

Гидротехника

наука и технологии

НАЦПРОЕКТ
«ЭКОЛОГИЯ»

КАМСКАЯ
ГЭС

4 (57) / 2019

ноябрь — февраль

ЕВРАЗ НТМК

- ЕДИНСТВЕННЫЙ В РОССИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ ШПУНТОВЫХ СВАЙ КОРЫТНОГО ТИПА С ЗАМКОВ ЛАРСЕН Л5УМ
- ПРОИЗВОДСТВО ДО 100 ТЫСЯЧ ТОНН ШПУНТА
- МАКСИМАЛЬНЫЙ СРОК ОТГРУЗКИ — 30 ДНЕЙ

 **ЕВРАЗ**
мы делаем мир сильнее

ООО «Торговая компания «ЕвразХолдинг»
121353 Москва, Беловезская ул., д. 4
Тел./факс (495) 363-19-63, e-mail: Sales@evraz.com
www.tc-evraz.com

Издатель:

ООО Медиа-Группа «ПортНьюс»

Генеральный директор:

Елена Снитко

(812) 570-78-03, snitko@portnews.ru

Директор по развитию:

Надежда Малышева

(812) 570-78-02, mn@portnews.ru

Главный редактор:

Татьяна Ильина

(812) 961-79-62, info@hydroteh.ru

Зам. главного редактора:

Виктория Павлова(812) 570-78-03,
pavlova.hydroteh@yandex.ru

Руководитель проектов:

Татьяна Вильде

(812) 570-78-02, tv@portnews.ru

Менеджер по подписке:

Елена Ковалевич

(812) 570-78-03, hydroteh@gmail.com

Арт-директор:

Сергей Яковлев

Корректор:

Мария Доброва

Перевод:

Сафер Хакуз

Адрес редакции:

**191119 Санкт-Петербург,
ул. Звенигородская, 1, оф. 104**

Свидетельство о регистрации:

ПИ № ФС77-73982.

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Полное или частичное воспроизведение опубликованных в журнале «ГИДРОТЕХНИКА» статей, иллюстративных материалов возможно только с письменного согласия редакции, при этом ссылка на копируемые материалы обязательна.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Подписано в печать 18.11.2019.

Установочный тираж 8000.

Отпечатано в типографии
«Лесник-принт».

ГТС ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

СУДОХОДНЫЕ ГТС

Вопросы безопасности и надежности судоходных ГТС обсудили в Санкт-Петербурге	4
Новая система управления шлюзами Беломорско-Балтийского канала	5
Русанов В. Е., Пичугин А. А., Медведев Г. М., Мельник Г. В., Некрасов И. А. и др. Применение web-сервисов для автоматизированного мониторинга вибраций и высотного положения конструкций судоходного шлюза	6
Наупарац Д. Перспективы развития электрогидравлических систем для приводных механизмов гидромеханического оборудования	12

МОРСКИЕ ГТС

Калинина О. И., Карпов П. С., Хомутов М. М. Методика оценки прочности конструкций плавучей системы при морской транспортировке пролетов мостов	15
Комаровский Ю. А. Особенности использования спутниковых курсоуказателей в операциях транспортировки и позиционирования морских платформ в высоких широтах	18

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Ахмедходжаева И. А., Кодиров С. М., Гаффарова М. Ф. Изменение гидрологического режима предгорных малых рек	22
---	----

НОРМАТИВНО-ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Мельник Г. В. О проекте федерального закона «О внесении изменений в ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»	26
Неретин А. В., Косов В. М. О проблемах при проектировании объектов хвостового хозяйства горных предприятий в рамках действующей правовой базы	31

НАЦПРОЕКТ «ЭКОЛОГИЯ» И ГИДРОТЕХНИКА

Гидротехники России готовы к реализации нацпроекта «Экология»	34
УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ	

Современные технологии размещения, обезвреживания и утилизации отходов	35
--	----

РЫБОПРОПУСК НА ГТС

Баринов О. Г., Баринова М. А. Обеспечение эффективности и экологической безопасности рыбхода Нижнетуломской ГЭС	38
--	----

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГТС

Подольский С. А., Игнатенко С. Ю., Кастрикин В. А. Взаимодействие экологической общественности и энергетиков — залог устойчивого природопользования в Приамурье	42
Блиновская Я. Ю., Соколова Л. И., Лебедев А. М., Казанова Н. Е., Тарасов А. Б. Результаты экологического мониторинга в районах воздействия угольных терминалов порта Находка	46
Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Каримова Т. Ю., Черноуцкий С. В. Климатическое воздействие на наземные естественные и гидротехнически нарушенные экосистемы в бассейне Верхней Волги. Часть I	50



СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ

ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА

Гладков И. Л., Жемчугов А. А. Опыт применения технологии струйной цементации грунтов при реконструкции причальных сооружений	56
Глуценко А. Ю. Противоаварийное инъецирование крупных бетонных конструкций	58

ОРОСИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Русейкина А. С., Яковенко А. Л. Инновационные технологии обустройства водоводов	60
--	----

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

«Геоцеом — Гидрошуба» — надежная изоляция и защита бетона	63
Давиденко В. М., Паромова Г. Ф. Некоторые вопросы обеспечения монолитности бетонных гидротехнических сооружений	64
Богословская Л. В. Сухие смеси производства MAPEI для ремонта бетонных конструкций	68

ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ГЭС

Берг А. Г., Дороднов В. В., Усачев А. Е. Построение характерных кривых для моделей систем автоматического управления гидроагрегатами ГЭС	70
---	----

КАМСКАЯ ГЭС

Камская ГЭС. 65 лет на службе Уралу и России	74
Пермяков О. А. Комплексная модернизация Камской ГЭС: технические решения и результаты	76
Волкова О. Н. Обеспечение экологической безопасности Камской ГЭС	81
Маштаков Г. А. Автоматизация Камской ГЭС в результате комплексной модернизации	82
АО «ТЯЖМАШ» для Камской ГЭС: партнерство, проверенное временем	84
Шамин В. Г. Вклад завода ЭЛСИБ в обновление гидрогенераторов Камской ГЭС	86
ПАО «РусГидро» — 15 лет стремительного развития	88

РЕДАКЦИОННО-ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Беллендир Е. Н., д. т. н., генеральный директор АО «Институт Гидропроект»

Ватин Н. И., д. т. н., профессор СПбГПУ

Волосухин В. А., д. т. н., профессор, засл. деятель науки РФ, ректор Академии безопасности гидротехнических сооружений

Глаговский В. Б., д. т. н., советник генерального директора АО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»

Гуткин Ю. М., к. т. н., главный специалист «Союзпроектверфь» АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», заслуженный строитель РФ

Жигульский В. А., к. т. н., директор ООО «Эко-Экспресс-Сервис»

Лаврищев А. В., генеральный директор ФГУП «Росморпорт»

Макаров К. Н., д. т. н., проф., зав. каф. городского строительства Сочинского государственного университета, академик РАТ

Меншиков В. Л., к. т. н., президент Ассоциации «Морпортэкспертиза»

Прокопенко А. Н., к. т. н., зав. отд. гидроэнергетики и гидроэнергетического оборудования АО «НПО «ЦКТИ им. Ползунова»

Пятаков В. Г., д. т. н., начальник отдела россыпных месторождений АО «ИРГИРЕДМЕТ»

Цернант А. А., д. т. н., профессор, академик РАТ, научный консультант ТН465 «Строительство» ФАУ ФЦС Минстроя РФ

Шибакин С. И., д. т. н., специалист «Газпром добыча шельф Южно-Сахалинск»

Шилин М. Б., д. г. н., профессор, зав. кафедрой экологии РГГМУ

Шуйский В. Ф., д. б. н., профессор, академик РАЕН, нач. отд. ООО «Эко-Экспресс-Сервис»

Юркевич Б. Н., к. т. н., первый заместитель генерального директора, главный инженер АО «Ленгидропроект»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПЛАВУЧЕЙ СИСТЕМЫ ПРИ МОРСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ПРОЛЕТОВ МОСТОВ



Калинина О. И.,
инженер-конструктор
2-й категории АО «ЦКБ «Коралл»



Карпов П. С.,
заместитель начальника отдела основных
корпусных конструкций АО «ЦКБ «Коралл»



Хомутов М. М.,
начальник сектора анализа прочности
конструкции судов и буровых
платформ АО «ЦКБ «Коралл»

Аннотация. Представлена методика численного моделирования поведения плавучей системы под действием сил ветра, волнения и течения для определения расчетных нагрузок и оценки прочности всех конструктивных элементов плавучей системы при транспортировке арочных пролетных строений Керченского моста. Определены наиболее опасные с точки зрения прочности случаи воздействия внешних нагрузок на плавучую систему, выполнена оценка прочности конструктивных элементов, входящих в состав плавучей системы, что обеспечило безопасное проведение морской операции по транспортировке железнодорожного и автомобильного арочных пролетов Керченского моста.

Ключевые слова: плавучая система, гидродинамические нагрузки, оценка прочности, Керченский мост.

При строительстве мостов в районе судоходных водных путей наиболее сложной задачей является установка мостового пролета над судоходным каналом, поскольку из-за существенной длины и большой массы применение стандартных методов сборки пролетных строений моста не представляется возможным. Одним из решений, позволяющих установить мостовой пролет над судоходным каналом, является доставка такого пролета от его места сборки на точку установки водным путем.

Необходимость в морской транспортировке арочных пролетных строений возникла и при строительстве Керченского моста. Два самых тяже-

лых и габаритных элемента — арочные пролеты железнодорожного и автомобильного мостов — необходимо было доставить со строительной площадки непосредственно к мостовым опорам в море. Задача по выполнению проектных работ в обеспечение такой морской операции была поставлена перед АО «ЦКБ «Коралл» [1–3].

В качестве решения была создана плавучая система, представляющая собой комплекс сооружений, состоящий из двух плавучих опор и установленного на них арочного пролетного строения (рис. 1). Каждая плавучая опора состоит из двух объединенных понтонов с распределительной обстройкой.

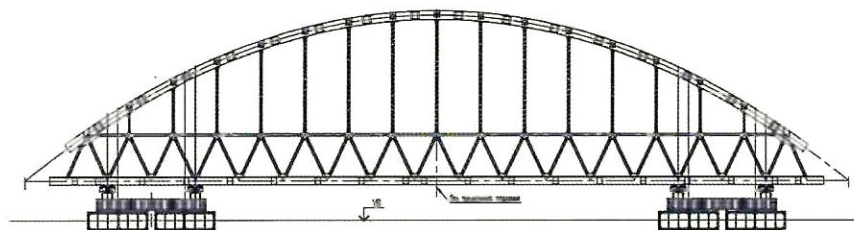


Рис. 1. Общий вид плавучей системы для транспортировки железнодорожного арочного пролетного строения

THE METHOD OF A FLOATING UNIT STRUCTURAL INTEGRITY ASSESSMENT FOR MARINE TRANSPORT OF BRIDGE SPANS

O. Kalina, Design Engineer (Category 2), the CORAL Central Design Bureau, JSC

P. Karпов, Deputy Head, Main Hull Structures Department, CORAL CDB

M. Khomutov, Head of the Ship and Drilling Rig Structural Strength Analysis Sector, CORAL CDB

Abstract. The article presents the technique of numerical modeling of the behavior of the floating system under the influence of wind, swell and sea current to determine the design loads and assess the strength of all structural elements of a floating unit during transportation of the arch spans of the Kerch Bridge. The engineers determine the most dangerous cases of external loads affecting the floating system integrity, evaluated the strength of structural parts of the floating system, which ensured safe marine transportation of the Kerch Bridge railway and motorway arch spans.

Keywords: floating system, hydrodynamic loads, strength assessment, Kerch Bridge.

Для успешной транспортировки пролета моста необходимо обеспечить прочность всех элементов конструкций плавучей системы, для этого значительное внимание должно быть уделено определению расчетных внешних нагрузок и вопросу изучения поведения системы под действием ветра, волнения и течения.

Следует отметить ряд значимых особенностей, которые оказывают влияние на поведение плавучей системы при волнении.

1. Перевозимый арочный пролет моста имеет длину 227 м и оконечностями опирается на плавучие опоры. Таким образом, опоры находятся на значительном удалении друг от друга, и, поскольку морское волнение трехмерно и на опорах в один момент времени могут оказаться разные фазы волны, есть большая вероятность появления скручивающих нагрузок на арочное пролетное строение во время качки (рис. 2).

2. Высота арки пролетного строения составляет 45 м, следовательно, аппликата приложения ветровой нагрузки находится на значительном удалении от ватерлинии. В совокупности с большой площадью парусности с борта это дает основание считать, что ветровая нагрузка имеет весомое значение не только для расчета прочности как сила, действующая на конструкции, но и оказывает влияние на бортовую качку и качку на косом курсе системы в целом.

3. Каждая плавучая опора представляет собой два понтона, соединенные между собой на расстоянии 2 м. В связи с этим возникла необходимость анализа взаимовлияния двух понтонов друг на друга и на волну при определении параметров качки системы.

Вышеперечисленные особенности и их влияние на распределение внешних нагрузок позволяет учесть программный комплекс математического моделирования статике, динамики и гидродинамики плавучих и стационарных сооружений Anchored Structures, разработанный сотрудниками Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и прошедший одобрение Российского морского регистра судо-

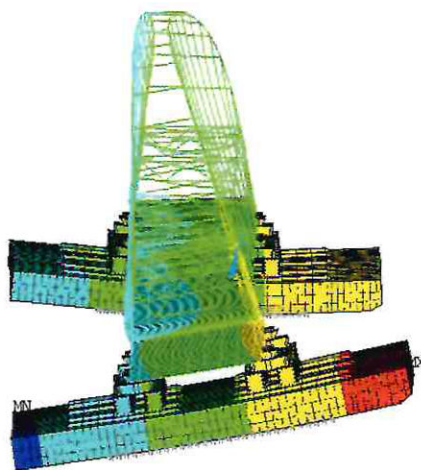


Рис. 2. Вариант попадания плавучих опор в разные фазы волны. Для наглядной демонстрации скручивания арочного пролета моста масштаб вывода результатов увеличен

ходства. Комплекс дает возможность решить динамическую задачу поведения плавучей системы под действием сил ветра, волн и течения, с учетом массогабаритных и инерционных характеристик элементов, входящих в состав плавучей системы [4].

Сотрудниками АО «ЦКБ «Коралл» и авторами Anchored Structures совместно был разработан модуль панельной гидродинамики, позволяющий использовать результаты математического моделирования гидродинамики сооружения, полученные в Anchored Structures, в качестве расчетных нагрузок для определения внутренних усилий методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS.

Методика расчета с совместным использованием ПК ANSYS и Anchored Structures условно может быть разделена на несколько этапов.

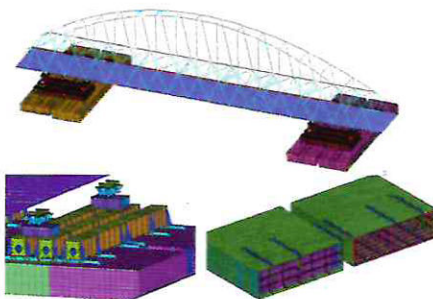


Рис. 3. Общий вид конечно-элементной модели в ПК ANSYS. Укрупненно показан вид на обстройку и фундаменты (внизу слева) и поперечное сечение плавучей опоры (внизу справа)

На первом этапе, в соответствии с определенными требованиями к геометрии, для корректного экспорта в Anchored Structures создается конечно-элементная модель в ПК ANSYS (рис. 3). Модель полностью отражает все характеристики плавучей системы и включает в себя конструкции самого арочного пролета моста с учетом всех его жесткостных характеристик, конструкции понтонов, распределительной обстройки и фундаментов под нее, а также элементы амортизирующих устройств соответствующей жесткости. Координаты центра тяжести и масса плавучей системы соответствуют проектным значениям для транспортировки.

На втором этапе в Anchored Structures импортируется геометрия из ПК ANSYS, вводятся данные по осадке, массе, моментам инерции, координатам центра тяжести системы, задаются все расчетные параметры ветра, волнения и течения. Расчет производится для различных курсовых углов воздействия внешних нагрузок.

В результате решения динамической задачи в Anchored Structures определяются ускорения при качке и гидродинамические давления на корпус понтонов. Также в результатах выводятся сила течения и сила ветра. Гидродинамические давления и ускорения при качке сохраняются для 20 положений объекта через 1/20 периода волнения. Эти данные используются в качестве расчетных нагрузок для третьего этапа — оценки прочности конструкций плавучей системы с помощью программного комплекса ПК ANSYS.

Файлы результатов из Anchored Structures формируются в формате стандартных файлов загрузок ANSYS. Каждый файл соответствует определенному положению системы на волнении и включает в себя гидродинамические давления на погруженные площади понтонов (рис. 4), единичные усилия от удерживающих систему буксиров, глобальные линейные и угловые ускорения в направлениях x , y , z . При оценке прочности конструкции понтонов и фундаментов проводится сравнение напряжений в конструкциях, возникающих под действием заданных нагрузок, с допускаемыми напряжениями, которые определяются в соответ-

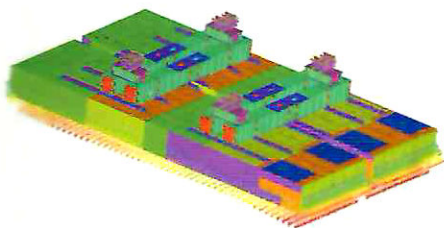


Рис. 4. Пример приложения в ПК ANSYS гидродинамических давлений, полученных в Anchored Structures

ствии с нормативными документами [5, 6]. Также в конечно-элементной модели определяются реакции в точках опирания арочного пролетного строения моста на обстройку и фундаменты, которые передаются проектировщикам пролетного строения моста для анализа прочности его элементов конструкции.

При выполнении расчетов с совместным использованием ПК ANSYS и сторонней программы панельной гидродинамики необходимо учитывать ряд особенностей:

1. Подгонка конструктивной модели к гидродинамической:
 - трудоемкий процесс модификации и экспорта конечно-элементной модели из ПК ANSYS в Anchored Structures;
 - изменение внешних площадей в ПК ANSYS влечет за собой потерю нагрузки на измененные площади (если

у них изменился номер в ПК ANSYS), поскольку гидродинамические давления в файлы результатов Anchored Structures записываются к соответствующим номерам площадей.

2. Для получения качественного баланса сил необходимо добиться заданного положения объекта в статике без использования начальной балластировки в Anchored Structures, поскольку залитый балласт Anchored Structures в ANSYS учитываться не будет. Для этого нужно подобрать осадку, координату центра тяжести и массу.

3. Для экспорта в Anchored Structures конечно-элементная модель строится в ПК ANSYS при положении начала глобальной системы координат на ОП, ДП и миделе. Однако в файлы результатов Anchored Structures (и, соответственно, файлы загружений ПК ANSYS) записываются линейные и угловые ускорения, рассчитанные для центра тяжести сооружения, что влечет за собой необходимость переноса всей модели в ПК ANSYS таким образом, чтобы глобальная система координат находилась в центре тяжести сооружения.

С использованием представленной методики АО «ЦКБ «Коралл» был разработан проект морской транспортировки железнодорожного и автомо-

бильного арочных пролетных строений Керченского моста, который успешно реализован в реальных условиях. Предложенное решение свидетельствует о достаточной точности определения расчетных нагрузок и надежности результатов оценки прочности, что дает основания применять данную методику в аналогичных проектах.

Литература

1. Большев А.С. Математическое моделирование операций по установке пролетных строений Крымского моста / А.С. Большев, И.Л. Благовидова, А.В. Пьянов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 24. № 2. С. 182–198.
2. Благовидова И.Л. Уникальные морские операции при строительстве Крымского моста / И.Л. Благовидова, А.В. Пьянов // Гидротехника. 2018. № 4 (53). С. 32–35.
3. Большев А.С. Проектирование и реализация морской операции по установке пролетных строений Крымского моста / А.С. Большев, И.Л. Благовидова, А.В. Пьянов // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2013. № 52/53. С. 6–21.
4. Большев А.С. Математическое моделирование поведения морских плавучих объектов в программном комплексе Anchored Structures / А.С. Большев, С.А. Фролов, М.А. Кутейников // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2013. № 36. С. 68–90.
5. Правила разработки и проведения морских операций. СПб, РМРС, 2014. 144 с.
6. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. СПб, РМРС, 2014. 483 с.

АО «ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «КОРАЛЛ»
ВЕДУЩИЙ РАЗРАБОТЧИК ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ
НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ РОССИИ



ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

- морские буровые платформы для разведочного бурения: погружные, полупогружные, самоподъемные;
- морские платформы для добычи нефти и газа: стационарные, плавучие;
- плавучие краны и крановые суда;
- платформы гидротехнические, многоцелевые, научно-исследовательские, специальные;
- суда особого назначения, в том числе: трубоукладочные суда, суда снабжения, плавучие базы комплексного обеспечения работ и др.
- офшорные баржи;
- наземные объекты нефтяной и нефтеперерабатывающей промышленности; установки для получения топлива, метанола; для использования попутного газа, термальных вод.

КАЧЕСТВО И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

АО «ЦКБ «Коралл» осуществляет проектный, технологический, строительный инжиниринг. Выполняет функции генерального проектировщика. Все разработки выполняются в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства, Российского речного регистра, ФАУ «Главэкспертиза России», органов охраны окружающей среды РФ. По требованию заказчика работы выполняются и получают одобрение классификационных обществ—Lloyd's Register, DNV-GL, BV, ABS. Высший уровень разработок ЦКБ подтверждается 80 патентами России и других государств на изобретения, полезные модели и промышленные образцы, а также более чем 700 авторскими свидетельствами СССР и РФ. Интегрированная система менеджмента качества, промышленной и экологической безопасности, охраны труда и социальной ответственности, действующая в ЦКБ «Коралл», сертифицирована Bureau Veritas Certification (BVC) на соответствие стандартам ISO 9001:2015 и OHSAS 18001:2007.



АО ЦКБ «КОРАЛЛ»
 299028 г. Севастополь, ул. Репина, д. 1
 Тел. +7 (8692) 53-07-53, факс +7 (8692) 53-07-65
 E-mail: office@cdbcorall.ru. Сайт: www.cdbcorall.ru