



*М.И. Вольников, М.С. Гашицкий*  
*Пензенский государственный технологический университет*

## УПРАВЛЕНИЕ ВИБРОЗАЩИТОЙ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ СРЕД

Статья посвящена проблеме повышения эксплуатационной стойкости трубопроводов. Показано, что одна из причин разрушения трубопроводов связана с длительными воздействиями вибрационных и ударных нагрузок. Приведенные статистические данные по авариям подтверждают данное предположение. Проведен обзор существующих решений защиты трубопроводов с описанием достоинств и недостатков. Предложено новое техническое решение проблемы, основанное на использовании гетероструктур с трением в качестве диссипативного материала при устранении вибраций. Проведен сравнительный анализ преимуществ предложенного решения.

Вибрация, виброзащита, трубопровод, авария, гетероструктуры, дискретные среды, устройство виброзащиты.

В повседневной жизни часто приходится сталкиваться с множеством проблем, связанных с работой коммунального хозяйства в городах. Одна из них относится к системе трубопроводов, по которым поступает холодная вода, теплоэнергия, отводятся канализационные стоки, подается пар и осуществляется вентиляция, и связана с непредсказуемыми авариями.

Авария на трубопроводе – нередкое и довольно опасное явление, наносящее ущерб экономике страны. Одной из причин возникновения подобных аварий является усталостное разрушение труб за счет длительного воздействия вибраций.

Согласно данным ПАО «Газпром», более половины (около 60 %) аварий на трубопроводах топливно-энергетического комплекса происходит в результате повышенных уровней вибраций и гидроударов. Также в тройке основных выделяют следующие причины разрывов [1]:

- 25 % – коррозионные процессы;
- 15 % – явления природы и неминуемые ситуации.

За последние 30 лет в главных корпусах ТЭС произошло 30 крупных аварий, которые привели к выходу из строя более одного энергоблока [2].

Вибрация в трубопроводе может возникать в результате случайных или функциональных воздействий. К таким можно отнести поток жидкости, ветер, сейсмические волны, акустические колебания (например, от городского шума), вибрации от проезжающих автомобилей, поездов и другого вида транспорта.

Помимо этого, источником вибрации могут быть насосные и компрессорные станции. Они оснащены мощными центробежными или поршневыми насосными установками и нагнетателями, которые, в свою очередь, создают сильные волновые и вибрационные колебания в системах транспортировки нефти и газа.

Согласно статистическим данным существенными факторами, которые способствуют возникновению

аварий при эксплуатации насосных и компрессорных станций, являются:

- повышенный уровень вибрации трубопроводной обвязки нагнетателей;
- повышенный уровень вибрации трубопроводов систем торцового уплотнения, маслопроводов и других технологических систем;
- выход из строя или ложные срабатывания аппаратуры систем автоматики, управления и контроля;
- повышенный уровень шума, который превышает допустимое значение на 15–20 дБ.

По результатам исследования вибраций, осуществляемых специалистами ПАО «Газпром», можно сделать следующие выводы:

- максимальные уровни вибрации отмечаются на входных и выходных трубопроводах нагнетателей, значение которых может превышать 90 мм/с, и приводят к динамическим напряжениям около 25 МПа;
- в спектрах вибрации преобладают составляющие на лопаточных частотах нагнетателей в диапазонах от 700 до 2000 Гц и кратным им частотам;
- на трубопроводах систем торцового уплотнения нагнетателей отмечаются вибрации на насосной частоте с уровнем 40–60 мм/с, что соответствует динамическим напряжениям около 15 МПа.

Согласно официальной информации ПАО «Газпром», большая часть утечек природного газа (около 92 %) происходит в газораспределительных системах (ГРС), которые подвергаются динамическим нагрузкам в виде вибраций и ударов [3].

Сравнивая ситуации на магистральных газопроводах и газораспределительных системах, можно сказать, что положение на ГРС усугубляется за счет воздействия на трубопроводы вибраций, появляющихся на участках после автоматических регуляторов давления. Большая часть газораспределительных систем эксплуатируется с перегрузкой по объемному расходу газа. Из-за этого возникает значительное увеличение

скорости потока газа, которое в реальности зачастую превышает нормативные значения. Это явление ведет за собой повышение уровня вибраций и, как следствие, усталостное разрушение трубопроводов.

На данный момент большинство газопроводов российского топливно-энергетического комплекса (ТЭК) эксплуатируются уже более 30 лет и подходят к концу своего срока эксплуатации, в результате чего увеличивается вероятность возникновения аварий, которые, в свою очередь, несут за собой тяжелые социальные, экономические и экологические последствия.

Например, говоря об экономической составляющей, аварии, вызванные вибрацией, гидроударами и коррозией, ежегодно наносят ущерб в несколько сотен миллиардов долларов и около 50 тысяч тонн черных металлов.

Стоит также упомянуть про экологический ущерб, поскольку с каждым годом становится больше аварий с крупными потерями природных ресурсов и серьезными последствиями для окружающей среды. В результате коррозии и разрушения вследствие вибрации трубопровода убытки на магистральных нефтепроводах превосходят 1 миллион тонн в год. При этом во внимание не берутся потери при авариях внутрипромысловых трубопроводов.

К сожалению, по прогнозам специалистов, частота аварий на трубопроводах будет нарастать. Обусловлено это в первую очередь невозможностью одновременной замены миллионов километров труб даже при условии достаточного финансирования. В результате чего возникает острая проблема, связанная с повышением надежности и, как следствие, увеличением срока эксплуатации трубопроводов.

Повышение ресурса трубопроводов в значительной степени зависит от устранения вредных колебаний, приводящих к нарушению изоляционных покрытий, коррозионному растрескиванию, усталостному разрушению тела труб. В неблагоприятных случаях возможно катастрофическое разрушение трубопровода.

На сегодняшний день существует несколько мероприятий, используемых для решения данной проблемы. Один из таких способов основан на изменении жесткости конструкции за счет использования хомутов (рис. 1). Это позволяет уменьшить вероятность возникновения резонанса. Однако данный метод не рассчитан на полигармонические возбуждения.



Рис. 1. Хомут для крепления к трубе

Помимо хомутов при прокладке трубопроводов используются опоры на пружинах (рис. 2). Они предназначены для компенсации нагрузок, действующих

на трубопровод в результате сейсмического воздействия. Данные опоры сложны в эксплуатации, требуют точной настройки, а также имеют высокую себестоимость.

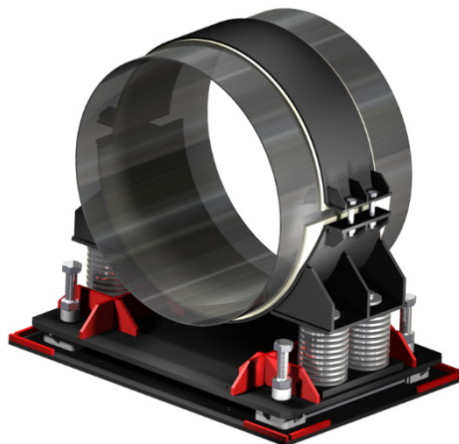


Рис. 2. Опора скользящая пружинная регулируемая (ОСПР)

Одним из распространенных методов демпфирования резонансных колебаний является покрытие трубопроводов заливками и вибропоглощающими материалами. Данный способ решает проблемы звуко- и виброизоляции, однако имеет ряд существенных недостатков: снижение ремонтпригодности, зависимость от резкого изменения температуры, сложность монтажа и другие.

Существует тенденция к замене металлических труб на пластиковые. Пластиковые трубы меньше проводят вибрации, защищены от коррозии. Однако данное мероприятие является довольно дорогостоящей процедурой.

Для обеспечения эффективной виброзащиты трубопроводов предлагается использовать дискретные рабочие среды (ДРС), обладающие диссипативными (или рассеивающими) свойствами в широком диапазоне частот [4]. Дискретная рабочая среда, придавая гетерогенность конструкции, может быть представлена в виде гранул, например полистирола, которым заполняется контейнер, разделенный на две половины для удобства монтажа.

Исследования показали, что наполнитель в виде гранул значительно повышает модуль упругости материала, но одновременно несколько уменьшает внутренние потери. Повышение вибропоглощающих свойств наблюдается при использовании наполнителей неправильной формы (чешуйки, слоистая или пористая структура) за счет трения между частицами.

Контейнер с дискретной средой может иметь несколько секций, которые будут отличаться по размеру и наполнению гетерогенными ДРС, что позволит соответственно гасить колебания разных гармоник.

Корпус устройства-контейнера изготавливается из полимерного материала для придания ему нержавеющих свойств при использовании в агрессивной среде, например при прокладывании подземных магистралей с грунтовыми водами. Контейнер (рис. 3, 4) состоит из двух частей – полых полуколец, свинчивающихся между собой с помощью болтов из некоррозионного материала или соединяющихся при помощи скоб.

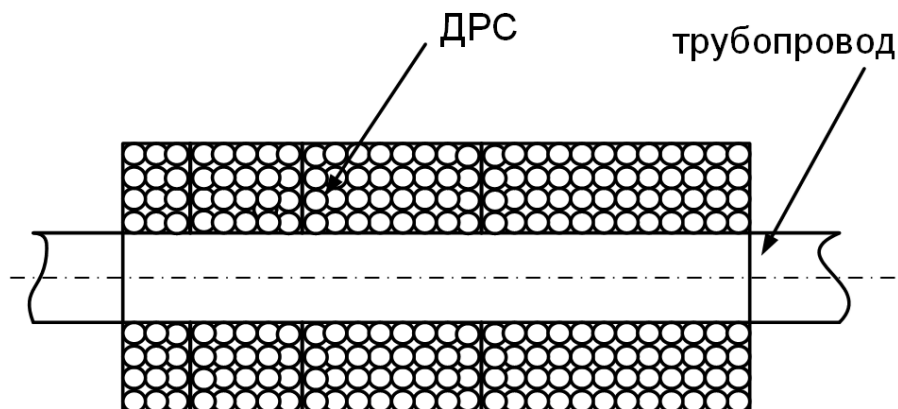


Рис. 3. Фронтальный вид контейнера с ДРС

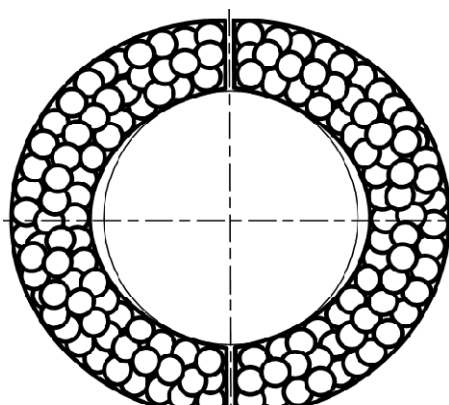


Рис. 4. Профильный вид контейнера с ДРС

По требованию заказчика контейнер может быть уже укомплектован необходимой дискретной средой и являться запаянным неразборным устройством либо иметь горловину для засыпки в нее дискретной среды.

Контейнер комплектуется герметичной пробкой для исключения попадания влаги или других инородных предметов, способных снизить эффективность диссипативных свойств дискретных сред и тем самым понизить виброзащитные свойства изделия.

Дискретная рабочая среда является самоприспосабливающейся системой. Она реагирует на изменение амплитуды колебаний основной системы, включаясь в работу при увеличении размаха амплитуды колебаний, и является перспективным классом новых материалов для применения в целях виброударозащиты изделий. Регулируя количество и качество состава гетероструктуры можно изменять механические свойства разработанного устройства виброзащиты.

Данное устройство может быть использовано в сфере ЖКХ, машиностроении, строительстве, в топливно-энергетическом комплексе (при прокладках нефтепроводов, газораспределительных систем). Кроме того, уже имеется договоренность об исполь-

зовании результатов исследований в проектно-конструкторской деятельности АО «Волгомост» Мостотряд № 20 в виде:

- технических предложений по выполнению конструктивных схем гасителей колебаний пролетных строений мостов;
- экспериментальных данных по исследованию гасителей колебаний на основе дискретных рабочих сред;
- методик расчета и моделирования гасителей колебаний на основе ДРС;
- эскизных проектов гасителей колебаний на основе ДРС;
- рекомендаций по использованию гасителей на ДРС.

Применение ДРС для обеспечения виброзащиты имеет ряд преимуществ: они способны устранять колебания в широком диапазоне частот, не требуют особой настройки и просты в эксплуатации, а устройство для гашения колебаний является ремонтнопригодным. Сравнительная характеристика методов по устранению колебаний трубопроводов приведена в таблице.

Сравнительная характеристика методов по устранению колебаний трубопроводов

Предложение / характеристика	Термостойкость	Необходимость точной настройки	Сложность в эксплуатации	Ремонтопригодность	Примерная себестоимость (руб.)
ДРС	да	нет	нет	да	5 000
Хомуты	да	нет	да	да	1 000
Изоляционный материал	да	нет	да	нет	4 000
Покрытие заливками	нет	нет	нет	нет	7 500
Опоры на пружинах	да	да	да	нет	10 000
Замена металлических труб на пластиковые	нет	нет	да	да	20 000

В заключение следует отметить, что ДРС стойки к резким изменениям температур и, кроме того, имеют относительно низкую себестоимость.

#### Литература

1. Куликов, В. Предотвращать, а не ликвидировать последствия / В. Куликов // Мировая энергетика. – 2008. – № 2. – С. 20–21.
2. Рукин, М. В. Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях / М. В. Рукин // Системы безопасности. – 2015. – № 6 (126). – С. 106–108.
3. Кузьбожев, П. А. Совершенствование методов снижения вибраций в трубопроводах газораспреде-

тельных станций : специальность 25.00.19 «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузьбожев Павел Александрович. – Ухта, 2019.

4. Динамика гетерогенных структур. Вибродарозащита гетерогенных структур. Том 3. / В. В. Смогунов, И. П. Климинов, О. А. Вдовикина, М. И. Вольников ; под редакцией В. В. Смогунова. – Пенза : Издательство Пензенского государственного университета, 2005. – Т. 3. – 497 с.

*M.I. Volnikov, M.S. Gashitskiy*  
Penza State Technological University

#### CONTROL OF PIPELINES VIBRATION PROTECTION BASED ON DISCRETE ENVIRONMENT

The article deals with the problem of pipeline operation associated with prolonged exposure to vibration. Statistical data on accidents are provided, consequences and forecasts are described. The review of existing solutions with the description of advantages and disadvantages is carried out. As a result, a new technical solution, as well as a comparative analysis, was proposed.

Vibration, vibration protection, pipeline, accident, heterogeneous structure, discrete environment, vibration protection device