

УКД 539.3

Л.Ю.Феоктистова (5 курс, каф. МПУ), А.Н.Бирбраер, к.т.н. доц. ФГУП АЭП,
 Д.С.Михалюк, асс.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ КВАЗИСТАТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ЗДАНИЯ АЭС ПРИ УДАРЕ САМОЛЕТА

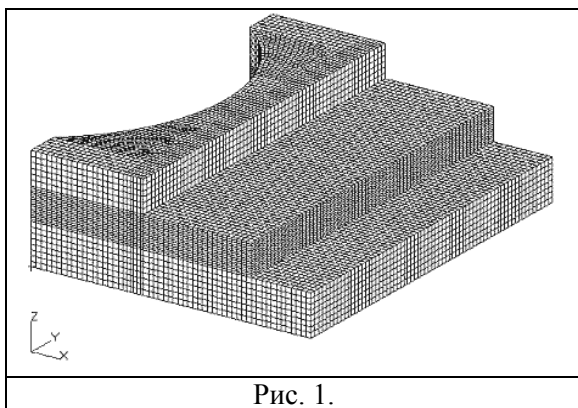


Рис. 1.

В настоящей работе исследуется напряженно-деформированного состояния здания безопасности финской АЭС Loviisa-3 (рис. 1) при ударе большого коммерческого самолета Boeing-747. Поставлена следующая задача исследования: на примере расчетов строительных конструкций здания безопасности на удар самолета оценить погрешность квазистатического расчета с использованием коэффициента динамичности, традиционно используемого в российских проектных организациях. Сравнить результаты с непосредственным динамическим расчетом, и

выбрать адекватную модель для квазистатического расчета. Здание выполнено из железобетона со следующими механическими свойствами бетона: модуль упругости $E=36000$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0.2$, модуль сдвига $G=14400$ МПа.

В работе рассмотрены различные способы построения функции нагружения [1,2]. В итоге, действующие на здание динамические нагрузки при авиакатастрофе определены по формуле Риеры [1]: $R(t) = P(\xi(t)) + \dot{\xi}(t) \cdot \mu(\xi(t))$, где R – нагрузка на преграду, μ – распределенная масса самолета, P – предельная нагрузка разрушения фюзеляжа, $\xi(t)$ – длина

смятой части, отсчитываемая от носа самолета. В настоящей работе учитывается только нагрузка от удара фюзеляжа, представленная на рис. 2.

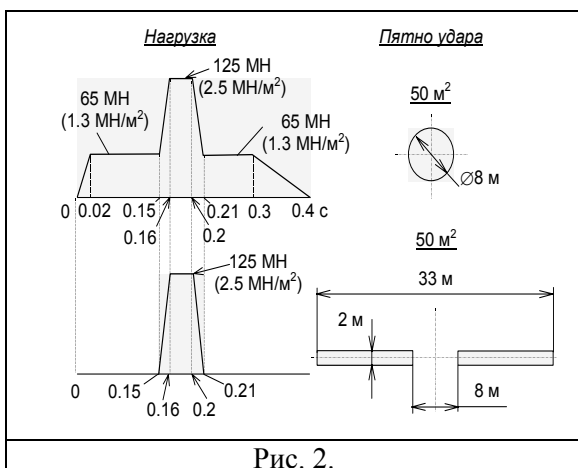


Рис. 2.

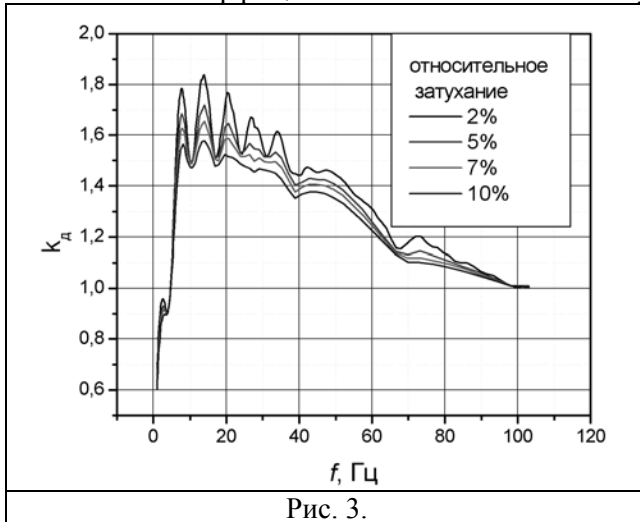
Проверка локальной прочности конструкции, с достаточной для практических целей точностью, может быть проведена с помощью квазистатического расчета. Он заключается в статическом расчете стены здания на действие максимального значения динамической нагрузки, умноженного на коэффициент динамичности k_d , зависящий от динамических характеристик конструкции.

Значение коэффициента динамичности определяется из дифференциального уравнения

[3] $\ddot{T} + 2\zeta\omega\dot{T} + \omega^2 T = \omega^2 f_1(t)$, где $f_1(t)$ – нормированный к единице закон изменения нагрузки во времени; ζ – коэффициент относительной диссипации, ω – эквивалентная частота:

$$\omega^2 = \frac{\iint_{(s)} w_{cm}(x, y) f_2(x, y) dx dy}{m \iint_{(s)} w_{cm}^2(x, y) dx dy};$$

$w_{ст.}$ - статический прогиб. На рис. 3 показана зависимость $k_d = T/R_{max}$ от эквивалентной частоты и диссипации энергии в конструкции при нагрузке, изображенной на рис. 2. Значения коэффициента динамичности вычислены в диапазоне частот от 1 Гц до 100 Гц и значениях коэффициента относительного затухания $\zeta = 0.02$; $\zeta = 0.05$; $\zeta = 0.07$; $\zeta = 0.1$.



Задача решалась в пяти постановках: квазистатический расчет стены здания при свободно опертых или защемленных по периметру краях; динамический расчет стены здания при тех же граничных условиях; динамический расчет локальной прочности стены при использовании модели всего здания. Для всех постановок использовался метод конечных элементов, реализованный в программной системе КЭ анализа MSC. Patran/Nastran. В силу симметрии геометрии и граничных условий, рассматривалась четверть стены. Модель стены здания содержит 330 восьмиузловых элементов пластины и 8022 степеней

свободы. Модель всего здания содержит 18280 четырехугольных элементов пластины, 33831 стержневых элементов, моделирующих взаимодействие сооружения с основанием [1], количество степеней свободы 108738. На рис. 4 приведены графики сравнения прогибов и моментов, полученных во всех пяти постановках вдоль линий, проходящих через центр пластины.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. Решения для плит с различными граничными условиями, полученные в квазистатическом и динамическом расчете (для $t=0.2$), практически совпадают.
2. Значения прогибов, полученные в результате динамического расчета здания, лежат между значениями, полученными для свободно опертой и защемленной плиты.
3. Максимальные значения моментов, полученные в результате динамического расчета здания, а также общий вид зависимостей близок к решению для защемленной плиты.
4. В динамическом расчете здания значения M_x и M_y на верхнем ребре стенки близки к нулевым. В то же время, прогиб u_z данной грани принимает конечное значение, не равное нулю. Эти результаты позволяют сделать выводы о том, что при использовании задачи о изгибе плиты для оценки локальной прочности здания безопасности АЭС данную грань следует рассматривать как свободную.

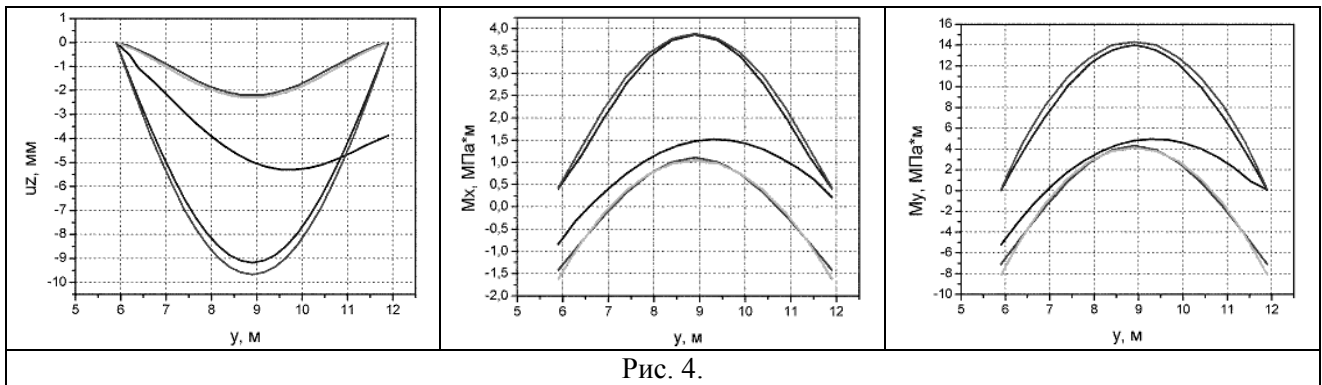


Рис. 4.

Исходя из полученных результатов сделаны выводы о том, что с достаточной для инженерной оценки точностью можно решать исходную задачу в квазистатической постановке при адекватных граничных условиях. Сделаны рекомендации о выборе этих условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирбраер А. Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. С-Пб.: Наука. 1998.
2. Drittler K., Gruner P. The force resulting from impact of fast-flying military aircraft upon a rigid wall. // Nucl. Engng. and Design. 1976. V. 37. P. 245-248.
3. Бирбраер А. Н. Шульман С. Г. Прочность и надежность конструкций АЭС при особых динамических воздействиях. М.: Энергоатомиздат. 1989.