

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
НА СТАЛЬНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА FLOWVISION**

Лукьянова И.Э.

*Уфимский государственный нефтяной технический университет,
кафедра «Сооружение и ремонт ГНП и ГНХ»
email: iri-lou@mail.ru*

Обеспечение сейсмостойкости резервуаров является комплексной проблемой, требующей, в частности, определения гидродинамических нагрузок от жидкого продукта. Для обоснованных выводов о стабильной безопасной эксплуатации стального вертикального резервуара (РВС) с понтоном создана и изучена модель, позволившая получить поля скоростей в объеме резервуара и давления на стенки РВС в зависимости от времени, показавшие резкое понижение давления на стенку РВС в момент прекращения воздействия и цикличность его усиления. Приведена зависимость максимального давления на стенку РВС-5000 от времени, прошедшего с момента возникновения толчка.

Ключевые слова: *сейсмостойкость, резервуар, понтон, гидродинамические нагрузки*

Изучение влияния землетрясений на поведение строительных конструкций является актуальной задачей, т.к. одна из важнейших задач сейсмологии – выяснение причин землетрясений и объяснение их механизма – до сих пор не решена. Кроме того, актуальность данного вопроса обусловлена повышающейся, по последним данным, сейсмической активностью планеты. В очаге землетрясения происходят разрывы и интенсивные неупругие деформации среды. Деформации в самом очаге носят необратимый характер, а в области, внешней к очагу, являются сплошными, упругими и преимущественно обратимыми. Именно в этой области распространяются сейсмические волны.

Очаг может либо выходить на поверхность, как при некоторых сильных землетрясениях, либо находиться под ней, как во всех случаях слабых землетрясений.

Путем непосредственных измерений были получены до сих пор довольно немногочисленные данные о величине подвижек и видимых на поверхности разрывов при катастрофических землетрясениях. Для слабых землетрясений непосредственные измерения невозможны. Наиболее полные измерения разрыва и подвижек на поверхности были проведены для землетрясения 1906 г. в Сан-Фран-

циско. На основании этих измерений Дж.Рейд в 1910г. выдвинул гипотезу упругой отдачи. Она явилась отправной точкой для разработки различных теорий механизма землетрясений.

В настоящее время считается установленным, что основные параметры землетрясения, его магнитуда и энергия зависят от размеров очага, а не от накопившихся напряжений и деформаций. Была выдвинута идея "вспарывания" тектонического (сейсмического) разрыва. В каком-то месте этого разрыва происходит накопление напряжений. Когда они превышают предел прочности горных пород в данном месте, разрыв "взрезается", "вспарывается" и распространяется на определенную длину с большой скоростью, достигающей 3 - 4 км/с. Именно с такими скоростями происходит разрушение пород в очаге землетрясений.

В СНиП II-7-81* [1] рекомендуется выполнять расчеты зданий и сооружений на особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий с использованием инструментальных записей ускорений основания при землетрясении, наиболее опасных для данного здания или сооружения. При этом максимальные амплитуды ускорений основания следует принимать не менее 100, 200 или 400 см/с² при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов соответственно. Следует учитывать возможность развития неупругих деформаций конструкций.

Сейсмические воздействия могут иметь любое направление в пространстве [1]. Для зданий и сооружений простой геометрической формы расчетные сейсмические нагрузки следует принимать действующими горизонтально в направлении их продольной и поперечной осей. Действие сейсмических нагрузок в указанных направлениях следует учитывать отдельно.

Сейсмическое воздействие представляет собой волновое поле, характеристики которого носят случайный характер и зависят, в частности, от параметра T – среднего периода повторяемости сотрясений за рассматриваемый срок.

Обеспечение сейсмостойкости резервуаров является комплексной проблемой, требующей разработки трех основных направлений, включающих определение гидродинамических нагрузок от жидкого продукта, проверку корпуса резервуара на опрокидывание и обеспечение несущей способности конструкций в процессе землетрясения [2].

При расчете элементов резервуара при сейсмическом воздействии необходимо учитывать, что его корпус воспринимает не только горизонтальные гидростатические и инерционные нагрузки от жидкого продукта, но и вертикальные реактивные усилия от фундамента и покрытия, вызванные действием опрокидывающего момента.

При проведении расчетов резервуара на сейсмические нагрузки определяют: параметры колебаний, напряженно-деформированное состояние и устойчивость элементов резервуара с учетом деформирования и взаимодействия с основанием, а также прочность элементов резервуара с учетом прочности материалов при динамических нагрузках.

При наличии понтона или плавающей крыши необходимо предусмотреть расчет максимального угла поворота для исключения заклинивания понтона (плавающей крыши) на направляющих.

Для расчета сейсмостойкости резервуаров необходимо учитывать также тип движения жидкости при горизонтальных сейсмических воздействиях: высокочастотное движение деформируемого корпуса совместно с присоединенной частью массы жидкости, и низкочастотное движение части жидкости, участвующей в образовании поверхностной волны.

Сейсмостойкость вертикального стального резервуара (РВС) с понтоном считается обеспеченной при одновременном выполнении двух требований: 1-й пояс стенки не должен терять прочности и устойчивости, гравитационная волна на свободной поверхности не должна приводить к потере работоспособности понтона.

Несмотря на важность и практическую значимость этапа определения гидродинамических нагрузок, передаваемых на стенку РВС в процессе землетрясения, в отечественных нормативных документах рекомендации по расчету такого рода нагрузок имеют общий характер. В основных зарубежных стандартах [3 - 6] содержатся более подробные методики, отражающие современное состояние вопроса с научной и практической точек зрения.

Серьезные исследования в области сейсмостойкости резервуарных конструкций в нашей стране и за рубежом начали проводить с 50-х годов прошлого столетия. Благодаря трудам Я.М. Айзенберга, И.И. Гольденבלата, И.Л. Корчинского,

А.Г. Назарова, А.Н. Николаенко, М. Био, Дж. Хаузнера и др. произошел переход от «статической теории» к моделям, основанным на учете характера движения грунта, инерционных и вязко-упругих свойств сооружений. Особенности сейсмических реакций сосудов, содержащих большие объемы жидкости, подробно исследованы в основополагающих работах [7, 8]. В статье [9] предлагаются расчетные соотношения по определению конвективной и импульсивной составляющих гидродинамической нагрузки на стенку и днище РВС при сейсмических воздействиях. Приведены приближенные формулы для определения значений сдвигающей силы и опрокидывающего момента, вызванных действием инерционных сил от конструкций резервуара (с учетом снега и теплоизоляции на стенке и крыше РВС), а также для вычисления высоты волны на поверхности продукта у стенки резервуара.

В упомянутой литературе при расчетах не учитывается наличие плавающего покрытия, поэтому решено было исследовать возможности существующих программных продуктов для моделирования сейсмического воздействия на РВС с понтоном.

Для изучения поведения стального вертикального цилиндрического резервуара РВС-5000 с нефтепродуктом, подвергнутого сейсмическому воздействию, было проведено моделирование в программном комплексе для гидродинамических расчетов FlowVision, позволяющего учитывать влияние понтона, плавающего на поверхности продукта в РВС. В модели ускорение задавалось в горизонтальном направлении величиной 200, 400 и 500 см/с², с длительностью воздействия 0,5 с.

В результате моделирования получены поля скоростей в объеме резервуара и давления на стенки РВС в зависимости от времени, показавшие резкое понижение давления на стенку РВС в момент прекращения воздействия и цикличность его усиления. Зависимость максимального давления на стенку РВС от времени приведена на рис. 1. Возможности FlowVision позволяют визуализировать поведение жидкости, хранящейся в РВС, при сейсмическом воздействии, и получать расчетные значения высоты волны при наличии плавающего покрытия в произвольном месте поверхности продукта.

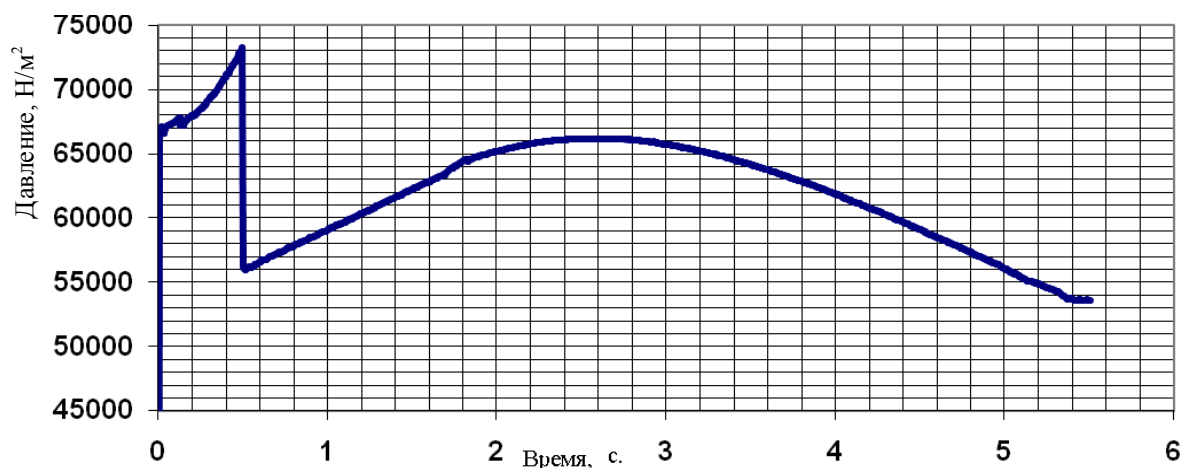


Рисунок 1. Зависимость максимального давления (Н/м²) на стенку РВС-5000 от времени (с), прошедшего с момента возникновения толчка

Литература

1. СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах. – М.: 2003.
2. Еленицкий Э.Я. Несущая способность корпуса вертикальных цилиндрических стальных резервуаров в условиях сейсмического воздействия // Сейсмостойкость и безопасность специальных сооружений. – 2009. – №1. – С. 41-43.
3. API Standard 650. Welded Steel Tanks for Oil Storage, 2003.
4. API Standard 620. Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks, 2001.
5. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 4: Silos, tanks, and pipelines, 2003.
6. AWWA Standard D100-96. Welded Steel Tanks for Water Storage, 1996.
7. Housner G. Dynamics pressures on accelerated fluid containers // Bulletin of the Seismological Society of America, – 1957. – Vol. 47 (1), – P. 15-35.
8. Гольденблат И.И., Николаенко Н.А. Расчет конструкций на действие сейсмических и импульсивных сил. – М.: Госстройиздат, 1961. – 320с.
9. Сеницкий Ю.Э., Еленицкий Э.Я., Дидковский О.В. К вопросу о нормативных требованиях по расчету вертикальных стальных цилиндрических резервуаров в условиях сейсмического воздействия // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – №4. – С. 65-69.