

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ХРАНИЛИЩА ОТРАБОТАВШЕГО ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ПРИ ОСОБЫХ ВНЕШНИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Попов А. И.<sup>1)</sup>, к. т. н., Травин С. М.<sup>1)</sup>, Тропкин С. Н.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ООО «Головной Институт ВНИПИЭТ», г. Санкт-Петербург, <sup>2)</sup> ООО «ТЕСИС», г. Москва

Учитывая особенности проектирования объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), к ним предъявляются повышенные требования по безопасности. В связи этим, помимо расчетов на нагрузки и воздействия, определяемые общестроительными нормами и правилами, данные объекты необходимо рассчитывать на особые внешние воздействия природного и техногенного характера.

В докладе выполнен сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния фрагмента хранилища отработавшего ядерного топлива, (ХОЯТ) при различных динамических воздействиях.

- воздействию воздушной ударной волны (ВУВ)
- воздействию от падения самолета
- воздействию землетрясения.

При проведении анализа использовался программный комплекс [Abaqus](#) Unified FEA, основанный на методе конечных элементов. Задачи рассматривались в упругой стадии, так как для ОИАЭ не допустимо развития трещинообразования и пластические деформации.

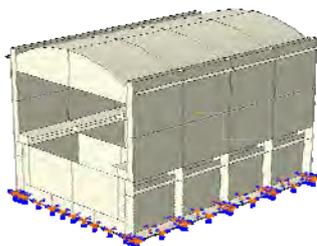


Рисунок 1- общий вид расчетной модели

Расчеты на воздействие ВУВ и землетрясения производились методом разложения по собственным формам (в расчете формы учитывались с частотой до 100 герц, затухание по формам 4% от критического), расчет на падение самолета - методом прямого интегрирования.

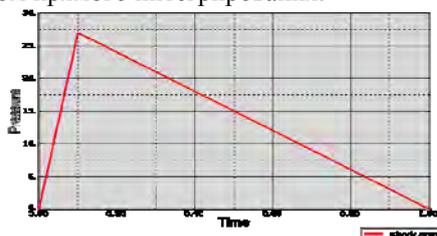


Рисунок 2 - нагрузка от ВУВ

Рассмотрена ВУВ, оказывающая давление 27 кПа на фронтальную преграду.

Максимально перемещение в конструкции по направлению действия нагрузки составило 12 мм в момент времени 0.2с, максимальные напряжения 9864 кПа соответственно в тот же момент времени.

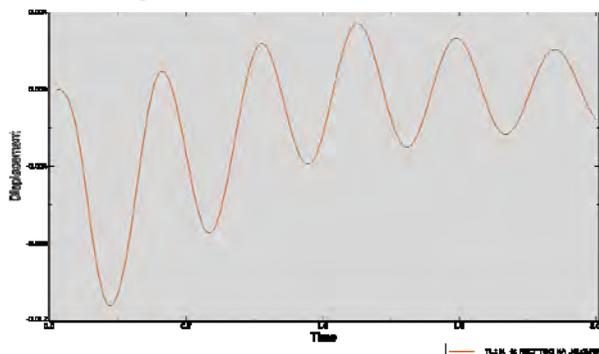


Рисунок 3 - График перемещений во времени при воздействии ВУВ

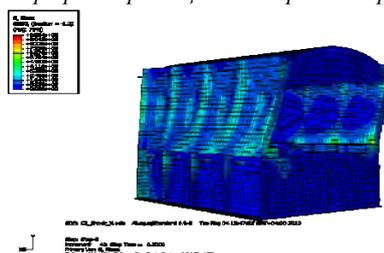


Рисунок 4 - максимальные напряжения в конструкции, достигаемые в момент времени 0.2с.

Далее был рассмотрен удар легкого самолета весом до 5 тонн в стену секции.

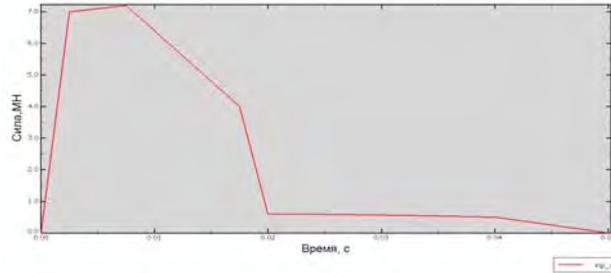


Рисунок 5-нагрузочная кривая от воздействия самолета

Получен график перемещений в точке удара, и двух удаленных точках, расположенных на расстоянии от удара.

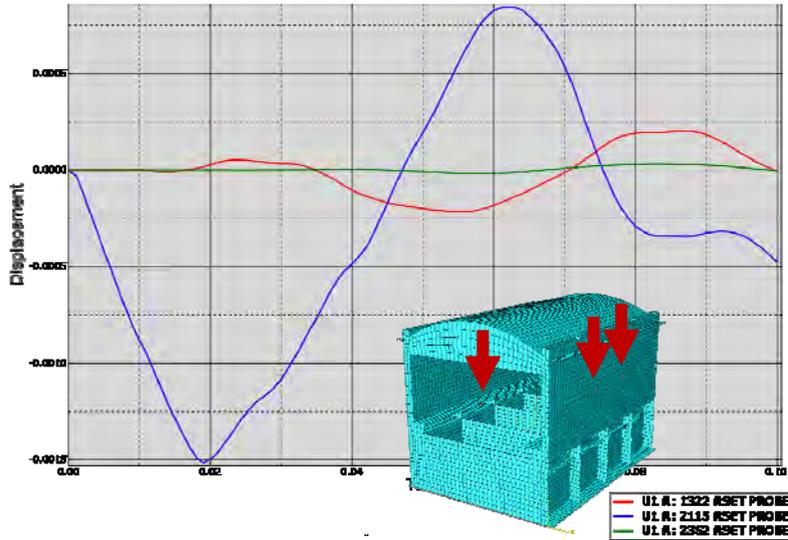


Рисунок 6-график перемещений в точке удара и двух удаленных точках

Максимальные перемещения в точке удара достигают 15 мм, максимальные напряжения составили 13080 кПа

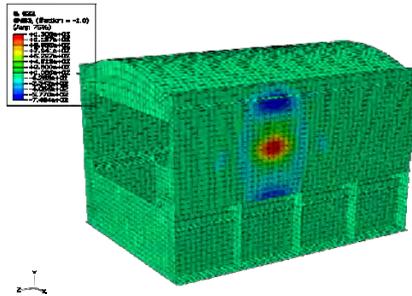


Рисунок 7-максимальные напряжения при ударе самолета.

Можно сделать вывод, что данное воздействие имеет локальный характер, но при этом может произойти в любой точке сооружения.

Исходная сейсмическая информация задана в виде акселерограмм по 3-м компонентам . приведенным к 7 баллам.

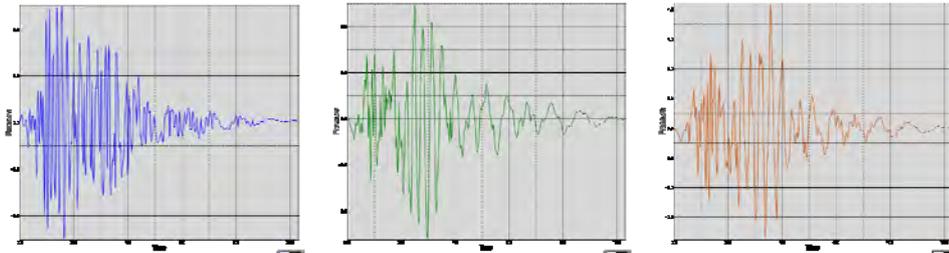


Рисунок 8 исходные акселерограммы по трем компонентам.

Максимальные перемещения в конструкции при данном воздействии составили 15 мм. Максимальные напряжения 4840 кПа.

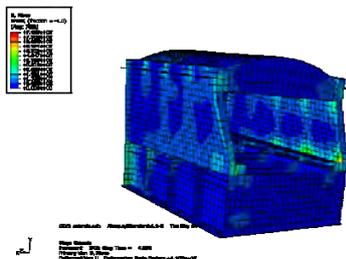


Рисунок 9- напряжения в конструкции при сейсмическом воздействии.

Получены поэтажные акселерограммы, которые могут быть использованы для построения поэтажных спектров ответа (ПС).

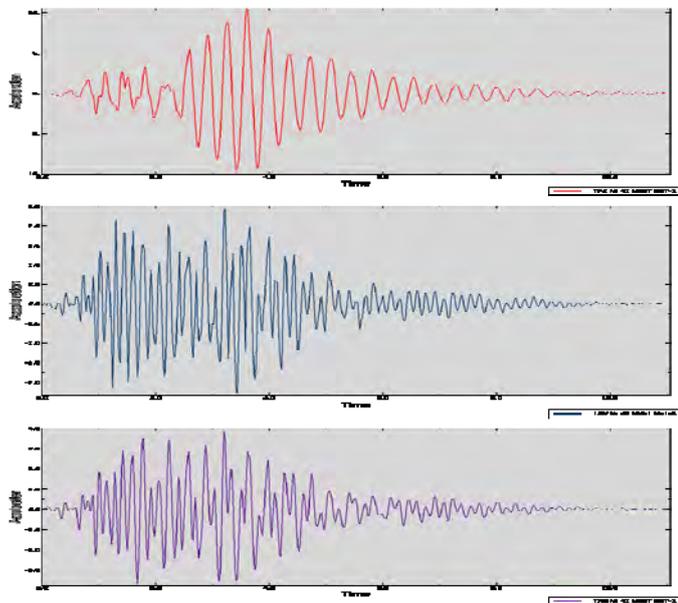


Рисунок 10- поэтажные акселерограммы в произвольной точке.

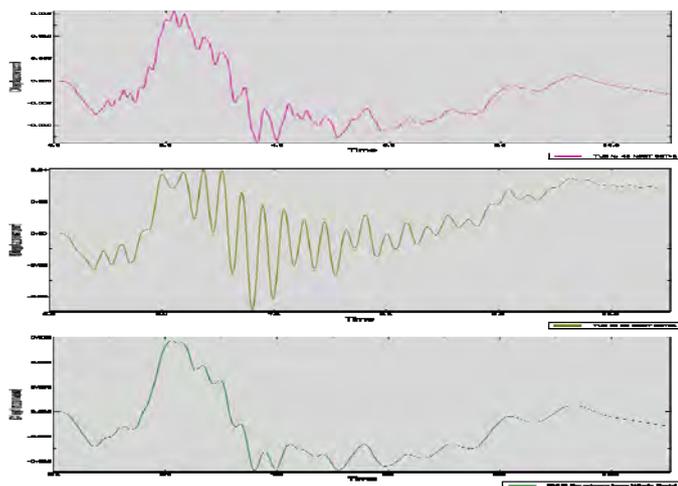


Рисунок 11 - перемещения в рассматриваемой точке

По результатам расчетов получено напряженно-деформированное состояния здания при различных динамических воздействиях, данные результаты могут быть использованы для подбора арматуры. Так же получены поэтажные акселерограммы, которые могут быть использованы для построения поэтажных спектров ответа.

В результате расчетных проработок можно сделать вывод о том, что из рассмотренных воздействий, наибольшую опасность для наружных ограждающих конструкций представляет воздействие от падения самолета на стену или покрытие сооружения. Оно носит локальный, точечный характер, но армировать ограждающие конструкции здания следует исходя из него.

Динамические модули программного комплекса Abaqus позволяют решать подобного рода задачи до уровня определения напряженно-деформированного состояния, после чего, учитывая требования национальных норм следует дополнительно проводить оценки прочности с подбором арматуры в бетоне и проверкой сечений из металлопроката, что должно послужить темой дальнейших исследований и проработок.