

4. Рекомендации по применению установки УВВ-3-6КМ при строительном водопонижении. – Москва: ВАНИИ «ВОДГЕО», 1983. – 56 с.
5. Болотских Н.С. Водопонижение. – Харьков: изд. при Харьковском государственном университете издательского объединения «Вища школа», 1981. – 144 с.
6. Болотских Н.С. Водопонижение при производстве аварийно-восстановительных работ на сетях водоотведения в условиях плотной городской застройки. Журнал «Энергосбережение. Энергетрика. Энергоаудит», № 3 (134), 2015. – с. 11-16.

УДК 628.14

Матяш О.В.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

СЕЗОННІСТЬ ВІДМОВ МЕТАЛЕВИХ ВОДОПРОВІДНИХ ТРУБ

Постановка проблеми. Водопровідні мережі подавально-розподільного комплексу системи водопостачання є найбільш ваговою ланкою в структурі споруд подавання води від джерела водопостачання до споживача, як з точки зору надійності, так і з економічних аспектів [1]. Проте, на сьогоднішній день понад 60% водопровідних мереж відпрацювала нормативний термін експлуатації та перебувають в критичному стані [2], що є негативним фактором як для комунального господарства, так і для споживачів. Тому при будівництві нових та реконструкції існуючих водопровідних мереж слід враховувати не лише технологічні нормативи проектування та економічні затрати, а й надійність труб, а саме їх безвідмовність та ремонтпридатність [3].

Аналіз останніх досліджень вказує на постійну увагу науковців та фахівців в галузі водопостачання щодо встановлення причин пошкоджень труб водопровідних мереж, розроблення методик розрахунку основних показників надійності споруд водопровідного комплексу та реновації існуючих мереж [4 – 8].

Викладення основного матеріалу досліджень. Загальна протяжність водопровідної мережі м. Кременчук складає близько 424км, з яких чавунних труб (55%), сталевих – (41%), незначний відсоток – азбестоцементні та пластмасові труби (4%). Були проаналізовані статистичні дані пошкоджень металевих труб діаметром 50...300мм протягом 7 років і

встановлено, що основними видами пошкоджень є: для чавунних труб – вихід цементу з розтрубів – 68%, поперечні переломи – 19%, корозія – 9%, пошкодження землерийною технікою – 4%; для сталевих труб – наскрізні свищі – 71%, порушення зварних з'єднань – 18%, корозія – 7%, пошкодження землерийною технікою – 4% та інші.

В якості окремого елемента водопровідної мережі прийнято 1 км трубопроводу. З точки зору надійності, даний елемент є простим та відновлюваним, а в процесі роботи він може знаходитися лише в двох станах: працездатності та відмови. Під відмовою елемента прийнято аварію на водопровідній мережі, при якій елемент слід відключити для виконання ремонту або заміни. Основним показником безвідмовності водопровідних труб прийнято напрацювання на відмову T 1км трубопроводу або обернену йому величину – питомий параметр потоку відмов ω_0 1км трубопроводу за рік (годину). Для розрахунку середнього значення питомого параметра потоку відмов ω_0 використана формула:

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

де n – кількість відмов ділянок водопровідної мережі; t – термін спостереження (роки або години); $\sum L$ – протяжність водопровідної мережі відповідного діаметра, км.

При виконанні кількісного аналізу надійності металевих водопровідних труб

була висунута гіпотеза, що питомий параметр потоку відмов залежить від діаметра труби та сезону року. Відповідним чином

згруповані статистичні дані відмов водопровідних металевих труб (табл. 1).

Таблиця 1 – Статистичні дані щодо відмов металевих труб

Труби ділянок мережі	Діаметр D ,мм	Загальна довжина L ,км	Кількість відмов				Загальна
			за сезонами року				
			Весна	Літо	Осінь	Зима	
Чавунні (сірий чавун)	50	0,400	3	2	9	4	15
	100	14,490	73	117	133	75	398
	150	12,110	40	55	79	60	234
	200	9,920	32	46	48	48	174
	250	11,095	26	20	27	23	96
	300	12,760	20	33	31	14	98
	Всього	60,775	194	273	327	226	1015
Сталеві	50	1,0500	6	10	15	9	40
	100	9,979	37	49	48	43	177
	150	4,3900	17	13	14	20	64
	200	1,1410	2	4	3	5	14
	250	5,5000	5	19	18	15	57
	300	6,6800	8	15	18	22	63
	Всього	28,74	75	110	116	114	415

Перевірку даної гіпотези виконано за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу [9]. В якості першого фактору прийнято діаметр D , другого – сезон року C . Фактор D має 6 кількісних рівнів ($i=1, \dots, k=6$), фактор C – 4 кількісних рівня ($j=1, \dots, n=4$).

Математичною моделлю спостережень прийнято вираз:

$$\omega_{ij} = M(\omega) + B_{D_i} + T_{C_j} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

де $M(\omega)$ – математичне очікування параметра потоку відмов; B_{D_i} – ефект, обумовлений впливом i -го діаметра D ; T_{C_j} – ефект, обумовлений впливом j -го сезону року C ; ε_{ij} – ефект, обумовлений взаємодією двох факторів (похибка спостережень).

Відповідно до математичної моделі загальна дисперсія (сума квадратів всіх спостережень Q поділена на суми, які відповідають ефектам впливу величини діаметра Q_D , сезону року Q_C , а також похибки спостереження Q_ε :

$$Q = Q_D + Q_C + Q_\varepsilon, \quad (3)$$

де Q – має $(nk-1)=4*6-1=23$ степенів вільності; Q_D – має $(k-1)=6-1=5$ степенів вільності; Q_C – має $(n-1)=4-1=3$ степеня вільності; Q_ε – має $(k-1)*(n-1)=(6-1)*(4-1)=15$ степенів вільності.

Для зручного виконання двохфакторного дисперсійного аналізу дані статистичних спостережень приведені до кількості відмов на 1 км труби (табл. 2).

Для виконання двохфакторного дисперсійного аналізу за умовами математичної моделі (2) використаємо наступний алгоритм:

1. Розраховуємо сума квадратів всіх спостережень за рядками, які відповідають ефектам впливу величини діаметра Q_D

$$Q_D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij})^2}{24} \quad (4)$$

2. Розраховуємо суму квадратів всіх спостережень за стовпчиками, які відповідають ефектам впливу сезону року Q_C

$$Q_C = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^4 \omega_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij})^2}{24} \quad (5)$$

Таблиця 2 – Значення питомого параметра потоку відмов ω_0 металевих труб

Труби ділянок мережі	Діаметр $D, \text{мм}$	Середнє значення питомого параметра потоку відмов ω_0 , 1/(рік·км)					
		за сезонами року				$t_i = \sum_{j=1}^4 \omega_{ij}$	$\frac{1}{k} \sum_{i=1}^4 \omega_{ij}^2$
		Весна	Літо	Осінь	Зима		
Чавунні (сірий чавун)	50	4,29	2,86	8,57	5,71	21,43	114,80
	100	2,88	4,61	5,24	2,96	15,70	61,59
	150	1,89	2,60	3,73	2,83	11,04	30,48
	200	1,84	2,65	2,76	2,76	10,02	25,12
	250	1,34	1,03	1,39	1,18	4,94	6,11
	300	0,90	1,48	1,39	0,63	4,39	4,82
	$t_j = \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}$	13,13	15,22	23,09	16,08	67,52	242,91
	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}^2$	28,73	38,63	88,84	43,09	199,30	$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij}^2 = 267,9$
Сталеві	50	3,27	5,44	8,16	4,90	21,77	118,47
	100	2,12	2,81	2,75	2,46	10,14	25,68
	150	2,21	1,69	1,82	2,60	8,33	17,35
	200	1,00	2,00	1,50	2,50	7,01	12,29
	250	0,52	1,97	1,87	1,56	5,92	8,77
	300	0,68	1,28	1,54	1,88	5,39	7,26
	$t_j = \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}$	9,80	15,20	17,65	15,91	58,56	189,82
	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}^2$	16,014	38,510	51,900	42,178	148,60	$\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij}^2 = 206,4$

3. Обчислюємо загальну суму квадратів

$$Q_\varepsilon = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij}^2 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^6 \omega_{ij}^2 - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^4 \omega_{ij}^2 + \frac{(\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 \omega_{ij})^2}{24} \quad (6)$$

4. Розраховуємо середній квадрат за рядками Q_D^2

$$Q_D^2 = \frac{Q_D}{(k-1)} \quad (7)$$

5. Розраховуємо середній квадрат за стовпчиками Q_C^2

$$Q_C^2 = \frac{Q_C}{(n-1)} \quad (8)$$

6. Розраховуємо загальну дисперсію

$$Q_\varepsilon^2 = \frac{Q_\varepsilon}{(k-1)(n-1)} \quad (9)$$

7. Виконуємо перевірку нульових гіпотез впливу відповідних факторів (діаметра Q_D та сезону року Q_C) за критерієм Фішера. Для отримання достовірного рішення про висунуті гіпотези виконуємо порівняння отриманих результатів з критичним числом Фішера F_α при рівні значимості $\alpha = 0,05$:

- якщо $F_D^* = \frac{Q_D^2}{Q_\varepsilon^2} \geq F_{\alpha=0,05}$ – гіпотеза підтверджується;
- якщо $F_D^* = \frac{Q_D^2}{Q_\varepsilon^2} \leq F_{\alpha=0,05}$ – гіпотеза відкидається.

Результати розрахунку представлено у вигляді таблиці дисперсійного аналізу (табл. 3).

Згідно з виконаним двофакторним дисперсійним аналізом встановлено:

- для чавунних труб (сірий чавун) $F_D^* = 10,13 \geq F_{\alpha=0,05} = 2,90$ – гіпотеза підтверджується;

$F_C^* = 2,97 \leq F_{\alpha=0,05} = 3,28$ – гіпотеза відкидається.

- для сталевих труб

$F_D^* = 12,96 \geq F_{\alpha=0,05} = 2,90$ – гіпотеза підтверджується;

$F_C^* = 2,63 \leq F_{\alpha=0,05} = 3,28$ – гіпотеза відкидається.

Таблиця 3 – Двохфакторний дисперсійний аналіз

Труби ділянок мережі	Джерело варіації	Кількість степенів вільності	Сума квадратів	Середній квадрат	Значення числа F^*	Критичне число Фішера $F_{\alpha=0,05}$
Чавунні (сірий чавун)	діаметр	5	52,94	10,59	10,13	2,90
	пора року	3	9,33	3,11	2,97	3,28
	похибка	15	15,67	1,04		
Сталеві	діаметр	5	46,95	9,39	12,96	2,90
	пора року	3	5,73	1,91	2,63	3,28
	похибка	15	10,86	0,72		

Висновок. Виконаний двофакторний дисперсійний аналіз показав, що питомий параметр потоку відмов металевих водопровідних труб залежить від діаметра трубопроводу (із збільшенням діаметра параметр потоку відмов зменшується), а сезон року не впливає на його значення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гіроль М.М. Ефективність систем водопостачання України як фактор національної безпеки держави / М.М. Гіроль, Г.М. Семчук// Надзвичайна ситуація.– 2001.– №5. – С. 15-20.
2. Гіроль М.М. Стан водопровідних мереж України та шляхи запобігання погіршенню якості питної води / М.М. Гіроль, А.М. Гіроль, В. Є. Хомко, Д. Ковальський// [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://polypipe.info/news/238-stanvodoprovidnuhmerezhuukraini>.
3. Надійність техніки. Терміни та визначення.: ДСТУ 2860-94 – К.: Держстандарт України, 1995.– 45 с.
4. Рак Я. Як запобігти поломці у системі водопостачання / Я. Рак, Б. Тхужевська-

Цесьляк, А. Студзінський // Ринок інсталяцій. – 2010. – №9 (157). – С. 12-14.

5. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання: дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.23.04 – водопостачання, каналізація / В.Г. Новохатній. – К.: КНУБА, 2012.– 351 с.
6. Найманов А.Я. Показатели качества функционирования систем водоснабжения и канализации. / А.Я. Найманов, Ю.В. Гостева // Вісник ДонНАБА. – Вип. 6 (86). – 2010. – С. 53 – 57.
7. Храменков С.В. Стратегия модернизации водопроводной сети/ С.В. Храменков.– М.: ОАО Из-во «Стройиздат», 2005. – 400 с.
8. Примин О.Г. Оценка и прогноз технического состояния трубопроводов / О.Г. Примин, В.А. Орлов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 1. – ч.1. – С. 25-28.
9. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е.Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003.– 523с.