

ПРИМЕНЕНИЕ САПР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ЗАДАЧ В КОТЛОСТРОЕНИИ

Е. Б. Жуков, К. В. Меняев, Е. Е. Паутова, М. В. Тиханов

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул

В статье рассмотрено применение САПР в котлостроении. Выполнен прочностной расчет выходного коллектора пароперегревателя в программе Autodesk Inventor и традиционный прочностной расчет. Представлены результаты.

Ключевые слова: САПР, прочность, пароперегреватель, коллектор, расчет.

THE USE OF CAD SOLUTIONS FOR STRENGTH TASK

E. B. Zhukov, K. V. Menyaev, E. E. Pautova, M. V. Tikhanov

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul

In the article, the use of CAD of production of coppers. Performed strength calculation of the output manifold of the superheater in Autodesk Inventor and traditional strength calculation. The results are presented.

Keywords: CAD strength, superheater, header, calculation.

Создание современного оборудования не ограничивается созданием его геометрической модели. Для того чтобы изделие было надежно, безопасно и конкурентоспособно, необходимо производить всесторонний анализ. Главные цели, это обеспечение статической прочности и жесткости детали, достаточной долговечности и устойчивости, оставаясь при этом конкурентоспособными, т.е. деталь должна иметь минимальный вес, минимальную стоимость и минимальные затраты на эксплуатацию. Использование САПР позволяет не только создать модель, но и произвести инженерный анализ деталей, узлов или изделия в целом.

Целью выполнения данной работы является определение минимальной толщины стенки цилиндрической части коллектора пароперегревателя парового прямоточного котла Пп-410-30-600КТ. Модель цилиндрической части коллектора построенная в Autodesk Inventor[5] представлена на рисунке 1.

Коллектор имеет 3 отверстия под приварку пароперепускных труб и поле отверстий под приварку труб поверхности нагрева[7]. Развертка коллектора представлена на рисунке 2.

Существующие арифметические формулы для нахождения параметров прочности и жесткости применимы только для простых схем нагружения детали, при условии, что конфигурация детали достаточно простая.

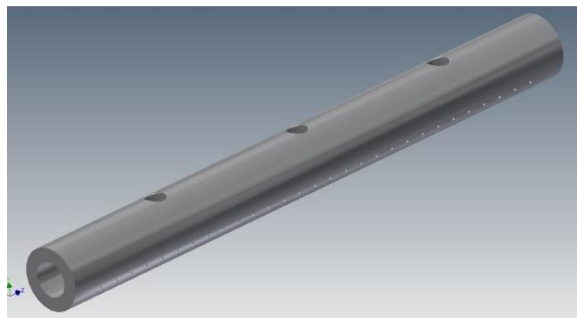


Рисунок 1 – Коллектор пароперегревателя

В более сложных случаях корректный расчет на прочность и жесткость можно произвести только методом конечных элементов. Метод конечных элементов – это, численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электротехники.

В программе Autodesk Inventor прочностной расчет производится методом конечных элементов. Анализ методом конечных элементов начинается с дискретизации исследуемой области (области задачи) и делении ее на ячейки сетки. Такие ячейки называют конечными элементами. В Inventor тело разбивается на множество подобных фигур – тетраэдров. Точность расчета напрямую зависит от размеров этих элементов. Общее

правило состоит в том, что чем больше количество элементов (чем меньше их размер) тем точнее оказывается решение, но тем дороже оно стоит с вычислительной точки зрения [9].

Произведем расчет на прочность выходного коллектора пароперегревателя. Для этого необходимо создать твердотельную модель цилиндрической части коллектора, задать ей необходимые свойства и приложить

нагрузки. Давление рабочей среды в коллекторе составляет 30 МПа [3].

Температура стенки коллектора определяется по формуле [1]:

$$t = t_m + x \cdot \Delta t = 600 + 0,5 \cdot 10 = 605^\circ \text{C},$$

где $t_m = 600^\circ\text{C}$ температура среды в коллекторе [3]; $x = 0,5$ – коэффициент, учитывающий перемешивание среды; $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ – превышение температуры среды в трубе над средней температурой среды.

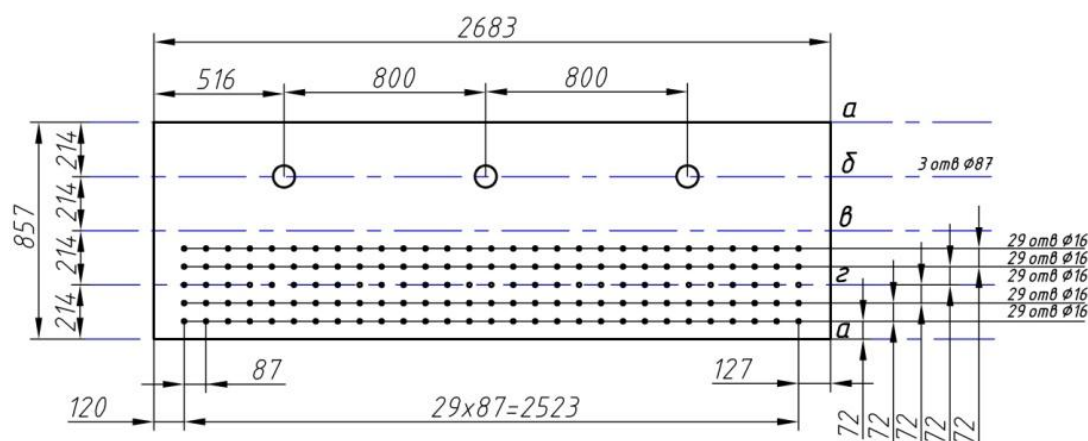


Рисунок 2 – Развертка коллектора

Для изготовления коллектора используется сталь марки 12Х18Н12Т[10]. Выбор данной стали обосновывается температурой стенки коллектора. Допустимое напряжение для этой стали, при расчетной температуре стенки 605°C , составляет 71 МПа[6].

Произведем расчет на прочность данного коллектора в программе Autodesk Inventor. Для этого нужно перейти во вкладку «Среды» и выбрать «Анализ напряжений». Добавив необходимые нагрузки и настроив способ разбиения детали на конечные элементы, выполняем расчет. Результаты расчета представлены на рисунках 3, 4 и 5. Деталь окрашивается цветами, соответствующими напряжениям: синий соответствует минимальному напряжению, красный – максимальному.

Программа позволяет выполнять параметрический расчет детали. Управляя определенными параметрами, можно подобрать оптимальную конфигурацию детали при определенной нагрузке. Используем инструмент «Параметрическая таблица». В качестве зависимости выберем «максимальное напряжение», а тип зависимости – «верхний предел». Добавив какой либо изменяемый параметр, и обозначив предел, можно подо-

брать минимальное значение параметра, при котором условия прочности будут выполняться. В нашем случае в роли изменяемого параметра будет выступать толщина стенки

Так, поочередно производя расчет для стенок, толщиной 50, 56 и 60 мм (ряд толщин стенок для трубы 273 по сортаменту [8]), видим, что минимально допустимая толщина стенки составляет 60 мм. При такой толщине максимальное напряжение равно 67,65 МПа. На рисунке видно, что концентраторами напряжений являются отверстия, а наиболее нагруженное место – в районе отверстия под приварку пароперепускных труб.

Трехмерные напряжения и нагрузки образуются в нескольких направлениях, эти многонаправленные напряжения суммируются для получения эквивалентного напряжения, которое называется напряжением по Мизесу. Критерий максимального напряжения по Мизесу основывается на теории Мизеса-Хенки (Mises-Hencky), также известной как теория энергии формоизменения. Теория утверждает, что пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению [9]. Результат расчета представляется именно напряжением по Мизесу.

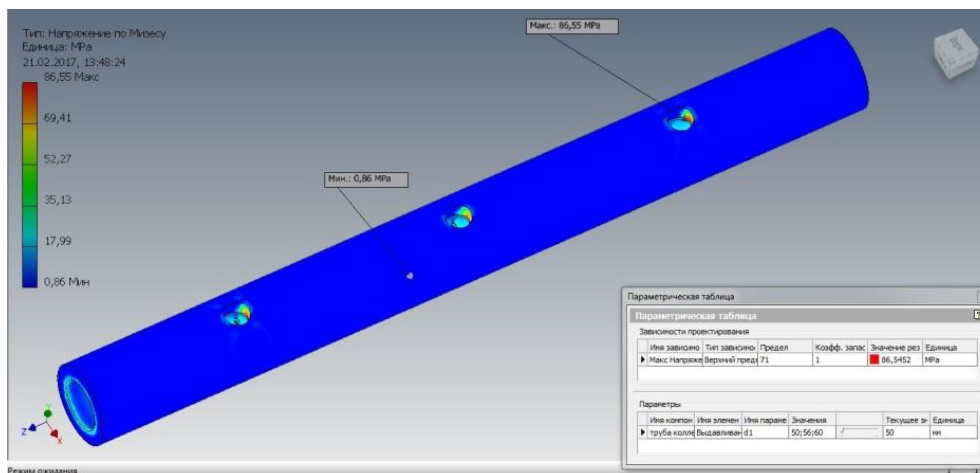


Рисунок 3 – Результат расчета коллектора теплоносителя на прочность при толщине стенки 50 мм (максимальное напряжение составляет 86,55 МПа)

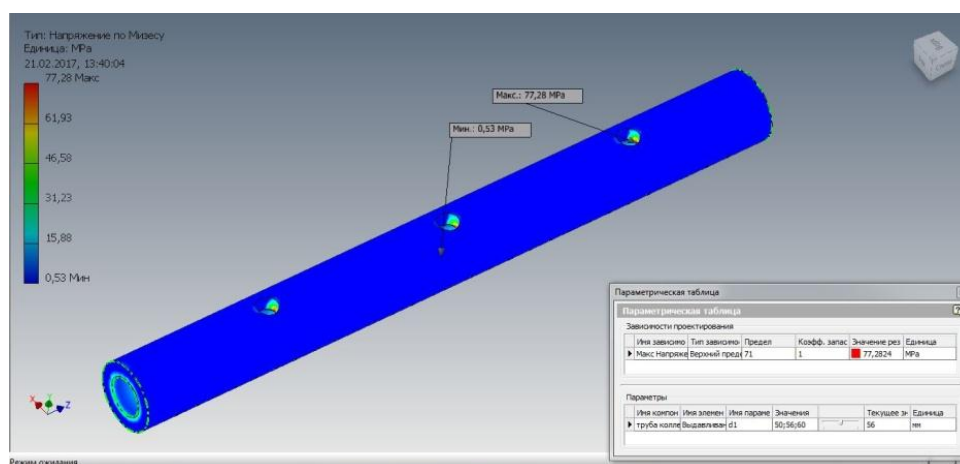


Рисунок 4 – Результат расчета коллектора теплоносителя на прочность при толщине стенки 56 мм (максимальное напряжение составляет 77,28 МПа)

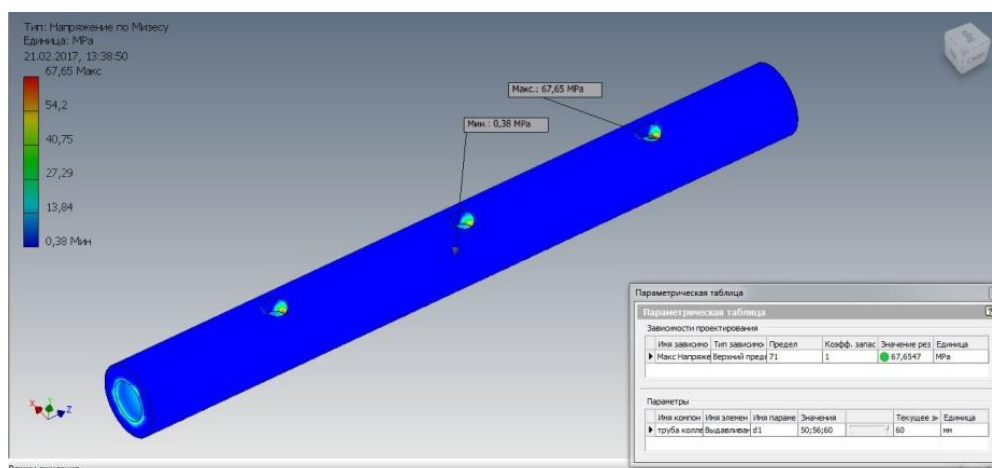


Рисунок 5 – Результат расчета коллектора теплоносителя на прочность при толщине стенки 60 мм (максимальное напряжение составляет 67,65 МПа)

Для сравнения произведем традиционный прочностной расчет этого коллектора [2]. Особенностью расчета толщины стенки коллектора является необходимость определить коэффициент прочности при ослаблении стенки полем отверстий и одиночным отверстием. В качестве расчетного коэффициента будет использоваться наименьший из рассчитанных.

При коридорном равномерном поле одинаковых отверстий вычисляется коэффициент прочности для продольного ряда и для поперечного ряда.

Коэффициент прочности коллектора, ослабленного продольным рядом одинаковых отверстий (d), расположенных с одинаковым шагом (t), определяется по формуле [4]:

$$\phi = \frac{t-d}{t} = \frac{87-16}{87} = 0,816.$$

где, $d=16$ мм – диаметр отверстий; $t=87$ мм – шаг между отверстиями.

Коэффициент прочности коллектора, ослабленного поперечным рядом одинаковых отверстий (d), расположенных с одинаковым шагом (t_1), определяется по формуле:

$$\phi = 2 \frac{t_1-d}{t_1} = 2 \frac{56-16}{56} = 1,42.$$

где, $d=16$ мм – диаметр отверстий;

$$t_1 = \frac{\pi(D_a + S)}{360} \alpha = \frac{\pi(273+60)}{360} 30 = 56 \text{ мм}.$$

Коэффициент прочности коллектора, ослабленного одиночным отверстием (d):

$$\phi = \frac{2}{z+1,75};$$

$$z = \frac{d}{\sqrt{D_m(S-C)}} = \frac{87}{\sqrt{213(60-0)}} = 0,80.$$

где, $D_m=D_a-S=273-60=213$ мм – средний диаметр элемента; $d=87$ мм – диаметр отверстия; $C=0$ – прибавка по толщине; равна нулю, так как коллектор необогреваем и выполнен из аустенитной стали, мало подвергающейся коррозии [10], мм

Одиночным считается отверстие, кромка которого удалена от кромки ближайшего отверстия на расстояние более

$$A \geq \sqrt{D_m(S-C)}$$

где, $A=713$ мм (рисунок 2).

$$\sqrt{D_m(S-C)} = \sqrt{213(60-0)} = 217.$$

Условие выполняется, следовательно, отверстие можно считать одиночным.

$$\phi = \frac{2}{z+1,75} = \frac{2}{0,80+1,75} = 0,783.$$

В качестве расчетного принят коэффициент прочности для одиночного отверстия $\phi = 0,783$, так как он имеет наименьшее значение.

Расчётная толщина стенки коллектора:

$$S_R = \frac{p \cdot D_a}{2 \cdot \phi[\sigma] + p} = \frac{30 \cdot 273}{2 \cdot 0,783 \cdot 71 + 30} = 57,9 \text{ мм}.$$

Округляем расчетную толщину стенки коллектора до ближайшего большего значения по сортаменту $S=60$ мм[8].

Результаты традиционного прочностного расчета мало отличаются от результатов расчета в среде анализа напряжений Autodesk Inventor, что позволяет нам применять данный способ при конструировании. Это позволяет проектировщику оперативно выполнять прочностной анализ детали, задавая ее геометрию, свойства материала, различные условия нагружения и закрепления. Результаты прочностного анализа могут служить не только основанием для внесения изменений в конструкцию.

Список литературы

1. Маслов, В.Е. Расчет на прочность элементов котла, работающих под давлением: методические указания к расчетному заданию по дисциплине «Прочность, надежность и диагностика элементов паровых котлов» для студентов направления «Энергетическое машиностроение» / В.Е. Маслов, К.В. Маслов, К.В. Меняев // Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – 44 с.
2. Тепловой расчет котлов: (нормативный метод). – 3-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.
3. Фурсов, И. Д. Конструирование и тепловой расчет паровых котлов: учебное пособие / И. Д. Фурсов; Алт. гос. техн. ун-т им. И. И. Ползунова. – 4-е изд. перераб. и доп. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2016. – 297 с.
4. РД 10-249-98. Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – М.: Госгортехнадзор России, 1999. – 228 с.
5. Алиева, Н.П. Построение моделей и создание чертежей деталей в системе Autodesk Inventor: учебное пособие / Н.П. Алиева, П.А. Жур-

бенко, Л.С.Сенченкова. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 112 с.: ил.

6. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых и водогрейных котлов ПБ 10 – 574-03.-М.: ГГТН, 2003.-96 с.

7. Фурсов, И. Д. Паровые котлы : учебное пособие / И. Д. Фурсов, В. М. Грин; Алт. гос.техн. ун-т им. И. И. Ползунова. -Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. -181 с.

8. ТУ 14-ЗР-55-2001. Трубы стальные бесшовные для паровых котлов и трубопроводов: утв. Национальным техническим комитетом по стандартизации ТК-357 21.09.2001 – 78 с.

9. Большаков, В.И. Основы метода конечных элементов / В.И. Большаков, Е.А. Яценко, Г.Соссу и др. – Днепрпетровск: ПГАСА, 2000. – 255 с.

10. Сильман, Г.И. Материаловедение: учебное пособие для ВУЗов по специальности направ-

ления «Металлургия, машиностроение и материалопереработка» / Г.И. Сильман. – М.: Академия, 2008. – 334 с.

Жуков Евгений Борисович. – к.т.н., заведующий кафедрой «Котло- и реакторостроение», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: jukov23j@yandex.ru

Меняев Константин Викторович – доцент кафедры «Котло- и реакторостроение», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: menyaev_kostya@mail.ru.

Паутова Екатерина Евгеньевна – ассистент кафедры «Котло- и реакторостроение», АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail: pautova.1989@mail.ru.

Тиханов М.В. –студент, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, E-mail:mihail20-03-95@mail.ru.