

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..... $f=0,00785$  м<sup>2</sup>;  
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  $H_{ок a}=21$  м;

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

Густина води..... $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup>;

Показник політропи..... $\chi=1,3$ ;

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

Початкова витрата води..... $Q_n=0,0068$ м<sup>3</sup>/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].

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

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

$$= 0,004 \text{ м}^3$$

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

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

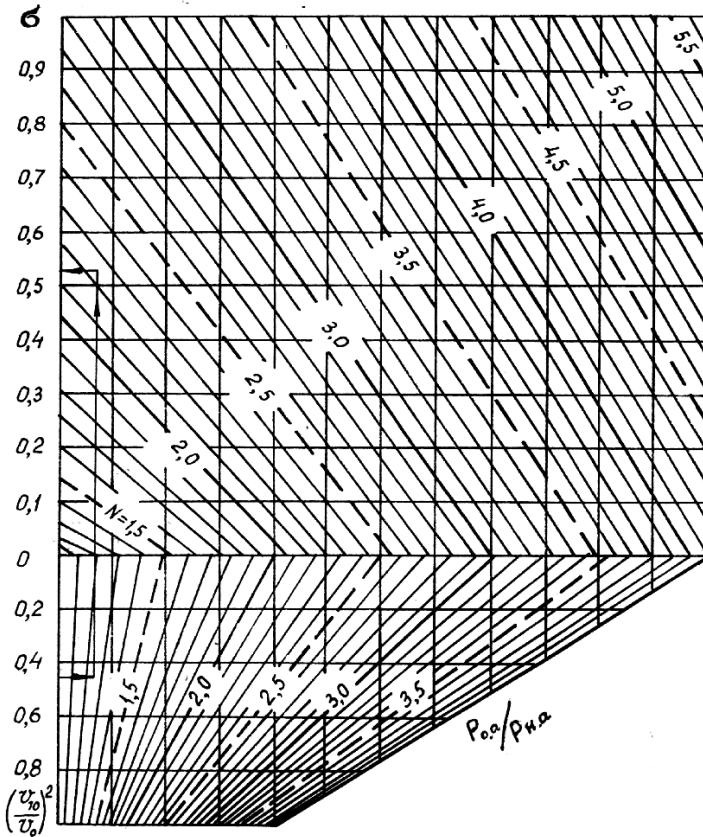


Рис. 1. Номограма для визначення об'єму повітря у демпфуючих камерах стабілізатора тиску при  $\chi = 1,3$

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

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  $p_{о.к.а} = 206 \text{ кПа}$

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

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

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]

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

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

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

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.

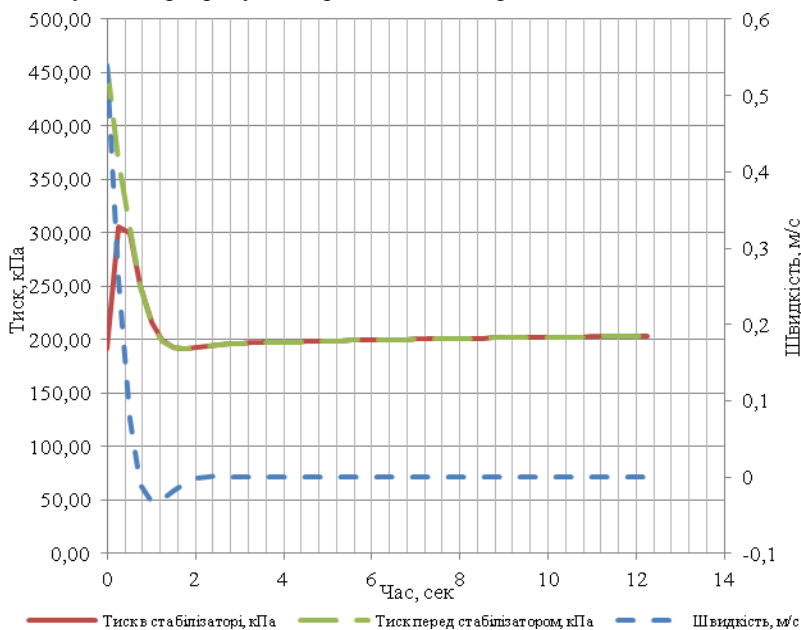


Рис. 2. Графіки перехідного процесу в трубопроводі із стабілізатором тиску

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.

---