

УДК 621.039

*У статті розглянуто застосування віброізолюючої демпфуючої опори з еластичним гумовим елементом для зниження коливань трубопроводів різного призначення атомних електростанцій, що транспортують теплоносій*

*Ключові слова: енергетичні комплекси, атомні електростанції, трубопровідні системи, демпфуюча віброізолююча опора, вібрація, амплітудно-частотні характеристики*

*В статті рассмотрено применение виброизолирующей демпфирующей опоры с эластичным резиновым элементом для снижения колебаний трубопроводов различного назначения атомных электростанций, транспортирующих теплоноситель*

*Ключевые слова: энергетические комплексы, атомные электростанции, трубопроводные системы, демпфирующая виброизолирующая опора, вибрация, амплитудно-частотные характеристики*

# ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРОІЗОЛЮЮЧИХ ОПОР З ЕЛАСТИЧНИМ ГУМОВИМ ЕЛЕМЕНТОМ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ КОЛИВАНЬ ТРУБОПРОВОДУ

**Г.С. Кіпоренко**

Кандидат технічних наук\*

Контактний тел.: 066-594-66-87

E-mail: kiporenkoanna@mail.ru

**С.М. Поліщук**

Кандидат технічних наук, доцент\*

Контактний тел.: 097-941-44-75

E-mail: serg.polishuk@gmail.com

\*Кафедра охорони праці, стандартизації та сертифікації

Українська інженерно-педагогічна академія

вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003

## 1. Вступ

Енергетичні комплекси України і закордонних країн та структурні підрозділи, що входять до них відносяться до об'єктів підвищеної небезпеки і до них пред'являються особливі вимоги щодо забезпечення безпеки на всіх етапах життєвого циклу: проектування, введення в експлуатацію, експлуатація в рамках проектних термінів, зняття з експлуатації або ж роботи в надпроектні терміни.

Безпека роботи всього енергетичного комплексу залежить від правильно організованої роботи в цілому і надійної роботи окремих елементів системи.

Одним з важливих елементів функціонування системи енергетичного комплексу є трубопроводи що несуть теплоносій різних середовищ (вода, пара, пароводяна суміш).

Загальна довжина трубопроводів атомної станції - кілька кілометрів, вони мають різну геометрію, діаметр, призначення, параметри навантаження і періодичність роботи, що необхідно враховувати при забезпеченні безпеки.

Безпека роботи трубопроводів значно залежить від правильного і надійного їх кріплення. Основні способи кріплення трубопроводів - опори, підвіски, кронштейни, скоби та інші різновиди опорних конструкцій (ГОСТ 14911-69).

Однак опори, які найчастіше використовуються для кріплення трубопроводів, не можуть запобігти їх коливання при русі різних середовищ в трубопроводі.

## 2. Мета та завдання дослідження

Завдання зниження коливань в даний час вирішується шляхом використання віброізолюючих опор різного типу. Однак, застосовувані опори мають ряд суттєвих недоліків, а саме: складні конструкції і монтаж на трубопроводі, ненадійність самої опори, зниження тільки вертикальних коливань, відсутність регулювання жорсткості закріплюючого елемента, дорожнеча.

## 3. Основна частина

Для запобігання коливань при проектуванні і зниження їх на діючих трубопровідних системах пропонується установка опор, які задовольняли б перераховані вище вимоги.

Вирішити цю задачу можливо за допомогою застосування демпфуючих опор з еластичними гумовими елементами. Опора з еластичним гумовим елементом встановлюється на трубопровід (рис. 1) на горизонтальній ділянці 1 та на вертикальній ділянці 2.

Віброізолююча опора трубопроводу горизонтальна рис. 2 і вертикальна рис. 3 включає раму 1, сприймаючу коливальні переміщення на демпфуючі гумові елементи 2 через хомутовий блок 3, проушину 4, тяги 5, гайки 6 і опорні пластини. Тяга хомута має різьблення, що дозволяє регулювати жорсткість еластичного гумового елемента, та використання опори на високотемпературних трубопроводах теплових і атомних електростанцій. Робота пристрою полягає в тому, що хомутовий блок

З жорстко закріпленій на трубопроводі, а проушина 4 і тяга 5 вільно переміщуються відносно один одного в осьовому і вертикальному напрямках, при цьому зменшуються поперечні коливання через зусилля сталевих опор пластин 7 на гумові демпфуючі елементи 2, що спираються на раму 1 жорстко пов'язану з конструктивними елементами 8. Еластичні гумові демпфуючі елементи 2, виконані у вигляді циліндрів, сприймають як поперечні так і вертикальні коливання.

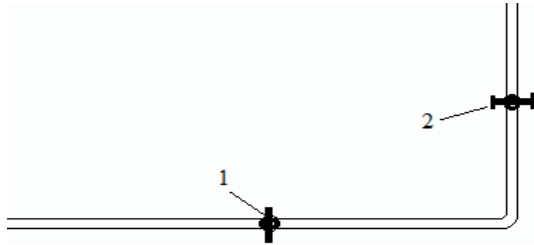


Рис. 1. Схема установки опори на горизонтальній 1 і вертикальній 2 ділянках трубопроводу

пературну самокомпенсацію. Розрахунок жорсткості гумового демпфуючого елемента конструкції наводиться нижче.

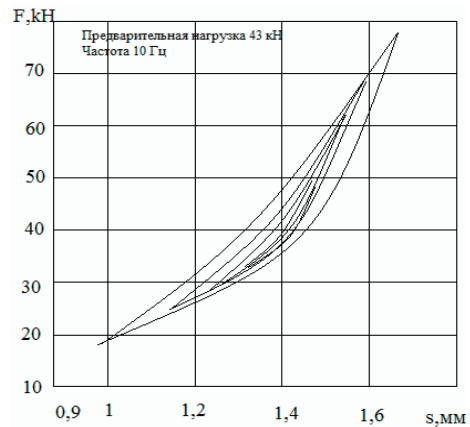


Рис. 4. Криві гистерезиса при динамічному навантаженні гумового елемента гармонічними коливаннями низької частоти

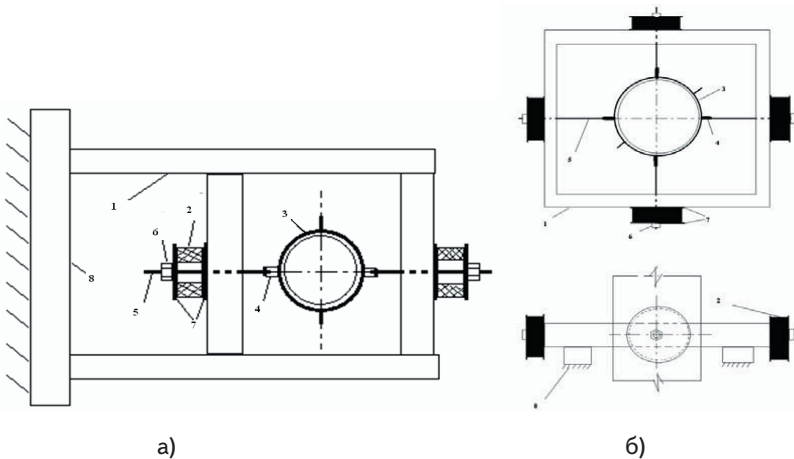


Рис. 2. Опора трубопроводу горизонтальна (а) та вертикальна (б): 1 - рама; 2 - демпфуючі гумові елементи; 3 - блок хомутовий; 4 - проушина; 5-тяга, 6 - гайка; 7- опорні пластини; 8 - несуча конструкція

Зусилля  $F$  (Н) діє на гумовий елемент при коливаннях трубопроводу (рис. 3). Динамічне навантаження гумового елемента гармонічними коливаннями низької частоти має форму гистерезиса (рис. 4).

Гумовий елемент має форму порожнистого циліндра з попередньою деформацією стиснення за допомогою металевих пластин, які стягуються різьбовим з'єднанням із зовнішнім діаметром різби  $d_p$  (м). Момент затяжки  $M$  (Н·м) визначається розрахунковим шляхом, як добуток зусилля на довжину плеча. Статичне зусилля  $F(H)$ , що виникає при затягуванні, знайдемо з наближеного виразу:

$$F = M / (0,15 \times d_p). \quad (1)$$

Жорсткість  $c$  (Н/м) визначається відношенням зусиль до осаді  $\delta$  (м) гумового елемента і визначається з виразу:

$$c = F / \delta. \quad (2)$$

Таким чином, запропонований пристрій дозволяє знизити коливання трубопроводу при транспортуванні теплоносія за рахунок відомих еластичних властивостей гуми.

Також, опора виключає тертя об інше обладнання і можливість ударних впливів. Кількість, товщина і інші розміри гумових елементів розраховуються в залежності від призначення опори і умов експлуатації.

Порівняння різних жорсткостей гумового елемента в низькочастотному діапазоні навантаження для попереднього навантаження  $R_0 = 4,3$  кН наведено на рис. 5. З рисунку бачимо, що застосування демпфуючої опори при регулюванні жорсткості гумового елемента дозволяє знизити амплітуди на два і більше порядку.

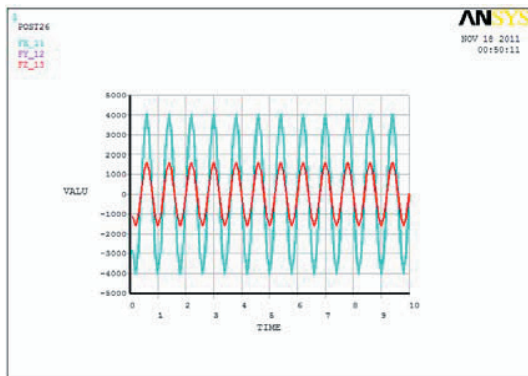


Рис.3. Зусилля, що діють на гумовий елемент

Коливання трубопроводу мають велику амплітуду і носять полі гармонічний характер, для чого необхідно регулювати жорсткість гумового демпфуючого елемента.

Жорсткості гумового елемента необхідно також враховувати при розрахунку трубопроводу на тем-

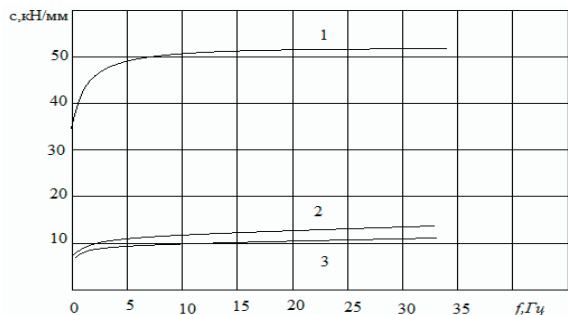


Рис. 5. Порівняння різних жорсткостей гумового елемента в низькочастотному діапазоні навантаження для попереднього навантаження  $R_0 = 4,3\text{кН}$ :  
 f - частота; c - жорсткість;  
 1 - тангенціальна жорсткість;  
 2 - еквівалентна жорсткість;  
 3 - динамічна жорсткість

4. Експериментальні дослідження

Для підтвердження теоретичних даних було проведено експериментальні дослідження на ділянці трубопроводу Южно-Української АЕС конденсату пари, що гріється від ПВД-6 в деаератор блоку №2 (рис. 6).

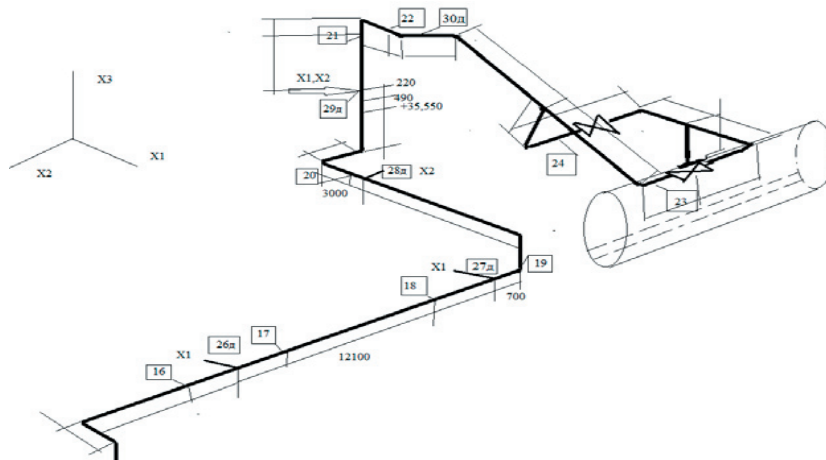


Рис. 6. Схема установки додаткових демпфуючих опор на трубопроводі конденсату пари, що гріє від ПВД-6 в деаератор блоку № 2

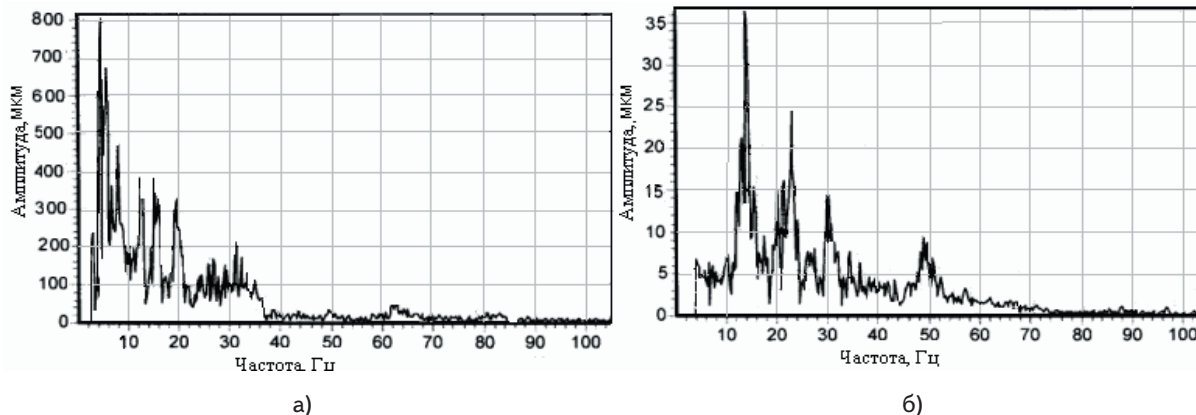


Рис. 7. Амплітудно-частотні характеристики в перетині 1

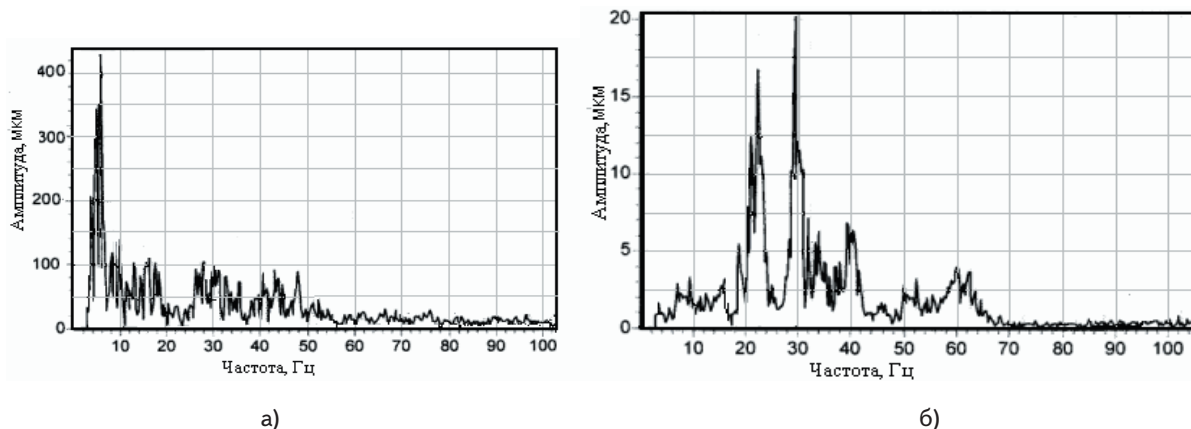


Рис. 8. Амплітудно-частотні характеристики в перетині 2

---

## 5. Висновки

---

Демпфуюча віброізолююча опора з еластичним гумовим елементом має ряд переваг порівняно з існуючими опорами, а саме можливість регулювання жорсткості закріплення. Проведенні дослідження з регулюванням жорсткості закріплення показали, що застосування демпфуючої опори дає можливість знизити амплітуду коливань на порядок.

Для підтвердження отриманих даних проведені дослідження амплітудно-частотних характеристик на ділянці трубопроводу Южно-Української АЕС до та після установки додаткових демпфуючих опор.

Отримані результати свідчать про зниження амплітуди коливань на порядок після установки додаткових опор, що говорить про ефективність їх застосування.

---

## Література

1. Поліщук, С.М. К расчету нестационарных процессов в трубопроводах крупных энергоблоков [Текст] / С.М. Поліщук, Г.А. Лещинский // Энергетика и электрификация. – 1991. - №3. - С. 26-29.
2. Баранов, А.Н. Влияние системы регулирования на динамику движения двухфазных сред в трубопроводах крупных энергоблоков [Текст] / А.Н. Баранов, С.М. Полищук, А.С. Кипоренко, П.А. Сидоренко // Вестник национального политехнического университета «ХПИ». – 2005. – Вып. 57'. – С.42-49.
3. Калинин, Б.П. К расчету параметров перегретого пара и вибрации трубопроводов крупных турбоагрегатов [Текст] / Б.П. Калинин, С.М. Полищук, Г.И. Канюк, А.А. Манузин // Сборник научных трудов Севастопольского национального института ядерной энергии и промышленности. – 2003. – Вып. 9. - С.83-90.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86). – М., Энергоиздат, 1989,- 525 с.

### **Abstract**

*The target of the research is to explain the application of vibration-isolating damping supports with elastic rubber element to decrease the risk of pipeline vibrations, which can occur during transportation of heat-transfer agent (water, steam, water-steam mixture). The application of the supports is proved by the essential advantages in comparison with the existing manner of fastening of the pipeline, namely the possibility of application of support on the vertical as well as horizontal areas, the regulation of rigidity of fastening element, the simplicity of construction. Given supports may be applied at nuclear power station, thermal power station as well as at the other facilities using industrial pipelines. As an example, the article suggests the data of gain-frequency characteristics of pipeline area before and after the installation of the support. The results show the decrease of vibration amplitude by an order of magnitude after the installation of supports that prove their efficiency*

*Keywords: energy complexes, nuclear power stations, pipeline systems, damping vibration-isolating support, vibration, gain-frequency characteristics*