

## РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В П – ОБРАЗНЫХ КОМПЕНСАТОРАХ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Белиловец В.И.,

научный руководитель д-р техн. наук Липовка Ю.Л.

*Сибирский федеральный университет*

В настоящей статье рассматривается вопрос расчета П – образных радиальных компенсаторов тепловой сети на компенсацию тепловых расширений. Рассмотрено влияние коэффициента гибкости и коэффициента концентрации продольных изгибающих напряжений на предельно допустимый вылет компенсирующих плеч П – образных участков различных геометрических конфигураций. При расчете труб на компенсацию тепловых расширений радиальными компенсаторами определяют такие их габариты, при которых продольные изгибающие напряжения, возникающие при упругой деформации труб, не превышают допустимый предел. В качестве расчетной схемы трубопровода используется стержневая модель (длина трассы трубопровода превышает наружный диаметр более чем на порядок). Радиальный компенсатор представляет собой расчетный участок самокомпенсирующегося трубопровода закрепленного между двумя неподвижными опорами. Согласно методу сил, одна из неподвижных опор расчетного участка считается раскрепленной и к ней прикладывают силы упругой деформации и изгибающий момент, заменяющие отброшенную опору. Для определения сил упругой деформации, возникающих в трубопроводе при тепловом расширении, автором данной статьи использован метод упругого центра. Данный метод представляет собой одну из модификаций метода сил, заключающуюся в том, что все побочные коэффициенты канонических уравнений (т.е. такие коэффициенты  $\delta_{ik}$ , у которых  $i \neq k$ ) обращаются в нуль. Достигается это путем перемещения основных неизвестных из отброшенной неподвижной опоры в упругий центр тяжести рассчитываемого участка трубопровода. Точка приложения основных неизвестных считается соединенной с точкой размещения отброшенной опоры бесконечно жесткой гипотетической консолью. Ось трубопровода предполагается наделенной некоторой распределенной упругой массой, пропорциональной ее жесткости.

В радиальных компенсаторах наиболее повреждаемыми элементами являются отводы. В отводах происходит оваллизация поперечного сечения стенки трубы и, как результат этого, повышение податливости при изгибе по сравнению с прямыми трубами. Отводы относятся к элементам трубопровода с резким изменением формы. Такое изменение приводит к концентрации дополнительных напряжений в данных элементах, возникающих под влиянием сил, сплющивающих поперечное сечение.

В статье рассмотрены 3 расчетные модели П – образных компенсаторов надземного или канального способа прокладки. Для получения численных результатов разработаны специальные программы для ЭВМ, выполняющие расчет на компенсацию тепловых расширений радиальных компенсаторов (свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014610558 и № 2014611344, выданные Федеральной службой по интеллектуальной собственности).

При расчете приняты следующие допущения: неподвижные опоры считаются абсолютно жесткими; сопротивление сил трения подвижных опор при тепловом удлинении трубопровода не учитывается. Допустимое компенсационное напряжение определялось во всех случаях по РД 10-400-01. Коэффициент гибкости отвода

определялся по РД 10-400-01. Коэффициент концентрации напряжений определялся по формуле  $0,9/h^{2/3}$ , где  $h$  – геометрическая характеристика гибкости трубы.

Характеристики расчетных моделей П – образных компенсаторов

Расчетная величина	Размерность	Значение
Наружный диаметр трубы/номинальная толщина стенки компенсатора №1	мм	159/2
Вылет/ширина спинки компенсатора №1 (без учета размеров отводов)	м	3/1,5
Допустимое компенсационное напряжение компенсатора №1	МПа	146
Наружный диаметр трубы/номинальная толщина стенки компенсатора №2	мм	219/6
Вылет/ширина спинки компенсатора №2 (без учета размеров отводов)	м	4/2
Допустимое компенсационное напряжение компенсатора №2	МПа	154
Наружный диаметр трубы/номинальная толщина стенки компенсатора №3	мм	426/7
Вылет/ширина спинки компенсатора №3 (без учета размеров отводов)	м	6/3
Допустимое компенсационное напряжение компенсатора №3	МПа	150
Коэффициент предварительной растяжки	безразмерная величина	1
Расчетная температура теплоносителя (стенки трубы)	°С	130
Температура монтажа	°С	-20
Модуль упругости материала трубопровода при рабочей температуре	МПа	196000
Избыточное внутреннее давление	МПа	1,6
Линейное тепловое расширение материала трубопровода при расчетной температуре теплоносителя (стенки трубы)	мм/м°С	0,0125
Коэффициент снижения прочности сварного соединения при действии любой нагрузки, кроме изгибающего момента	безразмерная величина	1
Коэффициент снижения прочности сварного соединения при действии изгибающего момента	безразмерная величина	0,9
Номинальное допускаемое напряжение материала трубопровода при рабочей температуре	МПа	140

Ниже представлены графики зависимости максимального суммарного вылета прилегающих компенсирующих плеч от радиуса кривизны отводов.

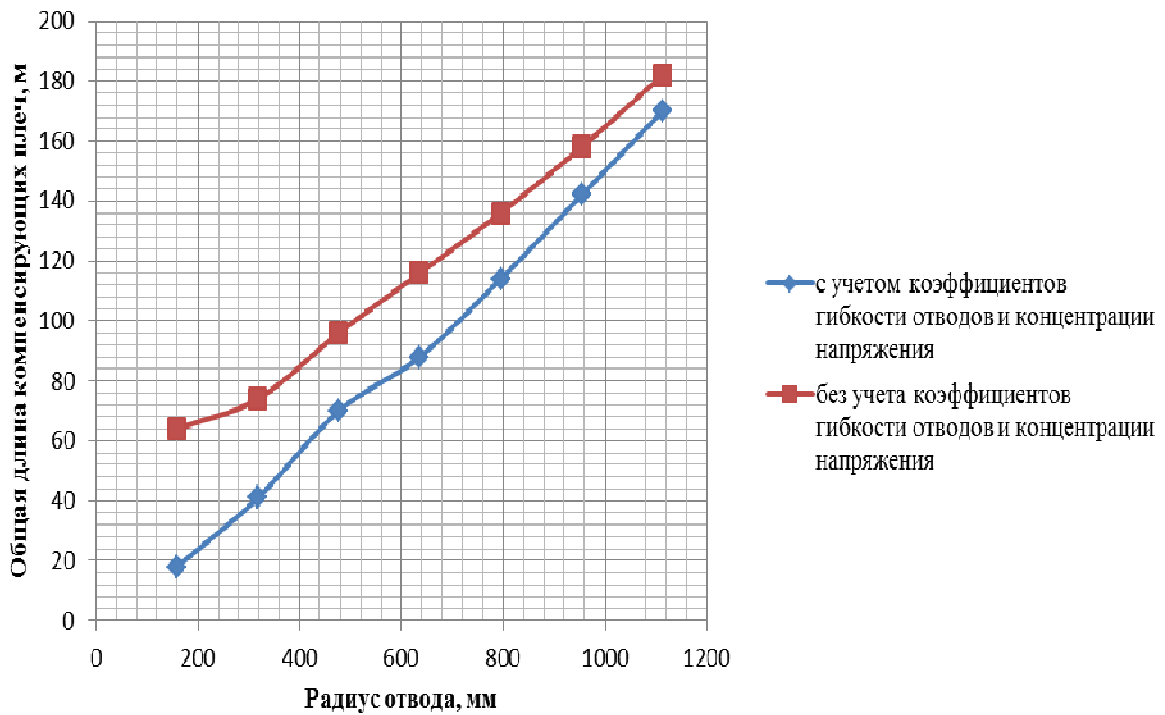


Рисунок 1 – График для компенсатора №1

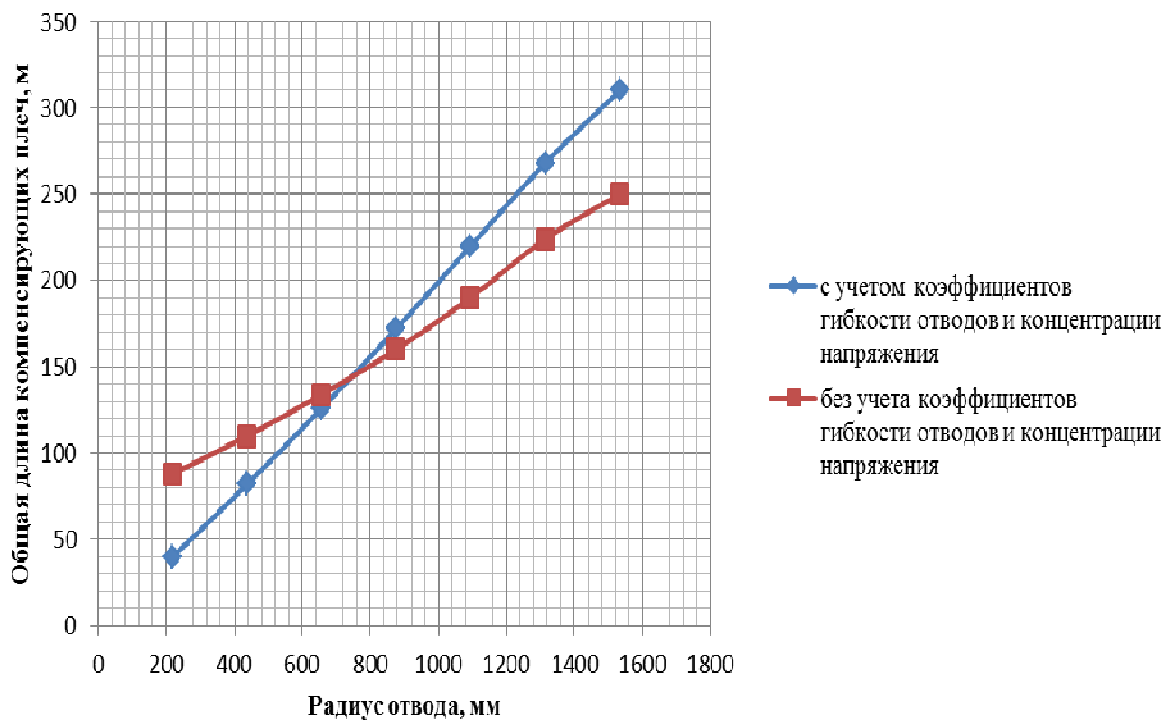


Рисунок 2 – График для компенсатора №2

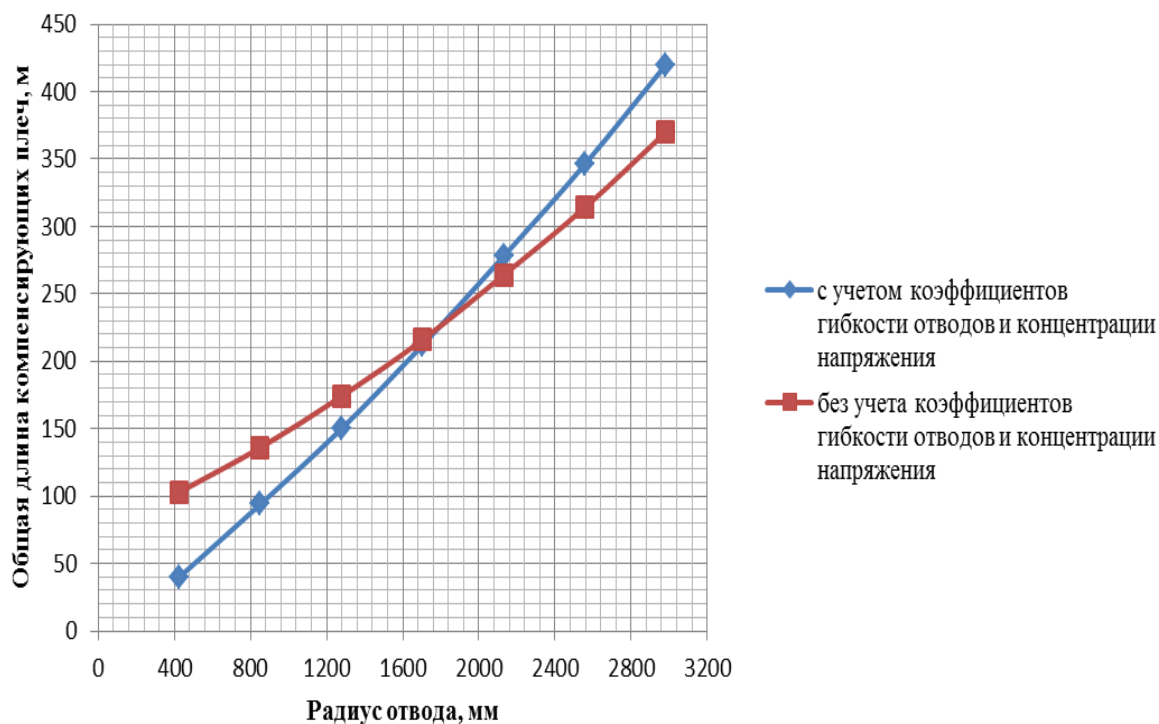


Рисунок 3 – График для компенсатора №3

Из представленных графиков видно, что зависимость между максимальной длиной вылета прилегающих плеч компенсатора и радиусом кривизны отводов имеет линейный характер.

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы:

1) Наиболее невыгодным с точки зрения обеспечения запасов прочности является использование отводов, радиус кривизны которых равен одному наружному диаметру трубы.

2) Увеличение радиуса кривизны отводов с одного до двух наружных диаметров приводит к увеличению максимального вылета компенсирующих плеч в 2 раза.

3) Для снижения материальных затрат, упрощения конструкции и снижения гидравлических сопротивлений в тепловой сети, необходимо использовать радиусы отводов П – образных компенсаторов, равные двум – трём наружным диаметрам трубы.

4) В расчетах необходимо учитывать коэффициенты гибкости отводов и концентрации напряжения, поскольку игнорирование последних приводит к некорректным результатам.

#### Список литературы

1. Нормы расчета на прочность трубопроводов тепловых сетей, РД 10-400-01, «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», М., 2001;
2. А.Г. Камерштейн, В.В. Рождественский, М.Н. Ручимский, Расчет трубопроводов на прочность, «Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы», М., 1963;
3. А.А. Лямин, А.А. Скворцов, Проектирование и расчет конструкций тепловых сетей, «Издательство литературы по строительству», М., 1965.