

## Особенности конструктивных решений высокотемпературных трубопроводных систем металлургических предприятий

*Статья посвящена вопросам проектирования металлоконструкций высокотемпературных трубопроводных систем металлургических предприятий. Рассмотрены проблемы компоновки работы в условиях высоких температур, создания оптимальных конструктивных схем. Ил. 5. Библиогр.: 1 назв.*

**Ключевые слова:** трубопроводная система, высокая температура, компенсаторы, затяжки

*The article is devoted the questions of planning of metallokonstrukciy of the high temperature pipeline systems of metallurgical enterprises. The problems of arrangement, works, are considered in the conditions of high temperatures, creation of optimum structural charts*

**Keywords:** pipeline system, high temperature, scraies, inhaling

На ряде промышленных предприятий для обеспечения технологического цикла используется воздух или газ высокой температуры, а на некоторых предприятиях, при определенных технологических процессах, вырабатываются подобные продукты. В частности, в доменном производстве используется воздух с температурой 1200-1500 °С, а в электросталеплавильном производстве вырабатывается газ с температурой до 600-800 °С. Транспортировка подобных продуктов осуществляется по внутрицеховым и общезаводским трубопроводным системам.

Наличие таких сред внутри трубопроводов вызывает нагрев их оболочек и приводит к последствиям, оказывающим негативное влияние на прочность и промышленную безопасность систем.

К таким последствиям прежде всего следует отнести деградацию механических характеристик конструкционной стали оболочек трубопроводов, связанной с их эксплуатацией в условиях высокотемпературного поля.

Одновременно с этим, нагрев одного метра трубопроводов на каждые 100 °С увеличивает, а при остывании – уменьшает длину трубопровода на 1,2-1,4 мм. Так как компенсация температурного удлинения трубопроводов за счет упругого сжатия возможна лишь при изменении температуры в пределах 30 °С, во всех элементах системы возникают, так называемые, *температурные усилия* и, соответствующие им, температурные напряжения.

Кроме того, транспортируемые среды имеют избыточное внутреннее давление, достигающее, например, в доменном производстве до

0,4-0,5 МПа, а в электросталеплавильных производствах – 10-20 кПа.

Таким образом, при проектировании высокотемпературных трубопроводных систем возникает необходимость в решении двух независимых задач: обеспечение прочности материала оболочек трубопроводов, находящихся в условиях поля высоких температур, и минимизация усилий в конструкциях трубопроводной системы от воздействия температуры.

Для трубопроводов с температурой транспортируемой среды 1200-1500 °С сохранение свойств материала оболочек обеспечивается устройством внутренней футеровки, снижающей их температуру до 100-150 °С, а для трубопроводов с температурой 600-800 °С прочность обеспечивается применением жаропрочной и жаростойкой стали.

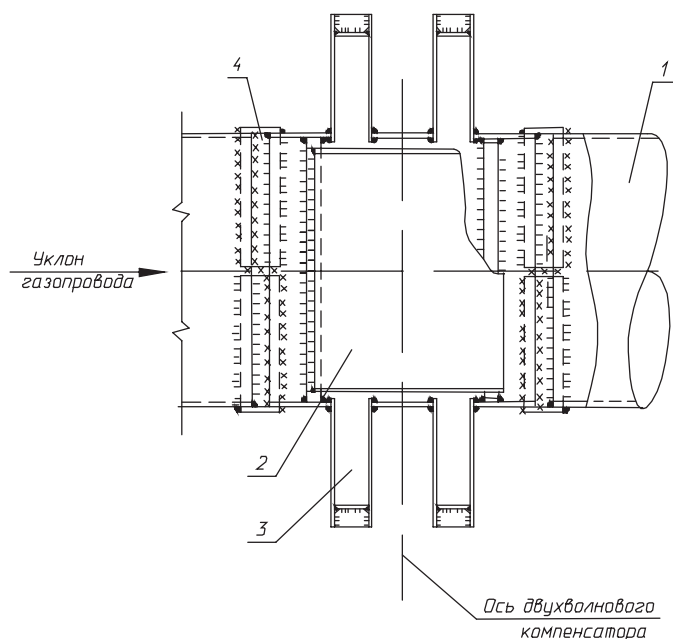
Что касается температурных усилий в системе, то они возникают в различных направлениях, но, в основном, вдоль осей трубопроводов и передаются на опорные конструкции и прилегающее оборудование. Их величина зависит от жесткости системы, расстановки опор, их типов и способа опирания на них трубопровода – опорной части. Эти усилия в большинстве случаев являются критериальными по величине характеристиками оптимальности конструктивной схемы и определяющими в общих нагрузках на опоры и их фундаменты.

Величина этих усилий является серьезным фактором и зачастую необходимо принимать специальные меры конструктивного и технологического характера для уменьшения эффекта проявления температурного воздействия и, со-

ответствующего, снижения уровня температурных усилий.

Основным способом снижения температурных усилий в трубопроводных системах является повышение их общей деформативности, за счет внутреннего поглощения перемещений, что достигается, как известно, постановкой компенсаторов.

Для трубопроводных систем с низким внутренним давлением, как правило до 30 кПа, применяются дисковые компенсаторы (рис. 1), которые вызывают, неуравновешенные усилия, передающиеся на неподвижные опоры.



**Рис. 1. Волновой дисковый компенсатор:**

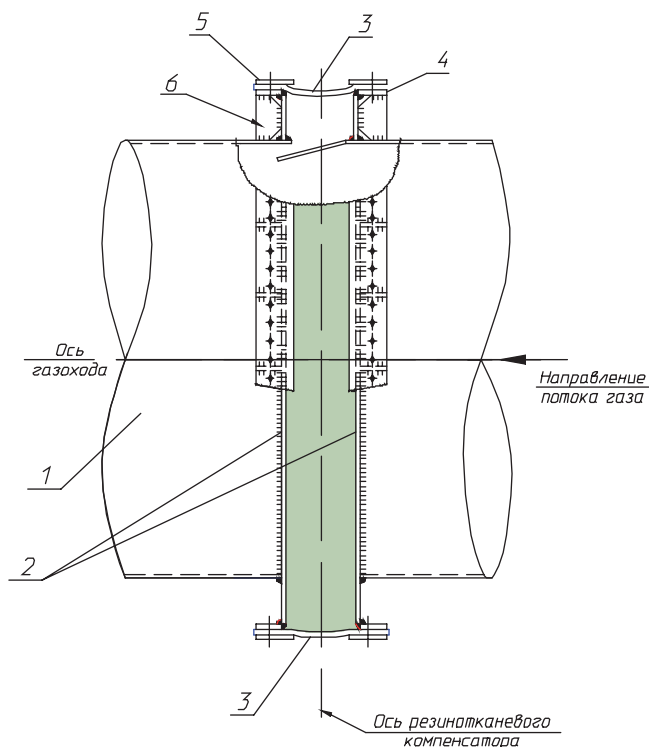
- 1 - трубопровод; 2 - внутренний патрубок;
- 3 - диск компенсатора; 4 - стыковые бандаж

В последнее время широкое применение нашли тканевые ленточные компенсаторы (рис. 2), не создающие неуравновешенных усилий.

Весьма важным положительным качеством ленточных компенсаторов является также их способность работать в условиях высокой цикличности нагрузок.

В системах газоочистки некоторых металлургических предприятий, в частности, конвертерных производств, режим работы трубопроводов связан с циклическими изменениями внутреннего давления или температуры в различных диапазонах. Поскольку в таких условиях дисковые или сильфонные компенсаторы более подвержены усталостным разрушениям, здесь наиболее целесообразно применение ленточных компенсаторных вставок.

Для трубопроводных систем с внутренним давлением более 30 кПа дисковые или тканевые



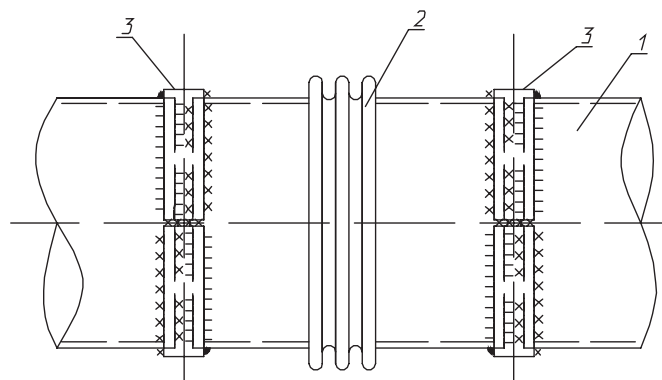
**Рис. 2. Ленточный компенсатор:**

- 1 - трубопровод; 2 - кольцевые ребра жесткости;
- 3 - гибкая вставка; 4 - фланцы крепления гибкой вставки; 5 - прижимное кольцо; 6 - ребра жесткости

компенсаторы не применяются в виду их недостаточной прочности при возникновении осевых усилий. Здесь применяются компенсаторы в виде волновых сильфонных вставок, волны которых способны воспринимать нагрузку от внутреннего давления, а также осевые и сдвиговые перемещения (рис. 3).

Необходимая компенсирующая способность компенсаторов зависит от компоновочной схемы трубопроводной системы, количества и расположения компенсаторов и опор.

Для трубопроводов с внутренним давлением более 30 кПа, в связи с отмеченной неспособностью сильфонных и ленточных компенсаторов воспринимать осевые растягивающие уси-



**Рис. 3. Волновой сильфонный компенсатор:**

- 1 - трубопровод; 2 - линзы компенсатора;
- 3 - стыковые бандаж

лия, необходимо обеспечение их прочности при воздействии осевых усилий при сохранении их компенсирующих функций в любом температурном режиме.

Одним из применяемых способов решения этой проблемы является передача осевых усилий от температурного распора компенсаторов, неуравновешенного внутреннего давления на крайние волны (при сильфонных компенсаторах) и давления на торцевые заглушки на другие конструктивные элементы, одновременно не препятствующие деформативности компенсаторов.

Такая передача усилий может быть решена «замыканием» отдельных компенсаторов конструктивными элементами различной длины. Установка таких элементов, стягивающих собственно компенсаторы (рис. 4), пригодна для восприятия осевых усилий, однако не дает возможности компенсаторам деформироваться при изменениях температуры в период эксплуатации, так как не компенсируется температурное удлинение собственно затяжек. В таком случае необходимо «замкнуть» компенсаторы после полного разогрева трубопровода, перед подачей внутреннего давления и в дальнейшем в ручном режиме регулировать усилия «замыкания». В силу многих причин такая схема не может считаться пригодной для применения.

При невозможности решить компенсацию затяжек отдельными локальными узлами, например, пружинами, решением здесь может быть только постановка длинных продольных затяжек, проложенных по всей длине трубопровода. Такие затяжки соединяют между собой крайние неподвижные опоры и замыкают весь участок, температурные перемещения которого воспринимаются компенсаторами.

Применение длинных затяжек позволяет исключить продольные осевые усилия на компенсаторы и одновременно решить две задачи:

- компенсаторы оказываются «замкнутыми» и на них не передаются горизонтальные усилия;
- сохраняется возможность деформирования компенсаторов при многократных изменениях технологической температуры.

При этом, большая длина затяжек приводит, в свою очередь, к необходимости решения двух других задач:

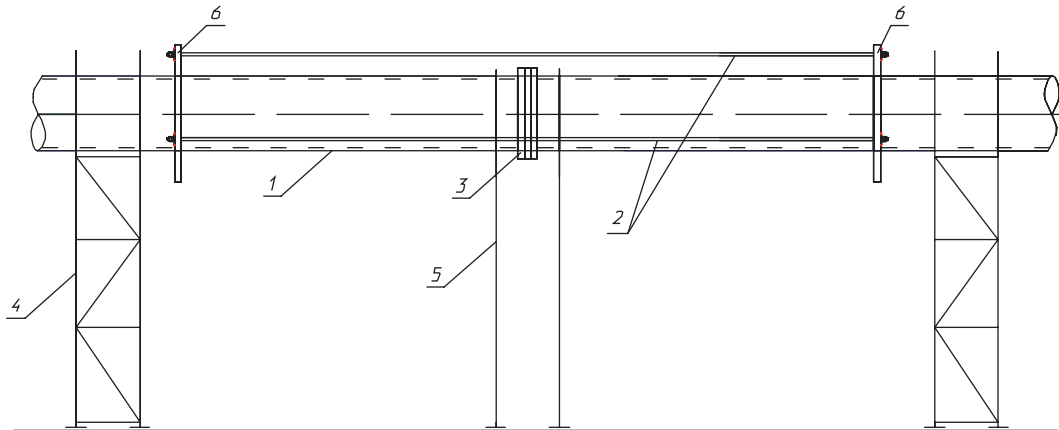
- учитывая, что затяжки находятся в температурном поле близком по величине к полю оболочки, необходимо обеспечить компенсацию их собственных температурных удлинений;
- упругие деформации – упругое удлинение затяжек при максимальных напряжениях в них не должны превышать по величине расчетную компенсирующую способность компенсаторов.

Требование по ограничению упругих деформаций затяжек является важнейшим и связано с тем, что при их высоких значениях они могут превосходить значения компенсирующей способности компенсаторов, что вызовет разрушение последних и приведет к возникновению нештатной ситуации. В практике строительства такая ситуация имела место на одном из южных заводов Украины [1].

*Первая задача* – компенсация температурных удлинений затяжек – решается устройством за крайней неподвижной опорой части трубопровода так называемого «хвостовика», перед которым размещается отдельный концевой компенсатор. К «хвостовику» закрепляются затяжки, а концевой компенсатор воспринимает их температурные перемещения.

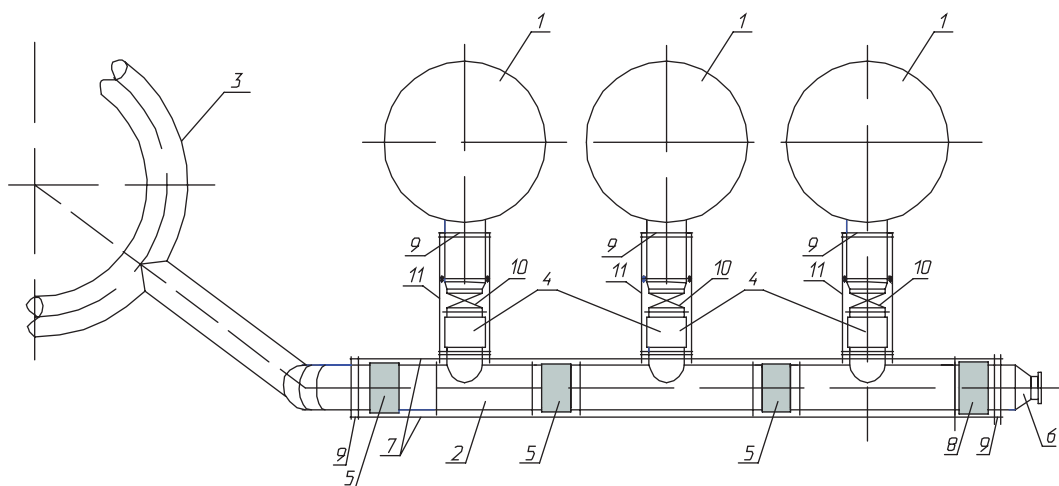
Подобное решение на примере воздухопровода горячего дутья доменной печи показано на рис. 5.

Компенсаторы 4 и 5 решаются в виде волновых сильфонных вставок, волны которых способны воспринимать нагрузку от внутреннего давления, а также осевые и сдвиговые перемещения.



**Рис. 4. Установка компенсатора:**

- 1 – трубопровод; 2 – продольные затяжки; 3 – компенсатор; 4 – неподвижная опора; 5 – плоская опора; 6 – опорные элементы затяжек



**Рис. 5. Схема воздухопровода горячего дутья доменной печи:**

1 – воздухонагреватели; 2 – прямой воздухопровод горячего дутья; 3 – кольцевой воздухопровод; 4 – сильфонные компенсаторы на соединительных штуцерах; 5 – сильфонные компенсаторы на прямом воздухопроводе; 6 – хвостовик; 7 – продольные затяжки; 8 – сильфонный компенсатор перемещения тяг; 9 – ребра для крепления тяг; 10 – клапаны горячего дутья; 11 – затяжки на штуцерах

На прямом воздухопроводе устраивают «хвостовик» 6, перед которым расположен концевой компенсатор 8.

Продольные усилия от неуравновешенного внутреннего давления на торцы трубы и на крайние волны компенсатора, в связи с отсутствием неподвижных опор, передаются на систему затяжек 7, расположенных вдоль воздухопровода.

Вторая задача решается подбором сечения затяжек необходимой жесткости.

При определении поперечного сечения затяжек кроме условий прочности следует обеспечить их упругое удлинение под максимальной нагрузкой, не превышающее компенсирующую способность компенсаторов. Величина этого упругого удлинения при максимальных усилиях должна быть учтена в расчетной компенсирующей способности компенсаторов.

### Вывод

Устройство такой системы позволяет для высокотемпературных трубопроводов, работающих под давлением внутренней среды, применить компенсирующие вставки и обеспечить их реагирование в автоматическом режиме на изменения технологической и сезонной температуры.

### Библиографический список

1. Сахновский М. М, Любин А. Е, Зевин А. Д. Уроки одной аварии // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 1978. – № 2. – С. 31-32.

**Поступила 30.12.2014**

