

НАДІЙНІСТЬ ВОДОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ВУЗЛА МІСТА

Проаналізовано надійність системи технічного водопостачання промислової зони міста в Полтавській області. У результаті детального статистичного аналізу встановлені основні причини пошкоджень водогонів та розраховано питомий параметр потоку відмов залежно від діаметра труб. Виконано порівняння отриманих результатів із дослідженнями інших авторів та розроблені відповідні рекомендації щодо підвищення безвідмовності водогонів системи технічного водопостачання.

Ключові слова: технічне водопостачання, водогін, показники надійності, безвідмовність, ремонтпридатність.

Постановка проблеми

Промисловість – один із найбільших споживачів води, забезпечення яких надійним водопостачанням є важливою задачею. Для реалізації цієї задачі слід підвищувати надійність окремих споруд системи водопостачання. Одними з таких споруд є водогони, відмови яких можуть призвести до суттєвих збитків у секторі промисловості та значного невдоволення населення в результаті тривалої відсутності води. Згідно з постановою Кабінету Міністрів України №630 від 2005р. [1] вимагається щоб "...допустимий термін відхилення показників з безперервного водопостачання складав не більше 6 годин на добу та не більше 2-х разів на місяць". ДБН В.2.5–74:2013 [2] говорить, що: "...централізовані системи водопостачання по надійності дії або за ступенем забезпеченості подачі води поділяють на три категорії:

- для 1 категорії допускається перерва в подачі води не більше ніж на 10 хв;
- для 2 категорії допускається перерва в подачі води не більше ніж на 6 годин;
- для 3 категорії допускається перерва в подачі води не більше ніж на 24 години."

Основні недоліки цих вимог:

- не обмежується частота вказаних перерв у подаванні води;
- не виділяється група промислових споживачів, у яких перерва у водопостачанні може створювати загрози для життя людей.

Зважаючи на викладене, питання оцінювання надійності систем виробничого водопостачання та окремих споруд цих систем потребують подальшого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день значна увага науковців та фахівців у галузі водогосподарського комплексу зосереджена на надійності систем водопостачання. На теренах України плідно працюють над

розробленням теоретичних засад та методик розрахунку з надійності ряд д.т.н., професорів: П.Д. Хоружий [3], О.А. Ткачук [4], В.Г. Новохатній [5 – 7] та інші. Із закордонних учених у даній галузі слід відмітити С.В. Храменкова, О.Г. Приміна [8, 9], Н. Hotłoś, F. Piechurski, J.R. Rak, A. Studzinski, В. Tchórzewska-Cieślak [10 – 13].

Під надійністю розглянемо дві властивості споруд – безвідмовність і ремонтпридатність. Для оцінювання та розрахунку безвідмовності та ремонтпридатності потрібно обґрунтовано вибрати основні показники. Згідно з теорією надійності, потрібно, в першу чергу, виділити **домінуючі фактори**, які визначаються наслідками відмови системи водопостачання. За такого підходу можна виділити тільки два фактори, які принципово відрізняються, а саме – **небезпека** перерви водопостачання або **тривалість** такої перерви. Принциповість у різниці цих факторів полягає у тому, що при існуванні небезпеки у перерві водопостачання, наслідки такої перерви безповоротні (наприклад, загибель людей або екологічна катастрофа). Вимоги щодо надійності у такому разі повинні бути дуже жорсткими як за суттю основного показника, так і за його величиною. Якщо ж при перерві у водопостачанні відбуваються тільки матеріальні або моральні втрати, то вимоги до надійності повинні бути менш жорсткими, як за суттю основного показника, так і за його величиною.

Зважаючи на викладене, всіх споживачів води потрібно поділити 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, віднесено до **другої групи**.

Домінуючою для них є **тривалість** перерви у водопостачанні, що призводить до звичайних матеріальних чи моральних утрат у споживачів. До

цієї групи віднесено і централізовані системи водопостачання населених пунктів. Розроблена [5], відповідна класифікація споживачів води (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація споживачів і систем водопостачання за надійністю

Групи споживачів	Групи та категорії систем водопостачання	Значення основних та базових показників надійності		
1	Перша група Підгрупа А – системи водопостачання небезпечних виробництв	Максимум імовірності безвідмовної роботи протягом терміну служби $\max P(T_{cl})$		
	Підгрупа Б – протипожежні системи водопостачання	Максимум коефіцієнта оперативної готовності за 3 години локалізації пожежі $\max K_{op} = K_T \cdot P(\tau)$		
2	Друга група Централізовані водопроводи населених пунктів при кількості жителів	Напрацювання на відмову T , год	Середній час відновлення працездатності T_B , год	Коефіцієнт готовності K_T
	1 категорія міста $N \geq 50$ тис. жителів	$T \geq 2160$ год (3 місяця)	$T_B \leq 3$ год	0,99861
	2 категорія міста 10 тис. $\leq N \leq 50$ тис. жителів	$T \geq 360$ год (0,5 місяця)	$T_B \leq 6$ год	0,98361
	3 категорія смт та села $N < 10$ тис. жителів	$T \geq 360$ год (0,5 місяця)	$T_B \leq 24$ год	0,93750

Виклад основного матеріалу

Система водопостачання досліджуваного міста включає дві підсистеми:

- підсистему господарсько-питного водопостачання (СППВ);
- підсистему технічного водопостачання (СТВ).

Джерелом водопостачання слугує водосховище. Водозабірний комплекс споруд здійснює забирання «сирої» води з водосховища і подає її насосними станціями 1-го підняття та напірними магістральними водогонами до розподільних камер, де відбувається розподіл води на два напрямки. За першим напрямком вода надходить на водопровідні очищувальні споруди (ВОС) для виробництва води питної якості, яка потім подається у водопровідну мережу міста. За другим напрямком «сира» (технічна) вода без очищення подається водогонами до підприємств Північного промислового вузла (ППВ).

Споруди системи технічного водопостачання включають (рис. 1):

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

б) магістральний водогін від НС 1-го підняття до розподільних камер, який складається з 3-х паралельних ниток:

- дві паралельні нитки $d=1100$ мм довжиною 12,7 км; матеріал труб – сталь; здані в експлуатацію в 1967 р.;

- третя паралельна нитка $d=1200$ мм довжиною 12,7 км; матеріал труби – залізобетон; здана в експлуатацію в 1981 р.;

в) магістральний водогін від розподільних камер до Північного промислового вузла (ППВ), який складається з 2-х паралельних ниток $d=1100$ мм, що замикаються кільцем. Довжина траси кільця 7,65 км; матеріал труб – сталь; зданий в експлуатацію в 1967 р.;

г) розподільні камери технічної води, які складаються з переключень та запірної арматури (засувок); матеріал засувок – чавун, привід ручний;

д) камер переключень на водогонах, в яких змонтована запірно-регульовальна арматура (засувки, клапани впуску і випуску повітря, вантузи, випуски води); діаметри засувок від 300 до 1200 мм; матеріал арматури – чавун; привід – ручний.

Загальна проектна подача технічної води від водозабору до споживачів становить 190 тис.м³/добу. Фактична подача технічної води близько 100 тис.м³/добу. Глибина закладання труб водогону від 0,6 до 6,0 м, зважаючи на складний рельєф місцевості. Робочий тиск у водогонах 3,5...4,5 атм. (35...45 м.вод.ст.). Технічний стан основної арматури:

- 17 засувок діаметром 600...1200 мм знаходяться в аварійному стані та потребують термінової заміни;

- 25 засувок негерметичні, тобто не забезпечують перекриття потоку води в трубі; з цієї причини неможливо виконати переключення ниток водогону у разі відмови ділянки труби.

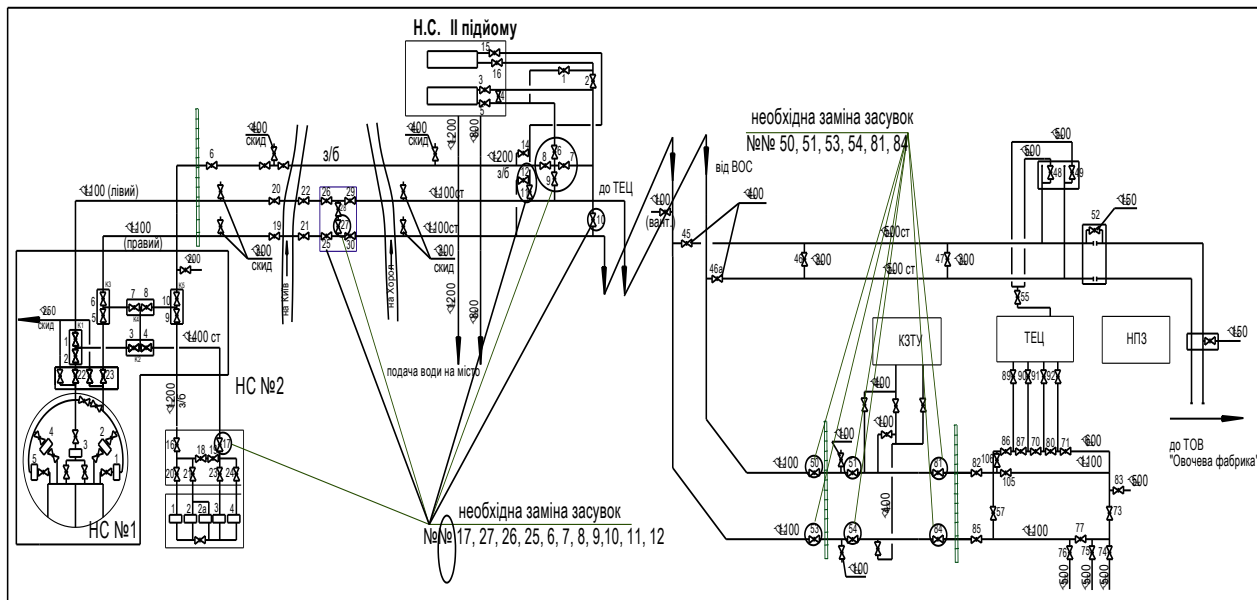


Рисунок 1 – Схема системи технічного водопостачання

Зважаючи на неробочий стан катодного захисту сталевих трубопроводів, зовнішня і внутрішня корозія труб призвела до практично 100% зносу сталевих трубопроводів.

Аналіз надійності виконано за показником безвідмовності. Показником безвідмовності труб прийнята частота відмов. Під відмовою будемо вважати ситуацію, коли ділянку водогону потрібно відключити для аварійного ремонту. Аналіз статистики щодо відмов сталевих труб і арматури водогонів за даними, диспетчерської служби показав наступне (табл.2)

Таблиця 2

Узагальнені статистичні дані щодо пошкоджень водогонів за період спостереження 2011 – 2015 рр.

Матеріал труб	Діаметр D , мм	Загальна довжина труб, які проаналізовано, L , км	Кількість відмов ділянок мережі, n
Залізобетон	1200	12,7	9
Сталь	1100	12,7	15

В якості основного показника безвідмовності водопровідних труб прийнято напрацювання на відмову T 1км трубопроводу та обернену йому величину – питомий параметр потоку відмов ω_0 . Для розрахунку середнього значення питомого параметра потоку відмов використана наступна формула:

$$\omega_0 = \frac{n}{t \cdot \sum L}, \quad (1)$$

де n – кількість відмов ділянки водопровідної мережі; t – термін спостереження, рік; $\sum L$ – протяжність ділянок водопровідної мережі відповідного діаметра, км.

Інтервальні оцінки для параметра потоку відмов обчислені (табл. 3) відповідно до ГОСТ 11.005-74 за наступними формулами:

- нижня інтервальна оцінка питомого параметра потоку відмов ω_0

$$\omega_0'' = \frac{\omega_0}{r_1}, \quad (2)$$

- верхня інтервальна оцінка питомого параметра потоку відмов ω_0

$$\omega_0^e = \frac{\omega_0}{r_2}, \quad (3)$$

де r_1, r_2 – коефіцієнти для визначення інтервальних оцінок у випадку експоненціального розподілу; приймаються згідно з таблицями 6 і 7 ГОСТ 11.005-74. Довірча ймовірність прийнята $\gamma = 0,95$.

Аналіз статистичних даних (табл. 2), питомого параметр потоку відмов водогонів дозволив оцінити та спрогнозувати рівень безвідмовності водопровідних труб залежно від діаметра.

Для порівняння, за даними [8] частота 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.

Згідно з дослідженнями [14, 15] частота відмов для сталевих труб складає

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

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, також 1 відмова на 10 км сталевих труб на рік. Це означає, що такою повинна бути частота відмов при задовільній експлуатації водогону. У нашому випадку частота відмов складає

$\omega_0 = 0,3$ 1/рік·км (табл. 3), що у 3 рази вище.

Таблиця 3

Значення питомого параметра потоку відмов ω_0 водогонів промислового вузла міста

Матеріал труб	Діаметр $D, \text{мм}$	Об'єм виборки n	Коефіцієнти для означення інтервальних оцінок:		Середнє значення параметра потоку відмов $\omega_0, 1/(\text{рік} \cdot \text{км})$:		
			нижня r_1	верхня r_2	mid	інтервальна оцінка	
						min	max
Залізобетон	1200	9	1,91	0,64	0,18	0,09	0,28
Сталь	1100	15	1,64	0,66	0,30	0,18	0,45

Показником ремонтпридатності є середній час ремонту, тобто середній час відновлення подачі води. Згідно з ДБН [2] систему водопостачання досліджуваного міста потрібно віднести до систем I категорії (населення більше ніж 50 тис. жителів). Для цієї категорії допускається перерва подачі води на час не більше 10 хвилин або зниження подачі води до 30% на час не більше 3-х діб.

Довговічність оцінюється технічним ресурсом труб і арматури. Ураховуючи те, що у сталевих труб ресурс, не перевищує 30 років, а сталеві водогони експлуатуються 48 років, їх ресурс вичерпано.

По безвідмовності частота відмов сталевих труб і арматури перевищує відомі зарубіжні аналоги приблизно в 3 рази [8].

По ремонтпридатності вимога щодо 10-хвилинної перерви в подачі води взагалі не може бути виконана. Стан СТВ такий, що неможливо виконати вимогу підприємств Північного промислового вузла щодо перерви подавання води не більше ніж на 0,5 години, а перерви подавання води на ВОС не більше 1...2 годин. Причиною цього є наступний ряд факторів:

- неможливе оперативне переключення ниток водогону у зв'язку з аварійним станом запірно-регульовальної арматури;

- складність виконання аварійних ремонтів ділянок водогону в заболоченій місцевості та частково забудованій зоні відчуження вздовж траси водогону;

- неможливе оперативне спорожнення ділянок водогону для аварійних ремонтів, зважаючи на непрацездатну запірно-регульовальну арматуру.

Висновки

1. За безвідмовністю водогони системи технічного водопостачання Північного промислового вузла слід вважати такими, що мають низьку безвідмовність, зважаючи на високу частоту відмов.

2. По ремонтпридатності водогони системи технічного водопостачання слід вважати такими, що мають низьку ремонтпридатність, зважаючи на неможливість виконання нормативних вимог щодо тривалості перерви подавання води.

3. Стан СТВ такий, що аварійна ситуація може привести до перерви подавання води, навіть, до кількох десятків годин, що може викликати суттєві збитки на підприємствах Північного промислового вузла.

4. Споживачам (підприємствам) Північного промислового вузла для підвищення надійності пропонується:

- створювати додатковий резерв води (резервуари, водонапірні башти або водонапірні колони;

- шукати альтернативні джерела води (резервуари градирень, поверхневі або підземні джерела, або питна вода з водопровідних очищувальних споруд міста) на період ремонтів споруд СТВ.

Література

1. Правила надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення [Текст]/ Постанова Кабінету Міністрів України від 21 липня 2005р. №630.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [Текст]: ДБН В.2.5-74:2013 – [Чинний від 2013-12-15]. — К. : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. — 281 с. — (Національні стандарти України).
3. Хоружий П.Д. Ресурсозберігаючі технології водопостачання [Текст]/ П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий, 2008. — К.: Аграрна наука. — 534 с.
4. Ткачук О.А. Удосконалення систем подачі та розподілення води населених пунктів [Текст]/ О.А. Ткачук, 2008.. — Рівне: НУВГП. — 301 с.
5. Новохатний В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання [Текст]: автореф. дис. докт. техн. наук./ В.Г. Новохатний – К.: КНУБА, 2012 – 32 с.
6. Новохатний Надійність водоводов систем водоснабження [Текст] / В. Новохатний, С. Костенко, 2013. – MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15, No6. – P. 101–108.
7. Матяш А. Надійність водоснабження малих населених пунктів [Текст] / А. Матяш, В. Новохатний, С. Костенко, 2015. – MOTROL. — Commission of motorization and energetics in agriculture : Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 17. No6. – P. 95–103.
8. Храменков С.В., 2005. Стратегія модернізації водопровідної мережі [Текст] / С.В. Храменков – М.: ОАО Из-во "Стройиздат". – 400 с.
9. Примин О.Г. Оценки и прогноз технического состояния трубопроводов [Текст] / О.Г. Примин, В.А. Орлов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 1. – ч. 1. – С. 25-28.
10. Hołtoś H. Analiza strat wody w systemach wodociagowych // Ochrona Srodowiska. – 2003. - №1. – p. 17 – 24
11. Piechurski F. Straty wody i sposoby ich obnizania // Ochrona Srodowiska. – 2/2005, 4/2005, 1/2006, 2/2006.
12. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. - Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005.

13. Rak J. Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. – Komitet Inżynierii Środowiska PAN. – T. 28. – Lublin, 2005. – p. 1 – 215.
14. Матяш О.В. Удосконалення методів оцінювання надійності та розрахунків розгалужених водопровідних мереж [Текст].: автореф. дис. канд. техн. наук/ О.В.Матяш – Рівне.: НУВГП, 2012– 20 с.
15. Матяш А. Надежность водопроводных металлических труб Украины [Текст] / А.Матяш, 2014. – MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 16, No6. – P. 117–125.

References

1. Rules provision of centralized heating, hot and cold water and sanitation. (2005). Cabinet of Ministers of Ukraine of 21 July 2005. №630.
2. Water. External networks and facilities. The main provisions of design. (2013). DBN V.2.5-74: 2013 - [Effective as of 12.15.2013]. - K.: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine, 2013. - 281 p. - (National Standards of Ukraine).
3. Horuzhy P.D., Khomutetska A.P., Horuzhy V.P. (2008). Water saving technologies. - K.: Agricultural Science. – 534p.
4. Tkachuk OA (2008). Improving of the systems giving and distribution of water settlements. m. Rivne NUVGP. – 301p.
5. Novokhatniy V.G. (2012) Reliability of functioning of giving-distributive complex of the water systems. Thesis. Doctor. Sc. nauk.- K. : KNUCA.– 32p.
6. Novokhatniy V., Kostenko S. (2013) The reliability of conduits of systems of water supply. – MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 15, No6. – P. 101–108.
7. Matyash A., Novokhatniy V., Kostenko S. (2015) The reliability of water supply for small settlements. – MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture :

- Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 17. No6. – P. 95–103.
8. Khramenkov S. V. (2005) The strategy of modernization of the water supply network. – M.: JSC Publishing house “Stroyizdat”. – 400 p.
9. Primin A. G., V. A. Orlov (2006) Assessment and prediction of technical state of pipelines / V. G. Primin, // Water supply and sanitary technique. – No. 1. – part 1. – P. 25-28.
10. Hotłoś H.(2003) Analisa strat wody w systemach wodociagowych // Ochrona Środowiska. - №1. – p. 17 – 24
11. Piechurski F. Straty wody i sposoby ich obniżania // Ochrona Środowiska. – 2/2005, 4/2005, 1/2006, 2/2006.
12. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B. Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę. - Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, 2005.
13. Rak J. (2005) Podstawy bezpieczeństwa systemów zaopatrzenia w wodę. – Komitet Inżynierii Środowiska PAN. – T. 28. – Lublin. – p. 1 – 215.
14. 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 – 20p.
15. Matyash A. (2014) The reliability of the water supply metal pipes Ukraine. – MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – Vol. 16, No6. – P. 117–125.

Автор: НОВОХАТНІЙ Валерій Гаврилович
Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава, доктор технічних наук, професор.

Автор: МАТЯШ Олександр Васильович
Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка, Полтава, кандидат технічних наук, доцент.
E-mail – matyash1983@yandex.ru

НАДЕЖНОСТЬ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО УЗЛА ГОРОДА

А.В. Матяш, В.Г. Новохатний

Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава

Проанализированы надежность системы технического водоснабжения промышленной зоны города в Полтавской области. В результате детального статистического анализа установлены основные причины повреждений водоводов и рассчитан удельный параметр потока отказов в зависимости от диаметра труб. Выполнено сравнение полученных результатов с исследованиями других авторов и разработаны соответствующие рекомендации по повышению надежности водоводов системы технического водоснабжения.

Ключевые слова: техническое водоснабжение, водоводы, показатели надежности, безотказность, ремонтпригодность.

RELIABILITY OF WATER SUPPLY INDUSTRIAL HUB OF THE CITY

A.V. Matyash, V.G. Novokhatniy

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

Reliability analyzes of water supply industrial hub city of Poltava region and found that the water supply is less reliable. As a result of detailed statistical analysis established the main causes of damage to water pipes. Analysis of statistics specific parameter flow failures water supply pipe allowed to estimate and predict the reliability of water pipes depending on the diameter. Interval estimation (lower and upper limit of reliability) for parameters flow failure calculated according to the regulations. Comparison of the results of the research of other authors and developed appropriate recommendations for improving the reliability of technical water supply. Maintainability analysis allowed to identify the main factors of failure of the safety requirements that are laid down in the regulations.

Keywords: industrial water supply, conduits, reliability, maintainability.