

УДК 539.3

Е.В.Переяславец (асп., каф. МПУ), С.О.Гостевских (4 курс, каф. МПУ)  
А.И.Боровков, к.т.н., проф., Д.Б.Бирюков, д.т.н., в.н.с. АООТ «НПО ЦКТИ»

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБНОЙ ДОСКИ  
ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ КАМЕРНОГО ТИПА  
1. ОСЕСИММЕТРИЧНОЕ И ПРОСТРАНСТВЕННОЕ НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

В работе исследуется напряженное состояние трубной доски подогревателя высокого давления камерного типа (ПВД-К). ПВД-К состоит из двух камер – водяной и паровой (рис.1). Трубная доска, которая разделяет эти камеры, представляет собой двоякопериодическую

густоперфорированную структуру (правильную треугольную решетку) [1], содержащую большое количество цилиндрических каналов (~7500). Начальная толщина трубной доски  $H_0 = 590$  мм. Все элементы конструкции выполнены из стали 22К, для которой модуль Юнга –  $E = 1.9 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент Пуассона –  $\nu = 0.3$ . В соответствии с Нормами прочности [2] трубная доска рассматривается как однородный изотропный материал со следующими эффективными характеристиками:  $E^* = \varphi \cdot E$ ,  $\nu^* = \nu$ ;  $\varphi$  – коэффициент ослабления перфорацией,  $\varphi = 1 - d / t$ , где  $d$  – диаметр отверстий,  $t$  – шаг треугольной решетки (расстояние между центрами двух соседних отверстий). Для данной трубной доски  $\varphi = 0.26$ , т. е.  $E^* = 4.94 \cdot 10^5$  МПа.

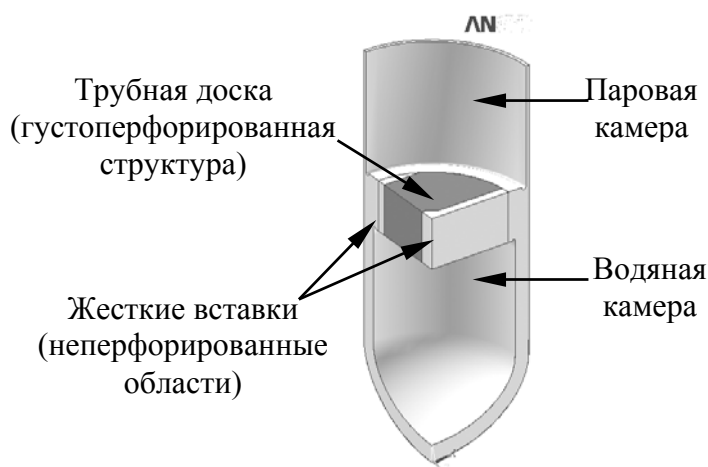


Рис. 1

В работе исследуется напряженно-деформированное состояние, возникающее в конструкции под действием давления  $P_0 = 12$  МПа, равномерно распределенного по внутренней поверхности водяной камеры. В силу симметрии конструкции и нагрузок в расчетных исследованиях пространственного напряженного состояния рассматривается только четверть конструкции. Согласно Нормам прочности [2] допускаемое изгибное напряжение принимается равным  $[\sigma]_{\text{и}} = 147$  МПа.

На первом этапе выполнения работы сформулирована и решена осесимметричная задача теории упругости, в рамках которой не учитываются некоторые геометрические особенности конструкции – неперфорированные вставки в трубной доске (рис. 1). Расчеты проводились с помощью программной системы конечно-элементного (КЭ) анализа ANSYS 5.5. На рис. 2 представлена КЭ модель конструкции, которая содержит 838 8-узловых элементов и 2745 узлов.

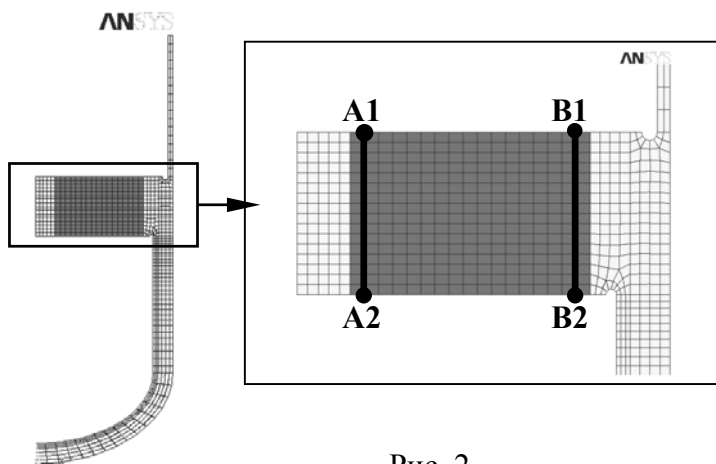


Рис. 2

Максимальное и минимальное радиальные напряжения, возникающие в трубной доске, составляют  $\sigma_r^{max} = 158$  МПа;  $\sigma_r^{min} = -140$  МПа (см. рис. 3, 4). Средние напряжения при чистом изгибе  $\sigma_n^{cp} = (\sigma_r^{max} + |\sigma_r^{min}|) / 2 = 148$  МПа, т. е. в данной конструкции трубной доски уровень возникающих радиальных напряжений практически равен допустимому. Таким образом, можно сделать вывод, что геометрия исходной трубной доски выбрана в соответствии с Нормами и является допустимой.

На втором этапе разработана пространственная модель, учитывающая конструктивные особенности – жесткие вставки в трубной доске (неперфорированные области на рис. 1). КЭ модель данной конструкции содержит 25453 20-узловых элемента и 111307 узлов (333921 степень свободы). Анализ КЭ решения пространственной задачи теории упругости показывает, что при учете жестких вставок уровень напряжений оказываются ниже, чем при решении соответствующей осесимметричной задачи (рис. 3, 4).

Таким образом, можно утверждать, что рассматриваемая конструкция трубной доски полностью удовлетворяет Нормам прочности. Однако в данном варианте необходимо просверлить ~7500 цилиндрических каналов, каждый из которых длиной  $H_0 = 590$  мм при общей длине сверления  $7500 \cdot 590$  мм =  $4.425 \cdot 10^6$  мм = 4.425 км, что представляется чрезвычайно сложной технологической задачей. Для ее упрощения предлагается новое конструктивное решение трубной доски.

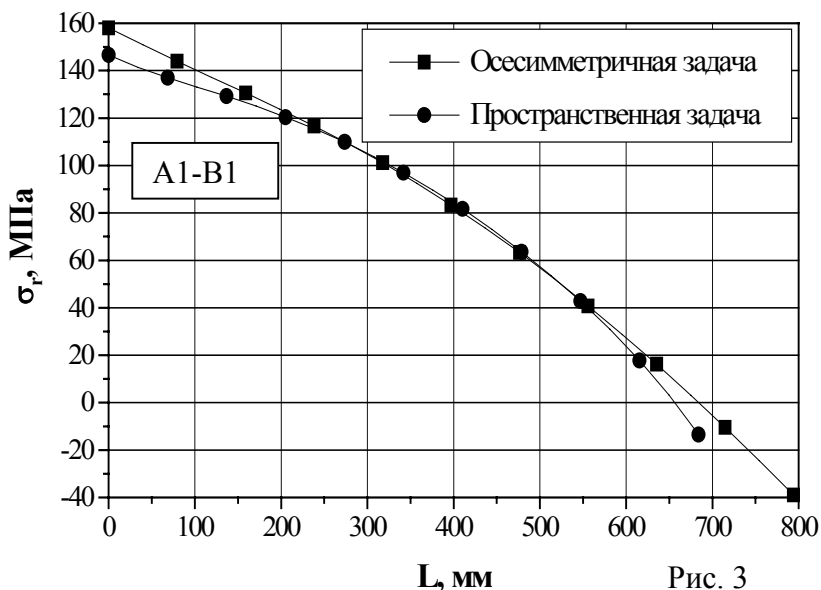


Рис. 3

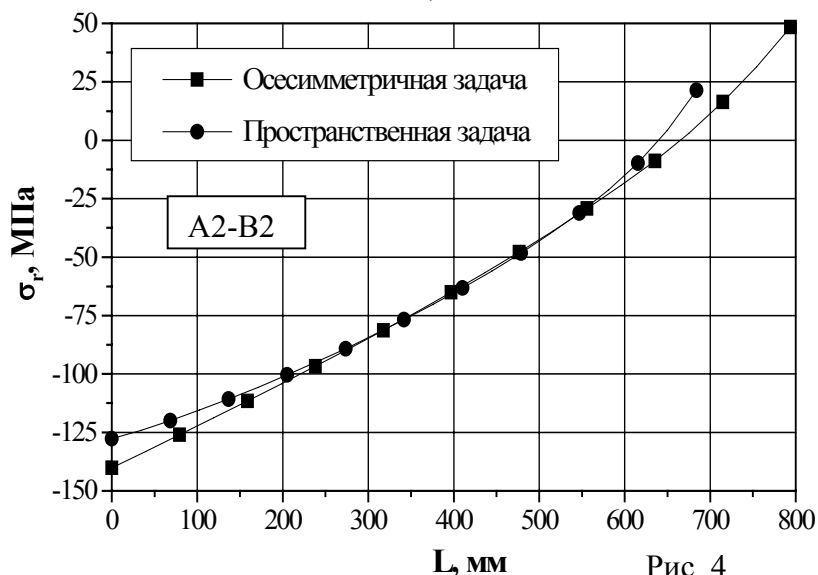


Рис. 4

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Григолюк Э.И., Фильштинский Л.А., Перфорированные пластины и оболочки. М., «Наука», 1970.
2. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86)/ Госатомэнергонадзор СССР. М., Энергоатомиздат, 1989.