

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОМПЕНСАЦИОННЫХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Бледнова Ж.М., Вотинов А.В., Чаевский М.И., Стрелевский Д.А.

*Кубанский государственный технологический университет,  
Краснодар, Россия, e-mail: blednova@kubstu.ru, blednova@mail.ru*

Трубопроводные системы и технологические трубопроводы являются важным элементом жизнеобеспечения населения и промышленных объектов. Аварии трубопроводов приводят к системным катастрофам в экономической и социальной сфере. В связи с этим проблема надежности и безопасности трубопроводов имеет комплексный характер и связана с поиском оптимальных решений экономических и инженерных задач. Повышение уровня риска разрушения в связи с исчерпанием ресурса объектов нефтехимических производств, транспортных систем углеводородного сырья становится неприемлемым для ряда предприятий и территорий.

Трубопроводные системы работают в условиях изменяющихся температур и давлений. Их надежность и безаварийность эксплуатации во многом зависят от степени компенсации температурного расширения и возможных перекосов, возникающих в процессе монтажа, а также в процессе эксплуатации в результате деформации грунта.

Одним из наиболее распространенных дефектов резервуарного парка является осадка основания резервуаров. При достаточно большой осадке, как равномерной, так и неравномерной (более 50 мм) может возникнуть значительная деформация узла сопряжения, а также компенсаторов трубопроводов и приемораздаточных патрубков. На рис.1 представлены характерные разрушения компенсационных систем. Безопасная эксплуатация резервуаров и технологических трубопроводов может быть обеспечена только при надежной работе компенсационных систем. Поэтому обеспечение надежной работы компенсационных систем является важной задачей [1].

Целью настоящей работы является обеспечение надежности и технической безопасности компенсационных систем в процессе эксплуатации.

В настоящее время существуют различные способы компенсации линейных и угловых перемещений в трубопроводах. Так, например, известны: сильфонные, мембранные, сальниковые, манжетные, типа гнутой трубы, тканевые и др. Наиболее распространенными являются компенсаторы сильфонного типа, которые, в свою очередь, делятся на сильфонные осевые неразгруженные (СОНК), сильфонные осевые разгруженные (СОРК), сильфонные угловые неразгруженные (СУНК), сильфонные угловые разгруженные (СУРК), сильфонные поворотные (СПК). По виду деформации сильфона компенсаторы разделяются на: осевые (растяжение - сжатие), сдвиговые (относительный сдвиг), поворотные (относительный поворот) одноплоскостные, поворотные пространственные, универсальные (растяжение, сжатие, сдвиг, поворот), сдвигово-поворотные (сдвиг, поворот).

Основным назначением различных типов компенсаторов является компенсация перемещений, происходящих в различных системах трубопроводов. Пере-

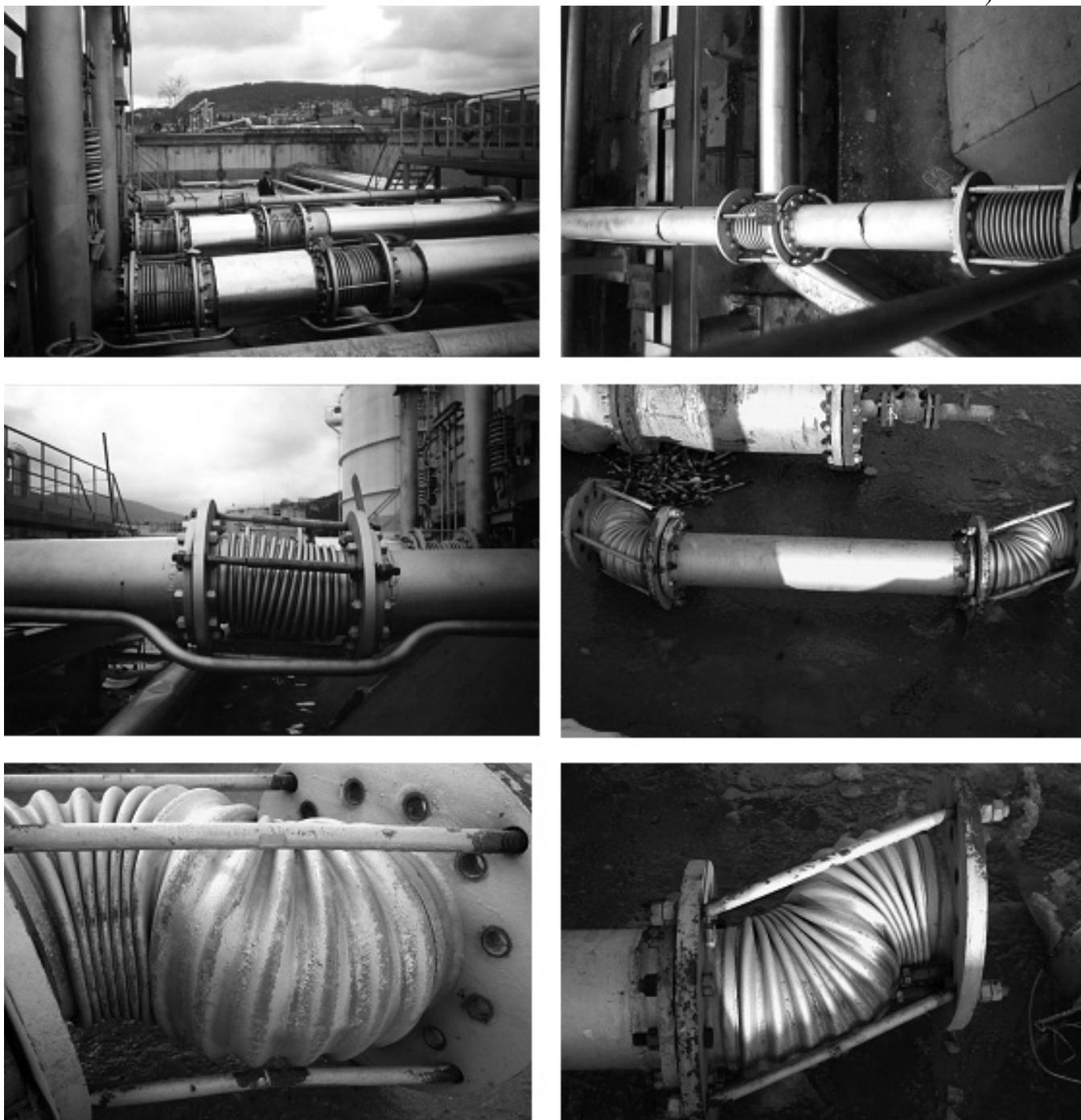


Рис. 1 Разрушение компенсационных систем трубопроводов

мещения (между двумя элементами систем) вызываются температурными деформациями, деформациями за счет перепадов давления в системе, инерционными силами, монтажными погрешностями, а также усадкой грунта.

Наибольшее распространение получили компенсаторы на основе сиффона. Их основные недостатки заключаются в следующем:

- сиффонные компенсаторы не способны воспринимать большие осевые и угловые перемещения, которые могут возникнуть при эксплуатации трубопроводов, сиффонный компенсатор с условным диаметром 200 мм способен компенсировать только 614 мм. Причем с увеличением условного диаметра до 1000мм спо-

способность к компенсации возрастает только до 618 мм [2]. Поэтому для компенсации значительных перемещений устанавливают последовательно два – три сифонных компенсатора, что дает возможность компенсировать до 6100 мм;

– еще меньшие возможности имеют угловые сифонные компенсаторы, которые позволяют компенсировать углы поворота равные  $(2,5-3,0)^\circ$ , независимо от величины условного диаметра прохода.

– сифонные компенсаторы не способны воспринимать высокие давления (десятки МПа). Так, например, для всех размеров сифонных компенсаторов предельное условное давление составляет 2,5 МПа;

– самое слабое звено компенсатора – сифоны, при изготовлении которых вероятность образования дефектов кристаллического строения, в том числе и трехмерных, велика. Поэтому у сифонов, работающих в условиях малоциклового нагружения и при воздействии сред, содержащих агрессивные добавки (вода, морская вода, соли), происходит накопление повреждений, что ускоряет формирование и развитие усталостных трещин и приводит к разрушению от малоциклового усталости.

Проведенные эксперименты показали (рис.2), что при амплитуде линейной деформации в сифоне 0,3% (сталь 1Х18Н9Т) циклическая долговечность на воздухе составит  $2,5 \times 10^4$  циклов, а в морской воде  $1,2 \times 10^4$  циклов.

Одним из способов повышения циклической долговечности сифонов является химико-термическая обработка. Произведя ионное азотирование указанной стали, можно, при тех же условиях, получить циклическую долговечность в морской воде равную  $6 \times 10^4$  циклов (рис.2).

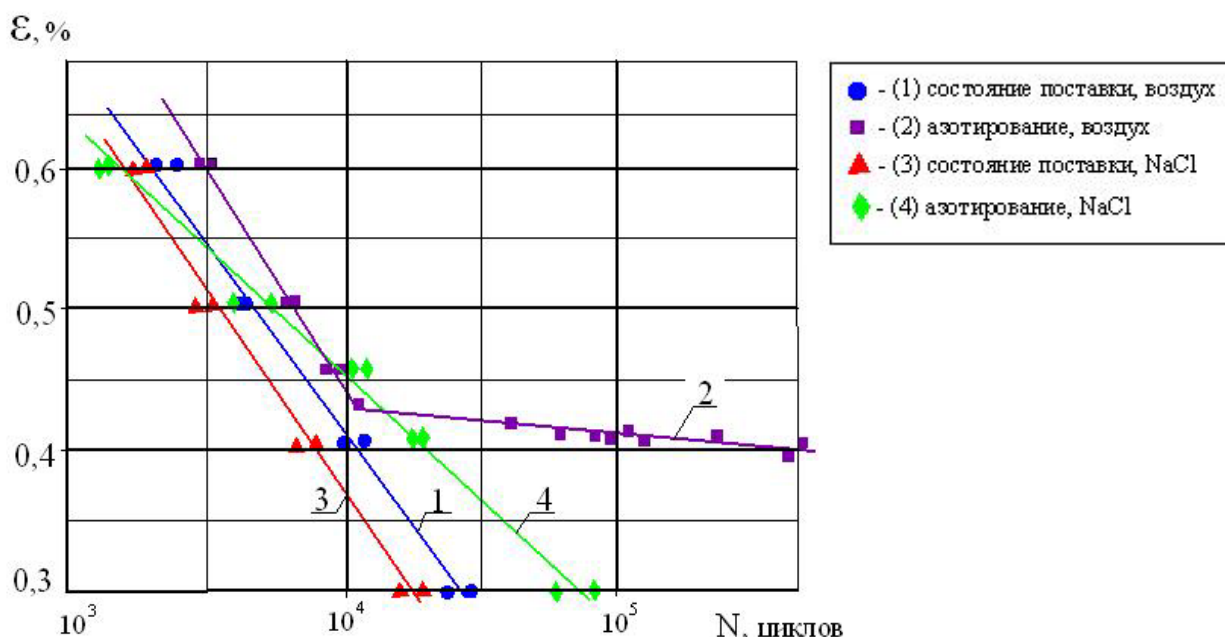


Рис.2 Малоцикловая усталость стали X18H10T

Сальниковые компенсаторы могут компенсировать большие линейные и угловые перемещения. Однако в них периодически возникает течь, которую необходимо ликвидировать. Использование сальниковых компенсаторов при значительных давлениях и частоте изменения компенсируемых размеров нецелесообразно.

Недостатками компенсаторов из гнутой трубы является их неспособность воспринимать большие осевые и угловые перемещения, которые могут возникнуть при эксплуатации трубопроводов, а так же занимаемая ими площадь.

Из сифонных компенсаторов наиболее универсальными являются поворотные компенсаторы (СПК), которые совмещают в себе свойства осевых и угловых компенсаторов. Отличительная особенность СПК заключается в том, что они соединяют трубопроводы, оси которых расположены в параллельных плоскостях, и компенсирует их перемещения относительно друг друга. Широкое распространение получила конструкция компенсаторов с двумя сифонами. В настоящее время часто используются сифонные сдвиговые компенсаторы (ССК), которые по принципу действия и по конструктивному оформлению мало отличаются от сифонных поворотных компенсаторов (СПК).

Важной задачей является создание универсального компенсатора, который мог бы одновременно воспринимать большие линейные и угловые перемещения, высокие гидростатические нагрузки (25–100 МПа) и надежно работать при значительной частоте изменения компенсируемых размеров и температуры. Поставленная задача может быть решена применением трех шаровых шарниров (рис.3, поз. I, II, III), состоящих из трех пустотелых шаров связанных между собой полусферами и соединительными патрубками[3].

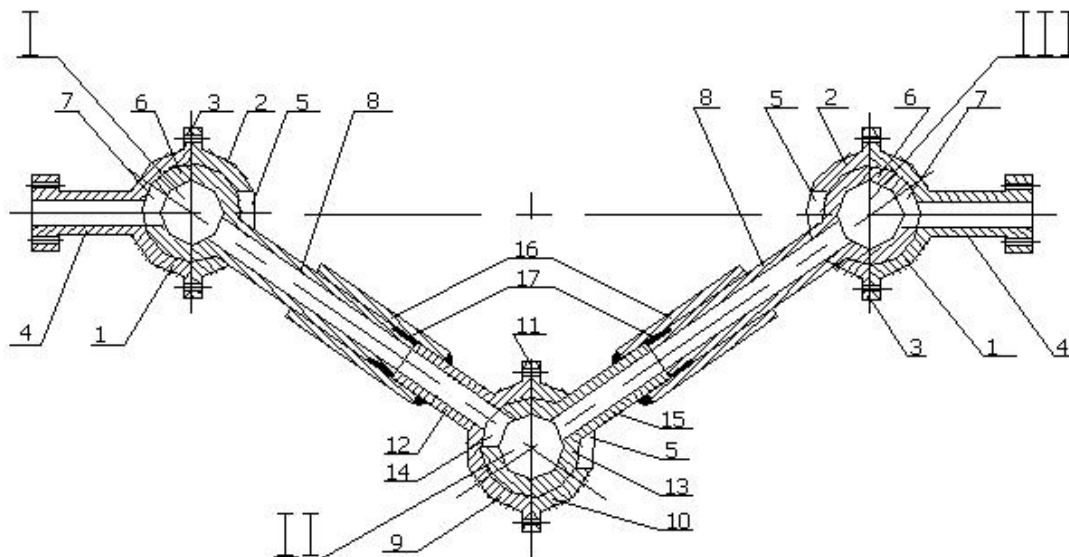


Рис.3 Шаровой компенсатор

1,2,9,10 – внешние полусферы; 3,11 – прокладка; 4 – присоединительные патрубки; 5,7,14 – прямоугольные окна; 6,13 – внутренние сферы; 8,12,15 – соединительные патрубки; 16 – соединительные втулки; 17 – слой функционального материала.

Для того чтобы шары имели бы возможность поворачиваться друг относительно друга в любом направлении пространства, и при этом проходное сечение для продукта не менялось, в пустотелых шарах и шаровых сферах имеются прямоугольные вырезы 7, 14. Эти же вырезы позволяют компенсировать угловые смещения в пределах  $630^0$ .

Для компенсации больших линейных перемещений, в аварийных случаях, используется патрубок, покрытый материалом с эффектом памяти формы (нитинол), который сопрягается со стальной муфтой по посадке с гарантированным натягом [4]; при превышении растягивающей нагрузки определенной величины, начнется взаимное проскальзывание втулки 16 относительно патрубка 8 с компенсацией больших линейных перемещений.

Компенсатор работает следующим образом: технологическая среда поступает через патрубок 4 в шарнир I, откуда, последовательно, через патрубки 8 и 12 в шарнир II. Из шарнира II, посредством патрубков 15 и 8 поступает в шарнир III, откуда через патрубок 4 выходит в технологическую линию. На рис.1 компенсатор изображен в нижнем положении, когда расстояние между соединяемыми объектами минимально. В случае увеличения расстояния между соединяемыми объектами шарнир II поднимается вверх, тем самым, компенсируя линейные перемещения.

Предлагаемая конструкция шарового компенсатора обладает следующими преимуществами по сравнению с сильфонными:

- простота монтажа;
- компенсирует большие линейные и угловые перемещения;
- позволяет работать при высоких давлениях;
- позволяет работать при высоких температурах;
- позволяет работать при значительных частотах изменения компенсационных размеров;
- простота и надежность длительной эксплуатации.

## Литература

1. Безопасность России. Безопасность трубопроводного транспорта. МГФ «Знание». М.: 2002.- 750 с.
2. Говядко Г.М., Есарев В.В., Дубчак В.Д., Компенсаторы для трубопроводов. Справочник. Энергоатомиздат 1993 г. - 253 с.
3. *Компенсатор для трубопроводов*. Решение о выдаче патента на изобретение № 2004128659/06(031012) от 27.09.04. Авторы: Ж.М. Бледнова, М.И. Чаевский, А.В. Вотинов, Д.А. Стрелевский. Приоритет от 29.09.2004 г.
4. Патент РФ № 2001135004. *Способ соединения деталей, имеющих цилиндрическую поверхность сопряжения* Ж.М. Бледнова, Д.Г. Будревич, М.И. Чаевский. Приор. от 19.12.2001. – 6 с