доцільність районування системи водопостачання м. Кременчук Полтавської області.

**Ключові слова:** система водопостачання, надійність, безвідмовність, районування.

### Постановка проблеми

На сьогоднішній день дуже важливим є питання забезпечення населення питною водою відповідної якості, у потрібній кількості та під необхідним напором. Але з кожним роком усе більше проблемних моментів виникає перед комунальними службами: відсутність потрібного фінансування з боку держави, зношеність обладнання та споруд системи водопостачання, відсутність кваліфікованих робітників та спеціалізованого обладнання, забруднення джерел водопостачання та інше. Зрозуміло, що для вирішення поставлених задач потрібне відповідне фінансування та час для відновлення комплексу споруд системи водопостачання. Проте, під час реновації та реконструкції споруд і мереж систем водопостачання можна підвищити надійність як окремих споруд так і всього комплексу системи водопостачання. Урахування фактору надійності при проектуванні чи реконструкції дозволяє забезпечити безперебійність водопостачання без значних капіталовкладень, що вкрай важливо для житлово-комунальних організацій.

### Аналіз останніх досліджень.

Аналіз наукових досліджень і публікацій вказує на постійну увагу науковців та фахівців в галузі водопостачання щодо підвищення надійності роботи як окремих елементів системи водопостачання так і системи в цілому [1 – 9].

### Мета статті

Розроблення рекомендацій щодо районування подавально-розподільного комплексу міста Кременчук на основі виконаних розрахунків надійності системи водопостачання.

### Викладення основного матеріалу досліджень

Надійність водопостачання як технологічного процесу можна забезпечити тільки шляхом надійного функціонування системи водопостачання. Ураховуючи те, що ця система створена як комплекс послідовного поєднання споруд, потрібно досягати необхідного рівня надійності кожної з цих споруд. Таким чином, безперервність і відновлюваність водопостачання споживачів забезпечується безвідмовністю і ремонтпридатністю водопровідних споруд. Довговічність аналізується, зазвичай, для труб, арматури та іншого обладнання. Тому будемо аналізувати тільки перші дві складові надійності. На етапі аналізу надійності системи водопостачання надто важливою задачею є вибір основних показників надійності зі всього переліку показників. Суть у тому, що при оцінюванні надійності системи водопостачання або водопровідної споруди за різними показниками можна отримати протилежні висновки. В теорії надійності розроблена методика вибору основних показників надійності, яка базується на двох основних чинниках – домінуючих факторах і наслідках відмови.

Для систем водопостачання у своєму дослідженні [10] д.т.н., професор Новохатній В.Г. серед домінуючих факторів, що принципово відрізняються при оцінюванні наслідків відмови системи водопостачання, виділив тільки два – небезпеку перерви у водопостачанні та тривалість перерви, а тому споживачів води він поділив на дві групи. Перша група – виробництва з безперервним технологічним процесом у атомній енергетиці, металургії, нафтохімічній, хімічній, медичній промисловості, із застосуванням вибухонебезпечних, отруйних речовин, ядерного та ракетного палива і т. ін. Домінуючою є небезпека перерви у водопостачанні, оскільки вона може викликати загибель людей або екологічну

катастрофу. Усіх інших споживачів, які не увійшли у першу групу, слід віднести до другої групи. Домінуючою для них є тривалість перерви у водопостачанні, що призводить до звичайних матеріальних чи моральних утрат. До цієї групи включені і централізовані системи водопостачання населених пунктів (комунальні водопроводи). Отже, споживачів води і системи водопостачання у населених пунктах потрібно віднести до другої групи. Підтвердженням цього є те, що «Правила надання послуг» дозволяють перерви у водопостачанні, але вимагають, щоб «допустимий термін відхилення показників із безперебійного водопостачання складав не більше 6 годин на добу та не більше 2-ох разів на місяць». Це відповідає наступним нерівностям:

– середнє напрацювання на відмову  $T \geq 360$  год;

– середній час відновлення працездатності  $T_B \leq 6$  год.

Комунальні системи водопостачання, які обслуговують споживачів другої групи є сенс розділити на три категорії, залежно від кількості споживачів. За класифікацією В.Г. Новохатнього [10] систему водопостачання м. Кременчук слід віднести до 1-ої категорії 2-ої групи споживачів та систем водопостачання. Для цієї категорії допускається перерва у водопостачанні 1 раз на 3 місяця тривалістю 3 години. Тоді, для водопровідної мережі  $T \geq 2160$  год;  $T_B \leq 3$  год.

Система водопостачання м. Кременчук поділяється на:

- систему господарсько-питного водопостачання (СГПВ);

- систему технічного водопостачання (СТВ).

Джерелом водопостачання слугує Кременчуцьке водосховище. Власівський водозабір забирає дніпровську воду з водосховища і подає її насосними станціями 1-го підняття та напірними водогонами до розподільних камер, де відбувається розподіл води на 2 напрямки. За першим напрямком вода надходить на водопровідні очищувальні споруди (ВОС) для виробництва води питної якості, яка потім подається у водопровідну мережу м. Кременчук. За другим напрямком вода, після проходження мікрофільтрів, подається водогонами до підприємств Північного промислового вузла (ППВ).

Споруди системи господарсько-питного водопостачання включають (рис. 1):

1) дві насосні станції 1-го підняття (НС №1 – 1968 р., НС №2 – 1981 р.);

2) магістральний водогін від НС 1-го підняття до ВОС з 3-х паралельних ниток:

- дві нитки  $d=1100$  мм – сталеві труби довжиною 12,7 км; здані в експлуатацію 1967 р.;

- 3-я нитка  $d=1200$  мм – залізобетонні труби довжиною 12,7 км; здана в експлуатацію 1981 р.;

3) водогін від ВОС до водопровідної мережі м. Кременчук, який складається з 2-х паралельних ниток:

- перша нитка  $d=1200$  мм – сталева труба довжиною 3,1 км; здана в експлуатацію 1966 р.;

- друга нитка  $d=800$  мм – сталева труба довжиною 3,1 км; здана в експлуатацію 1968 р.

4) розподільні камери, в яких розміщені переключення та запірна арматура (засувки); матеріал засувок – чавун, привід ручний;

5) камери переключень на водогоних містять чавунну арматуру (засувки, клапани впуску і випуску повітря, вантузи, випуски води); діаметри засувок від 300 до 1200 мм; привід – ручний;

6) водопровідна мережа міста Кременчук (Автозаводський район) діаметри труб від 50 до 400 мм; матеріал труб – чавун, сталь, поліетилен; термін експлуатації від 5 до 50 років;

7) дюкер через річку, який має 2 паралельні нитки  $d=800$  мм, що замикаються кільцем. Довжина кожної нитки 1,5 км; матеріал труб – сталь; зданий в експлуатацію 1977 р.;

8) водопровідна мережа правобережної частини міста Кременчук (Крюківський район); діаметри труб від 50 до 400 мм; матеріал труб – чавун, сталь, поліетилен; термін експлуатації від 5 до 40 років.

Якщо проаналізувати всі складові елементи системи водопостачання м. Кременчук, то з точки зору надійності можна зробити висновок, що найменш надійним елементом є водогони. Висновок базується на наступних фактах:

- насосні станції 1-го та 2-го підняття мають структурний резерв – резервні насоси, які вмикаються у випадку виходу з ладу робочих;

- водопровідна мережа кільцева що дозволяє воді потрапляти до споживача кількома шляхами, тобто також існує структурний резерв;

- резервуари чистої води виконують функцію почасового резерва.

Низьку надійність мають також камери переключень, але аналіз їх надійності потрібно виконувати окремо при детальних розрахунках. На надійність труб водогонів впливає ряд причин: термін служби, умови експлуатації, глибина закладання, рельєф місцевості, робочий тиск та інші.

Зважаючи на неробочий стан катодного захисту сталевих трубопроводів, зовнішня і внутрішня корозія труб призвела до суттєвого зносу сталевих трубопроводів. Аналіз статистики щодо відмов сталевих труб і арматури водогонів, за даними диспетчерської КП «Кременчукводоканал» показав, що їх кількість становить (табл. 1).

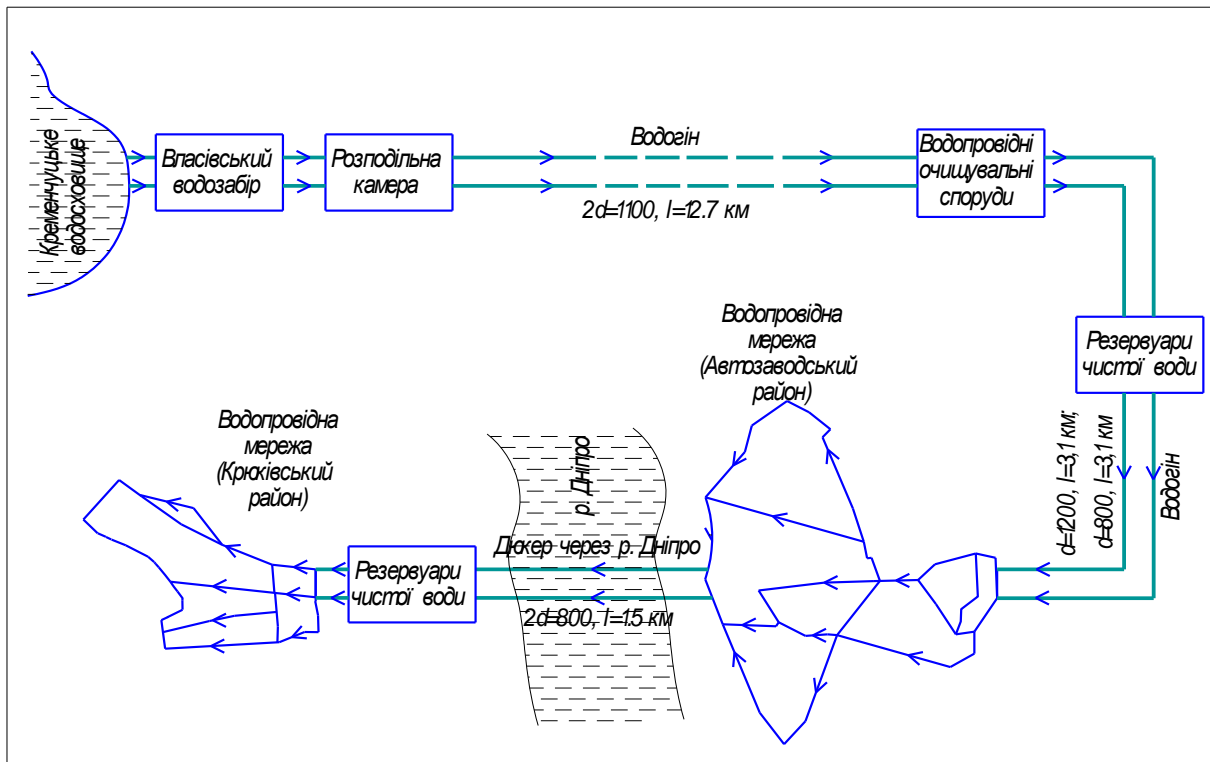


Рис. 1. Схема об'єднаної системи водопостачання м. Кременчук для розрахунку надійності

Таблиця 1

Статистичні дані щодо пошкоджень водогонів м. Кременчук за період спостереження 2011-2015 рр.

Матеріал труб	Діаметр $D$ , мм	Довжина труб, які проаналізовано, $L$ , км	Кількість пошкоджень, $n$
Залізобетон	1200	12,7	9
Сталь	1100	12,7x2=25,4	15

За зарубіжними даними [11] параметр потоку відмов для сталевих труб розраховується за формулою

$$\omega = 81,5D^{-0,984}, \text{ 1/рік}\cdot\text{км},$$

де  $D$  – діаметр труб в мм.

Для сталевих труб  $D=1100$  мм:

$$\omega = 81,5 \cdot 1100^{-0,984} = 0,083 \approx 0,1 \text{ 1/рік}\cdot\text{км}.$$

Тобто, 1 відмова на 10 км сталеві труби на рік.

За дослідженнями авторів статті на водопроводах України [9, 12] параметр потоку відмов для сталевих труб становить:

$$\omega = 693,3D^{-1,25}, \text{ 1/рік}\cdot\text{км},$$

де  $D$  – діаметр труб в мм.

Для сталевих труб  $D=1100$  мм:

$$\omega = 693,3 \cdot 1100^{-1,25} = 0,109 \approx 0,1 \text{ 1/рік}\cdot\text{км}.$$

Тобто маємо аналогічні результати – також 1 відмова на 10 км сталеві труби на рік.

Для сталевих труб  $D=800$  мм:

$$\omega = 693,3 \cdot 800^{-1,25} = 0,162 \text{ 1/рік}\cdot\text{км}.$$

Для сталевих труб  $D=600$  мм:  $\omega = 693,3 \cdot 600^{-1,25} = 0,233 \text{ 1/рік}\cdot\text{км}.$

Але фактичний параметр потоку відмов для сталевих труб  $D=1100$  мм водогоні в м. Кременчук становить:  $\omega = \frac{15}{3 \cdot 2 \cdot 12,7} = 0,2 \text{ 1/рік}\cdot\text{км},$

а це у 2 рази більше відомих вітчизняних та зарубіжних аналогів.

Показником ремонтпридатності є середній час ремонту, тобто середній час відновлення воопостачання. Довговічність оцінюється технічним ресурсом труб і арматури. Ураховуючи те, що у сталевих труб ресурс, звичайно, не перевищує 30 років, а сталеві водогони експлуатуються близько 50 років, їх ресурс практично вичерпано. Тому оцінювання надійності як об'єднаної, так і районованої системи водопостачання м. Кременчук, виконано за безвідмовністю водогонів, які входять до послідовно поєднаних окремих елементів (водозабір-водогін-водопровідні очисувальні споруди-водогін-водопровідна мережа). Результати розрахунку наведені в таблицях 2, 3 та 4.

Таблиця 2

Параметр потоку відмов об'єднаної системи водопостачання

Водогін до ВОС:			Водогін від ВОС до мережі:			Дюкер через Дніпро:			Сумарний $\omega$ , 1/рік
довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		
	питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік		питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік		питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік	
12,7	0,2	2,54	3,1	0,162	0,5022	1,5	0,162	0,243	<b>3,285</b>

Таблиця 3

Параметр потоку відмов районованої системи водопостачання (Автозаводський район)

Водогін до ВОС:			Водогін від ВОС до мережі:			Сумарний $\omega$ , 1/рік
довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		
	питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік		питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік	
12,7	0,2	2,54	3,1	0,162	0,502	<b>3,042</b>

Таблиця 4

Параметр потоку відмов районованої системи водопостачання (Крюківський район)

Водогін до Крюківських ВОС:			Водогін від Крюківських ВОС до мережі:			Сумарний $\omega$ , 1/рік
довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		довжина $L$ , км	параметр потоку відмов		
	питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік		питомий $\omega_0$ , 1/рік·км	водогону $\omega$ , 1/рік	
0,7	0,233	0,163	1,0	0,233	0,233	<b>0,396</b>

### Висновок

1. Порівняльний аналіз надійності за безвідмовністю об'єднаної та районованої системи водопостачання м. Кременчук показує, що при районуванні суттєво підвищується надійність водопостачання Крюківського району, а надійність водопостачання Автозаводського району залишається без змін.

2. Диктувальним для водопостачання в об'єднаній системі є Крюківський район. Критерієм відмови при розрахунках надійності була прийнята відмова однієї нитки водогону. В об'єднаній системі в Крюківському районі параметр потоку відмов склав  $\omega = 3,285$  1/рік, тобто близько 3-х разів на рік можлива перерва у водопостачанні.

3. В районованій системі обидві системи працюють незалежно, а тому в Автозаводському районі все залишається без змін, а параметр потоку відмов для Крюківського району суттєво зменшується та становить:  $\omega = 0,396$  1/рік, що відповідає перерві у водопостачанні приблизно 1 раз на 2,5 роки. Таким чином, районування дозволяє підвищити надійність за безвідмовністю водопостачання у Крюківському районі м. Кременчук приблизно у 8 разів.

### Література

1. Boryczko, K., Janusz, R., Tchorzewska-Cieslak, B. (2014). Analysis of risk and failure scenarios in water supply system. *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars*, 5, 2, 11 – 18.

2. Faidae, M. J., Tabat, R. (2010). Estimation of Failure Probability in Water Pipes Network Using Statistical Model. *World Applied Sciences Journal* 11 (9), 1157 – 1163.

3. Forsyth, P., Robert, D., Rajeev, P., Li C., Kodikara, J. (2014). Codified methods to analyse the failures of water pipelines: A Review', in Raj Das, Sabu John (ed.). *Proceedings of the 8th Australasian Congress on Applied Mechanics 2014 (ACAM 8)*, Barton, Australia, 24-28 November, 529–539.

4. Tchorzewska-Cieslak, B., Boryczko, K., Eid, M. (2012) Failure scenarios in water supply system by means of fault tree analysis. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management – Bürenguer, Grall & Guedes Soares (eds)*, 2492 – 2499.

5. Forsyth, P., Robert, D., Rajeev, P., Li, C., Kodikara, J. (2014) Codified methods to analyse the failures of water pipelines: A Review', in Raj Das, Sabu John (ed.). *Proceedings of the 8th Australasian Congress on Applied Mechanics 2014 (ACAM 8)*, Barton, Australia, 24-28 November 2014, 529-539.

6. Rajeev, P., Kodikara, J., Robert, D., Zeman, P., Rajani, B. (n.d.) Factors contributing to large diameter water pipe failure as evident from failure inspection. Retrieved from <http://www.criticalpipes.com/wp-content/uploads/2013/09/JKodikara.pdf>

7. Хомутецька, Т.П. *Енергоощадне водопостачання [Текст] / Т.П. Хомутецька. – К.: Аграр.наука, 2016. – 304 с.*

8. 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), 653-660

9. Matyash, A., Usenko, I., Myagkohlib, R., Kostenko, S. (2017) Estimation of reliability of metal water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/1 (87), 35–42.

10. Новохатній, В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання



[Текст]: дис. докт. техн. наук/ В.Г. Новохатній, 2012. – Полтава: ПолтНТУ. – 351 с.

11. Храменков, С.В. Стратегія модернізації водопровідної мережі [Текст] / С.В. Храменков.– М. «Стройиздат», 2005.– 400 с.

12. Матяш, О.В. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж [Текст] : автор. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.23.04 – водопостачання, кваліфікація / О.В. Матяш. – Рівне: НУВГП, 2012. 24 с.

## References

1. Boryczko, K., Janusz, R., Tchorzewska-Cieslak, B. (2014). Analysis of risk and failure scenarios in water supply system. *Journal of Polish Safety and Reliability Association Summer Safety and Reliability Seminars*, 5, 2, 11 – 18.
2. Faidae, M. J., Tabat, R. (2010). Estimation of Failure Probability in Water Pipes Network Using Statistical Model. *World Applied Sciences Journal* 11 (9), 1157 – 1163.
3. Forsyth, P., Robert, D., Rajeev, P., Li C., Kodikara, J. (2014). Codified methods to analyse the failures of water pipelines: A Review', in Raj Das, Sabu John (ed.). *Proceedings of the 8th Australasian Congress on Applied Mechanics 2014 (ACAM 8)*, Barton, Australia, 24-28 November, 529–539.
4. Tchorzewska-Cieslak, B., Boryczko, K., Eid, M. (2012) Failure scenarios in water supply system by means of fault tree analysis. *Advances in Safety, Reliability and Risk Management – Bürenguer, Grall & Guedes Soares (eds)*, 2492 – 2499.
5. Forsyth, P., Robert, D., Rajeev, P., Li, C., Kodikara, J. (2014) Codified methods to analyse the failures of water pipelines: A Review', in Raj Das, Sabu John (ed.). *Proceedings of the 8th Australasian Congress on Applied Mechanics 2014 (ACAM 8)*, Barton, Australia, 24-28 November 2014, 529-539.
6. Rajeev, P., Kodikara, J., Robert, D., Zeman, P., Rajani, B. (n.d.) Factors contributing to large diameter water pipe failure as evident from failure inspection. Retrieved from <http://www.criticalpipes.com/wp-content/uploads/2013/09/JKodikara.pdf>

7. Khomutetska, T.P. (2016) Energy saving water supply. K.:<sup>^</sup> Agricultural Science, 304 .

8. 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), 653-660

9. Matyash, A., Usenko, I., Myagkohlib, R., Kostenko, S. (2017) Estimation of reliability of metal water. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/1 (87), 35–42.

10. Novokhatniy, V.G. (2012) Reliability of functioning of giving-distributive complex of the water supply systems. Dis. Doctor of Technical Science. – Poltava: PNTU. – 351.

11. Khramenkov, S. V. (2005) The strategy of modernization of the water supply network. – M.: JSC Publishing house“Stroyizdat”. – 400.

12. Matyash, A.V. (2012). Evaluation of reliability and improvement of calculations of the water with the networks of the ramified type systems. Author. Dis. cand. tehn. Science / - Rivne .: NUVGP – 20.

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

**Автор:** МАТЯШ Олександр Васильович  
кандидат технічних наук, доцент  
Національний університет «Полтавська  
політехніка імені Юрія Кондратюка»  
E-mail – [matyash19831010@gmail.com](mailto:matyash19831010@gmail.com)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9817-8282>

**Автор:** НОВОХАТНІЙ Валерій Гаврилович  
доктор технічних наук, професор  
Національний університет «Полтавська  
політехніка імені Юрія Кондратюка»  
E-mail – [vgn43@ukr.net](mailto:vgn43@ukr.net)  
ID ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8107-7912>

## INCREASING OF THE RELIABILITY CITY'S WATER SUPPLY SYSTEM THROUGH ZONING

O. Matyash, V. Novokhatniy

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Ukraine

The article analyzes the topical issue of assessing the reliability of water supply in Kremenchuk, Poltava region, in the zoning of the water supply system. The scheme of the integrated water supply system of Kremenchuk was built to calculate reliability, which reflects the movement of water from the source to the consumers and the main structures of the water supply system. The work of the water supply system of Kremenchuk and its structure is analyzed. In terms of reliability, it is concluded that water pipes are the least reliable element. The statistics on the failures of the water supply systems of the city of Kremenchuk are analyzed. The calculations showed that the actual failure rate for steel pipes  $d = 1100$  mm of water pipes in Kremenchuk is 2 failures per 10 km of steel pipe per year, which is 2 times higher than foreign and domestic data. The reliability assessment of both the integrated and district water supply system of Kremenchuk was performed on the failure of water supply systems for both separately connected individual elements. Comparative analysis of reliability of the integrated and district water supply system of Kremenchuk without fail has shown that the zoning significantly increases the reliability of water supply in the Kryukivsky district, and the reliability of water supply of the Avtozavodsky district remains unchanged. In the integrated system in the Kryukiv district, the parameter of the flow of failures was  $\omega = 3,285$  1/year, that is, about 3 times a year a break in water supply is possible. In the district system, both systems operate independently, which is why everything remains unchanged in the Avtozavodsky district, and the failure flow parameter for the Kryukivsky district is significantly reduced and is:  $\omega = 0,396$  1/year, which corresponds to a water supply interruption of about once every 2.5 years. Thus, zoning can increase the reliability of water supply in the Kryukivsky district of Kremenchuk approximately 8 times.

**Keywords:** the water supply system, reliability, dependability, zoning.