

УДК 539.3

О.А.Григорьева (асп., каф. МВТС), А.С.Большев, д.т.н., проф.

ВИБРАЦИИ РАЙЗЕРОВ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Из практики эксплуатации глубоководных шельфовых месторождений углеводородов стало известно, что шельфовые платформы могут испытывать кратковременные конструкционные отклонения на собственных частотах, которые существенно выше основных волновых частот. Этот феномен, который больше стал известен как «рингинг», нельзя объяснить традиционными теориями волновой дифракции. При рингинге происходит существенный резонанс конструкции из-за растяжения вертикальных натяжных связей. Такие проблемы могут возникнуть на глубоководных стационарных платформах с натяжными связями типа TLP и, особенно, на платформах типа «monotowers», которые состоят из тонкой колонны, которая существенно реагирует на изгиб.

Наблюдения в ходе модельных экспериментов на платформах, оснащенных измерительной аппаратурой, показали, что рингинг появляется при действии крутых волн, и когда высота волны сравнима с поперечными размерами конструкции, но нет признаков разрушения волны или воздействия слеминга. Также неочевидны значительные вязкие эффекты или отрыв потока.

Одним из наиболее ответственных конструктивных элементов платформ, подверженных риску аварий, являются райзеры, представляющие собой систему труб, с помощью которых плавучие платформы соединяются с устьем скважины. Вибрации, возникающие при «рингинге», представляют угрозу сроку службы райзеров. Поэтому их надо учитывать при оценке надежности. Для адекватной оценки опасности при эксплуатации целесообразно выполнить математическое моделирование, посредством которого изучить динамику сооружения и райзера.

В СПбГПУ развиты математические модели и программные средства, которые позволяют моделировать динамику сооружения в течение всего периода эксплуатации, в том числе, и с учетом динамики райзеров.

Основной сложностью в данном случае является то, что при рингинге возникает высокочастотное колебание, а при волновых нагрузках – низкочастотное. При обработке результатов расчетов высокочастотные колебания очень трудно отследить, и они могут просто потеряться на фоне колебаний, вызванных низкочастотной волновой нагрузкой. В зависимости от частоты колебаний, которую необходимо отследить в ходе расчетов, выбирается шаг интегрирования. При большом шаге интегрирования расчет происходит быстрее, но результаты получаются довольно грубые, и рингинг заметить нельзя. При малом шаге интегрирования можно отследить рингинг, но время расчетов значительно увеличится.

Для практического применения необходима модель, позволяющая оценивать возможность возникновения резонанса в райзерах при воздействии рингинга. В настоящее время предлагается только примерный путь решения данной задачи, над методикой вычислений еще предстоит работать. Для оценки возможности возникновения резонанса в райзерах, предполагается определение собственных частот райзера и сравнение их с частотами из спектра внешних нагрузок. Собственные частоты можно найти из решения уравнения движения в вариациях.

Используем принятую в программе «Anchored Structures» модель райзера, т.е. безынерционные упругодеформируемые стержни соединяются инерционными шарнирами и моментными пружинами. Уравнение движения (1), используемое в программе, описывает произвольное движение райзера, смоделированного цепочкой масс. Если у райзера

существует равновесные конфигурации, то им будут отвечать статические решения данного уравнения.

$$m_k \ddot{\underline{R}}_k = \underline{Q}_{k,k+1}(\underline{0}) - \underline{Q}_{k-1,k}(l_{k-1,k}) + \{ \underline{p}_k - m_k \underline{g} \} \underline{k} + \beta_k (\underline{V}_k \underline{i}_k - \dot{\underline{R}}_k) + \\ + a_{k,k+1} (\underline{R}_{k+1} - \underline{R}_k - l_{k,k+1} \underline{\tau}_{k,k+1}) - a_{k-1,k} (\underline{R}_k - \underline{R}_{k-1} - l_{k-1,k} \underline{\tau}_{k-1,k}); \quad (1)$$

где m_k – масса k -го узла; \underline{R}_k – радиус-вектор узла с номером k ; $\underline{Q}_{k,k+1}$ – перерезывающая сила, действующая на участке от узла k до узла $k+1$; $l_{k-1,k}$ – длина стержня от узла $k-1$ до узла k ; \underline{p}_k – архимедова сила, действующая на узел k ; \underline{g} – ускорение свободного падения; \underline{k} – орт вертикали; β_k – коэффициент сопротивления жидкости; \underline{V}_k – скорость течения в точке где находится узел k ; \underline{i}_k – орт нормали; $a_{k,k+1}$ – продольная жесткость стержня, соединяющего узлы с номерами k и $k+1$; $\underline{\tau}_{k,k+1}$ – орт направления соединяющего узлы с номерами k и $k+1$.

В силу нелинейности уравнения единственности решений может и не быть, поэтому статических конфигураций может быть несколько. Для исследования среди них надо выбрать только устойчивые конфигурации. Это производится при помощи наложения малых возмущений на конечную деформацию и исследования свойств уравнения возмущающего движения (движения вблизи равновесной конфигурации). Для этого необходимо исследовать уравнение в вариациях. Уравнение в вариациях является математической моделью малых колебаний райзера около положения равновесия. Фактически, это уравнение движения, линеаризованное около положения равновесия. Отсюда можно найти собственный вектор (вектор собственных форм, отвечающий собственной частоте). Для определения собственных частот и форм необходимо решить уравнение в вариациях. В результате решения определяются собственные частоты и собственные формы, соответствующие однородной задаче о колебаниях.

При реализации данного алгоритма в программном комплексе «Anchored Structures» предполагается предварительное получение координат узлов в статической конфигурации и определение собственных частот для каждого конкретного случая. На основании предложенной в данной работе схемы расчетов в дальнейшем предполагается детальная разработка алгоритма и подпрограммы анализа собственных частот и форм исследуемых райзеров. На сегодняшний день все модели расчета рассматривают движение райзера только в плоскости. Главной особенностью данного метода является возможность расчета пространственного движения райзера.