УДК 622. 323

С.Б. Микайылов

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЗРЫВООПАСНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

При проектировании наземных резервуаров для нефтехимических продуктов вблизи стратегических, гражданских и других объектов, возникает необходимость оценки прочности элементов конструкций на внешние воздействия при чрезвычайных ситуациях. К этим ситуациям относятся землетрясения, наземные, воздушные и подземные взрывы, селевые потоки, оползни почвы и т.д.

Резервуары для хранения жидких продуктов выполняют, как правило, в вид тонкостенной сферической оболочки (сосуда), устанавливаемой на дискретных опорах колоннах, или в виде тонкостенного цилиндра вертикально расположенной на массивно бетонированной площадке. Исследуем действие на резервуар воздушных волн возникающих при взрывах или штормах и ураганах, фронт которых перемещаете перпендикулярно поверхности грунта. Ограничимся практическими случаями, при которых давление во фронте ниже избыточного давления внутри резервуара. В такой постановке колебания резервуара можем описать следующей системой уравнений начальными условиями:

$$\begin{aligned} &\ddot{u} + 2\delta\,\dot{u} + \varpi_1{}^2 u = \sum_{i=1}^{\infty} \tilde{m}_i \ddot{f}_i + \frac{F_1}{M}, \qquad u(0) = \dot{u}(0) = 0; f_i(0) = \dot{f}_i(0) \\ &\ddot{f}_1 + 2\tilde{V}_i \dot{f}_i + \varpi_i{}^2 f_i = -\ddot{u} \end{aligned} \qquad (1)$$

Здесь: у- смещение резервуара; фи - волновые функции, представляющие собой амплитуды колебаний поверхности продукта; δ - логарифмический декремент колебаний конструкции; $\tilde{V}_k$ - коэффициент, учитывающий затухание колебаний жидкости; ω_1 - частота собственных колебаний, резервуара, определяемая по формуле $\omega_1^{\ 2} = \frac{k_1}{M}$ для случая отвердевшего наполнителя; k_1 - коэффициент жесткости опорной конструкции;

М - полная масса системы; $\tilde{\omega}_i$ - частота собственных колебаний продукта по и- й гармонике $\omega_1^{\ 2} = \frac{f_1\left(\frac{h}{r}\right)\cdot g}{a}$(2); $\tilde{m}_1$ - коэффициент гидродинамической силы, определяемый соотношением $\tilde{m}_1 = \frac{f_2\left(\frac{h}{r}\right)\cdot a^3 p}{M}$ (3). Здесь $f_1\left(\frac{h}{r}\right)$и $f_2\left(\frac{h}{r}\right)$ (4) –функции, значения которых определяются положением уровня жидкости: α - радиус резервуар; щ - толщина оболочки; р - плотность продукта; э- интенсивность силы тяжести.

Внешняя нагрузка при действии вышеупомянутых волн $F_1(t)$ складывается из давления на неподвижную сферическую или цилиндрическую преграду и давления излучения при поступательном давлении сосуда

$$F_1 = s_0 \cdot P_{\bullet} \cdot e^{-r} \cdot \sin^{\tau} - V_0 p_0 c_0 \cdot a^{-1} \cdot \int_0^t \ddot{u}\ (t-\tau) \cos^{\tau} \cdot d\tau, \qquad (5)$$

где $\tau = \frac{c_0 t}{\alpha}$; $P_{\bullet}$- давление но фронте волны; p_0 - плотность воздуха; с0 – скорость звука в воздухе; c_0 -площадь поверхности сферы или боковой поверхности цилиндра; B_0 - объем резервуара. Выражение (5) соответствует действию на конструкцию единичной волны

$$P = P_{\bullet} H(t)(\tau - 1 + r\cos\theta),$$

Щ(т) - единичная функции Хевисайда;

$$r = \frac{r_1}{a}; \qquad (6)$$

Θ - полярный угол, о дочитываемый от луча, направленного навстречу фронту.

Для волны произвольного профиля выражение для нагрузки может быть получено помощью интеграла Дюамеля:

$$F_1(t) = P(0)F_H(t) + \int_0^t F_H\ (\tau)P'(t-\tau)d\tau, \qquad (7)$$

Здесь Фн(т) выражение, соответствующее единичной волне при и=1 . Рассмотрены некоторые возможные упрощения системы. Получена следующая система уравнений, описывающая колебания резервуаров при действии единичной волны;

$$\ddot{u} + \varpi_1^{\ 2}\mathrm{u} = -\tilde{m}_1\ddot{f}_i + \frac{S_0}{M}\cdot P_{\bullet}\cdot e^{\frac{c_0}{\alpha}}\cdot t, \qquad u(0) = \dot{u}(0) = 0; f_1(0) = \dot{f}_i(0) \tag{8}$$
$$\ddot{f}_1 + \tilde{\omega}_1^{\ 2} f_1 = \ddot{u}$$

Для решения системы воспользуемся интегральными преобразованиями Лапласа, в результате которого получаем систему алгебраических уравнений в пространстве изображений $\tilde{u}(s)$ и $\tilde{f}(s)$.

$$\left.\begin{aligned} s^2 u^{(p)} + \varpi_1^{\ 2}\overline{u}(p) = -\tilde{m}_1 s^2 f(p) + \frac{\overline{F}(P)}{M}, \\ s^2\overline{f}(p) + \tilde{\omega}_1^{\ 2}\overline{f}(p) = -s^2\overline{u}(p) \end{aligned}\right\}. \tag{9}$$

Решая систему (9) находим:

$$\overline{u}(p) = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M}\cdot\frac{s_2 + \tilde{\omega}_1^{\ 2}}{\left(s_2 + 2s\cdot\dfrac{c_0}{a} + 2\dfrac{c_0^{\ 2}}{a^2}\right)\left(s^2\left(1-\tilde{m}_1\right) + s^2\left(\omega_1^{\ 2} + \tilde{\omega}_1^{\ 2}\right) + \omega_1^{\ 2}\,\tilde{\omega}_1^{\ 2}\right)}$$

$$\ddot{\overline{f}}(p) = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M}\cdot\frac{s^2}{\left(s_2 + 2s\cdot\dfrac{c_0}{a} + 2\dfrac{c_0^{\ 2}}{a^2}\right)\left(s^4\left(1-\tilde{m}\right) + s^2\left(\omega_1^{\ 2} + \tilde{\omega}_1^{\ 2}\right) + \omega_1^{\ 2}\,\tilde{\omega}_1^{\ 2}\right)}$$

Для построения оригиналов, воспользуемся теоремой разложения:

$$u(t) = \sum_{]=1}^{6}\Phi_0\cdot\frac{\Phi_2(s_j)}{\Phi_1'(s_j)}\cdot e^{sjt};$$

$$f_1(t) = \sum_{]=1}^{6}\Phi_0\cdot\frac{\Phi_3(s_j)}{\Phi_1'(s_j)}\cdot e^{sjt};$$

где съ - корни знаменателя Ф1(с)=0.

$$\Phi_1(s) = \left(s^2 + \frac{2sc_0}{a} + \frac{2c_0^{\ 2}}{a^2}\right)\cdot\left(s^4\left(1-\tilde{m}_1\right) + s^2\left(\omega_1^{\ 2} + \tilde{\omega}_1^{\ 2}\right) + \omega_1^{\ 2}\tilde{\omega}_2^{\ 2}\right)$$

$$\Phi_2(s) = s_2 + \tilde{\omega}_1^{\ 2}; \qquad \Phi_3(s) = s^2; \qquad \Phi_0 = \frac{s_0 c_0 P_{\bullet}}{M};$$

Штрих обозначает дифференцирование по параметру с. Анализ корней знаменателя показывает, что среди них имеется дна комплексно - сопряженных корня с отрицательной действительной частью и четыре мнимых корня, сопряженных попарно. Отсюда следует, что решение системы (8) складывается из осциллирующих функций и из произведения таких функций па экспоненциально затухающие. Объединяя далее члены, содержащие син и жос одинаковыми аргументами, получим окончательные выражения для функции перемещений у(т) и волновой функции ф1(т), которые из-за громоздкости здесь не приводятся.

Нетрудно аналогично построить решение для волны произвольного профиля более простым способом, используя полученное решение при действии единичной волны с помощью интеграла Дюамеля:

$$u(t) = P(0)u_0(t) + \int_0^t u_0(t_1)P'(t-t_1)dt_1 \tag{12}$$

где $у_0$(т)- решение для единичной волы.

Вопрос определения параметров волновых воздействий для разных случаев рассматривается ниже: (8)

Ветровые нагрузки: $Ph = s_0 \cdot q \cdot c_x \cdot k_{\text{Н}} \cdot \beta$ (13)

Здесь: $с_0$ - расчетная наветренная площадь; м2, г - номинальный ветровой напор кгс/$м_2$ - коэффициент увеличения ветрового напора по высоте; β динамический коэффициент, учитывающий воздействие порывов ветра.

$$q = \frac{p \cdot V^2}{2} \tag{14}$$

р - плотность воздуха заданной температуре, кг. сек2 /м2;

V - максимальная скорость ветра рабочего состояния, м/сек.

$$c_x = \begin{cases} 1.2 \; при \; qd^2 \le 1кгс \\ 0.7 \;\; при \;\; qd^2 \le 1.5кгс \end{cases}$$

для цилиндрического резервуара- а для сферического резервуара сх=1,4.

Для цилиндрических и сферических резервуаров критическая скорость ветра, вызывающая резонансное колебание можно определить по формуле

$$V_{kp} \approx 5D/T \tag{15}$$

где Д - диаметр; Т'- период собственных колебаний.

Воздействие ядерного взрыва: давление

$$P = \frac{2.5\Delta P_{\Phi}{}^2}{\Delta P_{\Phi} + 7} \tag{16}$$

 ISSN 1562-9945

где

$$\Delta P_{\Phi} = \frac{1{,}6\sqrt[3]{q_{0}}}{R} + \frac{4{,}3\sqrt[3]{q_{0}^{\;2}}}{R} + \frac{14q_{0}}{R^{3}};$$

$г_0$ - давление от величины тротилового эквивалента по ударной волне.

Для волны произвольною профили и происхождения:

$$P(t) = P(0)F_0(t) + \int_0^t F_0(\tau)P'(t-\tau)\,d\tau \qquad (17)$$

где Φ_0 - нагрузка на резервуар при действии единичной волны.

Количественные оценки, проводимые по результатам вычислительных экспериментов на компьютерах показываем что прохождении волновых возмущений поверхности земли колебание грунта дает эффект второю порядка малости по сравнению с действием воздушной волны. Колебания резервуаров при проке взрывной или сейсмической волны в грунте будем исследовать отдельно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильгамов М.А. Колебания упругих оболочек, содержащих жидкость и газ. Изд – во КГУ. Казань 1969-246с
2. Савицкий Г.А. Ветровая нагрузка на сооружения. М. Строй кг дать. 1972 -231с.
3. Гусев А.С$_{Г}$, Светлицкий В,А. Расчет конструкций при случайных Машиностроение. 1989 - 324с.
4. Гасшюв А. Б, Реакция механических систем на нестационарные гшешцис Баку, Елп, 2004- 248с.

Получено 23.02.2009г.