

УДК 621

М.Ю.Баделин (6 курс, каф. ЭиПГС), В.А.Соколов, к.т.н., доц.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ЗАЩИТНЫХ ОБОЛОЧЕК АЭСС ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА SCAD

Защитные оболочки служат для обеспечения локализации последствий выброса радиационной среды в реакторных отделениях. В настоящее время под защитной оболочкой (защитным сооружением) понимают комплексную конструкцию, предохраняющую окружающую среду от радиоактивных выбросов при авариях и не допускающую разгерметизации сооружения при особых внешних воздействиях.

Существует множество различных типов защитных оболочек, классифицируемых по различным признакам. Для расчета оболочки на вычислительном комплексе SCAD, рассмотрены оболочки, классифицируемые по общей внешней форме оболочечной поверхности:

- цилиндрическая оболочка с полусферическим куполом и плоским днищем;
- цилиндрическая оболочка с покрытием в виде пологого сферического купола с плоским днищем; цилиндрическая и купольная части соединяются с помощью сопрягающего элемента – кольцевой балки жесткости.

В основу расчета положена пространственная расчетная модель, построенная с использованием конечно-элементного вычислительного комплекса SCAD. При построении расчетной модели монолитная железобетонная защитная оболочка представлена в виде пространственной системы состоящей из пластин. Для формирования цилиндрической и сферической частей оболочки, а так же кольцевой балки жесткости (при ее наличии) использован оболочковый прямоугольный и треугольный конечные элементы с жесткостными характеристиками, соответствующими реальному сооружению (материал, геометрия сечения). Сферическая и цилиндрическая части, а так же кольцевая балка жесткости (при ее наличии) заданы как единое целое. Условие опирания для цилиндрической части приняты в виде жесткой заделки на уровне верха плиты днища. Расчет выполнен на действие собственного веса, внутреннего избыточного давления и температурных перепадов в рамках стационарной задачи термоупругости. Все нагрузки рассмотрены как осесимметричные.

По результатам расчета были получены внутренние усилия  $M$ ,  $N$  и  $Q$  от действия заданных нагрузок и по ним построены эпюры внутренних усилий.

Расчет защитной оболочки выполнен также аналитическим методом с использованием программы Shild.

При определении напряженно-деформированного состояния аналитическим методом рассматриваемой оболочки при внутреннем избыточном равномерно распределенном давлении и при воздействии температуры решение строится на основе осесимметричной задачи тонкостенных оболочек вращения. Для оболочек вращения, загруженных осесимметричной нагрузкой наиболее характерным является безмоментное напряженное состояние. При таком напряженном состоянии в сечениях оболочки возникают только

меридиональные и кольцевые усилия. Изгибающие и крутящие моменты, поперечные силы и сдвигающие усилия либо отсутствуют, либо пренебрежимо малы.

Усилия в оболочках, определяемые по безмоментной (мембранной) теории, имеют достаточно точное для инженерной практики значение в зонах, удаленных от мест резкого изменения геометрических и статических параметров оболочки (форма, размеры, жесткость), а также от мест приложения сосредоточенных силовых воздействий. На этих участках, называемых краевыми, кроме мембранных усилий возникают дополнительные усилия, носящие название краевого эффекта. Краевой эффект в виде значительных изгибающих моментов и поперечных сил возникает в местах пересечения оболочек, у колец жесткости, у края оболочки, в местах ступенчатого изменения толщины, в зонах сосредоточенных воздействий.

Дополнительные краевые усилия в оболочках не могут быть определены по безмоментной теории. Для их определения необходимо применить аппарат моментной теории тонких упругих оболочек. Точное решение уравнений моментной теории представляет собой задачу большой математической сложности и поэтому для инженерных расчетов такая методика трудно применима.

Для расчета усилий в оболочках вращения при осесимметричных нагрузках разработана методика, по которой общее решение задачи можно получить путем суммирования результатов решения по безмоментному напряженному состоянию с результатами определения напряженного состояния, вызванного краевыми силами, т.е. с решением краевой задачи. Такую задачу можно решать методами строительной механики, в частности методом сил.

При сравнении полученных результатов методом конечных элементов и на основе аналитического метода было получено, что вид эпюр и значения внутренних усилий совпадают с незначительными расхождениями.

Расчет защитной оболочки методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса SCAD позволяет рассматривать не только осесимметричную задачу, но и неосесимметричные задачи. В этом случае решение краевой задачи будет выполняться с точностью достаточной для инженерной практики.