

УДК 626:532.542:532.592.2

Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент; Герасімов Є. Г., к.т.н., доцент,
Іванов С. Ю., асистент (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СТАБІЛІЗАТОРІВ ТИСКУ АНАЛІТИЧНИМ МЕТОДОМ

Розглянуто аналітичний метод визначення основних параметрів стабілізатора тиску, який також дозволяє побудувати графіки перехідного процесу в установці и проаналізувати їх характер.

Ключові слова: зношеність трубопроводів, гідравлічний удар, перехідний процес, стабілізатор тиску.

Більше половини трубопроводів у світі зношено, явище гідравлічного удару скорочує строк їх життя і призводить до аварій. Допомагає вирішити проблему хвильова стабілізація тиску за допомогою спеціальних пристроїв – стабілізаторів тиску [1-3].

Визначення основних параметрів стабілізатора тиску виконуємо аналітичним методом, який викладено в [4, С. 157–184]. Вихідні дані приймаємо для умов експериментальної установки [4, С. 185–193].

Довжина трубопроводу..... $L=100$ м;
Діаметр трубопроводу..... $d_{mp}=0,1$ м;
Площа поперечного перерізу трубопроводу..... $f=0,00785$ м²;
Гідростатичний напір..... $H_o=H_{cm}=11$ м;
Гідростатичний напір в точці приєднання стабілізатора тиску до трубопроводу..... $H_n=9,6$ м;
і відповідний тиск $p_n=\rho g H_n$ $p_n=94,18$ кПа;
Максимальний напір..... $H_M=23$ м;
і відповідний максимальний тиск..... $p_M=225,6$ кПа;
Напір в кінці коливального процесу..... $H_{ок}=11$ м;
і відповідний тиск..... $p_{ок}=107,9$ кПа;
Абсолютний статичний напір..... $H_{oa}=21$ м;
і відповідний тиск..... $p_{oa}=206$ кПа;
Абсолютний тиск в точці приєднання стабілізатора тиску до трубопроводу..... $H_{na}=19,6$ м;
і відповідний тиск..... $p_{na}=192,3$ кПа;
Абсолютний максимальний напір..... $H_M=23$ м;
і відповідний тиск..... $p_{M.a}=323,7$ кПа;
Абсолютний напір в кінці коливального процесу $H_{ока}=21$ м;

і відповідний тиск..... $p_{ок а}=206$ кПа;

Густина води..... $\rho=1000$ кг/м³;

Показник політропи..... $\chi=1,3$;

Фактична швидкість хвилі гідравлічного удару..... $a=730$ м/с;

Початкова витрата води..... $Q_n=0,0068$ м³/с;

Початкова швидкість руху води в трубопроводі... $v_o= 0,866$ м/с.

Знаходимо початкову швидкість надходження води у стабілізатор тиску за формулою [4, ф-ла (4.33), С.163]

$$v_{10} = 0,785 v_{o0} = 0,785[v_o - (p_{м.а} - p_{н.а})/\rho a]. \quad (1)$$

$$v_{10} = 0,785[0,866 - (323,7 \cdot 10^3 - 192,3 \cdot 10^3)/(1000 \cdot 730)] = 0,5385 \text{ м/с.}$$

Приймаємо $\zeta_{ly}=1661$, тоді $\zeta_l = \zeta_{ly}(d_3/d_{mp})^4 = 1661 \cdot (0,05/0,1)^4 = 103,8$.

Знаходимо відносне підвищення тиску

$$N = p_{м.а}/p_{н.а} = 323,7/192,3 = 1,68.$$

Об'єм повітря в демпфуючих камерах стабілізатора тиску визначаємо за формулою [4, ф-ла (4.25), С. 161].

$$W_n = \frac{1}{2p_{н.а}} \frac{\rho L f v_o^2}{\left(\frac{1}{\chi-1}\right) \left(N^{\frac{\chi-1}{\chi}} - 1\right) + \left(1 - N^{\frac{1}{\chi}}\right) \left[\frac{1,1}{3p_{н.а}} \rho \zeta_l v_{10}^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{v_{10}}{v_o}\right)^2 \left(\frac{p_{о.а}}{p_{н.а}} - 1\right) - \frac{p_{о.а}}{p_{н.а}}\right]} \quad (2)$$

$$W_n = \frac{1000 \cdot 100 \cdot 0,00785 \cdot 0,866^2 / (2 \cdot 192,3 \cdot 10^3)}{\left(\frac{1}{1,3-1}\right) \left(1,68^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1\right) + \left(1 - 1,68^{\frac{1}{1,3}}\right) \left[\frac{1,1 \cdot 10^3 \cdot 1661 \cdot 0,5385^2}{3 \cdot 192,3 \cdot 10^3} + \frac{2}{3} \left(\frac{0,5385}{0,866}\right)^2 \left(\frac{206}{192,3} - 1\right) - \frac{206}{192,3}\right]} =$$

$$= 0,004 \text{ м}^3$$

Перевіряємо значення об'єму повітря за номограмою [4, рис. 4.3, С. 166], рис. 1. При $(v_{10}/v_o)^2 = (0,5385/0,866)^2 = 0,387$; $p_{о.а}/p_{н.а} = 206/192,3 = 1,071$; $N = 1,68$ знаходимо $\sigma = 0,25$; тоді з формули [4, ф-ла (4.46), С. 165]

$$\sigma = \frac{L f \rho v_o^2}{2 p_{н.а} W_n}. \quad (3)$$

Знаходимо

$$W_n = \frac{L f \rho v_o^2}{2 p_{н.а} \sigma}. \quad (4)$$

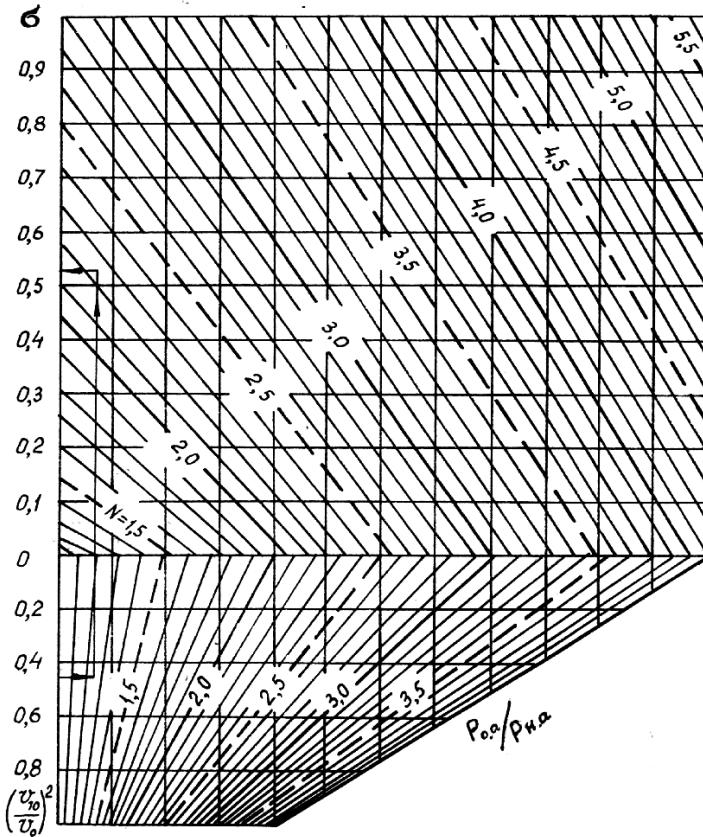


Рис. 1. Номограма для визначення об'єму повітря у демпфуючих камерах стабілізатора тиску при $\chi = 1,3$

$$W_n = \frac{100 \cdot 0,00785 \cdot 1000 \cdot 0,866^2}{2 \cdot 206 \cdot 10^3 \cdot 0,25} = 0,0057 \text{ м}^3.$$

Приймаємо з деяким запасом останнє значення об'єму повітря $W_n = 0,0057 \text{ м}^3$.

Об'єм повітря в демпфуючих камерах стабілізатора тиску в кінці перехідного процесу при тиску $p_{0,к.а} = 206 \text{ кПа}$

$$W_{0,к} = W_n \left(\frac{p_{н.а}}{p_{0,к.а}} \right)^{1/\chi} \quad (5)$$

$$W_{o,k}=0,0057(192,3/323,7)^{1/1,3}=0,0054 \text{ м}^3.$$

Об'єм повітря при максимальному тиску

$$W_m = W_n \left(\frac{p_{n,a}}{p_{m,a}} \right)^{1/\chi} \quad (6)$$

$$W_m = 0,0057(192,3/323,7)^{1/1,3} = 0,0038 \text{ м}^3.$$

Період коливань за формулою [4, ф-ла (4.15), С. 160]

$$T = \frac{2\pi(W_n - W_m)}{fv_{10}}, \quad (7)$$

$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (0,0057 - 0,0038)}{0,00785 \cdot 0,5385} = 2,82 \text{ с.}$$

Частота коливань тиску за формулою [4, ф-ла (4.16), С. 160]

$$\omega = 2\pi/T = 2 \cdot 3,14 / 2,82 = 2,22 \text{ 1/с.}$$

Поточна швидкість втікання води в стабілізатор тиску за формулою [4, ф-ла (4.11), С. 160]

$$v = v_{10} \cdot e^{-\xi \cdot t} \cos \omega t, \quad (8)$$

де коефіцієнт згасання коливань тиску за формулою [4, ф-ла (4.41) С. 164]

$$\xi = \frac{v_{10}(p_o - p_n + 0,5\rho\zeta_y v_o^2)}{2\rho L v_o^2} \quad (9)$$

$$\xi = \frac{0,5385(107,9 \cdot 10^3 - 94,18 \cdot 10^3 + 0,5 \cdot 1000 \cdot 1661 \cdot 0,866^2)}{2 \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 0,866^2} = 2,28.$$

Приймаємо кількість періодів, впродовж яких втрати напору по довжині трубопроводу відновлюються $K=10$.

Зміна абсолютного тиску повітря в демпфуючих камерах стабілізатора тиску згідно [4, ф-ла (4.42), С. 164]

$$p_{v,a} = p_{ок,a} \left[\frac{\omega_{ок}}{\omega_n - (\omega_n - \omega_m)e^{-\xi t} \sin \omega t - (\omega_n - \omega_{ок})(1 - e^{-\frac{4t}{KT}})} \right]^\chi \quad (10)$$

Зміна тиску перед стабілізатором за залежністю [4, ф-ла (4.43), С. 164]

$$p_{mp,a} = p_{v,a} + 0,55\rho\zeta_y v |v|. \quad (11)$$

Розрахунки перехідного процесу за формулами (8-11) виконані на

комп'ютері в середовищі «Excel» з кроком за часом

$$\Delta t = 0,1 \quad T = 0,1 \cdot 2,82 \approx 0,25 \text{ с.}$$

Результати розрахунків представлені на рис. 2.

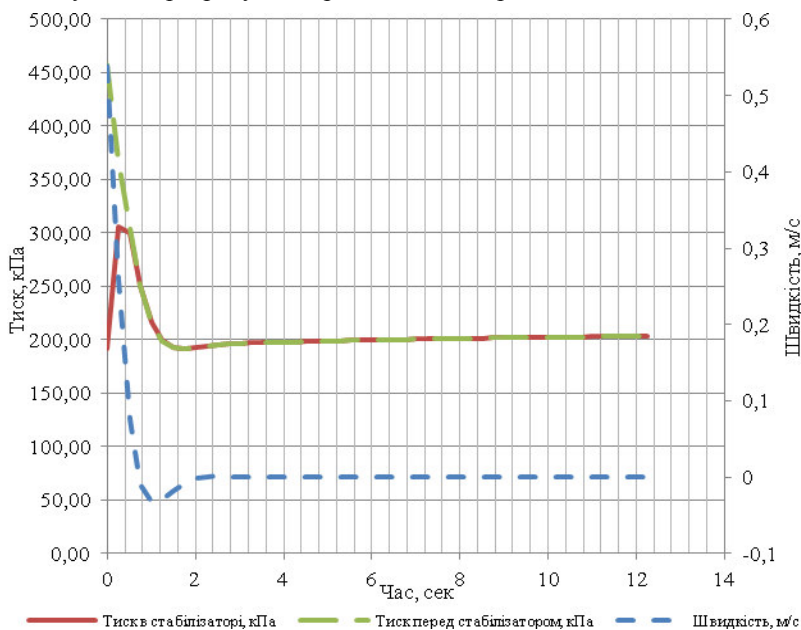


Рис. 2. Графіки перехідного процесу в трубопроводі із стабілізатором тиску

Як показують графіки перехідного процесу, максимальний тиск в демпфуючих камерах стабілізатора тиску майже в два рази менше максимального тиску в трубопроводі Перед стабілізатором; фронт хвилі гідравлічного удару стає плоским; амплітуда гідравлічного удару помітно згасає.

Таким чином, аналітичний метод розрахунку дозволяє не тільки визначити основні параметри стабілізатору тиску, але й побудувати графіки перехідного процесу в установці для проведення їх детального аналізу. В цілому наявність стабілізатора тиску зменшує динамічні навантаження на трубопровідну систему і підвищує надійність її роботи.

1. Устройство закрытых оросительных систем: Трубы, арматура, оборудование : Справочник / Дикаревский В. С., Татура А. Е., Фомин Г. Е., Якубчик П. П.; под ред. Дикаревского В. С. – М. : Агропромиздат, 1986. – 255 с. 2. Дикаревский В. С. Противоударная защита закрытых оросительных сетей / В. С. Дикаревский, В. П. Зырянов, А. Е. Татура. – М. : Колос, 1981. – 80 с. 3. Патент на корисну модель. Україна № 92422 F 16L 55/04 (2006.01) / Герасимов Г. Г., Ге-

расімов Є. Г., Іванов С. Ю., Опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15. 4. Герасимов Г. Г. Трубопроводні системи з водоповітряними резервуарами. Монографія / Герасимов Г. Г., Герасімов Є. Г. – Рівне : НУВГП, 2005. – 328 с. 5. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1970. – 559 с. 6. Герасімов Є. Г. Покращення умов експлуатації закритих зрешувальних мереж при застосуванні удосконалених стабілізаторів тиску / Герасімов Є. Г., Іванов С. Ю., Рокочинський А. М. // Збірник тез Всеукраїнської науково-практичної конференції «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П.Г. Черняги», 5–6 листопада 2014 року. – Рівне : НУВГП, 2014. – С. 137–139.

Рецензент: д.т.н., професор Кір'янов В. М. (НУВГП)

Herasimov H. H., Candidate of Engineering, Associate Professor,
Herasimov Y. H., Candidate of Engineering, Associate Professor,
Ivanov S. I., Assistant (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

DETERMINATION OF PRESSURE STABILIZER BASIC PARAMETERS BY ANALYTICAL METHOD

Considered analytical method of determining the basic parameters of the pressure stabilizer, which also allows building graphs of transition process in the system and analyze their nature.

Keywords: depreciation pipelines, water hammer, transition process, pressure stabilizer.

Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент; Герасимов Е. Г., к.т.н., доцент,
Іванов С. Ю., ассистент (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТАБИЛИЗАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Рассмотрен аналитический метод определения основных параметров стабилизатора давления, который позволяет построить графики переходного процесса в установке и проанализировать их характер.

Ключевые слова: изношенность трубопроводов, гидравлический удар, переходный процесс, стабилизатор давления.
