

УДК 621.186.3

**НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПАРОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
STRESSED STATE OF STEAM PIPELINES OF THERMAL POWER
PLANTS**

В.С. Баянкова, А.Д. Белозёрова
Научный руководитель – С.А. Качан, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
kachan@bntu.by

V. Bayankova, A. Belozerova
Supervisor – S. Kachan, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** рассматриваются напряжения, возникающие при работе паропроводов тепловых электростанций, в том числе тангенциальные, аксиальные и радиальные нормальные напряжения. Описаны напряжения от внутреннего давления, от самокомпенсации температурных удлинений, а также температурные напряжения. Приведены типичные графики распределения температур по окружности паропроводной трубы при плохом и при хорошем ее дренировании.*

***Abstract:** stresses arising during the operation of steam pipelines of thermal power plants, including tangential, axial and radial normal stresses, are considered. Stresses from internal pressure, from self-compensation of temperature elongations, as well as thermal stresses are described. Typical graphs of temperature distribution along the circumference of a steam pipe with poor and good drainage are given.*

***Ключевые слова:** напряжения, внутреннее давление, самокомпенсация температурных удлинений, температурные напряжения.*

***Key words:** stresses, internal pressure, self-compensation of thermal elongations, thermal stresses.*

Введение

С повышением единичной мощности паротурбинных энергетических блоков возрастают требования к надежности работы главных паропроводов тепловых электростанций (ТЭС). В практике эксплуатации ТЭС известен ряд случаев аварийной остановки энергоблоков в связи с повреждениями металла паропроводов. Для выяснения причин повреждений и устранения возможного их повторения наряду с диагностикой состояния металла необходимо знать уровень действующих в паропроводе напряжений.

Основная часть

Металл паропроводов работает в условиях сложнапряженного состояния.

Если вырезать из трубы элементарный (малый) сегмент, то на его ограничивающих поверхностях будут действовать как нормальные к ним, так и касательные напряжения (рисунок 1) [1].

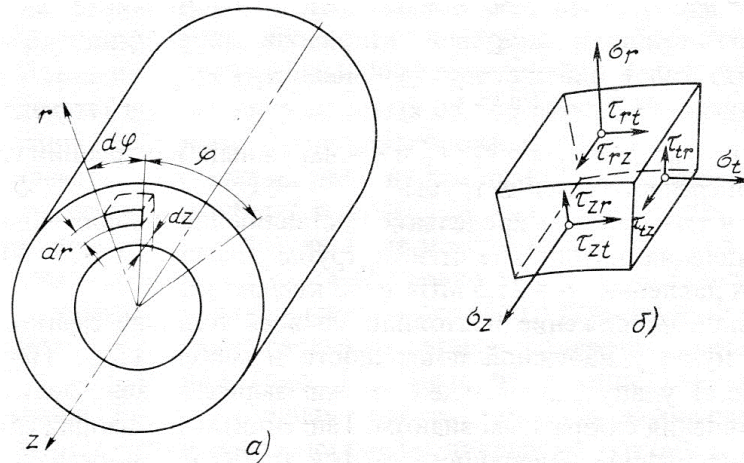


Рисунок 1 – Нормальные и касательные напряжения, действующие в паропроводе при сложном напряженном состоянии: а - паропроводная труба и ее цилиндрические координаты; б - элементарный сегмент, вырезанный из паропровода, и действующие на его видимых граничных поверхностях нормальные σ и касательные τ напряжения

В соответствии с используемыми для прямолинейных участков труб цилиндрическими координатами φ , z , r принято различать тангенциальные (окружные) σ_t , аксиальные (осевые) σ_z и радиальные σ_r нормальные напряжения.

Действующие в паропроводах напряжения принято классифицировать по нагружающим факторам, вызвавшим их появление.

Различают напряжения от внутреннего давления, от самокомпенсации температурных удлинений, от весовой нагрузки, от внешних воздействий (ветер при наружной прокладке), от динамического воздействия потока пара (достигают значительной величины в выхлопных трубах при срабатывании предохранительных клапанов) и температурные напряжения. При совместном действии различные виды напряжений алгебраически суммируются.

Одной из основных составляющих напряжений в паропроводах считается напряжение от внутреннего давления. По давлению при расчетах на прочность определяется толщина стенки паропровода [2]. Под действием внутреннего давления в элементарном сегменте трубы в окружном, осевом и радиальном направлениях возникают только нормальные натяжения.

Для примера на рисунке 2 [1] показано распределение составляющих напряжений от внутреннего давления по толщине стенки трубы диаметром 377x70 мм при внутреннем давлении $p = 25,5$ МПа.

Напряжения от самокомпенсации температурных удлинений паропроводов [2] связаны с удлинениями труб при нагреве, которым препятствует мертвое закрепление концов, а иногда и некоторых промежуточных точек трассы, что приводит к деформациям и к возникновению изгибающих и крутящих моментов. Нагрузки от самокомпенсации температурных удлинений и от веса трубопровода учитываются как дополнительные нагружающие факторы в поверочных расчетах паропроводов на прочность после выбора по внутреннему давлению толщины стенки.

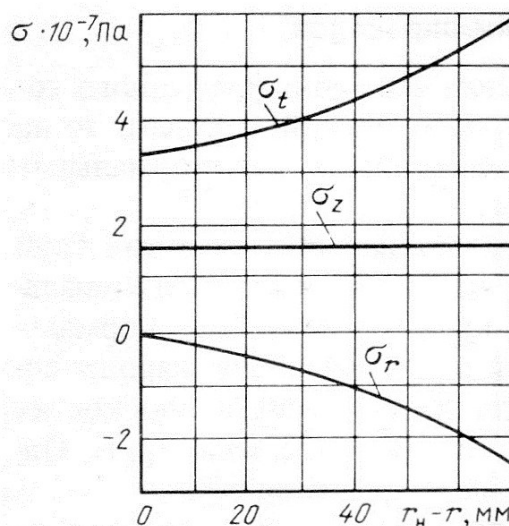


Рисунок 2 – Распределение напряжений от внутреннего давления по толщине стенки толстостенной трубы: r_n , r - наружный радиус трубы и текущая радиальная координата

Температурные напряжения в стенке трубы вызываются главным образом температурной неравномерностью в радиальном направлении (по толщине стенки) в режимах прогрева или охлаждения, а также в окружном – между верхом и низом трубы на горизонтальных участках при плохом дренировании. Они учитываются в поверочных расчетах паропроводов на малоцикловую усталость в случае частых пусков и остановов энергоблоков в условиях эксплуатации [1] для обоснования допустимости принятых режимов работы из условия исключения возможного появления трещин в местах концентрации напряжений.

Роль температурных напряжений в развитии повреждений паропроводов в иллюстрируется следующим примером.

Так в [1] при обследовании металла паропровода с поперечными связями от котла ТП-87 в месте соединения с переключательной магистралью была обнаружена кольцевая трещина на наружной поверхности одного из швов приварки линейной задвижки котла к паропроводу $\varnothing 273 \times 36$ мм из стали 12Х1МФ. Трещина развивалась снаружи по границе зоны термического влияния и основного металла на глубину до 18 мм [1]. Вблизи трещины имелось множество межкристаллитных надрывов, свидетельствующих о большом уровне действующих напряжений. При подключении котла к переключательной магистрали прогрев этого участка паропровода происходил с недопустимо высокой скоростью (до 20 °С/мин), что объясняется недостаточным его прогревом в предшествующий период растопки котла, когда линейная задвижка была еще закрыта.

Температурная неравномерность в окружном направлении наблюдается преимущественно на горизонтальных участках паропроводов и достигает значительной величины главным образом в переходных режимах. Она обусловлена неравномерной по окружности теплоотдачей от конденсирующегося пара к стенке трубы и связана со стеканием пленки конденсата в нижнюю часть горизонтальной трубы при ее прогреве с образованием ручья конденсата, движущегося к точке дренирования. В этих

условиях температура верхней части трубы становится больше, чем нижней. Температурная неравномерность в окружном направлении существенно зависит от качества дренирования паропровода при прогреве.

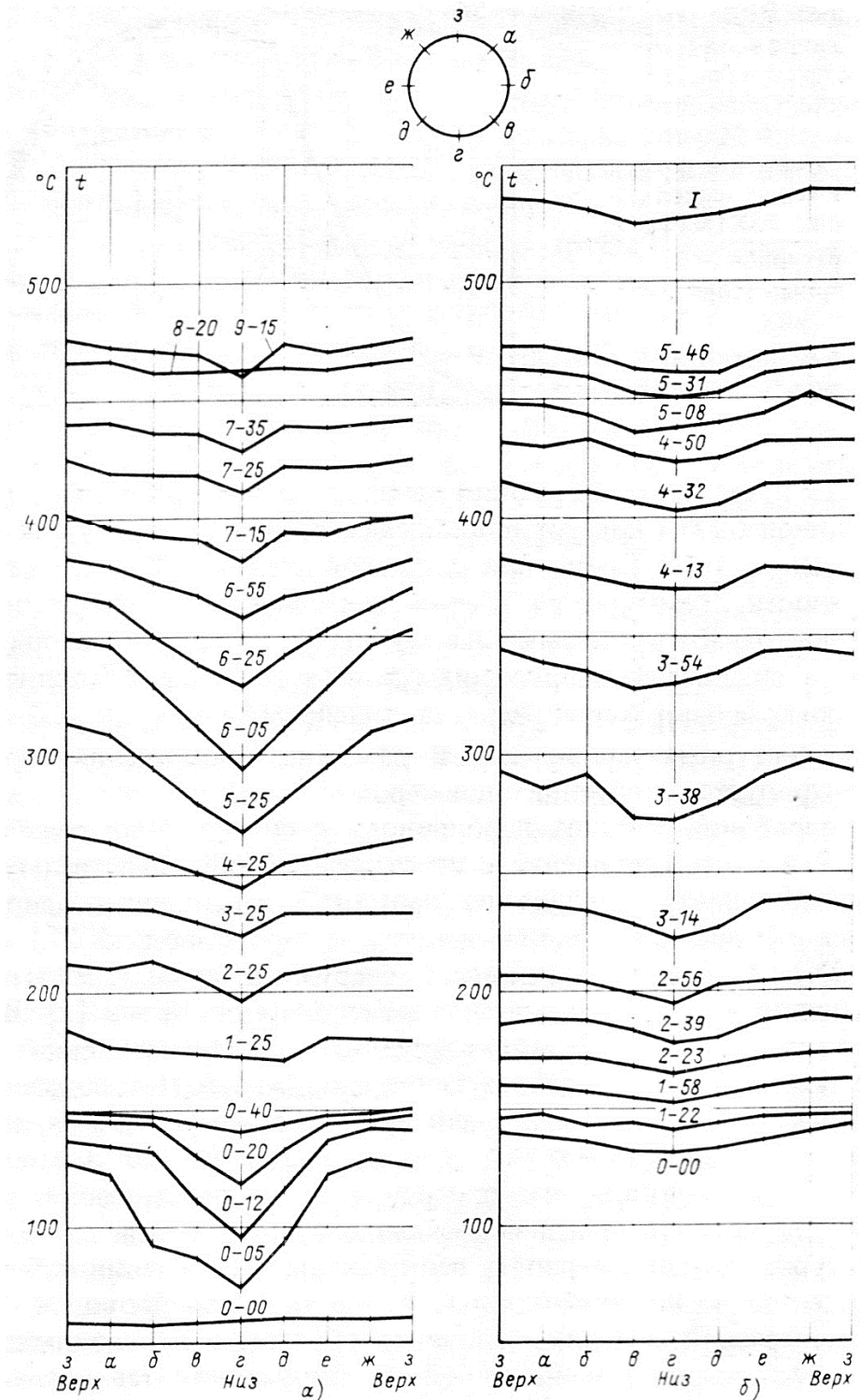


Рисунок 3 – Температурное поле по окружности поперечного сечения главного паропровода котла типа ТП-80 на горизонтальном участке при прогреве: а - до реконструкции дренажей; б - после реконструкции. Цифрами у кривых обозначено время от начала прогрева; а, б, в, ... - термопары у наружной поверхности стенки паропровода, расположение которых по окружности трубы показано над графиками; I - установившийся температурный режим

Типичные графики распределения температур по окружности паропроводной трубы при плохом и при хорошем дренировании изображены на рисунке 3 [1].

Как видно, при плохом дренировании разность температур между верхом и низом паропровода в процессе прогрева возрастала до 60 °С, при хорошем – не превышала 25 °С.

Заключение

Температурная неравномерность в радиальном и в окружном направлениях играет наиболее существенную роль в развитии температурных напряжений в паропроводах. Для ограничения температурных напряжений регламентируется средняя скорость прогрева паропроводов значениями от 5 до 1 °С /мин в зависимости от параметров пара, марки стали и ряда других факторов, а также хорошее дренирование трубопроводов.

Литература

1. Паропроводы тепловых электростанций / Д.П. Елизаров. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 88 с.
2. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды (РД 10-249–98). Серия 20. Выпуск 4 / Колл. авт. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2010. – 344 с.