

УДК 539.3

В.С.Модестов (соиск., каф МПУ), А.И.Боровков, к.т.н., проф.

### КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБНОЙ РЕШЕТКИ С УЧЕТОМ НЕПЕРФОРИРОВАННЫХ ОБЛАСТЕЙ

Трубные решетки – один из самых дорогостоящих и нагруженных элементов сосудов давления, поэтому знание точного напряженно-деформированного состояния (НДС) трубной решетки имеет принципиальное значение. Особую значимость при определении НДС трубной решетки имеет учет коэффициента концентрации напряжений. До настоящего времени точного теоретического решения для напряжений и деформаций в трубной решетке не найдено, однако приближенные значения этих величин были получены различными исследователями [1-3].

В работе исследовалась трубная решетка подогревателя высокого давления камерного типа (ПВД-К). Исследуемая трубная решетка, была перфорирована по треугольной сетке – наиболее часто встречаемом виду перфорации и наиболее эффективному виду упаковки трубного пучка.

На начальном этапе был произведен выбор основных геометрических размеров трубной решетки в соответствии с ПНАЭ Г-7-002-86 [4]. Однако при применении [4] толщина трубной решетки, равная  $H_0$ , не подошла из-за технологических ограничений (невозможность изготовить паковку данной толщины), кроме того, по правилам [4] толщину трубной решетки нельзя выбирать, если не выполняется условие:

$$H / D \leq 0,2, \text{ где } H - \text{выбранная толщина, } D - \text{диаметр трубной решетки.}$$

В связи с возникшими ограничениями выбор толщины трубной решетки был выполнен с помощью метода конечных элементов (МКЭ).

На первом этапе методом конечных элементов решалась осесимметричная задача нахождения НДС с учетом влияния обечайки ПВД-К. Перфорированные области в данной постановке были заменены эквивалентным однородным материалом. Коэффициент ослабления данного материала был выбран в соответствии с [4]. С помощью МКЭ была выбрана минимальная толщина трубной решетки ПВД-К  $H_1 = 0,75H_0$ , удовлетворяющая условиям прочности в [4].

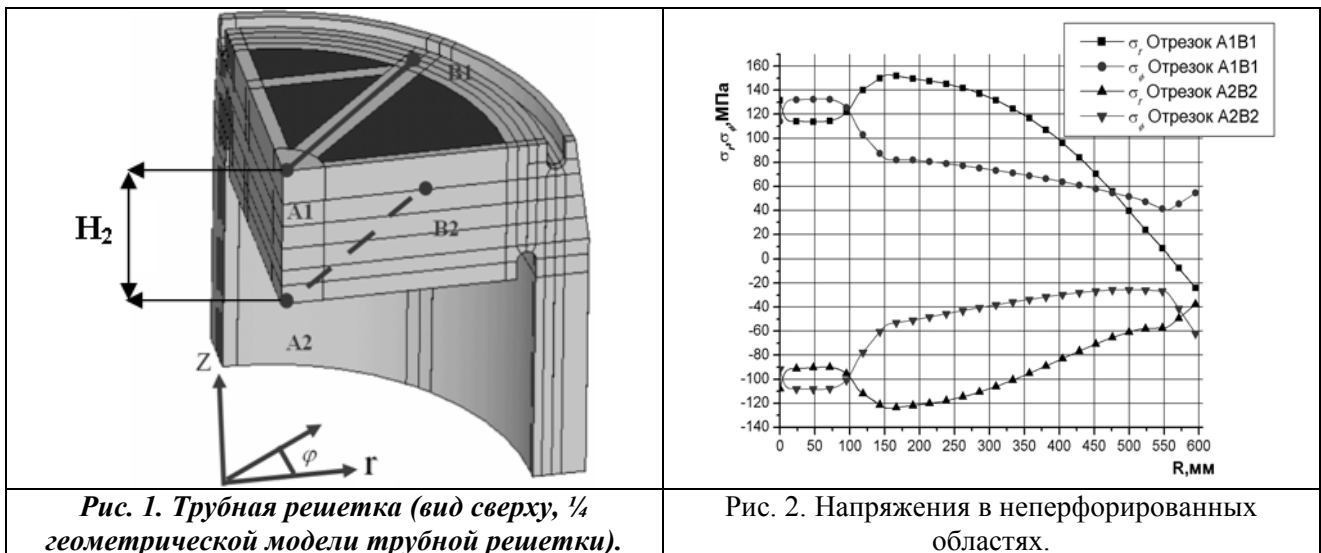


Рис. 1. Трубная решетка (вид сверху, ¼ геометрической модели трубной решетки).

Рис. 2. Напряжения в неперфорированных областях.

На втором этапе был произведен учет неперфорированных областей в трубной решетке, выполняющих функции ребер жесткости перфорированных областей и разделяющих теплообменные пространства (рис. 1). Получено пространственное НДС трубной решетки (рис. 2) Толщина трубной решетки, полученная в соответствии с требованиями ПНАЭ 7-002-86 равна  $H_2 = 0,642H_0$ .

Пространственное моделирование и исследование НДС конструкции позволило уточнить толщину трубной решетки и уменьшить трудозатраты, необходимые для ее изготовления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Gardner K.A., Heat-exchanger tubesheet design. ASME Journal of Applied Mechanics **70**, (1948), pp. 377–385.
2. Miller K.A.G., The design of tube plates in heat-exchangers. In: Proceedings of Institution of Mechanical Engineers 18, (1952), pp. 215–231.
3. Malkin T. Notes on a theoretical basis for the design of tubesheets of triangular layout. ASME Journal of Applied Mechanics 74, (1952), pp. 389–396.
4. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок (ПНАЭ Г-7-002-86)/ Госатомэнергонадзор СССР. М., Энергоатомиздат, 1989.