

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ ОПОРЫ МОРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Бардакова Р.А., Котова А.А., Матросов А.А.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. В работе рассмотрена буровая опора нефтяной платформы морского базирования типа платформы «Беркут». Опора испытывает различные нагрузки: воздействие подводных течений, навалное действие льда, ветровую нагрузку. Решается задача определения напряжений. Выполнен конечно-элементный анализ возникающих напряжений.

Ключевые слова. Напряжения, конечно-элементный анализ, опора.

FINITE-ELEMENT ANALYSIS OF STRESSES OF THE SUPPORT OF THE MARINE PLATFORM

Bardakova R.A., Kotova A.A., Matrosov A.A.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The paper considers the drilling support of an oil-based offshore platform such as the «Berkut» platform. The support is subjected to various loads: underwater currents, bulk ice, wind load. The problem of determining stresses is solved. A finite element analysis of the arising stresses is performed.

Keywords. Stresses, finite element analysis, support.

Расчет морских гидротехнических сооружений представляет собой сложную и многогранную инженерную задачу. Для нефтяных платформ, располагающихся в прибрежных водах или в открытом море, существенным элементом конструкции являются опоры. Высота этих опор может колебаться в диапазоне от 6 до 400 метров. Эти опоры испытывают весьма разнообразные нагрузки. Это – сейсмическое воздействие морского дна на основание опоры платформы, воздействие подводных течений и поверхностных волн, навалное воздействие ледяного покрова (для сооружений в северных районах). Кроме того, порывы ветра, действующие на надводные сооружения, вызывают нагрузки, так же передаваемые на опоры [1, 2]. По функциональному назначению колонны подразделяется на буровую, райзерную, хранения и вспомогательную, что определяет их внутреннюю структуру и влияет в конечном счете на напряженно-деформированное состояние.

В работе выполнен расчет напряженно-деформированного состояния буровой опоры. Принято, что колонна имеет высоту 54,6 м, диаметр 25,6 м. Опора выполнена в форме полого цилиндра из бетона марки М800 класса В60.

Будем считать, что основание колонны жестко заделано в дно. Так же примем, что колонна находится под действием следующих внешних нагрузок: $\beta F_{ж}$ - нагрузка со стороны течения жидкости, определяемая детерминистической составляющей (постоянными установившимися течениями $F_{ж}$) и стохастическим коэффициентом β ; $F_{л}$ - сила со стороны навалного действия льда; $F_{м}$ - вес надстройки, действующий на колонну; $F_{в}$ - ветровая нагрузка на надводные сооружения, передаваемая на колонну. Эта нагрузка представляет собой сумму детерминистической составляющей и некоторой случайной стохастической нагрузки [3-5].

Будем рассматривать задачу в рамках линейной теории упругости в статической постановке. Уравнения равновесия в цилиндрической системе координат (r, φ, z) с учетом силы тяжести (вдоль оси z) имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{zr}}{\partial z} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial z} + \frac{2\tau_{r\varphi}}{r} = 0 \\ \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{\varphi z}}{\partial \varphi} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{r} + \rho g = 0 \end{cases}$$

Воспользуемся принципом суперпозиции. Примем в первом приближении, что цилиндр равномерно обтекается бесциркуляционным потоком жидкости. Рассмотрим отдельно распределение

давлений на поверхности цилиндра при бесциркуляционном обтекании плоским поступательным потоком идеальной жидкости.

Используем сумму комплексных потенциалов плоского поступательного потока и диполя [6]. Получим распределение скоростей на поверхности цилиндра:

$$|V| = 2|V_\infty| \sin \varphi$$

Воспользуемся интегралом Бернулли-Эйлера, чтобы получить функцию распределения давлений:

$$P = P_\infty + \frac{\rho}{2} V_\infty^2 (1 - 4 \sin^2 \varphi)$$

Предположим, что скорость течения одинакова по всей высоте цилиндра. Также будем считать, что давление возрастает пропорционально глубине по линейному закону $P_\infty = \rho g(h - z)$. Тогда суммарное давление на поверхность цилиндра будет определяться следующей функцией:

$$P = \rho g(h - z) + \frac{\rho}{2} V_\infty^2 (1 - 4 \sin^2(\varphi))$$

Это выражение описывает полное распределение давлений на поверхности цилиндрической опоры в условиях её обтекания идеальной жидкостью.

Согласно [7, 8] расчетная ветровая нагрузка, действующая на надводные сооружения и приложенная соответственно к верхней части опоры определяется:

$$\omega = \omega_m + \omega_p$$

где $\omega_m = \omega_0 k(z_e) c$ – детерминистическая составляющая; $\omega_p = \omega_m \xi(z_e) v$ – случайная составляющая; ω_0 – нормальное значение ветрового давления; $k(z_e)$ – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты z ; c – аэродинамический коэффициент; $\xi(z_e)$ – коэффициент пульсации давления ветра; v – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра. Для рассматриваемой нагрузки приняты следующие численные значения: $\omega_m = 79,55$ Па; $\omega_p = 47,23$ Па; $\omega_0 = 96,8$ Па; $k(z_e) = 0,82$; $c = 1$; $\xi(z_e) = 0,94$; $v = 0,76$.

Будем считать, что верхняя часть опоры подвергается навалному воздействию льда. Согласно [7, 8] сила от действия движущихся полей льда определяется следующим выражением:

$$F = m k_b k_v R b h_d$$

где m – коэффициент формы опоры (для полуциркульного профиля принимаем $m = 0,83$); k_b – коэффициент смятия, учитывающий взаимодействие ледяного поля с опорой при их контакте ($k_b = 1,0$); k_v – коэффициент, учитывающий скорость деформации льда в зоне его взаимодействия с опорой ($k_v = 0,3$); R – предел прочности льда на сжатие ($R = 1,5$ МПа).

Фактическая сила, действующая, на опоры сооружения вычисляется по следующей формуле:

$$F_{\text{факт}} = n_t K_1 K_2 F$$

где $K_1 = 0,6$, $K_2 = 0,633$, $n_t = 4$, $F = 14,5$ МПа.

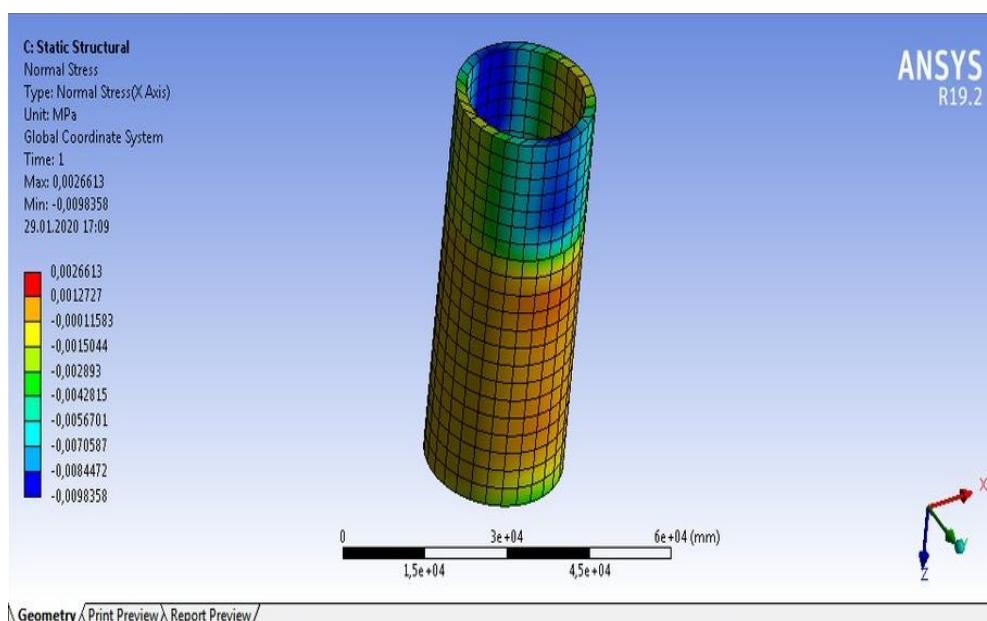


Рисунок 1 – Распределение нормальных напряжений

Численные расчеты для рассматриваемой опоры были выполнены с использованием программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS 19 R2. Использована конечно-элементная сетка с элементами SOLID 65, представленная на (рис. 1).

По результатам расчёта конечно-элементного моделирования была получена картина распределения напряжений в бетонной опоре (рис. 1). Видно, что максимальные напряжения возникают в месте закрепления опоры. Предел прочности на сжатие равен 77,06 МПа, коэффициент запаса прочности составляет 1,28 [9]. Согласно полученным данным, напряжения не превышают допустимых нагрузок.

Список использованных источников

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 1. Конструирование. Москва, 2006. – 93 с.
2. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения. Часть 2. Технология строительства. - М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. – 223 с
3. Кисляков Е.А., Матросов А.А. Расчет напряжений цилиндрических опор // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш-2018", 2018. – С. 306-308.
4. Кисляков Е.А., Матросов А.А. Определение напряженно-деформированного состояния опор нефтяной платформы под действием случайных нагрузок // XII Всероссийский съезд по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики: сборник трудов в 4 томах. Т. 3: Механика деформируемого твердого тела. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – С. 113-114.
5. Kislyakov E.A., Matrosov A.A. Determination of the Stressed-Deformed State of the Support of the Platform of Maritime Based Under the Action of Random Loads // 2019 International Conference on "Physics and Mechanics of New Materials and Their Applications" and Exhibition (PHENMA 2019), Hanoi, Vietnam, November 7-10, 2019. – P. 163-164.
6. Мордвинкин В.А. Введение в механику жидкости и газа. – Ростов-на-Дону, ДГТУ, 2016. – 96 с.
7. СП 38.13330.2012 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). – М: Изд-во стандартов, 2012. – 116 с.
8. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. - М: Изд-во стандартов, 2016. – 156 с.
9. ГОСТ 18105-2010 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. – М: Изд-во стандартов, 2012. – 21 с.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.