

## Пути повышения промышленной безопасности паропроводов тепловой энергетики Цепилев И. А.

*Цепилев Игорь Александрович / Cepilev Igor' Aleksandrovich - заместитель директора по техническим вопросам,  
эксперт по промышленной безопасности,  
ООО «ПромГазЭнерго», г. Волгоград*

**Аннотация:** рассмотрены проблемы и эффективные пути их решения в сфере повышения промышленной безопасности паропроводов тепловой энергетики как элемента техносферы, работающего в экстремальных эксплуатационных условиях и являющегося опасным производственным объектом. Проведен анализ факторов, вызывающих деструктивные изменения в структуре и свойствах паропроводов и их элементов. Рекомендованы технические решения, позволяющие повысить надежность их функционирования и снизить вероятность реализации сценария возникновения аварийной ситуации.

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, температура, давление, гиб, дефекты, опорно-подвесная система, паропроводы.

Основа надежного функционирования и развития социально-экономической сферы любой страны – это добывающий сектор, промышленность и предприятия жизнеобеспечения (тепло- и электроэнергетика). По роду своей деятельности они оказывают весомое влияние на общее состояние безопасности техносферы в России, т. к. являются опасными промышленными объектами (ОПО). Основным правовым средством, обеспечивающим соблюдение правил и норм промышленной безопасности на ОПО, является их экспертиза, проводимая на основании требования ст. 13 Федерального Закона № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [1].

Одними из важнейших производств, имеющих стратегическое значение как для добывающей и перерабатывающей отраслей, так и для населения страны, являются тепло- и электроэнергетика. В суровых климатических условиях нашей страны стабильная и безаварийная работа тепловых сетей и, в частности, паропроводов играют очень важную роль.

Следовательно, анализ особенностей их работы, причин, негативно влияющих на структуру и свойства материала паропроводов, и определение эффективных путей повышения промышленной безопасности данного вида ОПО, является актуальной задачей как с научной, так и с практической точки зрения.

В силу своего функционально назначения, паропроводы работают в экстремальных условиях эксплуатации (температура рабочего агента – до 550°C, давление до 15 МПа, наличие высокой вибрационной нагруженности конструкции). Следствием этого является масса внешних и внутренних факторов, осложняющих работу паропроводов (гидравлические удары, пульсация давления), приводящих к их быстрому износу и различным повреждениям.

Конструкция паропровода включает в себя как основные элементы – трубы, по которым транспортируется тот или иной флюид, так и фасонные элементы (гибы и тройники). Совокупность надежной работы обозначенного комплекса обеспечивает безопасность эксплуатации столь опасного объекта, как паропровод.

В качестве основных факторов, деструктивно влияющих на его функционирование данной технологической части теплоэнергетики, можно выделить наиболее характерные:

- агрессивное физико-химическое влияние пара, имеющего высокие температурные характеристики и величины давлений, на структуру и свойства металла – образование и распространений коррозийно-эрозийных процессов, образование различных дефектных структур в металле;
- фактор влияния опорно-подвесных систем.

Перегретый пар, транспортируемый по трубопроводу, в силу своих деструктивных химических свойств вызывает коррозионно-эрозийный износ, который может проявляться как на локальном уровне в виде язв и местных утонений стенок, так и проявляться повсеместно (уменьшение стенок труб по всей протяженности трубопровода).

Агрессивное воздействие пара на стенки в совокупности с его высоким давлением и частой пульсацией последнего создают благоприятные условия для зарождения, проявления и развития дефектов, имеющих разные структурные уровни (микро, мета, макро).

Они являются физическими концентраторами напряжений, при этом различные кластерные сочетания дефектов могут носить синергетический эффект и взаимно усиливать деструктивные процессы в материале паропровода, особенно это касается мест сварных соединений и фасонных элементов (гибов, тройников), с учетом их неоднородности и остаточных напряжений.

В отношении разрушающего влияния дефектов на структуру и ресурс работы сварных соединений можно констатировать, что он рассмотрен и проанализирован достаточно широко. Данному вопросу посвящены работы таких ученых, как Н. П. Алешина, Т. Я. Бениевой, Л. Р. Ботвиной, Ю. Ф. Иванова, К. Е. Никитиной, А. В. Шарко и многих других.

В оценке надежности и безопасности функционирования паропроводной системы преобладающее значение имеет характер разрушения структуры (дефекты) и свойства ползучести металла, непосредственно влияющие на пространственно-временную реализацию того иного сценария аварийной ситуации.

Если оценивать характер разрушений элементов или конструкции паропровода в целом с точки зрения Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», возможны два варианта: если произошла утечка, это квалифицируется как «инцидент», в ином случае – фиксируется «авария».

В зависимости от масштабности эффекта и области его распространения, а также уровня напряжений (в т. ч. усталостных), сконцентрированных в том или ином месте или по всему телу паропровода, в рассматриваемой системе могут реализоваться следующие деструктивные явления и процессы:

- развитие дефекта происходит медленно и обеспечивает возможность эксплуатации паропровода при рабочем давлении;
- в результате развития дефекта образуется утечка рабочей среды, не критичная для работы системы в целом;
- в результате развития дефекта происходит лавинное разрушение трубы в целом, приводящее к необходимости аварийной остановки котла [2, 3].

Наиболее отчетливо влияние дефектов структуры разного иерархического уровня проявляется в отношении стабильности работы гибов паропроводов.

Алгоритм развития дефектной структуры здесь носит линейный характер и в зависимости от изношенности материала может реализоваться в разные временные интервалы и в разных формах.

В начальный момент, при относительно малой деформации, на шлифе металла под микроскопом наблюдаются четко очерченные отдельные зерна.

После этого границы медленно расплываются и появляются отдельные поры. По мере деградации структуры металла количество пор увеличивается, они укрупняются и объединяются в цепочки, либо кластеры. Цепочки переходят в микротрещины, которые, сливаясь и увеличиваясь, трансформируются в макротрещины, и на последнем этапе формируется одна макротрещина, по которой и происходит разрушение элемента.

Это качественное представление положено в основу шкалы микроповреждаемости, в которой первому баллу соответствует отсутствие пор, второму – наличие единичных пор, и по возрастающей с увеличением пористости переходящей в трещиноватость. Максимальному седьмому баллу соответствуют микротрещины и макротрещины, выявляемые при ультразвуковом контроле. Таким образом, оценивая состояние металла по шкале микроповреждаемости, можно предвидеть развитие процесса деградации металла на определенный промежуток времени [4].

Следующий фактор – опорно-подвесная система (ОПС) креплений трубопроводов. Она предназначена для восприятия весовых, динамических, вибрационных нагрузок, нагрузок, возникающих при движении рабочего агента (пара) в паропроводе и динамических усилий. Ее функциональное назначение – защита от негативного влияния различных силовых, нагружающих структуру паропровода металла факторов, ограничения температурных перемещений и т. п.

Существует большой сортамент ОПС: скользящие опоры, катковые, жесткие подвески, комбинированные опоры и т. д.

Наиболее важным условием для эффективного снижения влияния вредных внешних и внутренних факторов на физико-механические свойства паропроводной системы является технически обоснованный выбор мест креплений участков паропровода к ОПС и его типа. Это позволит обеспечить нужную прочность конструкции системы при допустимых напряжениях и снизит деформационные эффекты [2, 4].

Таким образом, проанализировав особенности работы паропроводов, причин, негативно влияющих на стабильность и безопасность их функционирования, можно рекомендовать следующие пути повышения промышленной безопасности:

- 1) повышение исходного качества трубного материала;
- 2) разработка новых ресурсо- и энергосберегающих технических решений по физико-химической защите материала паропроводов от агрессивного действия транспортируемой флюидной среды (пара);
- 3) разработка новых аппаратурных средств диагностики дефектов и разрушений материала трубопроводов, повышение их точности и корректности результатов;

4) технически обоснованный выбор типа и места расположения опорно-подвесной системы с учетом физико-механических и эксплуатационных характеристик паропроводов.

#### *Литература*

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», принят Государственной Думой 20 июня 1997 г. № 116-ФЗ.
2. *Даниюшевский И. А., Пучков С. В.* Эксплуатация оборудования в особо тяжелых условиях, их безопасность, надежность и ресурс // Энергосбережение. Энергетика. Аудит. – 2013. - № 9 (115). – С. 51-60.
3. *Фольмер С. В.* Разработка технологии оценки ресурса сварных соединений трубопроводов с применением спектрально-акустического метода. Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук, 2009. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elib.altstu.ru/elib/disser/2009/folmer.pdf> (дата обращения 10.12.15).
4. *Шувалов С. И., Митюшов А. А.* Прогнозирование состояния гибов паропроводов по величине остаточной деформации // Вестник ИГЭУ. – 2011. - Вып. 2. – С. 1-4.