

УДК 629.563

А.С. Тертышникова, магистрант,**В.М. Кушнир, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: sherra1989@rambler.ru***ЯКОРНАЯ СИСТЕМА УДЕРЖАНИЯ ГЛУБОКОВОДНОЙ SPAR ПЛАТФОРМЫ НА ФИКСИРОВАННОЙ ТОЧКЕ БУРЕНИЯ ПРИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧЕРНОГО МОРЯ**

Проведена оценка возможности использования якорной системы удержания глубоководной буровой платформы на глубине свыше 2000 м. Рассчитаны основные параметры якорной системы, оценено ее влияние на смещение платформы под воздействием экстремальных внешних условий.

Ключевые слова: буровая платформа, якорная система удержания.

Введение

За последние годы активное развитие технология добычи нефти и газа в морских условиях обеспечило открытие новых перспективных месторождений таких энергоносителей на больших глубинах, вне шельфа. Для освоения глубоководных месторождений необходимы специальные морские платформы для глубоководного бурения.

Очень важным условием проведения морских буровых работ является ограничение смещения буровой установки. Гибкость бурового оборудования невелика и позволяет скомпенсировать смещение платформы в пределах 1,5 % от глубины акватории. Следствием этого условия являются жесткие требования, предъявляемые к системе удержания установки на точке бурения.

В настоящее время существует множество различных разновидностей данных систем. Наиболее простыми из них являются якорные системы удержания (ЯСУ). Кроме того, в последнее время все более распространенными становятся системы динамического позиционирования буровых платформ и судов.

Настоящая работа посвящена определению основных параметров якорной системы удержания глубоководной буровой платформы типа SPAR.

Для решения данной задачи был использован программный комплекс «Anchored Structures», одобренный Российским Морским Регистром Судоходства и имеющий «Сертификат о типовом одобрении на программу для ЭВМ» № 07.00550.010 от 20 марта 2007 г.

1. Материалы и методы

Для расчета гидростатического и гидродинамического давления жидкости на корпус сооружения необходимо разбить смоченную поверхность объекта на элементарные участки, которые позволили бы произвести численное интегрирование давления жидкости по данной поверхности. Разбивка производится на плоские (или близкие к плоским) трапеции.

1.1. Расчет сил и кренящих моментов от ветра

Постоянная составляющая ветровой нагрузки на сооружение рассчитывается по формуле

$$F = \rho_a \bar{V}_w^2 C_w A_w (\alpha_w - x_6) / 2, \quad (1)$$

где $\bar{V}_w$ – расчетная средняя скорость ветра, м/с; ρ_a – плотность воздуха; $A_w(\alpha_w)$ – функция площади парусности от угла направления ветра относительно сооружения; C_w – коэффициент сопротивления; x_6 – угол поворота сооружения в плане (угол рыскания).

1.2. Расчет сил и моментов от течения

Расчет сил и моментов от течения предполагает наличие априорных сведений о площади подводной парусности объекта и сопротивлении при обтекании сооружения под различными углами. Для течения сила F_{cur} , действующая на сооружение, находится

$$F_{cur} = \rho_v V_{cur}^2 C_{cur} A_{cur} (\alpha_{cur} - x_6) / 2, \quad (2)$$

где V_{cur} – скорость течения; α_{cur} – направление течения; $A_{cur}(\alpha_v)$ – функция эквивалентной площади сечения подводной парусности от угла направления течения по отношению к сооружению; C_{cur} – коэффициент сопротивления при обтекании сооружения жидкостью; ρ_v – плотность воды.

1.3. Расчет реакции системы закоренения

Важной проблемой как при статическом, так и при динамическом расчете сооружения является определение влияния якорных связей на нагрузки и смещения платформы. Программный комплекс «Anchored Structures» позволяет рассчитывать параметры якорных систем удержания (ЯСУ) различных

конфигураций. В рассматриваемом случае применялась распространенная ЯСУ, представляющая собой комбинацию стального троса и якорной цепи.

Расчет напряжений в якорных связях производится квазистатическим методом, при этом натяжение и траектория линии являются функцией положения клюзовой точки сооружения. При расчете якорных связей учитываются их растяжение, наличие массивов и плавучестей, расположенных на связях и предназначенных для изменения траектории провисания и жесткостных характеристик связей, возможность укладки части связи на дно акватории, которое, в свою очередь, может иметь наклон.

Для расчета реакции отдельной якорной связи производится решение системы двух нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^M z_i(T_x, T_z) = Z_{kl} - Z_a \\ \sum_{i=1}^M x_i(T_x, T_z) = X_{kl} - X_a \end{cases}, \quad (3)$$

где T_x, T_z – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие натяжения связи в клюзовой точке (являются двумя неизвестными в системе уравнений); z_i, x_i – соответственно вертикальная и горизонтальная проекции однородного участка связи (имеющего постоянные значения диаметра, погонного веса и модуля упругости Юнга), зависящие от вертикальной и горизонтальной проекций натяжения связи на верхнем конце этого участка; M – число таких участков на связи; Z_{kl} – ордината клюзовой точки относительно поверхности воды; Z_a – глубина расположения якоря; X_{kl}, X_a – абсциссы соответственно клюзовой точки и якоря в плоскости провисания связи.

Проекции участков связи в системе уравнений (3) определяются по представленным ниже соотношениям координат и натяжений связи.

$$x_i(T_x, T_z) = T_x (\ln((1 - \sin(\alpha_{i+1}))(1 + \sin(\alpha_i)) / ((1 + \sin(\alpha_{i+1}))(1 - \sin(\alpha_i)))) / 2 / q_i + l_i E_i F_i,$$

$$z_i(T_x, T_z) = T_x (1 / \cos(\alpha_i) - 1 / \cos(\alpha_{i+1})) / q_i + (T_x^2 + T_{zi}^2 - T_x^2 / \cos^2(\alpha_{i+1})) E_i F_i / 2 / q_i,$$

$$T_{zi} = T_z - \sum_{j=1}^{i-1} (q_j l_j + g(M_{mj} - \rho V_{mj})),$$

где $\alpha_i = \arctan(T_{zi} / T_x)$; T_{zi} – вертикальная составляющая натяжения связи в верхней точке i -го участка; α_i – угол наклона касательной к i -му участку связи в верхней точке; q_i, l_i, E_i, F_i – соответственно погонный вес (в воде), длина, модуль Юнга и площадь сечения i -го однородного участка; M_{mj}, V_{mj} – соответственно масса и объем массива (пригруза), расположенного между j -ым и $j+1$ -ым участками связи; g – ускорение свободного падения.

Первый участок начинается от клюзовой точки, последний заканчивается у якоря. Данные зависимости получены в результате аналитического решения уравнений свободно провисающей гибкой весомой и растяжимой связи и являются более точными по сравнению с широко известным уравнением цепной линии, которое не учитывает растяжения связей [1].

2. Исходные данные

2.1. Характеристики плавучей буровой установки типа SPAR: диаметр колонны – 30 м, осадка эксплуатационная – 158 м, водоизмещение – 170000 т.

Параметры якорных связей представлены в таблице 1 [2].

2.2. Гидрометеосостояние [3]: глубина моря – 2000 м, скорость ветра – 29,0 м/с, скорость течения поверхностного 30-ти метрового слоя – 1,5 м/с.

Таблица 1 – Характеристики якорных связей

Наименование характеристики	Величина	
	Трос	Цепь
Диаметр, мм	190	152
Разрывное усилие, кН	21746	14430
Вес 1 м связи в воде, кН/м	1,9	4,15
Модуль прочности E , кН/мм ²	70	56
Начальное натяжение, кН	11000	–
Расчетная длина связей, м	3900	300

3. Результаты

При определении нагрузок рассмотрено самое неблагоприятное сочетание воздействия ветра и течения. В соответствии с требованием п.4.3.3 части III Правил ПБУ [4] все силы действуют в одном направлении: $F_1 = 922,17$ кН – ветровая нагрузка; $F_2 = 2129,90$ кН – нагрузка от течения; $F_3 = 3052$ кН – суммарная статическая нагрузка.

Опрокидывающий момент составляет 129763 кН·м.

Расчет показал, что рассмотренная в [2] восьмийкорная система закоренения не обеспечивает удержание платформы на точке бурения (смещение установки под действием внешних сил составляет 30,49 м, что превышает допустимое значение). В связи с этим было принято решение увеличить натяжение якорных связей и изменить их параметры на представленные в таблице 2.

Под действием вышеуказанных сил платформа сместится на 14,66 м, что составляет 0,73 % от глубины акватории (допустимым для технологии морских буровых работ является смещение до 1,5 % от глубины).

Таблица 2 – Измененные параметры якорных связей

Наименование характеристики	Величина	
	Трос	Цепь
Диаметр, мм	250	152
Разрывное усилие, кН	37630	14430
Вес 1 м связи в воде, кН/м	3,29	4,15
Модуль прочности E, кН/мм ²	70	56
Начальное натяжение, кН	20314	–
Расчетная длина связей, м	3900	700

Возникающие под действием статических нагрузок натяжения в якорных связях не превышают 20700 кН, что соответствует коэффициенту запаса прочности 1,81.

Одной из поставленных задач было определение целесообразности изменения количества якорных связей. Подробно рассмотрены варианты 4, 6 и 8 якорных связей. График на рисунке 1 показывает, что при увеличении натяжения связей смещение установки уменьшается, однако при значительном увеличении натяжения невозможно обеспечить требуемый запас прочности якорных связей. Из трех рассмотренных вариантов, система из восьми связей является наиболее предпочтительной, поскольку обеспечивает наименьшее смещение установки при прочих равных условиях. На рисунке 2 представлена схема якорной системы SPAR платформы.

При большем числе связей (16, 32) достигается меньшее смещение установки, однако в этом случае якорная система имеет на порядок большую массу, что приводит к увеличению водоизмещения буровой платформы. Помимо этого, увеличение числа связей влечет за собой увеличение числа якорных клюзов, каждый из которых является сложным с технологической точки зрения узлом, требующим периодического проведения соответствующих процедур обслуживания и контроля технического состояния.

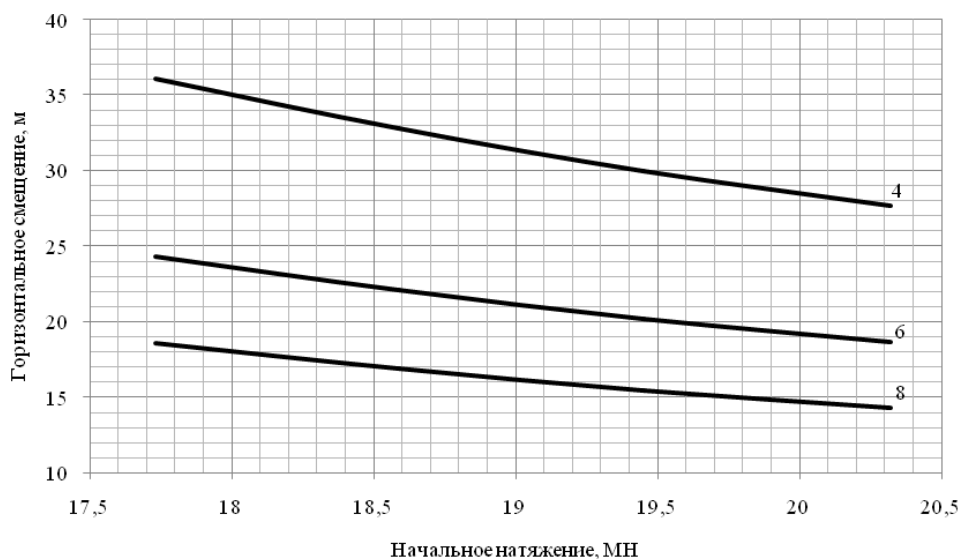


Рисунок 1 – График зависимости горизонтального смещения установки от начального натяжения при различном количестве якорных связей – 4, 6 и 8

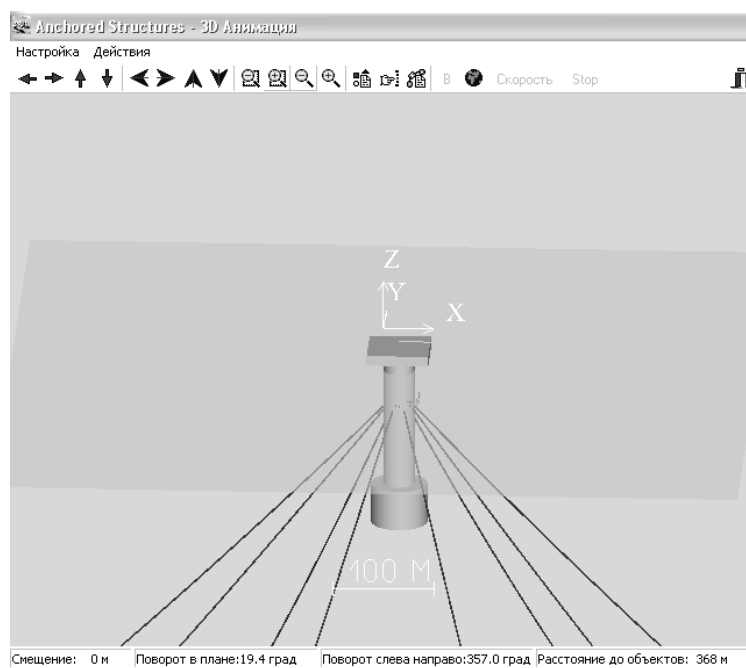


Рисунок 2 – Схема якорной системы удержания

Помимо рассчитанных параметров интерес представляют и следующие зависимости:

- 1) зависимость горизонтального смещения установки от скорости эффективного течения (от 0,5 м/с до 2 м/с с шагом 0,25 м/с). График зависимости приведен на рисунке 3;
- 2) Зависимость максимального натяжения якорных связей от скорости течения (от 0,5 м/с до 2 м/с с шагом 0,25 м/с). График зависимости приведен на рисунке 4.



Рисунок 3 – График зависимости горизонтального смещения установки от скорости течения

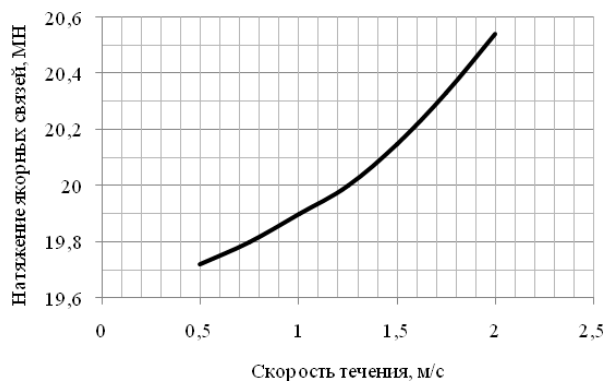


Рисунок 4 – График зависимости максимального натяжения якорных связей от скорости течения

С возрастанием скорости течения смещение установки растет, однако не выходит за допустимые пределы.

Помимо горизонтального смещения, принципиальным для проведения буровых работ является также и угол крена буровой установки. На рисунке 5 приведен график зависимости угла крена установки от скорости течения. По данным графикам можно сделать вывод о том, что угол крена незначителен и не может помешать проведению буровых работ.



Рисунок 5 – График зависимости углового смещения установки от скорости течения

Заключення

Из всех существующих систем удержания буровой платформы на точке бурения якорная система наиболее проста в эксплуатации, особенно в штормовых условиях. Как показывают расчеты, ЯСУ может использоваться и на больших глубинах (свыше 2000 м).

Проведение морских буровых работ связано с множеством различных ограничений, в частности, с ограничением смещения буровой платформы. Конструкция буровой колонны позволяет компенсировать смещение установки, составляющее не более 1,5 % от глубины моря (для рассматриваемых условий – 30 м). Минимальное число якорей, необходимое для удержания установки в пределах 30 м от точки бурения (при воздействии на нее экстремальных гидрометеорологических условий Черного моря), – восемь. Меньшее число якорных связей не обеспечивает необходимую стабильность пространственного положения буровой установки. Применение ЯСУ, состоящей из 16 и более якорей, позволяет снизить смещение платформы, однако увеличение числа якорей приводит к значительному возрастанию массы якорной системы.

Выполненный расчет может быть использован для дальнейшего изучения динамики глубоководной платформы, оптимизации основных конструктивных параметров установки и решения многих других проблем проектирования таких сложных систем.

Библиографический список использованной литературы

1. Программа “ANCHORED STRUCTURES” / Большев А.С. [и др.] // Ассоциация Центров Инжиниринга и Автоматизации. — С.-Петербург, 2002. — 250 с.
2. Тертышникова А.С. Параметры системы позиционирования глубоководной буровой платформы / А.С. Тертышникова, И.Л. Благовидова, В.М. Кушнир // Вестник СевНТУ. Серия: Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь: СевНТУ, 2010. — Вып. 106. — С. 164–167.
3. Кушнир В.М. Реакция Азово-Черноморского бассейна на интенсивный циклон 10-11 ноября 2007 г по спутниковым данным / В.М. Кушнир, С.В. Федоров, Л.А. Петренко // Морские испытания. — 2008. — № 1. — С. 62–71.
4. НД № 2-020201-008 Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и стационарных платформ / Российский морской регистр судоходства. — СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2008. — 480 с.

Поступила в редакцию 18.06.2011 г.

Тертишнікова О.С., Кушнір В.М. Якірні системи утримання глибоководної SPAR платформи на фіксованій точці буріння при екстремальних гідрометеорологічних умовах Чорного моря

Проведено оцінку можливості використання якірної системи утримання глибоководної бурової платформи на глибині понад 2000 м. Розраховані основні параметри якірної системи, оцінено її вплив на зміщення платформи під впливом екстремальних зовнішніх умов.

Ключові слова: бурова платформа, якірна система утримання.

Tertyshnikova A.S., Kushnir V.M. The anchor system of the deepwater SPAR platform under the influence of extreme hydrometeorological conditions in the Black Sea

The possibility of using deepwater drilling platform anchor system at a depth of more than 2000 meters is studied. The mooring system main parameters are calculated, its effect on the platform shift under the extreme environmental conditions influence is evaluated.

Keywords: drilling platform, anchor system.