

УДК 629.563.21:[001.891.54:532.593]

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ МОДЕЛИ МОРСКОЙ ПОЛУПОГРУЖНОЙ ПЛАТФОРМЫ ТИПА TLP НА ВОЛНЕНИИ

И.Н. Морева¹, к.т.н., доц., О.А. Иванова¹, препод., А.В. Родькина², препод.

¹*Севастопольский национальный технический университет*

²*Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности*

Для определения параметров перемещений экспериментальной модели и волнения приведена методика получения данных с помощью нового цифрового измерительного прибора. Выполнены детальные исследования характеристик колебаний платформы с помощью измерительных систем. По результатам экспериментов построены спектральные характеристики колебаний платформы при различном заглублении стабилизирующих понтонов и при различных углах распространения волн относительно диаметральной плоскости платформы. На основе анализа этих спектральных характеристик получены зависимости амплитуд угловых колебаний платформы от заглубления понтонов и углов распространения волн. Показано, как ведет себя платформа при различном угле набегания волн и при различном заглублении платформы.

Введение

Истощение наиболее доступных и богатых месторождений на суше, трудности добычи углеводородов в отдаленных местах и неосвоенных районах и все возрастающие потребности в топливе вызвали необходимость освоения морского шельфа. В настоящее время нефтяная промышленность совершает стратегическое перемещение в область глубоководных окраин континентов, рассматривая их как новый источник добычи углеводородного сырья.

В глубоководной части Черного моря обнаружена минерализация сульфидов, сапропелей и газогидратов. Проблема глубоководного бурения является актуальной для Черного моря, так как месторождения газогидратов обнаружены на глубинах свыше 1,5...2 км. Для освоения этих энергоносителей необходимы глубоководные буровые платформы, основные размерения и параметры которых должны обеспечивать надежную эксплуатацию установок при воздействии наиболее суровых штормовых условий.

Сейчас для этих целей широко используются полупогружные платформы (ПП), область их применения – это новые типы плавучих кранов большой грузоподъемности, плавучие заводы, краново-монтажные суда, трубоукладчики, плавучие гостиницы и атомные электростанции, комплексы для особо сложных водолазных и судоподъемных работ, платформы для запуска ракет, радиолокационные станции морского базирования.

Характерной особенностью ПП является то, что в течение всего эксплуатационного цикла они должны находиться на заданной точке в море, подвергаясь любым вероятным воздействиям ветра, волнения и течения для данного района [1].

Эффективность использования ПП определяется их возможностью противостоять воздействию штормовых волн и сохранять при этом стабильное положение относительно морской поверхности. В связи с этим проблема воздействия штормовых поверхностных волн на ПП в части обеспечения стабильности имеет высокую актуальность для проектирования новых типов установок, повышения их надежности и безопасности эксплуатации в наиболее суровых гидрометеорологических условиях.

Воздействие морского волнения на ПП является сложным процессом из-за его пространственно-временной структуры и различных гидродинамических эффектов (в том числе нелинейных) при взаимодействии с конструктивными элементами платформы [2]. В случае близости периодов собственных колебаний платформы и штормовых поверхностных волн могут возникать резонансные явления, при которых нелинейные эффекты могут быть существенным фактором динамики колебаний, в частности, причиной развития спектра высокочастотных колебаний. Закономерности параметрической генерации таких высокочастотных колебаний ПП практически не изучены, и остается неизвестным их влияние на стабильность пространственного положения ПП и прочность ее конструктивных элементов.

В работах по математическому моделированию колебаний ПП используются общие уравнения качки судна на волнении с учетом конструктивных особенностей платформы [3]. Эти уравнения в общем виде являются нелинейными и неоднородными, а для получения решений используют различные методы их линеаризации или просто пренебрегают нелинейными членами [4, 5]. При этом возможны значительные искажения величин амплитуд перемещений из-за неточного учета нелинейных членов демпфирования колебаний при воздействии морских волн большой амплитуды.

На основании анализа результатов многочисленных исследований можно сделать вывод о ненадежности существующих данных по коэффициентам волновых сил и об их несоответствии физическим особенностям реальных явлений. Таким образом, современные представления о природе волновых воздействий на ПП являются в значительной степени приближенными и нуждаются в дальнейших уточнениях.

Постановка цели и задач научного исследования

Цель научного исследования: изучить поведение экспериментальной модели полупогружной буровой установки в малом опытовом бассейне Севастопольского национального технического университета (СевНТУ) с помощью цифрового устройства для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов.

Задачи научного исследования:

- 1) провести в малом опытовом бассейне СевНТУ серии экспериментов для определения на модели ПП характеристик угловых перемещений при воздействии волновых возмущений;
- 2) выполнить обработку полученных измерений.

Методика проведения исследования

Исследование поведения физической модели ПП на волнении было проведено в малом опытовом бассейне СевНТУ. В результате пересчета основных размерений по масштабному коэффициенту, который был получен по критерию подобия с учетом допустимого числа Фруда, была создана экспериментальная модель типа TLP (Tension Leg Platform – плавучая система нефтедобычи на базе полупогружной платформы с избыточной плавучестью с натяжными опорами).

Основные элементы и характеристики модели полупогружной платформы типа TLP представлены на рис. 1:

- верхний понтон: длина наибольшая 0,4 м, ширина 0,288 м, высота 0,052 м;
- нижний понтон: длина наибольшая 0,4 м, ширина 0,288 м, высота 0,036 м;
- стабилизирующие колонны: диаметр внутренний 0,056 м, диаметр наружный 0,064 м, высота 0,35 м.

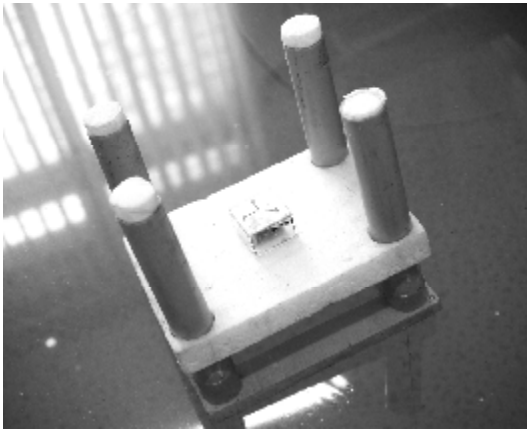


Рис. 1. Экспериментальная модель ПП типа TLP с новым цифровым измерительным устройством (ИПК)

добавления дополнительного груза по всей площади понтонов, что имитировало забор дополнительного балласта в отсеки понтона и стабилизирующие колонны. Замер погружения модели производился по специальным шкалам, которые были нанесены на угловых стабилизирующих колоннах.

Показания ИПК, установленного и закрепленного на экспериментальной установке, были получены в ходе испытаний в виде цифровых кодов. Далее они пересчитывались в углы крена и дифферента с помощью полученных ранее тарировочных уравнений [7]. Эти показания переведены в угловые перемещения модели ПП.

На основании статистической обработки угловых перемещений были рассчитаны и построены спектральные характеристики (рис. 2) двух видов качки: килевой и бортовой.

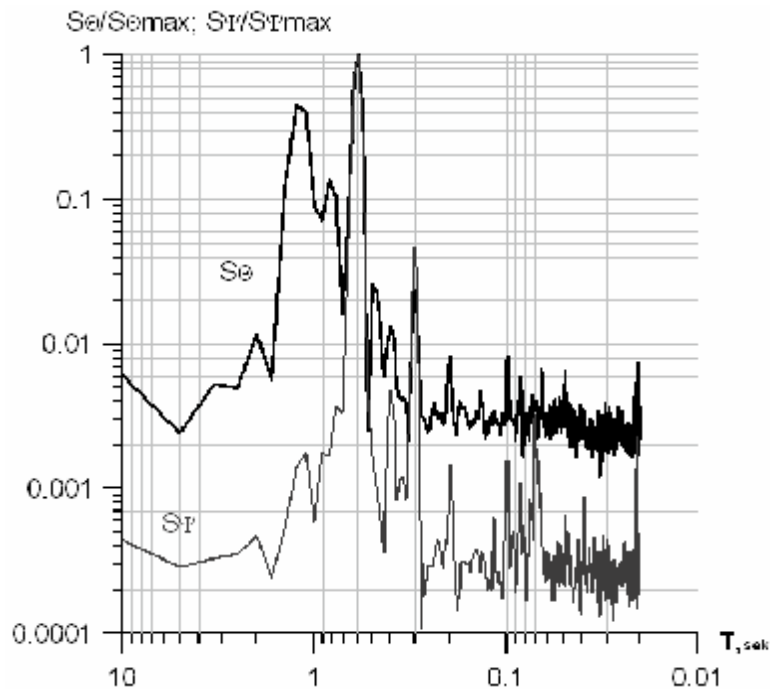


Рис. 2. Спектр килевой и бортовой качки ПП при осадке модели 0,132 м и угле распространения волн $\chi = 0^\circ$

В состав цифровой измерительной системы входили волнографы и измеритель параметров пространственных колебаний (ИПК) [6].

Испытания проводились для ряда положений экспериментальной модели в зависимости от различного погружения модели, а также при различном угле между направлением распространения набегающих волн и диаметральной плоскостью экспериментальной модели. Для каждой осадки (0,092 м, 0,112 м и 0,132 м) изменялось положение модели ($\chi = 0^\circ$, $\chi = 45^\circ$, $\chi = 90^\circ$).

Изменение аппликаты центра тяжести и осадки модели ПП происходило путем

Результаты экспериментальных исследований

Результаты экспериментальных исследований, проведенных с помощью ИПК, представлены на рис. 2 – 4.

Для каждой осадки и каждого угла распространения волн получены графики. Пример такого графика представлен на рис. 2 (S_{Θ} обозначен спектр бортовой качки, S_{Ψ} – спектр килевой качки).

На основе анализа данных спектральных характеристик получены зависимости амплитуд угловых колебаний платформы в зависимости от заглубления понтонов и углов распространения волн.

На рис. 3 – 4 показана амплитуда килевой и бортовой качки испытываемой модели на волнении при различном угле набегания волны, полученная с помощью спектральных характеристик.

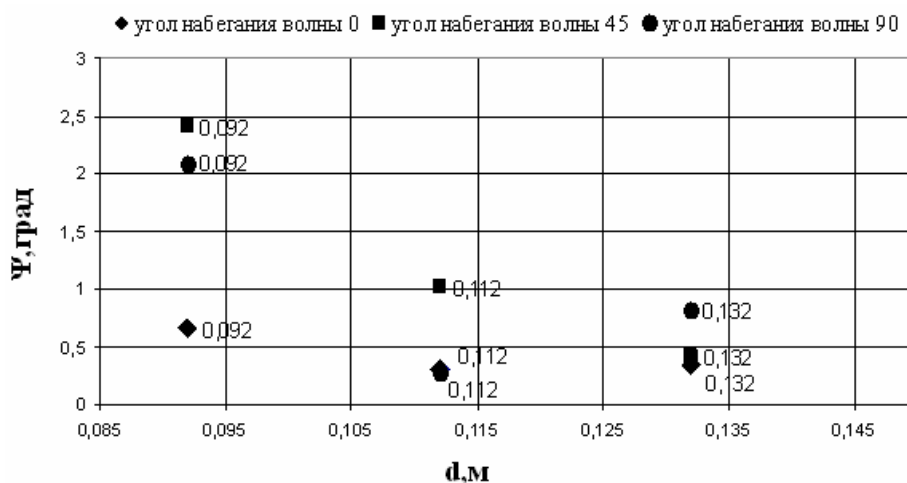


Рис. 3. Амплитуда килевой качки ИП при угле распространения волн 0°, 45°, 90° и осадках 0,092 м, 0,112 м, 0,132 м

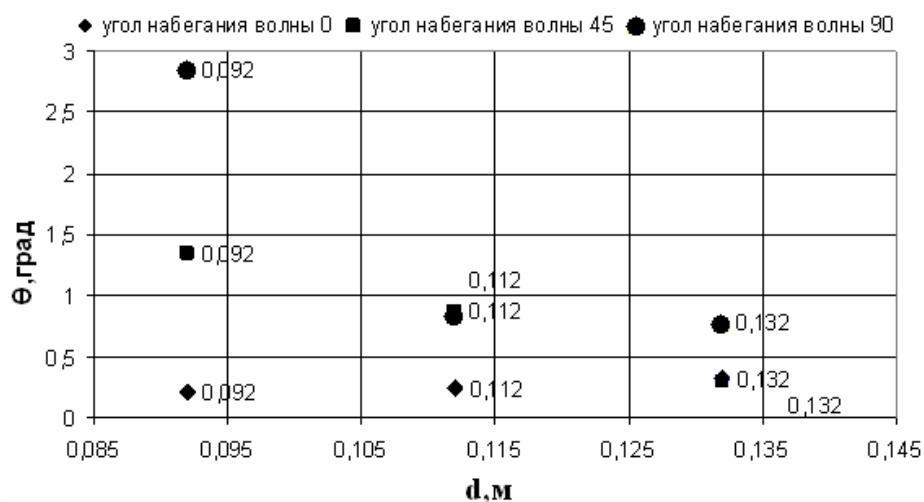


Рис. 4. Амплитуда бортовой качки ИП при угле распространения волн 0°, 45°, 90° и осадках 0,092 м, 0,112 м, 0,132 м

Таким образом, при осадке 0,092 м и угле набегания волны 0° амплитуда килевой и бортовой качки минимальна. Максимальная амплитуда для килевой качки наблюдается при угле набегания волны 45°, для бортовой – при угле 90°.

При осадке 0,112 м физическая модель ПП ведет себя иначе, при угле набегания волны 90° амплитуда килевой качки минимальна, а для бортовой качки минимальна при угле 0°. Максимальная амплитуда килевой и бортовой качки устанавливается при угле набегания волны 45°.

При заглоблении модели ПП на осадку 0,132 м амплитуда килевой качки минимальна при угле набегания 0°, а амплитуда бортовой качки минимальна при 45°. Максимальную амплитуду бортовой и килевой качки для такой осадки характеризует угол набегания волн, равный 90°.

Исходя из результатов исследований, следует, что при бортовой и килевой качке амплитуда максимальна при погружении ПП модели на осадку 0,092 м, что показывает слабую устойчивость на волнении при угле набегания волн 90° и 45°.

При заглоблении ПП модели на осадку 0,132 м физическая модель ведет себя устойчиво при различных углах набегания волны.

Выводы

Проведенные экспериментальные исследования дают представления о поведении модели ПП при воздействии на нее волнения.

На приведенных спектральных характеристиках необходимо отметить, что спектры бортовой и килевой качки имеют два максимума: первый максимум находится в зоне, близкой к частоте волнения, а другой - в зоне, близкой к частоте собственных колебаний.

Выполнены детальные исследования характеристик колебаний платформы. В результате измерены спектральные характеристики колебаний платформы при различном заглоблении стабилизирующих колонн и при различных углах распространения волн относительно диаметральной плоскости платформы. На основе анализа этих спектральных характеристик получены зависимости амплитуд и периодов угловых колебаний платформы в зависимости от заглобления понтонов и углов распространения волн. Показано, что влияние на качку полупогружной платформы сильно зависит от заглобления платформы и направления распространения волн по отношению к диаметральной плоскости платформы.

Перспективы дальнейших исследований. Применение комплекса экспериментального оборудования и программно-математического обеспечения позволит в дальнейшем проводить экспериментальные исследования моделей морских сооружений при воздействиях на них морского волнения.

АНАЛІЗ ПОВЕДІНКИ МОДЕЛІ МОРСЬКОЇ НАПІВЗАНУРЮВАЛЬНОЇ ПЛАТФОРМИ ТИПУ TLP НА ХВИЛЮВАННІ

І.М. Морєва, О.О. Іванова, Г.В. Родькіна

Для визначення параметрів переміщень експериментальної моделі і хвилювання приведена методика отримання даних за допомогою нового цифрового вимірювального приладу. Виконані детальні дослідження характеристик коливань платформи за допомогою вимірювальних систем. За результатами

експериментів побудовані спектральні характеристики коливань платформи при різному заглибленні стабілізуючих понтонів і при різних кутах поширення хвиль відносно діаметральної площини платформи. На основі аналізу цих спектральних характеристик отримані залежності амплітуд кутових коливань платформи від заглиблення понтонів і кутів поширення хвиль. Показано, як поводить себе платформа при різному куті набігання хвиль і при різному заглибленні платформи.

ANALYSIS OF TLP SEMISUBMERSIBLE PLATFORM MODEL BEHAVIOR ON HEAVING

I. Moreva, O. Ivanova, H. Rodkina

There is here the data obtaining method used the new digital meter for the determination of the experimental platform model motion parameters and the heaving. Platform oscillatory characteristics by means of measuring systems have been detailed investigated. Platform oscillation spectral characteristics at the different deepening of stabilizing pontoons and at different wave propagation angles relating to the platform middle-line plane have been constructed according to the experiments results. Platform angular amplitude dependences on pontoons depth and wave propagation angles received based on the spectral characteristic analysis. The platform behavior at the different angle of the waves rolling in and different platform deepening were shown.

Список использованных источников

1. Симаков Г.В. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе / Г.В. Симаков, К.Н. Шхинек, В.А. Смелов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
2. Горлин С.М. Аэродинамические измерения. Методы и приборы / С.М. Горлин, И.И. Слезингер. – М.: Наука, 1972. – 264 с.
3. Морева И.Н. Особенности колебаний морских полупогружных платформ при воздействии штормовых волн / И.Н. Морева // Зб. наук. пр. СНУЯЕтаП. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2006. – Вып. 3 (19). – С. 152 – 161.
4. Благовещенский С.Н. Справочник по статике и динамике корабля / С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин. – Л.: Судостроение, 1966. – 326 с.
5. Иванов А.В. Исследование возмущающих сил, действующих на элементы полупогружной платформы на регулярном волнении / А.В. Иванов, Н.В. Куров // Вопросы судостроения. Сер. Проектирование судов. – Л., 1978. – Вып. 18. – С. 68 – 79.
6. Кушнир В.М. Цифровая система для исследований океанотехнических систем в волновых бассейнах / В.М. Кушнир [и др.] // Вістник ОНМУ. Сер. Теорія корабля: зб. наук. пр. – Одеса: ОНМУ, 2012. – Вип. 34 (1). – С. 85 – 102.
7. Морева И.Н. Градуировочные уравнения цифрового устройства для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов / И.Н. Морева, О.А. Иванова // Вістник СевНТУ. Сер. Механіка, енергетика, екологія: зб. наук. пр. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – Вып. 120. – С. 346 – 349.

Надійшла до редакції 08.09.2013 р.