

На правах рукописи



Иванова Ольга Александровна

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ
ГЛУБОКОВОДНЫХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЛН

Специальность 05.08.01 – Теория корабля и строительная механика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Нижний Новгород – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Нижегородский Государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Грамузов Евгений Михайлович

Официальные оппоненты: **Ярисов Владимир Владимирович,**
доктор технических наук, доцент,
«Балтийский федеральный университет им. Иммануила
Канта», г. Калининград, профессор

Чебан Егор Юрьевич,
кандидат технических наук, доцент,
«Волжский государственный университет водного
транспорта», г. Нижний Новгород, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение
науки Институт машиноведения и металлургии
Дальневосточного отделения Российской академии
наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

Защита состоится «25» октября 2018 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д212.165.08 при ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д.24, корп.1, ауд. 1315.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» по адресу: <http://www.nntu.ru/content/aspirantura-i-doktorantura/dissertacii>

Автореферат разослан « » 2018 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



Грамузов Евгений Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования обусловлена основными задачами и направлениями реализации «Энергетической стратегии России на период до 2030 г.» ([www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_\(utv._N1715-p_13.11.09\).doc](http://www.energystrategy.ru/projects/docs/ES-2030_(utv._N1715-p_13.11.09).doc)), одними из которых являются максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики, повышения качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций. В настоящее время добыча природных энергетических ресурсов является одной из основных отраслей топливно-энергетического комплекса России. По предварительным данным, полученным геологами и геофизиками, в центральных глубоководных районах Черного моря имеются огромные запасы энергетических ресурсов, освоение которых могло бы обеспечить потребности Крымского полуострова в энергоносителях на длительный период времени, порядка 100 лет. Общий потенциал ресурсов метана глубоководной зоны Черного моря может составить от 20 до 50 трлн.куб.м. В связи с открытиями крупных месторождений в глубоководных районах Черного моря, существует актуальная проблема создания технических средств для добычи энергоресурсов из нетрадиционных источников, способных работать на глубинах порядка 2 км в условиях характерных для центральной части Черного моря. В настоящее время известны различные конфигурации таких систем. В их основе положен принцип полупогружных платформ, пространственная стабильность которых обеспечивается за счет погружения несущей конструкции на глубину, где возмущения, обусловленные поверхностными волнами, существенно затухают. Увеличение эксплуатационной глубины достигается за счет большего заглубления несущих горизонтальных понтонов, а также и увеличения количества и прочности удерживающих якорных связей. Современные методы конструирования морских буровых установок основаны на общих рекомендациях Морского регистра судоходства и различных СНИПах. Расчеты базируются на эмпирических зависимостях, которые для новых конфигураций морских платформ, в том числе для платформ глубоководного типа, неизвестны. В связи с этим, возникает значительная неопределенность результатов расчетов и риск создания неудачной конструкции. Для преодоления перечисленных трудностей необходимо проведение экспериментальных исследований воздействия волн на модели новых типов глубоководных платформ в опытовых бассейнах. В диссертационной работе это осуществляется на основе разработки физических моделей основных типов глубоководных платформ TLP и SPAR, создании комплекса цифровой аппаратуры для измерений параметров волновых возмущений и пространственных колебаний моделей, а также методов обработки экспериментальных данных. Это позволяет на основе данных лабораторных исследований выполнить прогноз поведения платформы при экстремальных штормовых условиях, а также верификацию методики расчетов. Указанные факторы определяют актуальность работы и перспективы эффективного использования ее результатов.

Степень разработанности. Теоретической основой диссертационных исследований являются работы отечественных и иностранных ученых в области теории корабля, теории проектирования судов и плавучих сооружений. Исследовательские работы отечественных и зарубежных ученых по проблемам создания и использования морских буровых платформ

различных типов охватывают период с 50-х годов прошлого столетия. Работы, посвященные вопросам конструирования, устойчивости и прочности таких сооружений выполнены Алисейчиком А.А., Доусоном Т., Душко В.Р., Лукошковым А.В., Пронкиным А.П., Хворостовским С.С., Шостаком В.П., Франчуком В.Г. и др. Исследования гидродинамических процессов в кораблестроении, гидродинамики буровых платформ можно найти в работах Барштейна М.Ф., Кушнера В.М., Лаппо Д.Д., Литонова О.Е., Моревой И.Н., Мяскина Б.А., Халфина И.Ш., Чебан Е.Ю, Cheong Hin-Fatt R., Demirbilek Z., Mazurkiewicz B., Srinivasan N., Vughts I.J.H. и других авторов. Теоретические и экспериментальные исследования колебаний динамических систем в экстремальных условиях волнения, прогнозирование качки, обеспечение безопасности плавания судов отражены в работах Нечаева Ю.И., Тряскина В.Н., Ярисова В.В. Некоторые вопросы расчетов сил удержания установки на грунте рассмотрены и систематизированы Доусоном Т., Chakrabarti Subrata K.

Связь диссертации с научными программами, планами, темами.

Диссертация выполнена в соответствии с «Энергетической стратегией России на период до 2030 г.», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 № 1715-р; «Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденной Президентом Российской Федерации от 27 июля 2001 года № 1387 (federalbook.ru/files/OPK/Soderjanie/OPK-7/VI/Morskaya_doktrina.pdf) и мероприятиями «дорожной карты» по развитию рынка МариНэт Национальной технологической инициативы.

Диссертация включает в себя результаты исследований, полученных при выполнении государственных бюджетных научно-исследовательских работ:

– «Воздействие морской среды на океанотехнические системы» номер государственной регистрации 0106U013190, шифр «Океанотехника», где соискатель принимала участие как исполнитель;

– «Гидродинамика глубоководных платформ для условий Черного моря», номер государственной регистрации 0111U003328, шифр «Платформа», где соискатель принимала участие как исполнитель.

– «Экстремальные ветро-волновые нагрузки на океанотехнические системы, их взаимосвязь с рисками техногенных и экологических катастроф», номер государственной регистрации 115041610029, задание №2014/702 на выполнение государственных работ по проекту № 3864 в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России.

Цель работы. Целью работы является определение устойчивости пространственного положения глубоководных буровых платформ при воздействии экстремальных волн и течений, характерных для центральной части Черного моря, на основе лабораторных исследований физических моделей платформ с различными конструктивными особенностями.

Для достижения поставленной цели работы решены следующие **научные задачи** в теоретической и экспериментальной областях:

- 1 Анализ основных конфигураций глубоководных буровых платформ.
- 2 Разработка эскизов и чертежей физических моделей глубоководных платформ на основе критерия Фруда с целью обеспечения подобия.

3 Экспериментальные исследования волновых воздействий на физические модели глубоководных платформ в опытовом бассейне Севастопольского государственного университета (далее – СевГУ), при различном режиме волнопродуктора и осадках модели.

4 Расчет спектральных характеристик пространственных колебаний глубоководных платформ при различных условиях.

5 Оценка эффекта стабилизации поступательных и угловых колебаний моделей в зависимости от их конфигурации и осадки.

6 Анализ результатов исследования условий устойчивости физических моделей глубоководных платформ на основе математических моделей.

Объектом научного исследования является динамическая система «буровая платформа при воздействии волновых колебаний морской среды».

Предметом научного исследования являются характеристики колебаний буровых платформ для глубоководного бурения при экстремальных штормовых условиях, характерных для Черного моря.

Научная новизна. В итоге проведенных в работе исследований получен ряд новых научных результатов:

1 Определены условия устойчивости пространственного положения глубоководных буровых платформ при воздействии экстремальных волн и течений, характерных для условий Черного моря.

2 Разработаны физические модели платформ глубоководных платформ для условий опытового бассейна на основе критерия Фруда.

3 Предложена методика прогнозирования условий устойчивости положения глубоководных платформ на основе экспериментальных исследований волновых воздействий на физические модели в опытовом бассейне.

4 Предложен способ оценки результатов экспериментальных модельных исследований динамики физических моделей глубоководных буровых платформ.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическое значение работы состоит в том, что впервые задача проектирования глубоководных буровых платформ исследована с позиции комплексного определения гидродинамических параметров глубоководных буровых платформ с целью обеспечения устойчивости при эксплуатации, за счет возможности определения пространственно-временных параметров волновых возмущений и одновременно параметров пространственных колебаний исследуемых объектов, которые существенно влияют на поступательные и угловые перемещения платформ. Результаты могут быть использованы в проектно-конструкторских и научно-исследовательских организациях при проектировании платформ для глубоководного бурения. На основе анализа существующих разработок выстроена система оценки результатов экспериментальных исследований и предложен метод определения условий устойчивости пространственного положения в зависимости от конфигурации и заглубления опорных конструкций с использованием нового комплекса цифрового оборудования.

Практическое значение результатов диссертационной работы заключается в разработке методики прогнозирования поведения полупогружных буровых платформ в штормовых

условиях. Созданы физические модели полупогружных платформ для глубоководного бурения с различными конструктивными особенностями. Предложен способ пересчета результатов экспериментальных исследований на натурные условия, что позволяет прогнозировать устойчивости пространственного положения реальных глубоководных платформ при воздействии волн и течений, характерных для центральной части Черного моря.

Прикладное значение полученных результатов состоит в том, что предложенный метод определения пространственного положения глубоководных буровых платформ может быть использован в программных комплексах, а также использоваться при реализации проектов проектирования и эксплуатации глубоководных буровых платформ при экстремальных штормовых условиях, характерных для центральной части Черного моря.

Методы исследования. Поставленные в диссертации задачи исследований решены с использованием теоретических и практических методов проектирования морских сооружений на начальных этапах. Задача разработки эскизов и чертежей физических моделей глубоководных платформ и создание их моделей, решена с помощью теории размерностей и подобия механических систем. Задача проведения экспериментальных исследований волновых воздействий на физические модели глубоководных платформ в опытовом бассейне, при различной структуре волновых возмущений и заглублениях (осадках) моделей осуществляется на основе метрологических аспектов использования новой цифровой аппаратуры для измерения параметров волновых и пространственных колебаний моделей платформ. Для решения задачи расчета спектральных характеристик пространственных колебаний глубоководных платформ при различных условиях и оценки эффектов стабилизации поступательных и угловых колебаний моделей в зависимости от их конфигурации и заглубления (осадки) использовались статистические спектральные методы обработки результатов натурных экспериментов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1 Методика проведения экспериментальных исследований волновых воздействий на физические модели буровых платформы для глубоководного бурения в опытовом (волновом) бассейне с использованием новой цифровой измерительной аппаратуры.

2 Результаты экспериментальных модельных исследований динамики физических моделей глубоководных буровых платформ при широкой вариации параметров волн и различном заглублении водоизмещающих понтонов.

3 Спектральный анализ результатов измерений, что позволило оценить условия стабилизации пространственных колебаний испытываемых моделей.

4 Методика градуировки и поверки измерительных каналов новой цифровой аппаратуры для определения параметров сложных пространственных колебаний моделей буровых платформ.

5 Способ пересчета данных экспериментальных исследований на натурные условия при изменении осадки опорных конструкций.

Достоверность. Диссертационная работа основывается на трудах отечественных и иностранных ученых в области теории корабля, теории проектирования судов и плавучих сооружений, исследовательских работах отечественных и зарубежных ученых по проблемам

создания и использования морских буровых платформ различных типов охватывая период с 50-х годов прошлого столетия, работах, посвященных вопросам конструирования, устойчивости и прочности таких сооружений.

Обоснованность основных результатов, выводов и положений диссертационной работы подтверждается выполнением метрологической верификации цифровой измерительной аппаратуры, которая использовалась при проведении экспериментальных исследований, корректным использованием статистических методов спектрального анализа с выполнением тестовых расчетов, сопоставлением полученных экспериментальных данных с результатами численных расчетов.

Предложенный метод прогнозирования устойчивости пространственного положения глубоководных буровых платформ и способ оценки результатов экспериментальных модельных исследований динамики глубоководных платформ при различных параметрах волновых возмущения качественно верно влияют на выбор основных размерений глубоководных буровых платформ при проектировании на начальных стадиях.

Внедрение. Результаты работы отражены в отчетах по выполнению научно-исследовательских работ кафедры Океанотехники и кораблестроения Севастопольского государственного университета «Воздействие морской среды на океанотехнические системы», номер государственной регистрации 0106U013190, шифр «Океанотехника», «Гидродинамика глубоководных платформ для условий Черного моря», номер государственной регистрации 0111U003328, шифр «Платформа», «Экстремальные ветроволновые нагрузки на океанотехнические системы, их взаимосвязь с рисками техногенных и экологических катастроф», номер государственной регистрации 115041610029, задание №2014/702 на выполнение государственных работ по проекту №3864 в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки России, а также в актах внедрения АО ЦКБ «Коралл» г. Севастополя и учебный процесс Севастопольского государственного университета при разработке теоретического курса «Проектирование технических средств освоения океана» по направлению подготовки 26.04.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры, «Особенности проектирования ТСОО (технических средств освоения океана), «Проектирование морских буровых платформ, судов и сооружений различного типа» по специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники. Результаты работы использованы автором при написании монографии в соавторстве «Гидродинамика глубоководных платформ для условий Черного моря».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы представлены и обсуждены на следующих региональных и международных конференциях: I Международной научно-технической конференции НУК «Інновації в суднобудуванні та Океанотехніці» (Николаев, 15-17 октября 2010 г.); научно-технической конференции ОНМУ «Актуальные проблемы судоходства, судостроения и судоремонта» (Одесса, 16-18 ноября 2011 г.); VII Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и студентов СевНТУ «Удосконалювання проектування й експлуатації морських суден та споруд» (Севастополь, 5-7 декабря 2012 г.); Международном научно-техническом семинаре МГИ

НАН Украины «Системы контроля окружающей среды» (Севастополь, 24-28 сентября 2012 г.); научно-технической конференции ОНМУ «Экспериментальные методы теории корабля» (Одесса, 21 сентября, 2012 г.); Всеукраинской научно-технической конференции СевГУ «Современные проблемы в океанотехнике» (Севастополь, 25-27 сентября 2013); IV Международной научно-технической конференции НУК «Інновації в суднобудуванні та Океанотехніці» (Николаев, 9-11 октября 2013 г.); II Міжнарод. науч.-техніч. конференції «Експериментальні методи теорії корабля» Київ Національна Академія Наук України Інститут гідромеханіки (Киев, 20 сентября 2013 г), XV Международной молодежной научно-техн. конференции НГТУ им. Р.Е. Алексеева «Будущее технической науки» (Н.Новгород, 27 мая 2016 г.), Всероссийской научно-практической конференции НГТУ им. Р.Е. Алексеева «Современные технологии в кораблестроительном и авиационном образовании, науке и производстве» (Н.Новгород, 23-24 ноября 2016 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 20 печатных работ из них: 1 монография, 9 работ опубликованных в сборниках научных трудов, рекомендованных ВАК и полностью отражают основные результаты диссертации, 1 статья в сборниках научных работ Scopus, 4 в сборниках научных трудов, 5 в сборниках материалов и тезисов науч.-техн. конференций. Получен патент на изобретение.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы. Работа представлена на 125 страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 16 таблиц. Список литературы содержит 139 использованных источников и занимает 16 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор и актуальность темы диссертации, определена цель, задачи и методологические основы исследований, показана научная новизна, теоретическое и практическое значение полученных результатов, которые выносятся на защиту. Приведены данные апробации результатов работы, публикации автора по теме исследования.

В первом разделе проанализировано современное состояние вопроса о воздействии морского волнения на платформы для глубоководного бурения.

Выполнен анализ основных конфигураций глубоководных платформ, в результате которого определены как наиболее перспективные полупогружные платформы типа TLP и SPAR. Это объясняется высокой технологичностью таких полупогружных установок, наличием положительного опыта их создания и эксплуатации в штормовых условиях, а также способностью работать на глубинах моря до нескольких километров.

Одним из существенных вопросов исследования колебаний полупогружных платформ является определение их гидродинамических характеристик на свободной поверхности жидкости. Теоретические методы базируются, в основном, на линейной гидродинамической теории качки с использованием гипотезы плоских сечений. Известные теоретические методы определения параметров качки имеют принципиальные недостатки. Например, они справедливы только при относительно малых амплитудах качки, не учитывают вязкостных составляющих сопротивления воды и не предназначены для определения параметров качки

полупогружных платформ. Теоретические методы определения параметров качки должны дополняться экспериментальными данными. Один из таких методов основан на свободных затухающих колебаниях. Этот метод позволяет определять коэффициенты демпфирования при любом заданном законе сопротивления. Недостатком является, то, что он не позволяет определять параметры качки при частотах, отличных от частоты собственных колебаний. Однако, характерные особенности амплитудно-частотной характеристики позволяют приближенно принимать коэффициент демпфирования и момент инерции присоединенных масс воды постоянными, не зависящими от частоты. При этом обеспечивается достаточная для инженерных расчетов точность. При решении вопроса по определению параметров качки полупогружных платформ необходимо подобрать из имеющихся графиков и номограмм те, которые охватывали бы данный класс. Все перечисленные факторы определяют необходимость проведения экспериментальных исследований колебаний на модели, характерной для рассматриваемого класса сооружений.

Для проведения экспериментальных исследований были определены основные размерения моделей глубоководных платформ типа TLP и SPAR применительно к условиям опытового бассейна СевГУ по критерию подобия Фруда, остальные размеры платформ определены методом геометрического подобия. Характерный размер диаметра основной части платформ SPAR обычно составляет 30...40 м, размеры платформ типа TLP находятся в пределах 100...150 м. При определении чисел Фруда для натуральных условий использованы данные об экстремально больших волнах, которые были в центральной части Черного моря во время сильнейшего шторма 10...11 ноября 2007 г. Высота волны 3 % обеспеченности H достигала 10 м, период $T_w = 9,5$ с., длина $\lambda = 100$ м. Амплитуда горизонтальной волновой скорости на поверхности моря U_0 , равная $\pi H / T_w$, составляла 3,3 м/с. Так как основная, часть корпуса глубоководной платформы распределена по глубине h_p , где волновые возмущения практически полностью затухают (для рассматриваемых волн это составляет примерно 80 м), то необходимо определить среднюю по указанной глубине горизонтальную волновую скорость U_c , которая фактически воздействует на корпус платформы.

Для линейных поверхностных волн на глубокой воде горизонтальная волновая скорость уменьшается с глубиной по соотношению:

$$U(y) = U_0 \exp\left(-\frac{2\pi z}{\lambda}\right),$$

где z – удаление от поверхности моря, м.

Средняя по глубине h_p амплитуда скорости волнового течения равна:

$$U_c = \frac{U_0}{h_p} \int_0^{h_p} \exp(-kz) dz = \frac{U_0}{kh_p} [1 - \exp(-kh_p)].$$

Для рассмотренных выше условий $U_0 = 3,3$ м/с, $h_p = 80$ м, $\lambda = 100$ м, находим: $U_c = 0,66$ м/с. Число Фруда при этом равно $Fr = \frac{0,66}{\sqrt{30g}} = 0,038$. С другой стороны, в опытовом бассейне длина волны равна 1,5 м, амплитуда волновой скорости на поверхности 0,128 м/с. При

заглублении модели платформы на половину длины волны (0,75 м) амплитуда средней волновой скорости равна $U_{cb} = (0,128 \times 0,96) / 3,14 = 0,039$ м/с. Приравнивая числа Фруда для натуральных условий и для опытового бассейна, находим: $0,038 = \frac{0,039}{\sqrt{gD}}$ и $D = 0,106$ м. Таким

образом, диаметр модели платформы SPAR равен 0,1 м. Глубоководная платформа типа TLP имеет размеры 100...150 м. При рассмотренных условиях числа Фруда находятся в диапазоне 0,0171...0,0209. Приравнивая эти величины к числам Фруда для опытового бассейна, находим: $0,0171 = \frac{0,039}{\sqrt{gL}}$, $L = 0,36$ м; $0,0209 = \frac{0,039}{\sqrt{gL}}$, $L = 0,53$ м, Размер физической модели типа TLP должен быть в пределах от 0,36 до 0,53 м.

Определены параметры якорных связей глубоководных платформ типа TLP и SPAR для условий Черного моря и методом геометрического подобия пересчитаны на физические модели указанных типов платформ, для условий опытового бассейна СевГУ. Первичная оценка параметров якорных связей производилась с помощью пакета программ «POSITION» и «ANCHORED STRUCTURES». В качестве основных критериев для определения параметров якорных связей приняты требования Правил классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и стационарных платформ. Уровень допускаемых в якорных связях нагрузок регламентируется посредством коэффициентов безопасности. В результате выполненных расчетов определены параметры якорных связей платформ SPAR и TLP, схемы расположения якорных клюзов, пространственное положение якорных линий при отсутствии морских течений (статический режим), пространственное положение якорных линий при воздействии экстремальных штормовых условий. По результатам выполненных расчетов разработаны эскизы и чертежи физических моделей глубоководных платформ типа TLP и SPAR, определены основные размерения моделей применительно к условиям опытового (волнового) бассейна СевГУ, изготовлены модели платформ SPAR и TLP.

Второй раздел посвящен обоснованию методов экспериментального исследования колебаний полупогружных платформ типа TLP и SPAR для глубоководного бурения в условиях морского волнения при использовании нового цифрового оборудования созданного для условий бассейна.

Созданная цифровая аппаратура и методы обработки данных были использованы для проведения комплекса экспериментальных исследований нескольких типов физических моделей глубоководных платформ применительно к экстремальным метеорологическим условиям в Черном море. Исследования проводились в опытовом (волновом) бассейне СевГУ с целью экспериментального определения параметров пространственных колебаний моделей платформ при воздействии волновых возмущений с различными параметрами, при различных положениях модели относительно продольной оси бассейна и при различном заглублении несущих элементов платформы. Созданная новая цифровая аппаратура представлена в виде «Комплекса для измерения характеристик пространственных колебаний плавучих объектов в опытовом (волновом) бассейне». В отличие от аналогов, комплекс дает полное представление как о волновых воздействиях на испытываемую модель, так и на реакцию на эти воздействия. Это позволяет исследовать динамику сложных моделей

плавающих установок при различных возмущающих воздействиях. Достоверность и долговременная стабильность измерительных каналов комплекса (трехкомпонентных акселерометров и гироскопов) обеспечивается за счет введения в его состав физического маятника с возможностью установки на него указанных измерителей. Это позволяет проводить регулярные поверки и метрологическую верификацию измерительных каналов, так как параметры движения маятника хорошо известны и могут использоваться для регулярных поверок, и при необходимости переградуировок акселерометров и гироскопов.

Работа комплекса цифрового оборудования осуществляется следующим образом. Волнопродуктор, выполненный в виде пневматической системы или механической пластинки возбуждает периодические колебания с периодом T_w (угловой частотой $\omega_w = 2\pi/T_w$). Эти колебания в виде свободных поверхностных прогрессивных волн распространяются вдоль бассейна. При этом их длины λ_w определяются методом последовательных приближений из дисперсионного соотношения для поверхностных волн $\omega_w^2 = gk_w \tanh(k_w H)$, где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, $k_w = 2\pi/\lambda_w$ – волновое число. Волнографы W_1, W_2 измеряют перепады давлений между атмосферой и водной средой на глубине установки приёмников H_1, H_2 . Амплитуда волны a_w вычисляется на основе перепада давлений, регистрируемым каждым волнографом по соотношению для гидродинамики поверхности волн:

$$a_w = \frac{p_w \operatorname{ch} k_w H}{\rho g \operatorname{ch} k_w (y + H)},$$

где p_w – амплитуда колебаний давления, ρ – плотность воды, y – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности в сторону дна с отрицательным знаком. В результате обработки показаний волнографов определена частота волновых возмущений, фазовый сдвиг γ между колебаниями на основной частоте (частоте максимума) и амплитуда волновых колебаний на заданном расстоянии от поверхности дна. По величине сдвига фазы γ между волнографами вдоль длины бассейна определяется фактическая длина волны по соотношению $\lambda_r = 2\pi L/\gamma$ (L_w – расстояние между волнографами вдоль длины бассейна). Для линейных волн отношение амплитуд p_w на каждой глубине установки приёмников H_1 и H_2 равно:

$$\frac{a_w(y_1)}{a_w(y_2)} = \frac{p_w(y_1) \operatorname{ch} k_w H}{\rho g \operatorname{ch} k_w (y_1 + H)} \times \frac{\rho g \operatorname{ch} k_w (y_2 + H)}{p_w(y_2) \operatorname{ch} k_w H} = \frac{p_w(y_1) \operatorname{ch} k_w (y_2 + H)}{p_w(y_2) \operatorname{ch} k_w (y_1 + H)}$$

В случае появления в бассейне многократно отраженных волн это соотношение нарушается, тогда производят вычисление параметров этих отраженных волн по показаниям волнографов, разнесенных на указанные расстояния вдоль бассейна и по глубине. В общем случае происходит частичное отражение волны от волногасителя и в этом случае, как показывает анализ, амплитуда прямой a_n и отраженной волны a_0 равны соответственно:

$$a_n = 0.5a_w \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} k_w L_w} \right), \quad a_0 = 0.5a_w \left(1 - \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg} k_w L_w} \right).$$

Если $\Delta\varphi = 0$, $a_n = a_0 = 0.5a_w$, что соответствует полному отражению волны при $\gamma = k_w L_w$, $a_n = a_w$, $a_0 = 0$, т.е. отраженная волна отсутствует. Величины a_w и γ определяют в результате выполнения спектрального анализа сигналов первого и второго волнографов.

Поверхностные волны, параметры которых определены при помощи системы волнографов, воздействуют на плавучий объект и вызывают его пространственные колебания, т.е. вращательные и поступательные движения относительно продольной ox_o , поперечной oz_o и условно-вертикальной oy_o осей испытываемой модели. Оси блока трехкомпонентных акселерометров и гироскопов устанавливаются вдоль указанных осей ox_o, oy_o, oz_o . Рассматривается также некоторая неподвижная (базовая) система отсчета, измерительные оси которой ox_b и oz_b лежат в плоскости истинного горизонта, а ось oy_b направлена вертикально вверх и образует с этой плоскостью угол равный 90° . В качестве такой системы может быть произвольная фиксированная система отсчета, связанная с горизонтальными осями ox_b, oz_b и вертикальной осью oy_b , например, система координат, связанная с волновым бассейном. Для связи систем координат ox_b, oz_b, oy_b и ox_o, oz_o, oy_o используются углы Эйлера-Крылова. Курсовой угол φ отсчитывается в горизонтальной плоскости между осью ox_b и горизонтальной проекцией оси ox_o ; угол дифферента ψ , характеризующий отклонение продольной оси подвижного объекта от горизонтальной плоскости и угол крена θ , характеризующий отклонение оси oz_o от горизонтальной плоскости при вращении объекта относительно продольной оси. Эти углы определяются при помощи трехосевого гироскопа, что обеспечивает пересчет ускорений, измеренных в подвижной системе координат в ускорения в неподвижной (базовой) системе координат и, следовательно, в составляющие пространственных колебаний подвижного объекта. Были получены соотношения для перемещения подвижного объекта по координатным осям и система уравнений измерительной системы. Тогда, с учетом таблицы направляющих косинусов систему уравнений можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_y &= -a_y \cdot \sin \varphi + b_y \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial y}{\partial t} \right), & G_y &= c_y \cdot \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \\ U_x &= a_x \cdot \cos \psi + b_x \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial x}{\partial t} \right), & G_x &= c_x \cdot \frac{\partial \theta}{\partial t}, \\ U_z &= a_z \cdot \cos \theta + b_z \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial z}{\partial t} \right), & G_z &= c_z \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t}, \end{aligned}$$

где $a_x, a_y, a_z, b_x, b_y, b_z, c_x, c_y, c_z$ – градуировочные коэффициенты измерительных каналов.

Из системы уравнений следуют соотношения для перемещений по координатным осям x, z, y :

$$\begin{aligned} x &= \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \frac{u_x(t) - a_x}{b_x} dt_1 dt_2, \\ y &= \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \frac{u_y(t) - a_y}{b_y} \cdot \left(\int_0^{t_1} \frac{G_x(t)}{c_x} \cdot \int_0^{t_1} \frac{G_z(t)}{c_z} \right) dt_1 dt_2, \\ z &= \int_0^{t_1} \int_0^{t_2} \frac{u_z(t) - a_z}{b_z} dt_1 dt_2, \end{aligned}$$

Установка измерительных осей блока трехкомпонентных акселерометров и гироскопов осуществляется вдоль осей декартовой правосторонней системы координат,

совпадающей с продольной, поперечной и условно-вертикальной осями испытываемой модели. При этом обеспечивается полнота информации о воздействии волн на испытываемую модель благодаря синхронным измерениям параметров прямой и отраженной волн в системе координат, связанной с бассейном, а также поступательных и вращательных колебаний испытываемой модели, измеренных в этой же системе координат.

Рабочий момент проведения экспериментов в бассейне на модели типа TLP представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Испытания модели платформы типа TLP

Разработана схема выполнения измерений параметров пространственных колебаний подвижных объектов, методика выполнения градуировки и поверки измерительных каналов цифрового устройства при использовании созданного специального приспособления в виде физического маятника, частота собственных колебаний которого, близка к частоте свободных волн в опытовом бассейне СевГУ.

Выполнена обработка данных лабораторных экспериментов при использовании медианных фильтров. Анализ полученной амплитудно-частотной характеристики медианных фильтров для распознавания и исправления сбоев узкополосных сигналов, показал возможность их эффективного использования при условии, если характерный период колебаний превышает базу фильтра в 2,5...3 раза.

В третьем разделе приведены результаты выполненных лабораторных экспериментальных исследований динамики физических моделей полупогружных платформ для глубоководного бурения. Получены зависимости амплитуд вертикальных и угловых колебаний платформ при различном заглублении стабилизирующих колонн. Это позволяет определить рациональную осадку платформы при воздействии экстремальных поверхностных волн в Черном море.

Выявлен эффект стабилизации колебаний платформ для глубоководного бурения в зависимости от конфигурации платформ и заглубления (осадки) их несущих конструкций.

Параметры горизонтальных и вертикальных колебаний физических моделей глубоководных платформ типа SPAR и TLP были исследованы при различных режимах работы волнопродуктора и при различном положении платформы относительно распространяющихся в опытовом бассейне волновых возмущений.

Ниже на рисунках 2а и 2б представлены спектры горизонтальных и вертикальных ускорений модели TLP при различной осадке. В пересчете на реальные размеры платформы эти

осадки равны 86, 81, 76 и 71 м. Измерения проводились при режиме волнопродуктора, обеспечивающего период волновых возмущений – 0,61 с, при длине волны – 0,58 м и ее высоте – 2 см. Продольная ось платформы совпадает с основным направлением распространения волн.

На спектрах горизонтальных ускорений отчетливо проявился эффект уменьшения пика спектра на основной частоте колебаний (0,6 с) при увеличении осадки платформы. Значительно меньшие по величине ускорения на удвоенном периоде обусловлены, вероятно, нелинейностью гидродинамической системы платформы – водная среда с учетом массы модели и присоединенной массы воды. Спектры этих низкочастотных колебаний значительно меньше спектров ускорений на основной частоте (за исключением осадки 71 м). Но даже и при этой осадке амплитуда горизонтальных смещений этих низкочастотных колебаний будет меньше в четыре раза аналогичной величины на периоде 0,6 с, т.е. будет составлять примерно 10% от максимальных горизонтальных смещений на основном периоде колебаний.

На спектрах вертикальных колебаний эффект уменьшения ускорений при увеличении осадки платформы проявился на периоде 1,2 с. На основном периоде возмущений этот эффект также проявляется достаточно отчетливо. Кроме этого, заметно проявились колебания на комбинационных частотах с удвоенной, утроенной и более высокими частотами относительно основной частоты волновых возмущений.

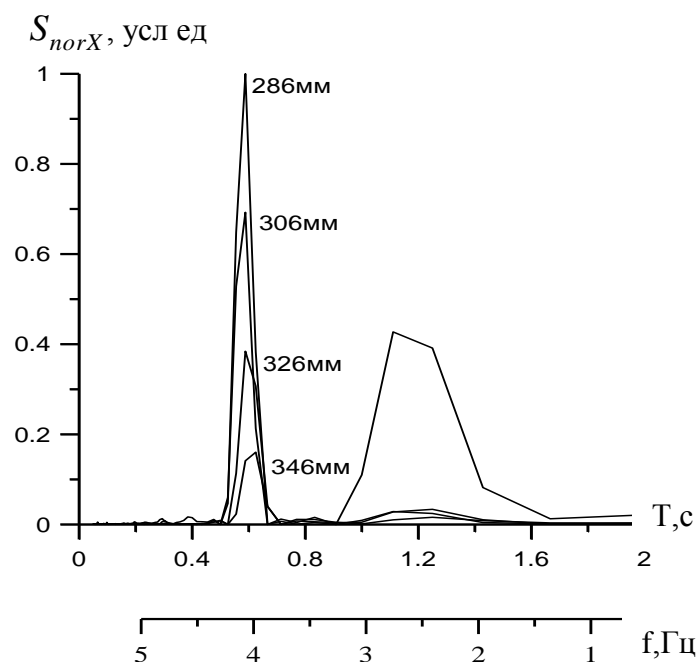


Рисунок 2. а – Спектры горизонтальных ускорений модели TLP при различной осадке

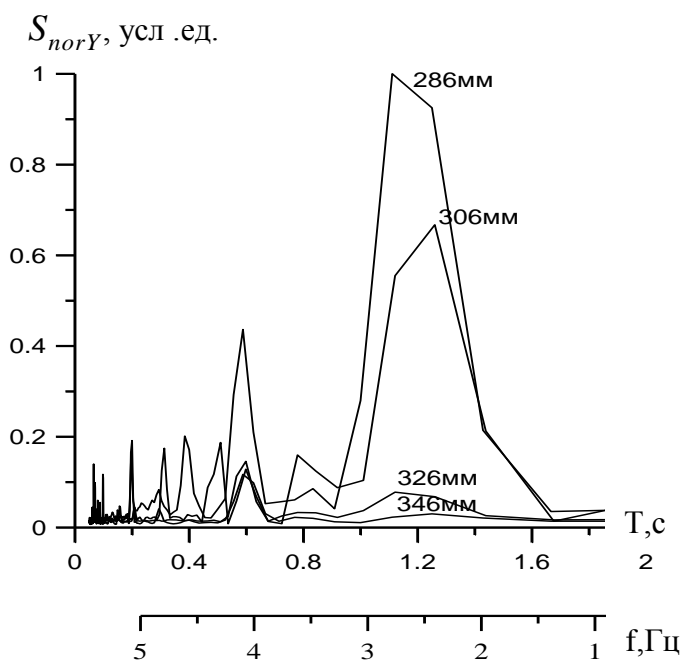


Рисунок 2. б – Спектры вертикальных ускорений модели при различной осадке

Для указанных условий эксперимента были вычислены амплитуды смещений модели платформы по горизонтальной и вертикальной осям. Используются следующие соотношения для амплитуд ускорений по соответствующим осям $A_x = 0,6472\sigma_{nx}$, $A_y = 0,6303\sigma_{ny}$. Амплитуды A_{xp} и A_{yp} поступательных колебаний по осям ox, oy равны соответственно $A_{xp} = A_x / \omega^2$, $A_{yp} = A_y / \omega^2$, где ω – преобладающая частота колебаний. Зависимости этих величин приведены на рисунке 3. Видно, что при изменении осадки в указанных пределах амплитуда горизонтальных и вертикальных колебаний уменьшается примерно в два раза.

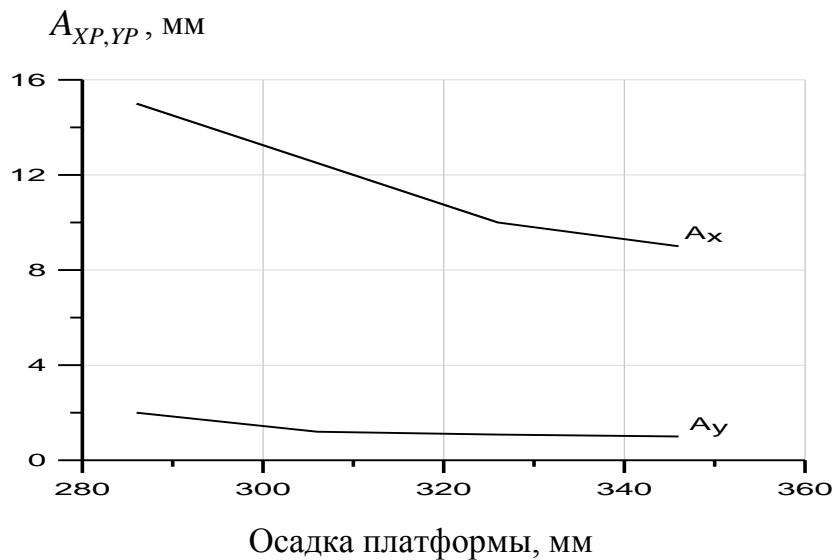


Рисунок 3 – Амплитуды горизонтальных (A_{Xp}) и вертикальных (A_{Yp}) смещений модели при указанных выше условиях проведения измерений

Физическая модель платформы SPAR также была объектом исследований эффекта стабилизации колебаний при различной осадке и различных параметрах волновых возмущений. Методика исследований не отличалась от аналогичных исследований платформы TLP. Спектры горизонтальных и вертикальных ускорений платформы SPAR приведены на рисунках 4 и 5. Платформа удерживалась в точке при помощи систем четырех и восьми якорей.

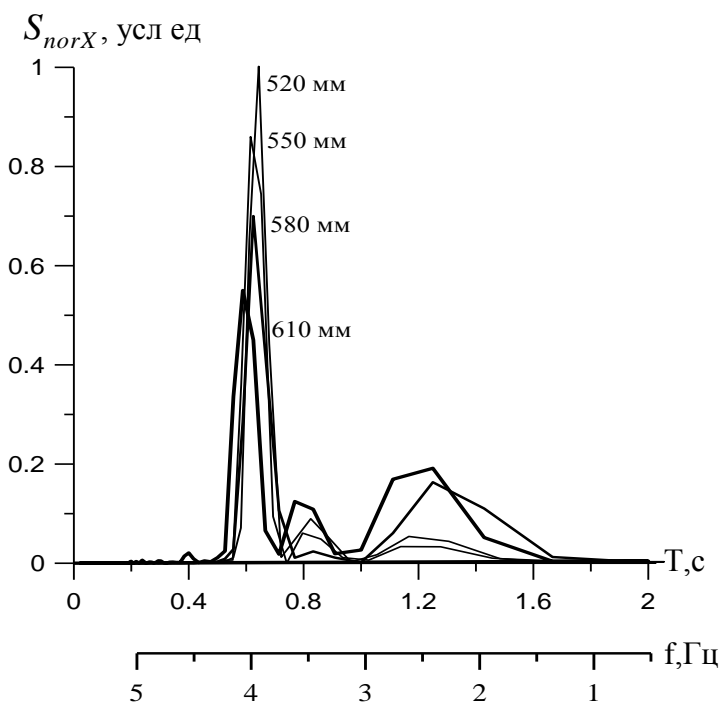


Рисунок 4 – Спектры горизонтальных ускорений модели платформы SPAR при различной осадке при длине волны 0,58 м и при системе удержания из четырех якорей

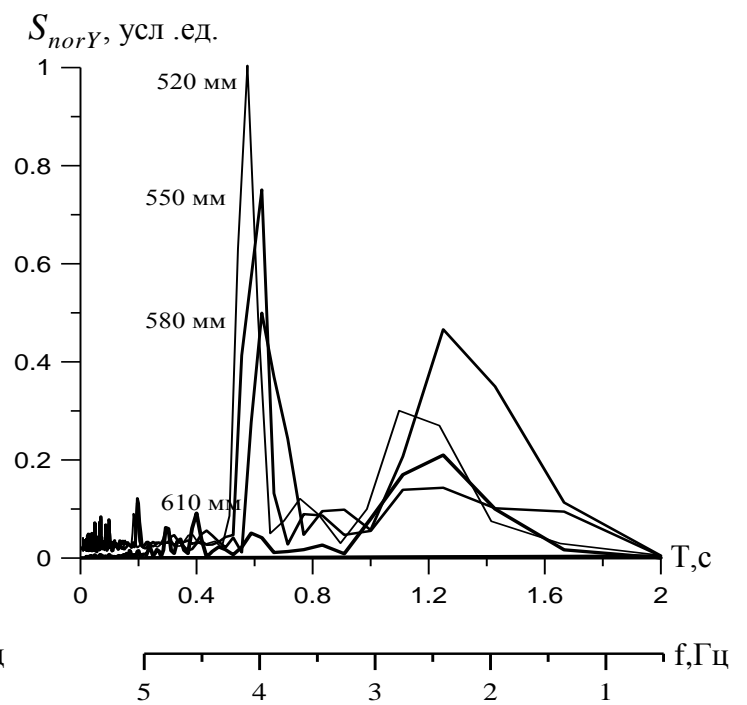


Рисунок 5 – Спектры вертикальных ускорений модели платформы SPAR при различной осадке при длине волны 0,58 м и при системе удержания из четырех якорей

Итоговая зависимость изменения амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний платформы SPAR от величины осадки и числа якорей (4 или 8) показана на рисунке 6.

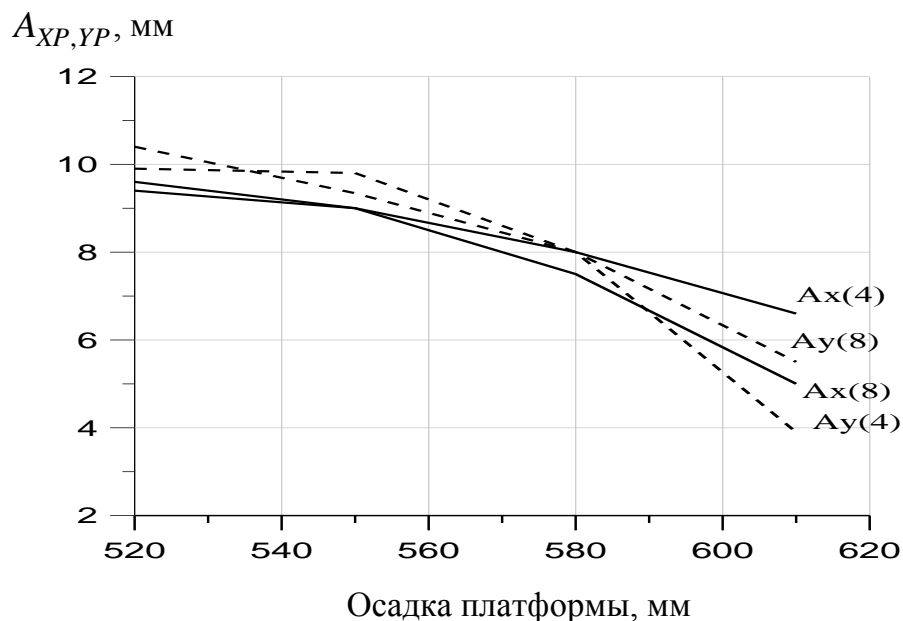


Рисунок 6 – Зависимость амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний платформы в зависимости от осадки при использовании 4 и 8 якорей для удержания модели в точке

Приведенные данные показали, что эффект стабилизации колебаний платформы при увеличении осадки проявляется достаточно отчетливо. Этот эффект проявляется для платформы типа TLP при увеличении длины волны и ее периода, хотя в этом случае амплитуда горизонтальных и вертикальных колебаний увеличиваются. Для платформы типа SPAR эффект стабилизации колебаний проявляется при изменении числа якорей, удерживающих модель в точке. При этом изменение количества якорей несущественно влияет на амплитуды горизонтальных и вертикальных колебаний модели платформы.

Были сопоставлены результаты лабораторных экспериментов с численными расчетами. Предложенная методика проведения экспериментов на физических моделях в опытовом бассейне для верификации полученных экспериментальных данных, при использовании созданного комплекса цифрового оборудования, применена к полупогружной буровой платформе обычного типа, находящейся в свободном плавании, полученные экспериментальные данные были сопоставлены с численной моделью.

Выполнен анализ экспериментальных данных полученных при использовании двух видов цифрового оборудования, определена погрешность полученных результатов, а также преимущества нового комплекса цифрового оборудования. Испытания проводились для ряда положений модели полупогружной платформы в зависимости от заглубления модели, а также при различных углах между направлением распространения набегающих волн и диаметральной плоскостью модели. Для каждой осадки (0,036; 0,078 и 0,093 м) изменялось положение модели по отношению к волне ($\chi = 0^{\circ}$, $\chi = 45^{\circ}$, $\chi = 90^{\circ}$) без верхнего строения и аналогичные испытания проводились для модели с верхним строением. Изменение осадки и аппликаты центра тяжести производилось путем приема дополнительного груза по всей площади понтонов, что имитировало забор дополнительного балласта в отсеки понтона и стабилизирующих колонн. Замер заглубления модели производился по специальным шкалам, которые были нанесены на угловых стабилизирующих колоннах.

Данные измерений при использовании двух видов цифровых устройств в ходе

испытаний были пересчитаны в амплитуды ускорений по осям x , y , z , углы крена и дифферента, угловые скорости по осям x , y , z , с помощью полученных ранее градуировочных уравнений. По данным статистической обработки угловых перемещений были рассчитаны и построены спектральные характеристики двух видов качки: килевой и бортовой. На рисунке 7 показаны спектры колебаний углов дифферента и крена модели при ее минимальном заглублении. Основной пик спектра соответствует периоду волн в бассейне (около 0,95 с). Наряду с ним на спектре проявились максимумы на комбинационных частотах, которые возбуждаются из-за нелинейных эффектов колебаний платформы.

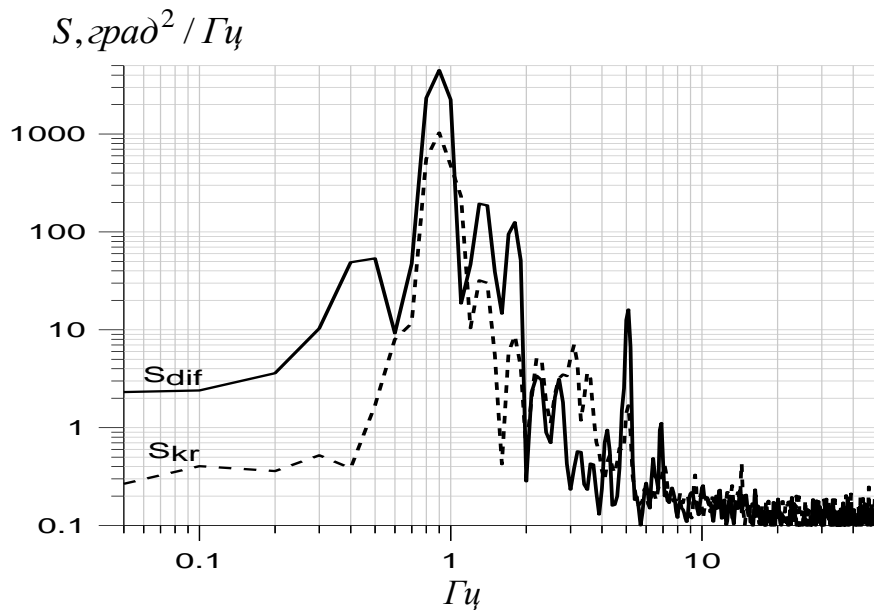


Рисунок 7 – Спектры колебаний по дифференту S_{dif} и по крену S_{kr} полупогружной платформы

Результаты экспериментальных исследований, полученные с помощью рассмотренных измерительных систем, на модели полупогружной платформы без верхнего строения и с верхним были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований, полученных с помощью ИПК – измеритель пространственных колебаний при тех же условиях для всех видов качки. На спектральных характеристиках можно отметить, что максимумы спектров бортовой и килевой качки лежат в одних и тех же частотных зонах, что подтверждает их взаимное влияние друг на друга. 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. Так же можно отметить на спектральных характеристиках, что в режимах качки с верхним строением период больше. Разность периодов увеличивается в зависимости от заглубления установки. Это можно объяснить тем, что у модели полупогружной платформы с верхним строением аппликата центра тяжести находится выше, чем у модели без верхнего строения.

Для сравнительного анализа данных экспериментальных исследований были сопоставлены амплитуды перемещений, в зависимости от заглубления, для вариантов использования двух измерительных систем. Сравнивая результаты, полученные при использовании рассмотренных измерительных систем было отмечено, что использование ИПК существенно расширяет частотный диапазон исследуемых колебаний, вплоть до периодов

0,02 с. Новый комплекс цифровой аппаратуры по основным техническим характеристикам превосходит существующую в 10 раз по динамическому диапазону, он работает в автономном режиме, что исключает необходимость кабельной связи с внешним компьютером.

Полученные экспериментальные данные при использовании новой цифровой аппаратуры и методике проведения экспериментов в опытовом бассейне, были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований и численной моделью, представленными в диссертационной работе Моревой И.Н. Сопоставлены результаты лабораторных экспериментов с численными расчетами, относительное отклонение которых находится в пределах 5...7%. Таким образом, достоверность выполненных экспериментальных исследований в опытовом бассейне при воздействии на платформы поверхностных волн с различными параметрами подтверждается данными численной модели.

В четвертом разделе выполнена оценка параметров пространственных колебаний глубоководных платформ для натуральных условий.

Результаты лабораторных исследований пространственных колебаний моделей глубоководных платформ использованы для расчетов параметров возможных поступательных и вертикальных колебаний реальных глубоководных платформ при воздействии на них штормовых волн. С этой целью полученные при лабораторных исследованиях данные приведены к форме безразмерных характеристик вида $V_i/V_0 = f(Fr, d_j)$, где V_i – амплитуда скорости поступательного или вертикального колебания платформы, $V_0 = \pi H_w/T_w$ – амплитуда волновой скорости на морской поверхности (H_w – высота волны 3 % обеспеченности, T_w – период волны), Fr – число Фруда, d_j – осадка платформы. Из соображений подобия принято, что эти безразмерные характеристики одинаковы для условий опытового бассейна и натуральных условий, для которых параметры поверхностных волн вычисляются по следующим соотношениям:

$$H_w = 2,12 \cdot 10^{-2} W^2, \quad T_w = 0,52 W,$$

где W – скорость ветра, м/с.

Длина волны λ определяется по дисперсионному соотношению для «глубокой воды», т.е. $h \gg \lambda$:

$$\left(\frac{2\pi}{T_w}\right)^2 = g\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right),$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

При расчетах чисел Фруда для натуральных условий использовалась скорость волнового движения, осредненная по половине длины волны. На этой глубине волновые возмущения становятся пренебрежимо малыми.

Для пересчета указанных безразмерных зависимостей для натуральных условий, вычисляются числа Фруда, соответствующие диапазону скорости ветра от 10 до 30 м/с. Порядок расчета таков: для заданной скорости ветра определяются параметры поверхностных волн, т.е. величины H_w, T_w, λ . Средняя волновая скорость V_c вычисляется по соотношению при $h_p = 0,5\lambda$;

$$U_c = \frac{U_0}{h_p} \int_0^{h_p} \exp(-kz) dz = \frac{U_0}{kh_p} [1 - \exp(-kh_p)]$$

На рисунке 8 приведена зависимость относительной амплитуды вертикальных колебаний платформы SPAR от чисел Фруда для четырех якорей (сплошная линия) и для восьми якорей системы удержания (прерывистая линия). Эта зависимость построена по данным модельных исследований платформы в волновом бассейне.

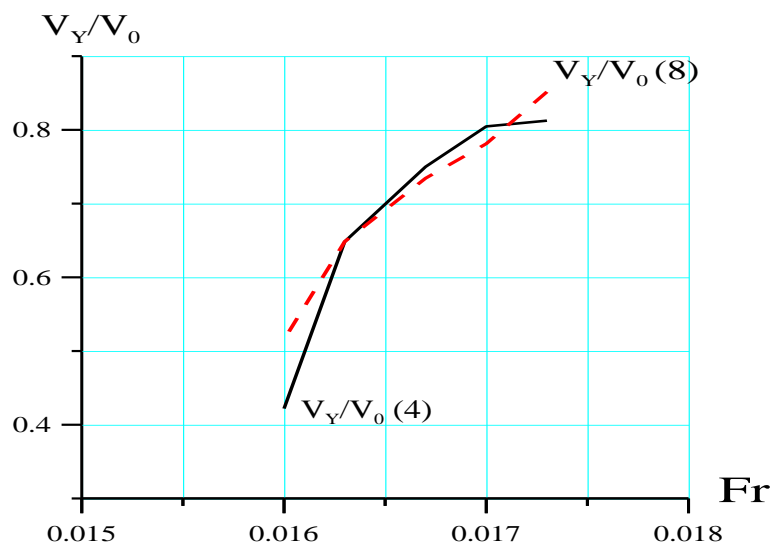


Рисунок 8 – Зависимость $V_y/V_0 = f(Fr)$ для платформы типа SPAR

В указанном диапазоне скоростей ветра, число Фруда для модельных исследований и натуральных условий совпадает для одной скорости ветра, равной 17,04 м/с и равно 0,016. Это соответствует величинам $V_y/V_0 = 0,42$ для четырех якорей и $V_y/V_0 = 0,53$ для восьми якорей. Так как при указанной скорости ветра $V_0 = 2,18$ м/с, то амплитуда вертикальной скорости $V_y = 0,92$ м/с для четырех якорей и 1,16 м/с для восьми якорей. В пересчете на вертикальные смещения $A_y = V_y T_w / 2\pi$, амплитуды колебаний равны соответственно 1,3 и 1,64 м при высоте волны 6,6 м.

При пересчете результатов поступательных колебаний моделей на реальные условия амплитуда V_x горизонтальной скорости колебаний платформы равна:

$$V_x = \frac{V_{x\text{mod}} \cdot V_{0w}}{V_{0\text{mod}}},$$

где $V_{x\text{mod}}$ – амплитуда горизонтальной скорости колебаний модели, м/с; V_{0w} – амплитуда горизонтальной волновой скорости на поверхности моря м/с; $V_{0\text{mod}}$ – амплитуда горизонтальной волновой скорости на поверхности опытового бассейна СевГУ м/с.

Горизонтальные смещения, амплитуда колебаний A_x платформы для натуральных условий определяется по формуле:

$$A_x = V_x T_w / 2\pi,$$

На рисунке 9 и рисунке 10 приведена зависимость амплитуды скорости поступательных колебаний модели и реальной платформы типа SPAR от осадки.

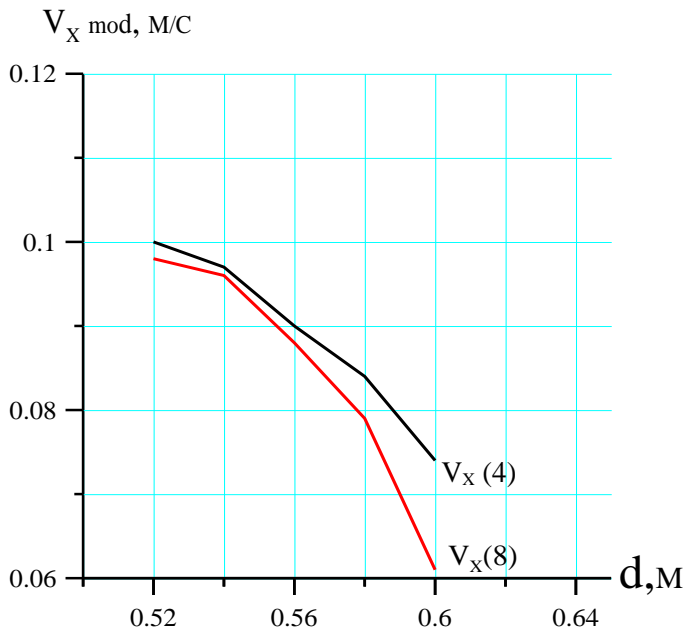


Рисунок 9 – Зависимость $V_{x\text{ mod}} = f(d)$ для модели типа SPAR

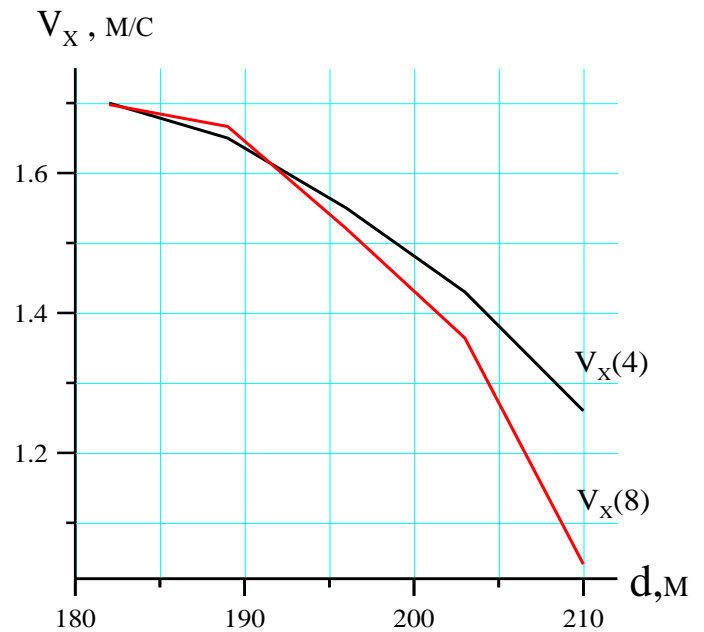


Рисунок 10 – Зависимость $V_x = f(d)$ для платформы типа SPAR

На рисунке 11 представлена зависимость горизонтальных смещений платформы типа SPAR от осадки $A_x = f(d)$ для четырех и восьми якорей.

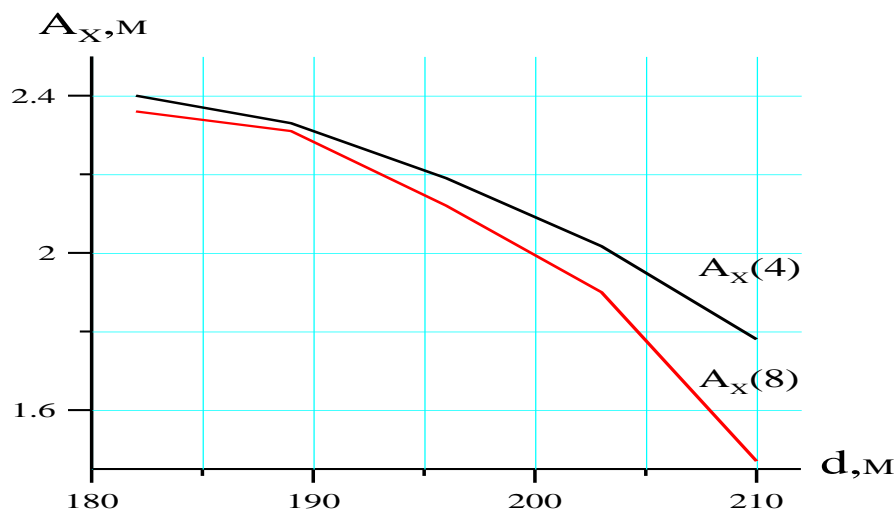


Рисунок 11 – Зависимость $A_x = f(d)$ для платформы типа SPAR

Из графиков, представленных на рисунках 9...11 видно, что амплитуда скорости V_x поступательных колебаний платформы и горизонтальные смещения (амплитуда колебаний A_x) уменьшаются, с увеличением заглубления платформы, т.е. с увеличением осадки.

Аналогичный расчет амплитуд поступательных и вертикальных колебаний реальных глубоководных платформ был выполнен для платформы типа TLP. Число Фруда для платформы указанного типа определялось, аналогично платформе SPAR при вертикальных колебаниях. Для поступательных колебаний платформы необходимо учитывать длину понтонов L (для платформы SPAR при определении числа Фруда для поступательных колебаний учитывался диаметр платформы).

При условии подобия по числам Фруда лабораторных экспериментов и натуральных условий

получена оценка вертикальных колебаний платформ типа SPAR равная в среднем 1.5 м при воздействии на платформу штормовых волн высотой 6,6 м. Таким образом, относительное уменьшение вертикальных колебаний составляет 4,2 раза. Для платформ типа TLP вертикальные колебания составляют 0,47 м при высоте волны 6,6 м. Таким образом, относительное уменьшение вертикальных колебаний составляет 8,9 раз при максимальной осадке платформы, равной 86 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тема диссертационной работы связана с вопросами исследования динамики глубоководных буровых платформ, на основе методики проведения экспериментальных исследований в опытовом бассейне при определении пространственно-временных параметров волновых возмущений и одновременно параметров пространственных колебаний исследуемых физических моделей, выявления эффекта стабилизации платформ с различными конструктивными особенностями на начальных стадиях проектирования.

Основные результаты работы:

1 Выполнен анализ основных конфигураций глубоководных платформ, в результате которого определены как наиболее перспективные полупогружные платформы типа TLP и SPAR. Это объясняется высокой технологичностью таких полупогружных установок, а также наличием положительного опыта их создания и эксплуатации в штормовых условиях.

2 Разработаны эскизы и чертежи физических моделей глубоководных платформ типа TLP и SPAR, определены основные размерения моделей применительно к условиям опытового (волнового) бассейна в соответствии с критерием подобия по числам Фруда; остальные размерения платформ определены методом геометрического подобия.

3 Определены параметры якорных связей глубоководных платформ типа TLP и SPAR для условий Черного моря и методом геометрического подобия пересчитаны на физические модели указанных типов платформ, для условий опытового бассейна.

4 Впервые разработана методика проведения экспериментальных исследований волновых воздействий на физические модели платформ для глубоководного бурения в опытовом (волновом) бассейне, которая в отличие от известных обеспечивает данные о периодах, длинах и амплитудах прямых и отраженных волн, действующих на испытываемую модель и ее реакции на эти волны, что позволяет получить полную информацию о динамике платформы при различных параметрах волновых возмущений.

5 Определены периоды собственных колебаний исследуемых физических моделей платформ на тихой воде.

6 Впервые получены результаты экспериментальных модельных исследований динамики физических моделей глубоководных буровых платформ, которые при пересчете на натурные условия показали, что при заглублении водоизмещающих понтонов от 180 до 210 м для платформы типа SPAR и от 71 до 86 м для платформы типа TLP и при высотах волн до 6,6 м, обеспечивается относительное уменьшение амплитуды горизонтальных колебаний в 1,6 раза для рассматриваемых типов платформ, а по вертикальным колебаниям в 4,2 платформ типа SPAR и 8,9 раза для платформ типа TLP. С этой целью полученные при лабораторных исследованиях данные приведены к форме безразмерных характеристик. Для

пересчета указанных безразмерных зависимостей для натуральных условий, вычисляются числа Фруда для диапазона скорости ветра от 10 до 30 м/с. При расчетах чисел Фруда для натуральных условий использовалась скорость волнового движения, осредненная по половине длины волны.

7 Предложена методика определения сложных пространственных колебаний моделей буровых платформ, путем использования в составе лабораторного оборудования трехкомпонентного акселерометра и гироскопа, показания которых в системе координат, связанной с движущейся моделью платформы, пересчитываются в данные по пространственным ускорениям модели платформы в неподвижной системе координат, связанной с волновым бассейном, причем в составе лабораторного оборудования предусмотрены средства постоянного контроля характеристик указанных измерительных устройств, это позволило оценить условия стабилизации пространственных колебаний глубоководных платформ, определить их рациональную осадку при воздействии экстремальных поверхностных волн в Черном море.

8 Выполнена обработка данных лабораторных экспериментов при использовании медианных фильтров. Анализ полученной амплитудно-частотной характеристики медианных фильтров для распознавания и исправления сбоев узкополосных сигналов, показал возможность их эффективного использования при условии, если характерный период колебаний превышает базу фильтра (число используемых отсчетов умноженных на дискретность измерений) в 2,5...3 раза.

9 Выполнен расчет спектральных характеристик пространственных колебаний глубоководных платформ при различных условиях, что позволило на этой основе оценить эффект стабилизации поступательных и угловых колебаний моделей в зависимости от их конфигурации и осадки. Сопоставлены данные лабораторных экспериментов с численными расчетами, относительное отклонение результатов которых находится в пределах 5...7%. Таким образом, достоверность выполненных экспериментальных исследований в опытовом бассейне при воздействии на них поверхностных волн с различными параметрами подтверждается данными численной модели.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

I В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

- 1 Кушнир, В.М. Особенности динамики глубоководных буровых платформ для центральной части Черного моря/ В.М. Кушнир, **О.А. Иванова**, И.Н. Морева, В.Р. Душко // Сб. науч. тр. СНУЯЭ и П. – 2010. – Вып. №4 (36). – С. 152–158.
- 2 **Иванова, О.А.** Медианная фильтрация узкополосных случайных сигналов как средство повышения информативности экспериментальных исследований пространственных колебаний полупогружной платформы / О.А. Иванова, В.М. Кушнир // Сб. науч. тр. СНУЯЭ и П. – 2010. – Вып. №2 (34). – С. 202–209.
- 3 Морева, И.Н. Исследование динамики буровой платформы в опытовом бассейне с помощью цифровых устройств / И.Н. Морева, **О.А. Иванова**, В.Р. Душко // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. МГИ НАН Украины. – 2011. – Вып. №15. – С. 296–301.

- 4 **Иванова, О.А.** Цифровое устройство для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов / О.А. Иванова, В.М. Кушнир, И.С. Дубовик // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. МГИ НАН Украины. – 2010. – Вып. №13. – С. 35–38.
- 5 Кушнир, В.М. Цифровая система для исследований океанотехнических систем в волновых бассейнах / В.М. Кушнир, В.Р. Душко, И.Н. Морева, **О.А. Иванова**, С.В. Федоров // Вісник ОНМУ Сб. наук. пр. – 2012. – Вып. №34 (1) – С. 85–102.
- 6 Морева, И.Н. Градуировочные уравнения цифрового устройства для измерения параметров пространственных колебаний подвижных объектов / И.Н. Морева, **О.А. Иванова** // Вісник СевНТУ Сб. наук. пр. – 2011. – Вып. №120 – С. 346–349.
- 7 Морева, И.Н. Анализ поведения модели морской полупогружной платформы типа TLP на волнении / И.Н. Морева, **О.А. Иванова**, А.В. Родькина // Вісник СНУЯЭиП Сб. наук. пр. – 2013. – Вып. №3(47) – С. 124–129.
- 8 **Иванова, О.А.** Физические модели глубоководных буровых платформ типа TLP и SPAR для проведения экспериментальных исследований их динамики в опытовом бассейне // **О.А. Иванова**, В.М. Кушнир, И.Л. Благовидова // Вісник СевНТУ Сб. наук. пр., Серія: Механіка, енергетика, екологія, ISSN 2307-6488 – Севастополь, 2014. – Вып. №153 – С. 72–79.
- 9 Грамузов, Е.М. Комплексное исследование пространственных колебаний плавучих объектов и параметров их стабилизации в опытовом бассейне // Е.М. Грамузов, **О.А. Иванова** // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», Н. Новгород, 2018. – Вып. № 55 – С. 21–33.

II Патент:

Пат. 2652173 Российская федерация, МПК G01 С 21/00 (2006/01). Комплекс для измерения характеристик пространственных колебаний плавучих объектов в опытовом (волновом) бассейне / **Иванова О. А.**, Душко В. Р., Крамарь В. А. / заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет» – № 2016100781, заявл. 12.01.2016. опубл. 25.04.2018 г., Бюл. № 12.

III Прочие издания:

- 10 Кушнир, В.М. Гидродинамика глубоководных платформ для условий Черного моря. Монография. / В.М. Кушнир, В.Р. Душко, И.Н. Морева, **О.А. Иванова** // Изд. СевНТУ.– 2012. – 233 с.
- 11 Кушнир В.М. Глубоководные буровые платформы для экстремальных условий Черного моря / В.М. Кушнир, В.Р. Душко, И.Н. Морева, **О.А. Иванова** // Сб. Інновації в суднобудуванні та Океанотехніці – 2010. Миколаїв. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Матеріали I міжнарод. науч.-техніч. конференції. – 2010 вересень 15-17. – С.104–106.
- 12 **Иванова, О.А.** Автоматизация проведения экспериментальных исследований в опытовом бассейне // Вісник СевНТУ Сб. наук. пр., Серія Автоматизація процесів та управління, ISSN 2307-6488 Севастополь, 2014. – Вып. №146 – С. 166–170.
- 13 **Иванова, О.А.** *Experimental Researches Automation of Spatial Oscillations of the Floating Ocean Engineering Systems in the Wave Basin* // О.А. Иванова, В.Р. Душко, А.В. Родькина // Proceedings Engineering of the 26th International DAAAM Symposium “Intelligent

- Manufacturing & Automation” 21-24th October 2015, Zadar, Croatia, EU, Volume 26, No.1, ISSN 1726-9679, Ed. B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, EU, 2016. – pp. 1059–1067. (Scopus)
- 14 **Иванова, О.А.** Оценка коррозионной стойкости глубоководной платформы для условий Черного моря / О.А. Иванова // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Сб. науч. тр. МГИ НАН Украины. – 2010. – Вып. №23. – С. 292–295.
 - 15 **Иванова, О.А.** Экспериментальные исследования параметров пространственных колебаний моделей полупогружных платформ в опытовом бассейне / О.А. Иванова, В.Р. Душко, И.Н. Морева // Сб. Інновації в суднобудуванні та Океанотехніці – 2013. Миколаїв. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Матеріали IV міжнарод. науч.-техніч. конференції. – 2013 жовтня 9-11. – С.121–122.
 - 16 **Иванова, О.А.** Вертикальные колебания полупогружной платформы типа TLP на волнении / О.А. Иванова, И.Н. Морева // Системы контроля окружающей среды. Сб. науч. тр. МГИ НАН Украины. – 2010. – Вып. №14. – С. 26–28.
 - 17 **Иванова, О.А.** Оценка параметров пространственных колебаний платформ для глубоководного бурения / О.А. Иванова // Морские технологии 2014: труды межвузовской научно-технической конфер., Севастополь, 24-26 сентября 2014 г./М-во образования и науки РФ; Севастоп. нац. техн. ун-т., науч.ред. В.Р.Душко– Севастополь: СевНТУ, 2014. –С. 83–85.
 - 18 **Иванова, О.А.** Анализ систем позиционирования объектов океанотехники для глубоководного бурения / О.А. Иванова, А.В. Родькина // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений, – 2015: Сб. докладов Межвузовской научно-технической конфер., Севастополь, 18-20 марта 2015г. / М-во образования и науки РФ; Севастопольский государственный университет., науч.ред. В.М.Кушнир – Севастополь, 2015. – С. 137–140.
 - 19 **Иванова, О.А.** Системы позиционирования глубоководных буровых платформ и морских судов для условий Черного моря / О.А. Иванова, А.В. Родькина // Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии, ISSN 2220-1025 – Баку, 2015. – Вып.№2 – С. 220–227.
 - 20 **Иванова, О.А.** Экспериментальные исследования воздействия волновых процессов в опытовом бассейне на физические модели / О.А. Иванова, В.Р. Душко, А.В. Родькина // Будущее технической науки: сборник материалов XV Международной молодежной научно-техн. конф. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2016. – С. 315–316.