

РАСЧЕТ ОДНОСЛОЙНЫХ И МНОГОСЛОЙНЫХ ТРУБНЫХ РЕШЕТОК ДЛЯ СИСТЕМ ТЕПЛООБМЕНА

*Н.Д. Тутов (Курский государственный технический университет),
А.И. Ремнев*

Для оценки качества соединений труба-решетка (Т-Р), при закреплении в тонкой трубной решетке (ТТР) труб механическим способом, необходимо разработать методику расчета ТТР с учетом изгиба каждой перемычки между отверстиями в ТТР. Это позволит исследовать НДС ТТР и обосновать ее толщину с учетом конструктивно-технологических особенностей соединения Т-Р с учетом геометрических размеров профилей многослойных ТТР, нанесения пленок и покрытий. Целесообразно расчетную модель ТТР принять в виде стержневой конструкции – балочной сетки. Вид такой стержневой конструкции должен соответствовать схеме расположения отверстий в ТР и получаться при замене перемычек между отверстиями – балками, работающими на изгиб из плоскости пластины.

Определенные трудности вызывает использование дифференциальных уравнений изгиба сплошных пластин для конструкции, аппроксимирующей реальную ТТР в системах теплообмена (СТ) и представленной в виде балочной сетки. Она может иметь различные пересечения балок в зависимости от схемы расположения отверстий в ТТР. Поэтому здесь использован матричный метод расчета стержневых конструкций, наиболее удобный для расчета на ЭВМ. Для стержневых систем (балок) роль конечных элементов определяют отдельные стержни, которые достаточно просты, и НДС которых может быть описано для различных профилей поперечного сечения ТТР. Это упрощает учет возможных конструктивно-технологических особенностей соединения трубы в ТТР как для однослойных так и для биметаллических и многослойных ТТР для СТ.

При замене перфорированной пластины балочной сеткой нет необходимости в определении приведенных упругих параметров пластины, так как для рассматриваемых в расчете балок модуль упругости их материала соответствует значению для материала ТТР. Примем, что при малых прогибах ТТР срединная плоскость после деформации не растягивается, а только изгибается, т. е. балки работают на изгиб из плоскости пластины и не воспринимают крутящих моментов. Поскольку расчетная модель не учитывает растяжения срединной плоскости, то необходимо следить за тем, чтобы прогибы ТТР не превышали допустимых значений, за пределами которых использование полученных результатов приводит к значительным погрешностям. Хорошее совпадение теоретических выводов с экспериментальными замерами отмечается при соблюдении следующего соотношения между прогибами и толщиной ТТР: $w \leq \frac{1}{4}h$. При расчете ТТР

необходимо производить замену перфорированной пластины балочной сеткой и учитывать соотношение между прогибами и толщиной ТТР, что позволит произвести оценку НДС для ТТР.

Из условия нагрузки ТТР будем считать, что в общем случае ТТР в СТ нагружена давлением рабочих сред трубного и межтрубного пространства и усилиями, вызванными тепловой разностью этих сред. Алгебраическую сумму этих осесимметричных нагрузок будем рассматривать как равномерно распределенных по поверхности ТТР. Эти же нагрузки вызывают упругую деформацию основания, роль которого обеспечивает трубный пучок СТ. Учитывая характер деформации ТТР (в противном случае приходится говорить не столько о прочности элементов СТ, сколько о прочности их соединения Т-Р), где трубы растягиваются - сжимаются, что вызывает реактивные нагрузки. Условие совместности деформации труб и ТТР позволяет сделать вывод о пропорциональности реакции трубного пучка деформации ТТР. Обычно реакция трубного пучка записывается в виде распределенной по поверхности ТТР реактивной нагрузки: $q_1 = k_1 \cdot W$, где k_1 – коэффициент постели, Н/м³; W – прогиб ТР, м.

Сделанные допущения являются обычными для подобного рода задач. При замене ТТР балочной сеткой, с учетом перечисленных замечаний, примем: высота балок равна толщине ТТР; длина балок определяется в зависимости от конкретного расположения отверстий в ТТР; число обобщенных взаимных перемещений равно количеству узлов балочной сетки; внешние силы приложены в узлах балочной сетки (соответственно распределенная нагрузка в соединении Т-Р будет приводиться к узловой нагрузке); обобщенными взаимными перемещениями будут вертикальные смещения узлов, которые являются прогибами ТТР в узлах балочной сетки; внутренними силами являются изгибающие моменты в сочетаниях балок, примыкающих к соответствующим узлам; положительными будут моменты, растягивающие нижние волокна балок. Матрица уравнений равновесия A для балочной сетки, аппроксимирующей ТТР, формируется, как в методе стержневой аппроксимации сплошных пластин, путем составления статических уравнений равновесия, связывающих внутренние и внешние силы методом вырезания узлов.

Решение системы уравнений дает искомое значение прогибов ТР в узлах балочной сетки с учетом упругой податливости трубного пучка. При расчете ТР на прочность с учетом работы упругого основания необходимо определить значения моментов в узлах балочной сетки. С целью определения вектора \bar{M}^* представим систему уравнений как $L_0 \bar{W} = \bar{Q}$. Тогда, изгибающие моменты в узлах балочной сетки могут быть найдены по формуле $M^* = B^{-1} \times A^T \times L_0^{-1} \times \bar{Q}$. Зная вектор \bar{M}^* , можно определить максимальное значение изгибающего момента в каком-либо узле, а затем выполнить расчет на прочность узла крепления трубы с ТТР.