

УДК 628.14

В.Г.НОВОХАТНІЙ, канд. техн. наук

Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка

### НАДІЙНІСТЬ ВОДОГОНІВ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕМИЧОК

Показана можливість інженерного розрахунку надійності водогону у дві нитки з двома перемичками. Отримано на прикладі конкретні значення базових показників надійності.

Показана возможность инженерного расчета надежности водовода из двух ниток с двумя перемичками. Получены конкретные значения базовых показателей надежности.

Possibility of engineering calculation of reliability is rotined pipeline from two threads with two bridges. The concrete values of base reliability indexes are got on an example.

*Ключові слова:* водогони, надійність.

Водогін у системі водопостачання – це трубопровід, що складається з однієї або більше паралельно прокладених труб (ниток), які транспортують воду споживачам без розбирання її на своєму шляху [1]. Зазвичай, водогони складаються з лінійної частини (труби) і запірної та запобіжної арматури (засувки, клапани, вантузи та ін.). Якщо водогін прокладено у дві та більше паралельних ниток, то між ними влаштовують перемички, які обладнують засувками. Розроблено [2] методи розрахунку надійності водогону в одну нитку і водогону у дві та більше ниток при наявності перемичок, що близькі до абсолютно надійних. В іншому разі потрібно враховувати також надійність арматури перемичок.

При розрахунках надійності потрібно орієнтуватись на основні показники надійності. Для відповідних споживачів основні показники надійності  $P(t)$ ,  $K_T$ ,  $K_{OT}$  обчислюються на основі базових показників  $T_{вод}$  і  $T_{B_{вод}}$ . До першої групи споживачів води віднесено [3] особливо небезпечні виробництва, перерва в подаванні води яким може викликати загибель людей або екологічну катастрофу. До другої групи віднесено споживачів води з комунальних водопроводів.

Для водогонів, що обслуговують споживачів першої групи, основний показник надійності – ймовірність безвідмовної роботи водогону за час  $t$

$$P(t) = \exp\left[-\frac{t}{T_{вод}}\right] = \exp[-\omega_{вод}t],$$

де  $T_{вод}$  – середнє напрацювання на відмову;  $\omega_{вод}$  – параметр потоку відмов.

Для водогонів, що обслуговують споживачів другої групи, основний показник надійності – коефіцієнт готовності

$$K_G = T_{вод} / (T_{вод} + T_{B_{вод}}),$$

де  $T_{B_{вод}}$  – середній час відновлення працездатності водогону.

Метою даної роботи є викладення інженерного методу розрахунку надійності водогонів з урахуванням надійності арматури на перемичках.

Вимогу СНиП 2.04.02-84 [4] про те, що подачу води  $Q$  від НС-2 дозволяється зменшити тільки на 30%, можна виконати двома шляхами:

- прийняти водогін у дві нитки без перемичок на подачу  $0,7Q$  кожної;
- прийняти водогін у дві нитки з перемичками на подачу  $0,5Q$  кожної нитки; при цьому відомо, що при роботі відцентрових насосів на НС-2, на водогоні достатньо двох перемичок незалежно від довжини водогону [5].

Аналіз останніх публікацій [6-9] свідчить, що питання надійності споруд систем водопостачання постійно знаходяться в центрі уваги фахівців. Розглянемо (рис.1) схему водогону у дві нитки з двома перемичками, які обладнані засувками. Критерій відмови – припинення подавання води або подавання води однією ниткою або подавання води при відключених двох ділянках. Засувки на водогоні при такому критерії відмови виявляються поєднаними послідовно тому, що відмова будь-якої з них призводить до відключення не менше двох ділянок водогону, а для працездатного стану дозволяється відключення тільки однієї з ділянок водогону. Під відмовою засувки вважаємо такий її стан, коли потрібна її термінова заміна (наприклад, руйнація корпусу).

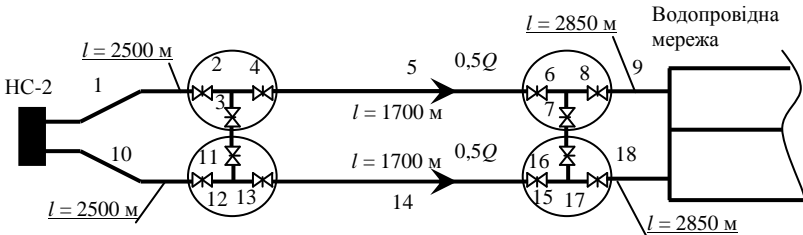


Рис.1 – Схема водогону у дві нитки з перемичками

Застосуємо метод “вкладів” [2] для розрахунків безвідмовності водогону. Вклад  $i$ -го елемента  $v_i$  в параметр потоку відмов водогону  $\omega_{\text{вод}}$  становить  $v_i = \omega_i$  (де  $\omega_i$  – параметр потоку відмов  $i$ -го елемента), якщо відмова водогону відбулась у разі відмови  $i$ -го елемента. Якщо відмова водогону відбулась у разі, коли відмова  $i$ -го елемента співпала з ремонтом  $j$ -го елемента, то вклад  $i$ -го елемента складає  $v_i = \omega_i K_{\Pi_j}$  (де  $K_{\Pi_j}$  – коефіцієнт простою  $j$ -го елемента). Параметр потоку відмов обчислюється як сума вкладів усіх елементів  $\omega_{\text{вод}} = \sum_{i=1}^n v_i$ , а середнє напрацювання на відмову  $T_{\text{вод}} = 1/\omega_{\text{вод}}$ .

Вклади елементів у параметр потоку відмов водогону.

$$\begin{aligned} u_1 &= \omega_1 (K_{\Pi_5} + K_{\Pi_6} + K_{\Pi_{10}} + K_{\Pi_{14}} + K_{\Pi_{18}}); \quad u_5 = \omega_5 (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_6} + K_{\Pi_{10}} + K_{\Pi_{14}} + \\ &+ K_{\Pi_{18}}); \quad u_9 = \omega_9 (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_{10}} + K_{\Pi_{14}} + K_{\Pi_{18}}); \quad u_2 = \omega_2; \quad u_3 = \omega_3; \quad u_4 = \omega_4; \\ u_6 &= \omega_6; \quad u_7 = \omega_7; \quad u_8 = \omega_8; \quad u_{10} = \omega_{10} (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_6} + K_{\Pi_{14}} + K_{\Pi_{18}}); \\ u_{14} &= \omega_{14} (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_6} + K_{\Pi_{10}} + K_{\Pi_{18}}); \quad u_{18} = \omega_{18} (K_{\Pi_1} + K_{\Pi_5} + K_{\Pi_6} + K_{\Pi_{10}} + \\ &+ K_{\Pi_{14}}); \quad u_{11} = \omega_{11}; \quad u_{12} = \omega_{12}; \quad u_{13} = \omega_{13}; \quad u_{15} = \omega_{15}; \quad u_{16} = \omega_{16}; \quad u_{17} = \omega_{17}. \end{aligned}$$

Прийmemo для сталевих труб  $\omega_0 = 1,4$  1/рік·км [2]; для засувок  $\omega = 0,15 \cdot 10^{-4}$  1/год [6]; середній час ремонту трубопроводу  $T_B = 8$  год [4].

Параметри потоку відмов ділянок:

$$\begin{aligned} \omega_1 = \omega_{10} = \omega_0 l &= 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ 1/рік} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}; \quad \omega_5 = \omega_{14} = \omega_0 l = \\ &= 1,4 \cdot 1,7 = 2,38 \text{ 1/рік} = 2,72 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}; \quad \omega_9 = \omega_{18} = \omega_0 l = 1,4 \cdot 2,5 = 3,5 \text{ 1/рік} = \\ &= 4,55 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год}. \end{aligned}$$

Коефіцієнти простою ділянок:

$$\begin{aligned} K_{\Pi_1} = K_{\Pi_{10}} = \omega \times T_B &= 4 \times 10^{-4} \times 8 = 3,2 \times 10^{-3}; \quad K_{\Pi_5} = K_{\Pi_{14}} = \omega \times T_B = 2,72 \times 10^{-4} \times \\ &\times 8 = 2,18 \times 10^{-3}; \quad K_{\Pi_9} = K_{\Pi_{18}} = \omega \times T_B = 4,55 \times 10^{-4} \times 8 = 3,64 \times 10^{-3}. \end{aligned}$$

Вклади елементів у параметр потоку відмов водогону:

$$\begin{aligned} u_1 = u_{10} &= 4 \times 10^{-4} (2,18 + 3,64 + 3,2 + 2,18 + 3,64) 10^{-3} = 5,94 \times 10^{-6} \text{ 1/год}; \\ u_5 = u_{14} &= 2,72 \times 10^{-4} (3,2 + 3,64 + 3,2 + 2,18 + 3,64) 10^{-3} = 4,31 \times 10^{-6} \text{ 1/год}; \\ u_9 = u_{18} &= 4,55 \times 10^{-4} (3,2 + 2,18 + 3,64 + 3,2 + 2,18) 10^{-3} = 6,55 \times 10^{-6} \text{ 1/год}; \\ u_2 = \dots = u_{17} &= \omega_2 \dots = \omega_{17} = 0,15 \times 10^{-4} \text{ 1/год}. \end{aligned}$$

Параметр потоку відмов водогону

$$\omega_{вод} = \sum_{i=1}^{18} v_i = (2 \times 5,94 + 2 \times 4,31 + 2 \times 6,55) \times 10^{-6} + 12 \times 0,15 \times 10^{-4} = 2,136 \times 10^{-4} \text{ 1/год.}$$

Напрацювання на відмову водогону – базовий показник безвідмовності

$$T_{вод} = \frac{1}{\omega_{вод}} = \frac{1}{2,136 \times 10^{-4}} = 4682 \text{ год} \cong 0,53 \text{ року.}$$

Порівняємо отриманий результат з водогоном у дві нитки без перемичок, коли кожна нитка розрахована на подачу  $0,7Q$ . Тоді в разі пошкодження однієї з ниток друга нитка забезпечує розрахункову подачу води і це не приводить до відмови водогону. Відмова водогону відбувається у разі відмови однієї з ниток у той час, коли інша нитка знаходиться в ремонті. Критерій відмови водогону – припинення подавання води споживачеві (рис.2).

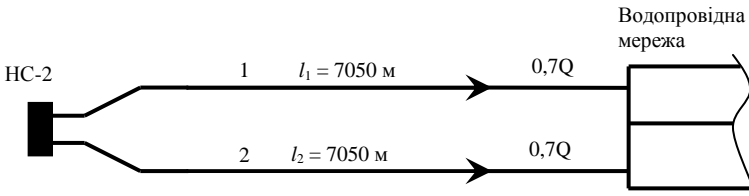


Рис.2 – Схема водогону у дві нитки без перемичок

Вклад першої нитки у параметр потоку відмов водогону  $v_1 = \omega_1 K_{П_2}$ , вклад другої нитки  $v_2 = \omega_2 K_{П_1}$ . Параметр потоку відмов першої нитки  $\omega_1 = \omega_0 l_1$ , параметр потоку відмов другої нитки  $\omega_2 = \omega_0 l_2$ . Коефіцієнт простою першої нитки  $K_{П_1} = \omega_1 T_B$ , другої нитки  $K_{П_2} = \omega_2 T_B$ .

$$\omega_1 = \omega_0 l_1 = 1,4(2,5 + 1,7 + 2,85) = 9,87 \text{ 1/рік} = 1,127 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год;}$$

$$K_{П_1} = \omega_1 T_B = 1,127 \times 10^{-3} \times 8 = 9,016 \times 10^{-3};$$

$$\omega_2 = \omega_1 = \omega_0 l_1 = 1,127 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год; } K_{П_2} = K_{П_1} = 9,016 \times 10^{-3};$$

$$v_1 = v_2 = \omega_1 K_{П_2} = 1,127 \times 10^{-3} \times 9,016 \times 10^{-3} = 1,016 \times 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Параметр потоку відмов водогону

$$\omega_{вод} = \sum_{i=1}^2 v_i = v_1 + v_2 = 2,032 \times 10^{-5} \text{ 1/год.}$$

Напрацювання на відмову водогону – базовий показник безвідмовності

$$T_{вод} = \frac{1}{\omega_{вод}} = \frac{1}{2,032 \times 10^{-5}} = 49213 \text{ год} \cong 5,6 \text{ року} .$$

Таким чином, при розрахунках надійності водогонів визначальну роль відіграє прийнятий критерій відмови водогону.

При прийнятому критерії відмови для водогону у дві нитки з перемичками, коли при відмові засувок потрібно відключити дві ділянки, що вважається відмовою водогону, необхідне введення засувок на перемичках виявляється послідовним у сенсі надійності. Це призводить до значного зниження надійності такого водогону. Суттєво надійнішим виявляється водогін з двох ниток без перемичок, але з діаметрами, які розраховані на подачу  $0,7Q$  (в розглянутому прикладі безвідмовність такого водогону вища приблизно в 10 разів).

Значний вплив на кінцеві результати з надійності мають довжина водогону та показники надійності (безвідмовності й ремонтпридатності) труб та засувок.

- 1.Абрамов Н.Н. Передача воды на дальние расстояния. – М.: Госстройиздат, 1963. – 212 с.
- 2.Хоружий П.Д., Новохатній В.Г. Розрахунок надійності водогонів систем водопостачання // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. “Сучасні проблеми охорони довкілля та раціонального використання ресурсів у водному господарстві”. – К.: Знання, 2010. – С.80-89.
- 3.Новохатній В.Г. Надійність систем водопостачання. Одиниці вимірювання // Галузеве машинобудування, будівництво: Зб. наук. пр. Вип.18. – Полтава: ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2006. – С.184-189.
- 4.СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.
- 5.Новохатній В.Г. Водопостачання. Системи і мережі. – Полтава: ПолтНТУ, 2004. – 91 с.
- 6.Ильин Ю.А. Расчет надежности подачи воды. – М.: Стройиздат, 1987. – 320 с.
- 7.Рак Я., Студзінські А. Ризик аварії системи водопостачання // Ринок інсталяцій. – 2006. – №9(114). – С.13-16.
- 8.Найманов А.Я., Гостева Ю.В. О методах оценки надежности насосных станций // Вода і водоочисні технології. – 2009. – №3. – С.26-28.
- 9.Гальперин Е.М. Совершенствование расчетной модели функционирования кольцевой водопроводной сети (в порядке обсуждения) // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №2. – С.51-55.

Отримано 21.06.2010