

УДК 532.621.6-192

**Герасімов Є. Г., к.т.н., доцент, Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ СТАБІЛІЗАТОРІВ ТИСКУ В ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМАХ**

**Запропонована надійнісно-функціональна схема стабілізатора тиску з демпферними камерами. Проведені розрахунки надійності стабілізаторів тиску з чотирма демпферними камерами протягом гарантованого напрацювання 100000 циклів при гарантованому терміні роботи 5 років.**

***Ключові слова:* надійність, стабілізатор тиску, демпферна камера.**

**Вступ.** Експлуатаційна надійність меліоративних трубопровідних систем залежить від надійності технологічного обладнання, основними показниками якого є напрацювання на відмову, імовірність безвідмовної роботи і параметр потоку відмов [1]. Відмови, які зустрічаються при експлуатації трубопровідних систем, можливо умовно поділити на чотири види:

- відмови в результаті помилок при проектуванні;
- відмови, що пов'язані з низькою якістю виготовлення і будівництва;
- відмови з вини служби експлуатації;
- відмови, які обумовлені зношуванням і виходом з ладу елементів конструкцій.

Відмови з вини проектувальників складають 1...3% загальної кількості відмов і є найбільш важкими при їх усуненні, тому що потребують великих додаткових витрат.

Відмови в результаті низької якості виготовлення і будівництва становлять 2...5%. Ці відмови виникають на початку процесу експлуатації систем і після усунення на подальшу їх роботу не впливають.

Відмови з вини служби експлуатації становлять 10...25%. Ці відмови виникають в результаті несвоєчасного і некваліфікованого проведення технічного обслуговування, а також при засміченні водопропускних частин споруд.

Основна кількість відмов (більше 70%) відноситься до четвертого виду – відмови зношування і мають випадковий характер з визначеним законом розподілу. Практика експлуатації споруд доводить, що характеристики міцності елементів споруд і параметри напружень, які вони сприймають, мають нормальний розподіл.

Таким чином, надійність трубопроводних систем – проблема комплексна і її вирішення можливе тільки в результаті багатопланового вивчення надійності усіх основних елементів системи на етапах проектування, будівництва і експлуатації [2].

Найважливішим етапом створення надійних та ефективних систем є етап проектування [2; 3]. Тут вибирають методи розрахунків, матеріали, технологію будівництва, методи експлуатації, що забезпечують ефективність функціонування системи протягом терміну її використання.

### **Розробка пристроїв для стабілізації тиску в трубопроводних системах**

Для пом'якшення проходження гідравлічних ударів в трубопроводах закритих зрошувальних систем були розроблені три конструкції удосконалених стабілізаторів тиску [4-9]. Одна з конструкцій наведена на рис. 1.

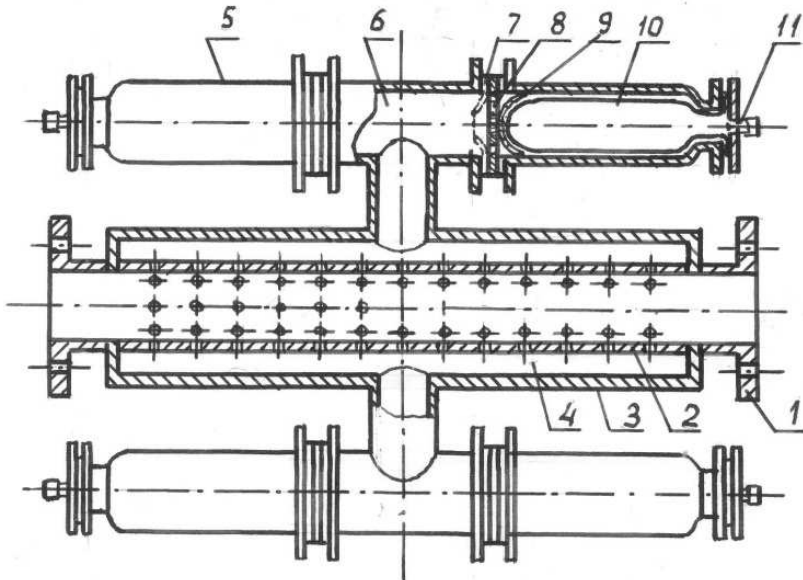


Рис. 1. Стабілізатор тиску з демпферними камерами:  
1 – фланець, 2 – перфорована ділянка трубопроводу, 3 – корпус,  
4 – предкамера, 5 – демпферна камера, 6 – середня камера,  
7 – гнучка діафрагма, 8 – жорстка діафрагма, 9 – перфорована перегородка, 10 – еластичний роздільний елемент, 11 – ніпель

Стабілізатори тиску призначені для зниження динамічного навантаження, яке діє на трубопроводи та інше гідравлічне обладнання в умовах експлуатації, і є достатньою мірою, яка забезпечує гашення пульсацій тиску, вібродію перекачаного робочого середовища, і гідроударів, які виникають у наслідок помилок обслуговуючого персоналу, вимикання електропостачання, при закритті клапанів і

засувок, аварійному відключенні насосів і інших змінах в режимі експлуатації [10-11].

### **Визначення параметрів надійності трубопровідної апаратури**

В теперішній час накопичені дані про співвідношення розподілення міцності діючого напруження на елементі різних конструкцій трубопровідної арматури. Так встановлено, що межа міцності на розрив, межа текучості і межа утомлюваної міцності різних матеріалів мають нормальний розподіл. Можливо припустити, що близьке до цього розподілу мають і діючи на пристрої в різних режимах роботи навантаження, які обумовлені дією води, тому що вони характеризуються середнім значенням і середньоквадратичним відхиленням.

Разом з тим, в процесі експлуатації трубопровідних систем вирішальне значення набуває технічне обслуговування і ремонт, регулярне проведення яких дозволяє наблизити закон розподілення параметрів потоку відмов системи за часом до експоненціального.

В результаті технічного обслуговування конструкції практично вертаються до початкового рівня безвідмовності, і чим частіше воно проводиться, тим ближче  $\lambda = \text{const}$  [1].

Як відомо, надійність будь-якої системи або об'єкта може бути відображена значеннями показників безвідмовності, довговічності, ремонтоздатності, збережуваності і комплексними показниками надійності.

Аналіз показує, що надійність споруд і пристроїв не визначається показами довговічності завдяки тому, що після проведення чергового ремонту відновлюються або замінюються новими елементами, які вийшли з ладу. Це припускає утворення технічно не старіючої системи.

Використання комплексних показників надійності також мало ефективно, тому основними показниками, які характеризують надійність трубопровідної арматури є показники безвідмовності.

На стадії проектування необхідно зробити глибокий поелементний аналіз конструкції і побудувати надійнісно-функціональну схему.

Як відмічалось в аналізі конструкцій пристроїв трубопровідної системи, зміна їх експлуатаційних характеристик за часом при умові якісного і регулярного проведення технічного обслуговування наближається до експоненціального закону розподілення. Це означає, що імовірність безвідмовної роботи конструкції протягом заданого періоду напрацювання може бути визначена за відомою залежністю [1]

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – параметр потоку відмов конструкції;  $t$  – заданий період напрацювання.

В початковий момент часу ( $t = 1$  добу=24 годин) можливо вважати, що  $P = P_{вих}$ .

Звідси

$$P_{вих} = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Логарифмуванням цього виразу отримують значення проектного потоку відмов

$$\lambda = -\frac{1}{t} \ln P_{вих}. \quad (3)$$

Маючи значення параметра потоку відмов, визначають імовірність безвідмовної роботи конструкції протягом будь-якого відтинка часу і значення середнього напрацювання на відмову ( $T_c$ ):

$$T_c = \frac{1}{\lambda}. \quad (4)$$

Наведена методика дозволяє на стадії проектування визначити достовірні показники безвідмовної роботи механічного обладнання і трубопровідної арматури з імовірністю до 85%.

Для прикладу показано розрахунок показників безвідмовної роботи стабілізатора тиску з чотирма демпферними камерами, рис. 1. Надійнісно-функціональна схема стабілізатора тиску наведена на рис. 2.

Визначається імовірність безвідмовної роботи стабілізатора тиску протягом гарантованого строку 5 років при гарантованому напрацюванні 100000 циклів за методикою [3]. Тривалість проходження одного циклу становить 10 секунд.

При проведенні розрахунків відмови елементів вважаються випадковими і незалежними.

Імовірність безвідмовної роботи елементів визначається експоненціальним законом. Всі елементи одного і того ж типу рівнонадійні, тобто інтенсивність відмов однотипних елементів однакова. З розгляду виключаються періоди приробітки і зносу, тобто інтенсивність відмов приймається постійною. При розрахунку враховуються тільки ті елементи, вихід з ладу яких призводить до відмови всього виробу.

Надійність елементів, які безперервно знаходяться під навантаженням, незалежно від того, здійснюється робочий цикл погашення гідроудару чи ні, розраховується на гарантований термін, що вказаний в завданні, тобто на період  $t = 5$  років = 43800 годин.

Надійність елементів, які знаходяться під навантаженням тільки протягом робочого циклу, розраховуються на повний період здійснення загального числа циклів, які вказані в завданні (гарантоване напрацювання), визначається за формулою

$$t' = t'_1 = T \cdot t_u, \quad (5)$$

де  $T$  – гарантоване напрацювання;  $t_u$  – час здійснення одного циклу,

$t_{ц} = 10$  секунд.

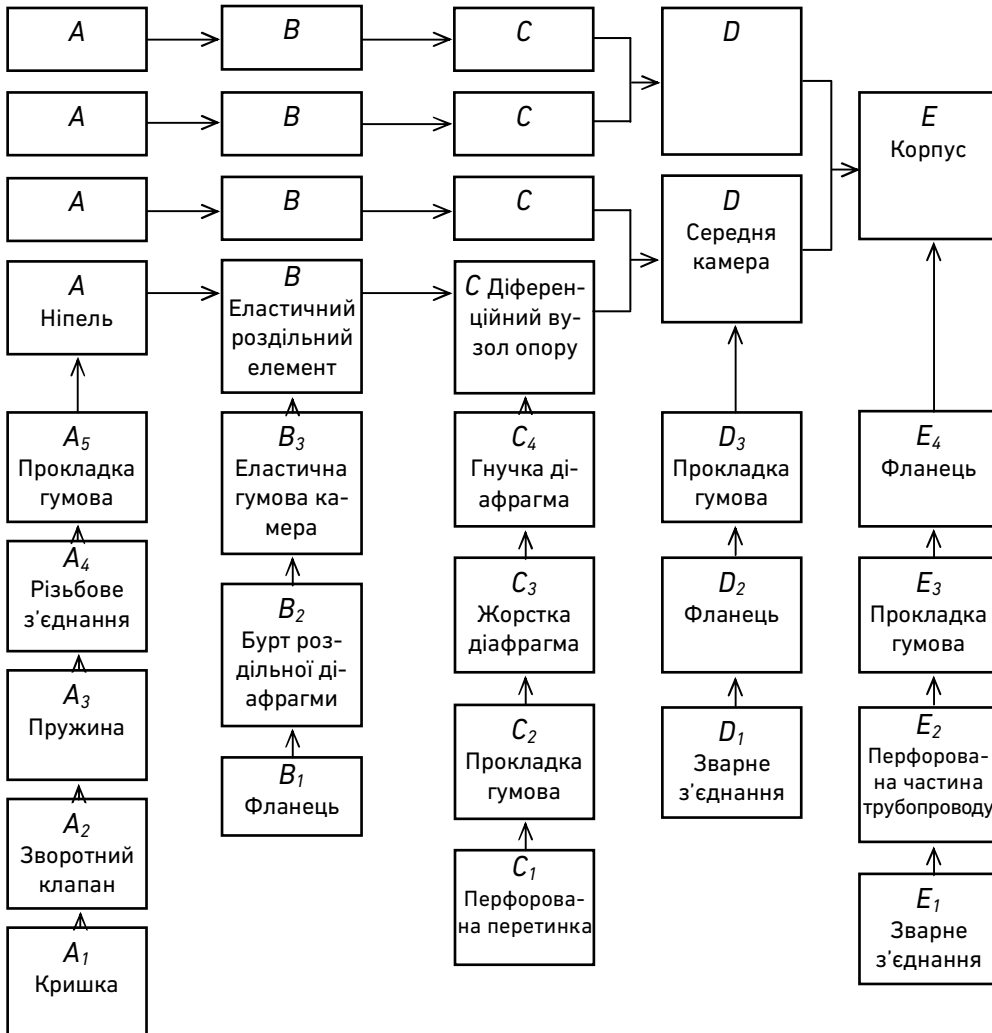


Рис. 2. Надійнісно-функціональна схема стабілізатора тиску з демпферними камерами

$t' = t'_1 = 100000 \cdot 10 = 1000000$  секунд = 280 годин.

Період роботи ненавантажених елементів

$t'' = t - t' = 43800 - 280 = 43520$  годин.

Інтенсивність відмов навантаженого елемента визначається за формулою

$$\lambda' = a_1 \cdot \lambda_0, \quad (6)$$

де  $\lambda_0$  – номінальна інтенсивність відмов працюючого під навантаженням елемента;

$a_1$  – коефіцієнт, який враховує умови експлуатації.

Інтенсивність відмов ненавантаженого елемента визначається за формулою

$$\lambda'' = a_2 \cdot \lambda', \quad (7)$$

де  $a_2$  – поправочний коефіцієнт, який враховує зменшення інтенсивності відмов ненавантаженого елемента,  $a_2 = 1 \cdot 10^{-3}$ .

Імовірність безвідмовної роботи елемента визначається за формулою:

а) для елементів, які знаходяться під навантаженням протягом часу  $t'$ ,

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^k \lambda' \cdot m \cdot t}, \quad (8)$$

де  $m$  – число елементів  $i$ -того типу.

б) для елементів, які знаходяться під навантаженням в період  $t'$  і не знаходяться під навантаженням в період  $t''$

$$P(t) = e^{-\sum_{i=1}^k m(\lambda' \cdot t' + \lambda'' \cdot t'')}. \quad (9)$$

При простій послідовній схемі з'єднання елементів розрахунок імовірності безвідмовної роботи проводять за формулою

$$P_c = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdots P_n = \prod_{j=1}^n P_j, \quad (10)$$

При простій паралельній схемі з'єднання елементів розрахунок імовірності безвідмовної роботи проводять за формулою

$$P_c = 1 - (1 - P_1)(1 - P_2)(1 - P_3) \cdots (1 - P_n) = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_j). \quad (11)$$

Згідно комбінованої схеми з'єднання елементів стабілізатора тиску, рисунок 2, загальна імовірність безвідмовної роботи стабілізатора визначається за формулою

$$P(t) = \left[ 1 - \prod_{k=1}^{k=4} (1 - P_A \cdot P_B \cdot P_C) \right] \cdot \left[ 1 - \prod_{k=1}^{k=2} (1 - P_D) \right] \cdot P_E, \quad (12)$$

де  $P_A, P_B, P_C, P_D, P_E$  – відповідно імовірність безвідмовної роботи вузлів А, В, С, D, E.

Для розрахунку імовірності безвідмовної роботи стабілізатора тиску за методикою [3] заповнюється таблиця 1.

Згідно таблиці 1 за формулою (10) при послідовному з'єднанні елементів визначаємо імовірність безвідмовної роботи вузлів стабілізатора тиску.

Вузол А

$$P_A(t) = P_{A1}(t) \cdot P_{A2}(t) \cdot P_{A3}(t) \cdot P_{A4}(t) \cdot P_{A5}(t).$$

$$P_A(t) = 0,9995 \cdot 0,9895 \cdot 0,9999 \cdot 0,988 \cdot 0,998 = 0,975.$$

Вузол В

$$P_B(t) = P_{B1}(t) \cdot P_{B2}(t) \cdot P_{B3}(t).$$

$$P_B(t) = 0,999 \cdot 0,998 \cdot 0,9999 = 0,9875.$$

Вузол С

$$P_C(t) = P_{C1}(t) \cdot P_{C2}(t) \cdot P_{C3}(t) \cdot P_{C4}(t).$$

$$P_C(t) = 0,9995 \cdot 0,998 \cdot 0,9993 \cdot 0,9999 = 0,9967.$$

Вузол D

$$P_D(t) = P_{D1}(t) \cdot P_{D2}(t) \cdot P_{D3}(t).$$

Таблиця 1

## Розрахунок параметрів надійності елементів стабілізатора тиску

Позначення за схемою	Найменування елемента	$P(t)$	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$ , 1/год	$m$	$a_1$	$\lambda'_i = \lambda_{0i} \cdot m a_{110}^6$	$t'$ , год	$a_2$	$\lambda''_i = \lambda'_i a_2 \cdot 10^{-9}$	$t''$ , год	$P(t) = \exp \left[ - \sum_{i=1}^k \lambda_i t + \lambda''_i t^2 \right]$
<b>Вузол А</b>											
$A_1$	Кришка	$P(10 \text{ років}) = 0,9995$									$P_{A1}(t) = 0,9995$
$A_2$	Зворотний клапан (гумово-металевий)		$0,12 \cdot 10^{-6}$	1	2	$0,24 \cdot 10^{-6}$	43800				$P_{A2}(t) = 0,9895$
$A_3$	Пружина зворотна	$P(10 \text{ років}) = 0,9999$									$P_{A3}(t) = 0,9999$
$A_4$	Різьбове з'єднання	$P(10 \text{ років}) = 0,988$									$P_{A4}(t) = 0,988$
$A_5$	Прокладка гумова	$P(5 \text{ років}) = 0,998$									$P_A(t) = 0,998$
<b>Вузол В</b>											
$B_1$	Фланець	$P(10 \text{ років}) = 0,999$									$P_{B1}(t) = 0,999$
$B_2$	Бурт зацімлення гумовий	$P(5 \text{ років}) = 0,998$									$P_{B2}(t) = 0,998$
$B_3$	Еластична (гумова) камера		$0,097 \cdot 10^{-6}$	1	3	$0,291 \cdot 10^{-6}$	280	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-9}$	43500	$P_{B3}(t) = 0,9999$
<b>Вузол С</b>											
$C_1$	Сталева перфорована перетинка	$P(10 \text{ років}) = 0,9995$									$P_{C1}(t) = 0,9995$
$C_2$	Прокладка гумова	$P(5 \text{ років}) = 0,998$									$P_{C2}(t) = 0,998$
$C_3$	Жорстка діафрагма (сітка-фільтр)		$0,072 \cdot 10^{-6}$	1	3	$0,216 \cdot 10^{-6}$	280	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,216 \cdot 10^{-9}$	43500	$P_{C3}(t) = 0,99993$
$C_4$	Гнучка діафрагма гумова армована		$0,097 \cdot 10^{-6}$	1	3	$0,291 \cdot 10^{-6}$	280	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,291 \cdot 10^{-9}$	43500	$P_{C4}(t) = 0,9999$
<b>Вузол D</b>											
$D_1$	Зварне з'єднання	$P(10 \text{ років}) = 0,998$									$P_{D1}(t) = 0,998$
$D_2$	Фланець	$P(10 \text{ років}) = 0,999$									$P_{D2}(t) = 0,999$
$D_3$	Прокладка гумова	$P(5 \text{ років}) = 0,998$									$P_{D3}(t) = 0,998$
<b>Вузол E</b>											
$E_1$	Зварне з'єднання	$P(10 \text{ років}) = 0,998$									$P_{E1}(t) = 0,998$
$E_2$	Перфорована частина трубопроводу (фільтр-сітка)		$0,072 \cdot 10^{-6}$	1	3	$0,216 \cdot 10^{-6}$	280	$1 \cdot 10^{-3}$	$0,216 \cdot 10^{-9}$	43500	$P_{E2}(t) = 0,99993$
$E_3$	Прокладка гумова	$P(5 \text{ років}) = 0,998$									$P_{E3}(t) = 0,998$
$E_4$	Фланець	$P(10 \text{ років}) = 0,999$									$P_{E4}(t) = 0,999$



$$P_D(t) = 0,998 \cdot 0,999 \cdot 0,998 = 0,995.$$

Вузол Е

$$P_E(t) = P_{E1}(t) \cdot P_{E2}(t) \cdot P_{E3}(t) \cdot P_{E4}(t).$$

$$P_E(t) = 0,998 \cdot 0,9993 \cdot 0,998 \cdot 0,999 = 0,9943.$$

Згідно формули (12) знаходимо очікувану імовірність безвідмовної роботи стабілізатора тиску

$$P(t) = [1 - (1 - 0,975 \cdot 0,9875 \cdot 0,9957)^4] \cdot [1 - (1 - 0,995)^2] \cdot 0,9943 = 0,99427.$$

Тоді інтенсивність потоку відмов для періоду  $t = 1$  доба = 24 години визначається формулою (3)

$$\lambda = - \frac{1}{t} \ln P(t). \quad (13)$$

$$\lambda = - (1/24) \cdot \ln 0,99427 = 0,0002394,$$

а значення середнього напрацювання стабілізатора тиску на відмову ( $T_c$ ) за формулою (4)

$$T_c = 1/\lambda = 1/0,0002394 = 4177 \text{ годин.}$$

### **Висновки**

Таким чином, очікувана імовірність безвідмовної роботи стабілізатора тиску з чотирма демпферними камерами протягом гарантованого напрацювання 100000 циклів при гарантованому терміні роботи 5 років становить  $P(t) = 0,99427$ .

Розрахунок є наближеним і повинен бути уточненим наступними дослідженнями на надійність або збиранням статистичних даних про надійність виробу під час експлуатації.

1. Коваленко П. И. Реконструкция мелиоративных систем / П. И. Коваленко, Б. И. Чалый, А. И. Тыщенко. – К. : Урожай, 1991. – 168 с. – ISBN 5-337-00746-7.
2. Науменко І. І. Оцінки надійності водогосподарських об'єктів. Монографія. – Рівне : НУВГП, 2006. – 182 с. – ISBN 966-327-033-0.
3. Арматура трубопроводная. Расчет показателей надежности на этапе проектирования [Текст]: РД 24-207-06-90. Центральное конструкторское бюро арматуростроения (ЦКБА). Введен 01.07.91. – Утверждено Указанием Минтяжмаша СССР № АВ-002-1-8993 от 20.09.90.
4. Стабілізатор тиску. Патент на корисну модель № 92422 Україна / Герасимов Г. Г., Герасимов Є. Г., Іванов С. Ю. – 11.08.2014. Бюл. № 15. – 4 с.
5. Стабілізатор тиску. Патент на корисну модель № 100772 Україна. / Герасимов Г. Г., Герасимов Є. Г., Іванов С. Ю. – 10.08.2015. Бюл. № 15. – 4 с.
6. Стабілізатор тиску. Патент на корисну модель № 101407 Україна / Герасимов Г. Г., Герасимов Є. Г., Іванов С. Ю. – 10.09.2015. Бюл. № 17. – 4 с.
7. Герасимов Є. Г. Покращення умов експлуатації закритих зрошувальних мереж при застосуванні удосконалених стабілізаторів тиску / Герасимов 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.
8. Герасимов Г. Г. Визначен-



ня основних параметрів стабілізаторів тиску аналітичним методом / Герасимов Г. Г., Герасимов Є. Г., Іванов С. Ю. // Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Технічні науки. – Випуск 4 (68).– Рівне : НУВГП, 2014. – С. 22–27. – ISSN 2306-5478. **9.** Герасимов Г. Г. Визначення основних параметрів стабілізаторів тиску / Герасимов Г. Г., Герасимов Є. Г., Іванов С. Ю. // Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Технічні науки. – Частина 2. Випуск 3 (71).– Рівне : НУВГП, 2015. – С. 47–52. – ISSN 2306-5478. **10.** Ганиев Р. Ф. Нелинейная волновая механика и технологии. Волновые и колебательные явления в основе высоких технологий / Ганиев Р. Ф., Украинский Л. Е. – М. : Институт компьютерных исследований; Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2011. – 780 с. **11.** ГОСТ Р 54086-2010 Стабилизаторы давления. Общие технические условия. Дата введения 2011.06.01. – 16 с.

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

---

**Herasimov Y. H., Candidate of Engineering, Associate Professor,  
Herasymov H. H., Candidate of Engineering, Associate Professor**  
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

#### **RELIABILITY ASSESSMENT OF PRESSURE STABILIZER IN THE PIPELINE SYSTEM**

**Proposed the reliability-functional scheme of pressure stabilizer with damper cameras. Calculated the reliability of pressure stabilizer with four damper cameras within the guaranteed operating time of 100,000 cycles at the guaranteed period of 5 years.**

***Keywords:* reliability, pressure stabilizer, damping cameras.**

---

**Герасимов Е. Г., к.т.н., доцент, Герасимов Г. Г., к.т.н., доцент**  
(Национальный университет водного хозяйства и  
природопользования, г. Ровно)

#### **ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СТАБИЛИЗАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ**

**Предложена надёжно-функциональная схема стабилизатора давления с демпферными камерами. Проведены расчёты надёжности стабилизаторов давления с четырьмя демпферными камерами в течение гарантированной наработки 100000 циклов при гарантированном сроке работы 5 лет.**

***Ключевые слова:* надёжность, стабилизатор давления, демпферная камера.**