

УДК 621.643.4

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ВВОДА ГАЗА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

*Л.Г. Григорян, В.Л. Папировский, Ю.И. Игнатенков, С.В. Иваняков,  
Д.В. Коноваленко*

Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*Рассмотрены вопросы снижения механических напряжений в области соединения трубопроводов со значительной разностью температур. Создана модель распространения тепла в зоне соединения трубопроводов. Проанализирован температурный режим работы соединения трубопроводов. Определены значения температурных напряжений. Предложена новая конструкция узла ввода газа, обеспечивающая снижение напряжений ниже допустимых значений.*

**Ключевые слова:** температурные напряжения, соединение трубопроводов, механические расчеты.

При проектировании промышленных нефтегазоперерабатывающих и химических установок зачастую возникает проблема соединения трубопроводов с существенно различающимися температурами. Данная проблема обусловлена возникновением в области сопряжения значительных температурных напряжений, что чревато разрушением материала [1].

Статья посвящена совершенствованию конструкции узла ввода низкотемпературного газа в высокотемпературную трубопроводную линию (рис. 1).

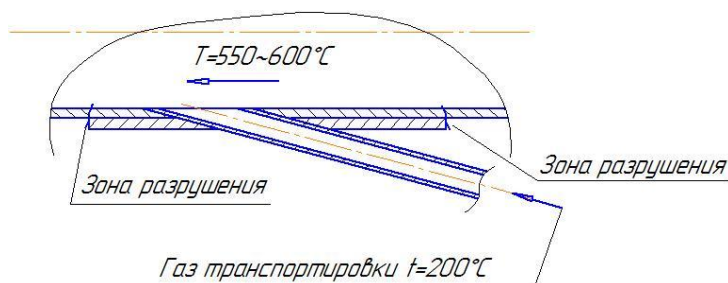


Рис. 1. Схема узла ввода газа в трубопроводную линию

*Леон Гайкович Григорян (д.т.н.), профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств».*

*Владимир Леонидович Папировский (к.т.н.), профессор кафедры «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов».*

*Юрий Иосифович Игнатенков (к.т.н.), доцент кафедры «Машины и аппараты химических производств».*

*Сергей Викторович Иваняков (к.т.н.), доцент кафедры «Машины и аппараты химических производств».*

*Денис Владимирович Коноваленко, ассистент кафедры «Машины и аппараты химических производств».*

Анализ показал, что вследствие значительной разницы температур между накладкой, охлаждаемой потоком транспортирующего газа, и основным металлом в зоне приварки накладки к металлу высокотемпературной трубы возникают существенные механические напряжения.

Прямое измерение температуры накладки и основной трубы позволило определить величину температурных напряжений узла ввода. Расчеты, выполненные методом конечных элементов с помощью программы ANSYS [2], показали, что наибольшие напряжения возникают в обширной зоне приварки накладки к трубе и по своей величине значительно превышают предел текучести (рис. 2). Опыт показывает, что в этом месте происходит разрушение металла.

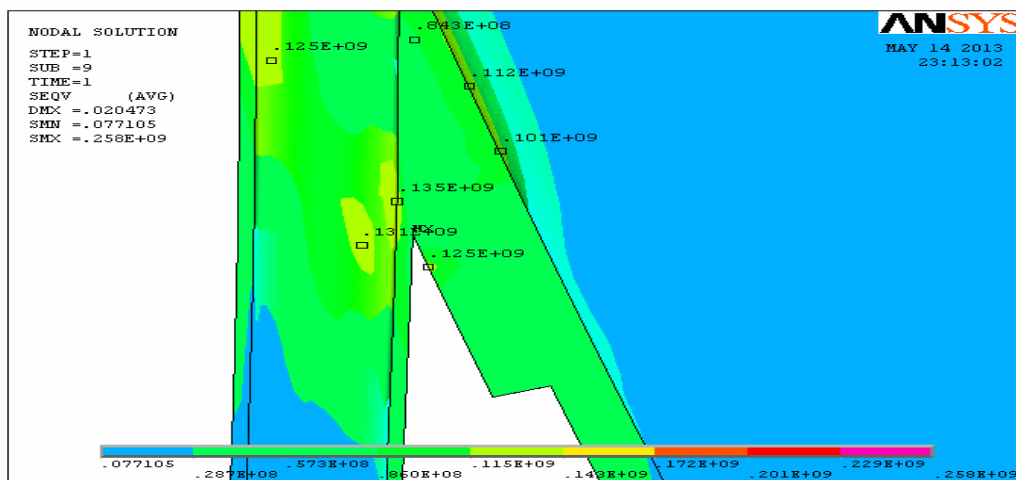


Рис. 2. Распределение температурных напряжений в зоне соединения труб

Для определения возможности снятия термических напряжений был проанализирован температурный режим работы узла ввода без накладки (рис. 3).

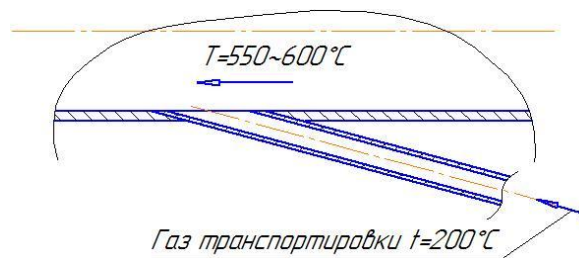


Рис. 3. Схема узла ввода без накладки

Пренебрегая потерями тепла в окружающую среду (так как узел теплоизолирован), было предложено два варианта для расчета температурного профиля. Первый вариант не учитывает изменение температуры газа:

$$\frac{d^2(T-t)}{dx^2} = \frac{\alpha\Pi}{\lambda F}(T-t), \quad (1)$$

при  $x = 0, T = T(0)$ ; при  $x = L, \frac{d(T-t)}{dx} = \frac{\alpha}{\lambda}(T-t)$ .

Во втором варианте с учетом изменения температуры газа профиль температуры описывается выражениями

$$\frac{d^2(T-t)}{dx^2} = \frac{\alpha\Pi}{\lambda F}(T-t); \quad (2)$$

$$\frac{dt}{dx} \frac{1}{(T-t)} = \frac{\Pi\alpha}{cG} \quad (3)$$

при  $x = 0, T = T(0)$ ; при  $x = L, \frac{d(T-t)}{dx} = \frac{\alpha}{\lambda}(T-t)$ ; при  $x = L, t = t(L)$ .

В уравнениях приняты следующие обозначения:

$T$  – температура трубы, °С;

$t$  – температура газа, °С;

$L$  – длина трубы, м;

$F$  – площадь поперечного сечения трубы, м<sup>2</sup>;

$\Pi$  – внутренний периметр трубы, м;

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи, Вт/м<sup>2</sup>·К;

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;

$c$  – теплоемкость газа, Дж/кг·К;

$G$  – массовый расход газа, кг/с.

При решении указанных уравнений принято, что в полой трубке движется газовый поток с постоянной температурой  $t = 200$  °С, один конец трубки нагрет до температуры  $T = 600$  °С, теплопроводность металла  $\lambda = 0,2$  Вт/м·К и коэффициент теплоотдачи  $\alpha = 20$  Вт/м<sup>2</sup>·К. Решения уравнений приведены на рис. 4.

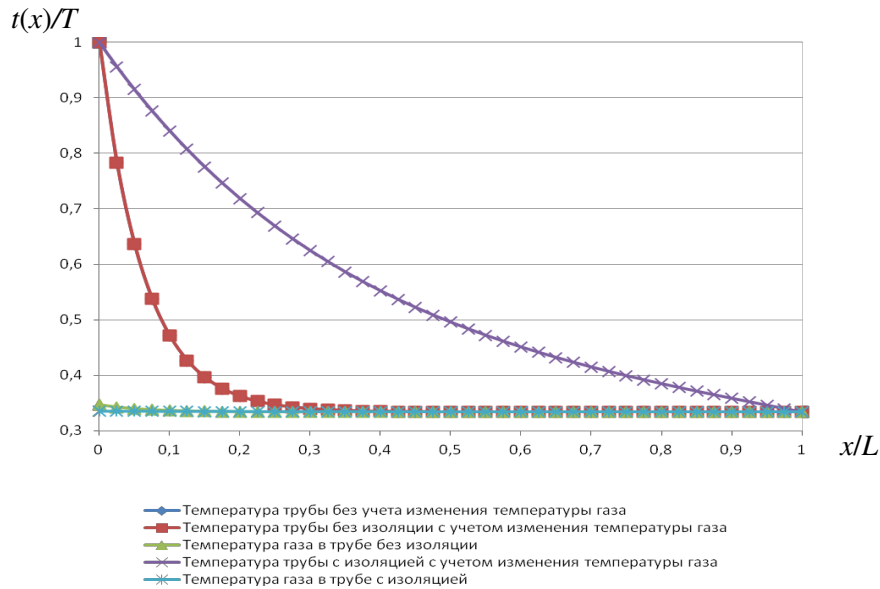


Рис. 4. Распределение температуры по длине трубы

При расходах газа 10-12 м<sup>3</sup>/ч изменением температуры газа по длине трубы можно пренебречь. Полученный профиль распределения температуры представлен на рис. 5.

После анализа распределения температуры была предложена новая конструкция узла ввода газа в трубопроводную линию (рис. 6). Для снижения термических напряжений конструкция выполняется в виде двух соосных труб, между которыми расположен слой теплоизолирующего материала.

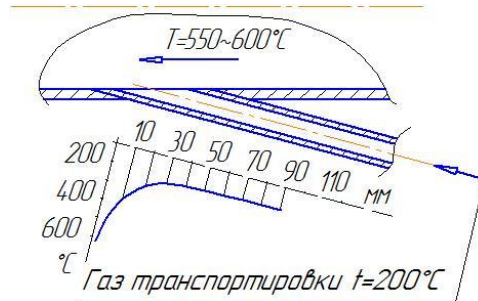


Рис. 5. Профиль температуры стенки трубы для ввода газа

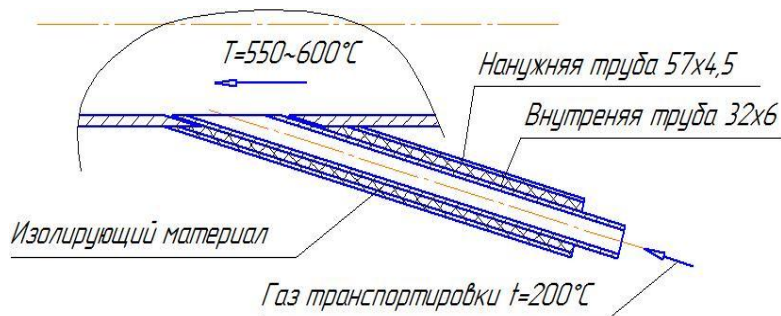


Рис. 6. Предлагаемая конструкция узла ввода газа

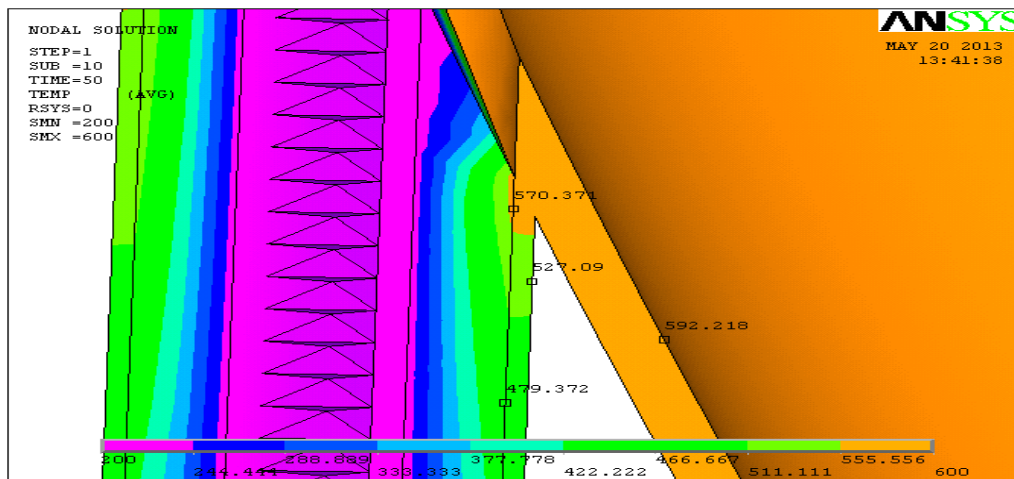


Рис. 7. Распределение температур в усовершенствованном узле ввода

Работа новой конструкции узла ввода была рассчитана с помощью программы ANSYS. При этом данная задача решалась в два этапа. На первом этапе выполнялся тепловой расчет, в котором учитывались тепловые потоки и распределение температуры по объему конструкции. Затем результаты этого расчета пе-

редавались в структурный анализ. Здесь рассчитывались напряжения, вызванные тепловыми деформациями конструкции. Результаты расчета представлены на рис. 7, 8.

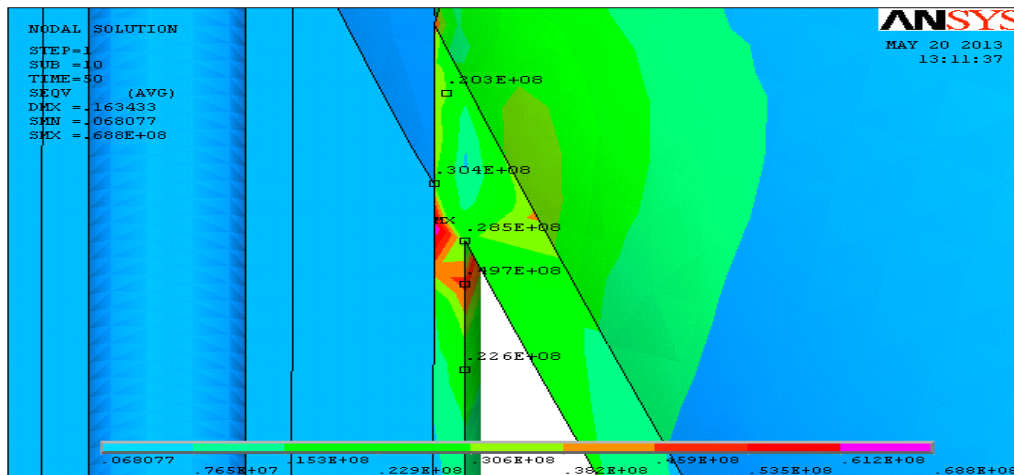


Рис. 8. Распределение напряжений в усовершенствованном узле ввода

Из сравнительного анализа механических напряжений, приведенных на рис. 2 и 8, видно, что в предложенной конструкции узла ввода удалось добиться их уменьшения ниже допускаемых значений.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коваленко А.Д. Основы термоупругости. – Киев: Наукова думка, 1970. – 308 с., ил.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. – М: Машиностроение-1, 2004. – 510 с., ил.

Статья поступила в редакцию 5 марта 2014 г.

### PERFECTION OF GAS INLET UNIT CONSTRUCTION FOR THERMAL STRESS DECREASING

**L.G. Grigoryan, V.L. Papirovsky, Y.I. Ignatenkov, S.V. Ivanyakov, D.V. Konovalenko**

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

*Questions of thermal stress decreasing at pipes bonding with large temperature difference are described. Model of heat distribution in pipes bonding zone is created. Thermal conditions of pipes bonding are analyzed. Thermal stress value is determined. New construction of gas inlet unit is offered.*

**Keywords:** thermal stress, pipes bonding, mechanical calculations.

---

*Leon G. Grigoryan (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Vladimir L. Papirovsky (Ph.D. (Techn.)), Professor.  
Yriy I. Ignatenkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Sergey V. Ivanyakov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.  
Denis V. Konovalenko, Assistant.*