

Морской



Вестник

НОЯБРЬ
2 0 2 0
СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК №1(14)
ISSN 1812-3694

Morskoy Vestnik

**УПРАВЛЕНИЕ
ИННОВАЦИОННЫМИ
ПРОЕКТАМИ**





СТРОИМ ФЛОТ СИЛЬНОЙ СТРАНЫ



ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОСВОЕНИЯ ШЕЛЬФА МОРСКИЕ ПЛАВУЧИЕ КРАНЫ



О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДЕЛА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ В СУДОСТРОЕНИИ

А.Л. Рахманов, генеральный директор АО «ОСК»

Судостроение – одна из наиболее высокотехнологичных отраслей промышленности. Сегодня перед отраслью, как и перед всей страной, стоят задачи прорывного, инновационного развития. Создание нового облика конкурентоспособной морской техники невозможно без проведения НИР и ОКР, без создания научно-технического задела (НТЗ). Повышение эффективности как научных разработок, так и всего отечественного судостроения – важнейшая цель и необходимое условие создания флота будущего.

Недавно мы отметили 60-летие атомного ледокольного флота – вершины технологического прогресса отечественного и мирового судостроения. При создании атомохода «Ленин» был реализован и получен НТЗ, развитие которого вот уже более полувека обеспечивает нашей стране глобальное конкурентное преимущество. Именно такие прорывные решения нужны сегодня.

Для приоритизации работ по созданию опережающего НТЗ необходимо обратить внимание на основные тренды в мировом судостроении: энергоэффективность и экологичность, применение инновационных материалов и аддитивных технологий, разработка морских робототехнических

комплексов, интеллектуальных и безэкипажных систем управления объектами морской техники и, соответственно, формировать тематику НИОКР. Мы осознаем, что, к сожалению, уровень российских технологий часто не соответствует уровню ведущих зарубежных решений, что сказывается на производительности и стоимости работ. Нам важно постоянно вести мониторинг того, что делается мировыми лидерами в судостроении.

Высокое влияние на развитие отрасли оказывают растущая конкуренция в мировой экономике, а также глобальные геополитические, технологические и экологические риски.

В последние годы большинство сегментов мирового судостроительного рынка страдает от кризиса перепроизводства. Однако этот кризис оказал и положительное влияние на развитие новых технологий в судостроении:

- судовладельцы стали более требовательны к техническим характеристикам судов;
- ужесточилась конкуренция, и судостроители вынуждены прилагать дополнительные усилия к выработке и внедрению новых решений и инновационных технологий с целью получения новых заказов.

А как мы в рамках своей деятельности сможем обеспечить развитие отечественного судостроения в русле обозначенных направлений? Единственный ответ, который мы можем дать на сов-

ременные вызовы, – это внедрение инноваций. В сложившейся обстановке на первый план выходит ускоренное внедрение НТЗ и его результативность. Известно, что сроки создания морской техники весьма продолжительны. Так, период от начала проектных исследований до сдачи морской техники гражданского назначения средней сложности составляет обычно от трех до пяти лет и более.

Сложилось мнение, что начальным этапом жизненного цикла (ЖЦ) высокотехнологичных объектов нужно считать проектирование, а не научные исследования. Однако новую прорывную продукцию можно получить только на базе научных исследований. Если же эту задачу начинать решать уже на этапе проектирования, то технический уровень (новизну) удастся повысить незначительно – всего лишь на 10–15%. Это более чем скромный показатель для скорейшего достижения конкурентоспособности отечественной продукции на рынке судостроения.

Важно сформировать НТЗ до начала проектирования, обеспечив создание и реализацию соответствующего уровня готовности технологий для каждого этапа ЖЦ морской техники (рис. 1). Цифрами указаны уровни готовности технологий в соответствии с Таблицей 1.

Опыт свидетельствует, что создание высокотехнологичной морской техники без достаточного НТЗ приводит к увеличению сроков строительства

Продолжение см. на с.6



Рис. 1. Создание и реализация НТЗ на этапах жизненного цикла морской техники

Морской Вестник



Morskoy Vestnik

Ноябрь
2020

СПЕЦИАЛЬНЫЙ
ВЫПУСК №1(14)

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Редакционный совет

Председатель

А.Л. Рахманов, генеральный директор

АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Сопредседатели:

М.В. Александров, генеральный директор АО «ЦТСС»,

президент Ассоциации судостроителей СПб и ЛО

В.С. Никитин, президент Международного

и Российского НТО судостроителей

им. акад. А.Н. Крылова

Г.А. Туричин, ректор СПбГМУ

Члены совета:

М.А. Александров, директор

ЗАО «ЦНИИ СМ»

А.С. Бузаков, генеральный директор

АО «Адмиралтейские верфи»

Н.М. Вихров, генеральный директор

ЗАО «Канонерский судоремонтный завод»

Е.Т. Гамбашидзе, генеральный директор

АО «Системы управления и приборы»

В.Ю. Дорофеев, генеральный директор

АО «СПМБМ «Малахит»

А.А. Дьячков, генеральный директор

АО «Северное ПКБ»

Г.В. Егоров, генеральный директор

ООО «Морское инженерное бюро-СПб»

М.В. Захаров, генеральный директор

ООО «Пумори-северо-запад»

Э.А. Конов, директор ООО Издательство «Мор Вест»

А.А. Копанев, генеральный директор

АО «НПФ «Меридиан»

Г.А. Коржавин, научный руководитель

АО «Концерн «Гранит-Электрон»

А.В. Кузнецов, генеральный директор АО «Армалит»

Л.Г. Кузнецов, генеральный конструктор

АО «Компрессор»

Г.Н. Муру, генеральный директор АО «51 ЦКТИС»

Н.В. Орлов, председатель

Санкт-Петербургского Морского Собрания

А.Г. Родионов, генеральный директор

АО «Кронштадт Технологии»

С.В. Савков, генеральный директор

АО «Новая ЭРА»

В.А. Середохо, генеральный директор

АО «СНСЗ»

К.А. Смирнов, генеральный директор АО «МНС»

А.С. Соловьев, генеральный директор

ПАО «Выборгский судостроительный завод»

И.С. Суховинский, директор ООО «ВИНЕТА»

В.С. Татарский, генеральный директор АО «ЭРА»

А.Л. Ульянов, генеральный директор

ООО «Нева-Интернэшнл»

С.Г. Филимонов, генеральный директор

АО «Концерн Морфлот»

Г.Р. Цатуров, генеральный директор

ОАО «Пелла»

В.В. Шаталов, генеральный директор

АО КБ «Вымпел»

К.Ю. Шилов, генеральный директор

АО «Концерн «НПО «Аврора»

А.В. Шляхтенко, генеральный директор

АО «ЦМКБ «Алмаз»

И.В. Щербачев, генеральный директор

ООО ПКБ «Петробалт»

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУКЦИЯ СУДОВ

- А. Л. Рахманов.** О повышении эффективности внедрения научно-технического задела при реализации инновационных проектов в судостроении1
- В. Б. Бойцов, С. М. Ляшенко.** Стратегия технического развития Группы ОСК9
- С. М. Ляшенко, И. Б. Гаранкин, Д. Ю. Клешиёв.** Управление инновационными проектами в обществах Группы ОСК..... 12
- Ю. С. Прохоров, А.А. Егорова.** Цифровая трансформация группы ОСК. Оценка подходов к ее реализации 15
- В. Ф. Белоненко, О. М. Капранов, А. В. Лицис, В. С. Никитин.** Научно-технический задел как основа опережающего развития военно-морской техники..... 17
- С. М. Ляшенко, П. Н. Гузанов, С. В. Антушева, Н. А. Булюкина, И. Б. Гаранкин.** Серия пассажирских судов «Соталия»: новые технические решения 20
- Д. О. Семенов, Р. В. Соколов, Г. С. Гурин, Л. А. Рогова.** Проект «Витязь» 22
- Д. О. Семенов, А. В. Ткачев, А. С. Гончаров, Л. Н. Касикова.** Комплекс АНПА «Юнона» модификация 1..... 24
- Д. О. Семенов, Б. А. Лускин, Е. В. Аксенова.** Автономный необитаемый подводный аппарат тяжелого класса..... 27
- И. В. Вильнит, М. В. Макаров, Е. Е. Торопов.** Морская техника для разведки и добычи полезных ископаемых в Арктике и необходимость создания новых конструктивных материалов 28
- В. В. Кузьмин, М. С. Варакин.** МЛСП «Приразломная» – уникальная нефтедобывающая платформа 31
- И. Л. Благовидова, А. С. Тертышников.** Оценка глобальных ледовых нагрузок на ледостойкую стационарную платформу на месторождении Каменномысское-море..... 34
- М. В. Ковалев, И. Л. Благовидова, А. С. Тертышников, А. А. Добродеев, К. Е. Сазонов.** Перспективная плавучая установка для разведочного бурения в арктических морях..... 38
- В. В. Руденко, И. Л. Благовидова, А. В. Пьянов, Н. С. Дьячук.** Опыт проектирования и проведения морских операций при строительстве офшорных объектов..... 41
- В. Ю. Дорофеев, О. Г. Власов, А. В. Круглов, Ю. М. Трапезников.** Опытный образец подводного кустового манифольда 46
- В. Ю. Дорофеев, А. С. Серебренников, Д. В. Сидоренков.** Атомный подводный газозов 48
- С. А. Милавин.** Арктическое направление в проектах КБ «Вымпел» 50
- А. А. Алексашии, В. А. Волков, О. Я. Тимофеев.** Обоснование концепции создания арктических инфраструктурных систем на основе судостроительных технологий..... 54
- М. С. Руденко, С. Н. Степанов.** Перспективное научно-экспедиционное судно для Арктики и Антарктики..... 58
- К. Г. Голубев, А. К. Леошкин, А. Г. Смирнов.** «Алмаз» продолжает петербургские традиции создания плавучих судоподъемных сооружений..... 60
- В. Ф. Ленский, Н. В. Амосова, В. А. Матвеев, И. Л. Благовидова.** Проектирование и строительство морских плавучих кранов грузоподъемностью 400 и 700 тонн..... 66



В.А. Середохо, С.М. Макеев, С.Г. Потапов, Е.В. Козлов. Практический опыт разработки безэкипажного катера пр.«Сканда» для кораблей пр. 12700 69

С.В. Антушева. Применение комплексного подхода к созданию судовых интерьеров 72

ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ, СУДОРЕМОНТА И ОРГАНИЗАЦИЯ СУДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Г. Варлахов. Применение концепции распределенной верфи при реализации проектов строительства судов и морской техники, реализуемых Группой ОСК... 73

А.С. Соловьев. Крупноблочное строительство судов как решение больших и сложных проектов в судостроении 76

В.А. Некрасов. Уникальный стендовый испытательный комплекс АО «ПО «Севмаш» 79

В.А. Середохо, С.М. Макеев, Н.А. Пиликов. Формирование и накопление цифровых активов в виртуальном рабочем пространстве предприятия. Проект «Цифровая верфь» 81

О.В. Сихимбаев, П.О. Сидоров, С.В. Гавришев, Г.В. Юрченко, Н.В. Мельников. Подготовка электромонтажного производства как частный случай цифровизации АО «Северное ПКБ» в рамках управления жизненным циклом заказа 83

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ

Я.Ю. Соловьёва. Применение аддитивных технологий при создании судовых двигателей 87

А.Ю. Спиридонов, С.М. Ляшенко, А.А. Прохода, П.Г. Зобов. Практический опыт применения аддитивных технологий в отечественном судостроении 90

А.В. Шитоев, А.С. Ионкин. Обзор водометных подруливающих устройств с Т-образным каналом от мировых производителей пропульсивных систем 94

С.А. Захаров. Методика экспериментальной отработки современных движительных комплексов для автономных необитаемых подводных аппаратов 97

С.С. Кургузов. Разработка микропривода рулевого механизма роботизированного автономного малогабаритного подводного аппарата 99

С.Г. Дегтярева, В.В. Горда. Повышение маневровых характеристик движителя автономного необитаемого подводного аппарата 101

В.В. Горда, А.В. Ванифатьев, С.Г. Дегтярева, В.А. Тарасев. Движительно-рулевой комплекс с электроприводом для подводного аппарата 102

В.В. Горда, Я.Ю. Соловьёва. Движительные комплексы на базе погружных электродвигателей открытого исполнения 104

Н.В. Земцовский, А.И. Лычаков. Особенности расчета частот свободных колебаний винторулевых колонок 105

А.А. Хабаров. Исследование, разработка и освоение производства инновационных подшипников для судостроения и комплексов нефтедобычи 107

Ю.Б. Яненко, М.С. Бочарников. Водородный тренд в судостроении. Новый импульс 109

К.Н. Куликов, Р.А. Низамутдинов. Разработка инженерных решений по утилизации судов атомного технологического обслуживания гражданского флота 112

А.А. Саркисов, С.В. Антипов, В.Л. Высоцкий, В.С. Никитин, Г.С. Сосунов. Реабилитация арктической акватории от затопленных ядерных и радиационно опасных объектов – актуальная задача развития Арктики 116

Главный редактор

Э.А. Конов, канд. техн. наук

Зам. главного редактора

Д.С. Глухов

Тел./факс: (812) 6004586

Факс: (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Редакционная коллегия

Г.Н. Антонов, д-р. техн. наук

А.И. Гайкович, д-р. техн. наук, проф.

Е.А. Горин, д-р. экон. наук

В.Н. Илюхин, д-р. техн. наук, проф.

Б.П. Ионов, д-р. техн. наук, проф.

Д.В. Казунин, д-р. техн. наук

Р.Н. Караев, канд. техн. наук

Ю.Н. Кормилицин, д-р. техн. наук, проф.

А.И. Короткин, д-р. техн. наук, проф.

П.А. Кротов, д-р. истор. наук, проф.

П.И. Малеев, д-р. техн. наук

Ю.И. Нечаев, д-р. техн. наук, проф.

Ю.Ф. Подоплёкин, д-р. техн. наук, проф., акад. РАН

В.Н. Половинкин, д-р. техн. наук, проф.

А.В. Пустошный, д-р. техн. наук, проф., чл.-корр. РАН

А.А. Родионов, д-р. техн. наук, проф.

К.В. Рождественский, д-р. техн. наук, проф.

В.И. Черненко, д-р. техн. наук, проф.

Н.П. Шамапов, д-р. техн. наук, проф.

Редакция

Тел./факс: (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Редактор

Т.И. Ильичёва

Дизайн, верстка

С.А. Кириллов, В.Л. Колпакова

Адрес редакции

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Журнал зарегистрирован Министерством РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12047 от 11 марта 2002 г.

Учредитель-издатель

ООО Издательство «Мор Вест»,

190000, Санкт-Петербург,

наб. реки Мойки, 84, пом. 13Н

Электронная версия журнала

размещена на сайте ООО «Научная электронная библиотека» www.elibrary.ru и включена

в Российский индекс научного цитирования

Решением Президиума ВАК журнал «Морской вестник»

включен в перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть

опубликованы основные научные результаты диссертаций

на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

Подписка на журнал «Морской вестник»

(индекс 36093) может быть оформлена по каталогу

Агентства «Роспечать» или непосредственно

в редакцию журнала через издательство «Мор Вест»

Отпечатано в типографии «Премиум-пресс»

Тираж 500 экз. Заказ № 1446

Ответственность за содержание информационных и

рекламных материалов, а также за использование

сведений, не подлежащих публикации в открытой

печати, несут авторы и рекламодатели. Перепечатка

допускается только с разрешения редакции



Editorial Council

Chairman

A.L. Rakhmanov, General Director
of JSC United Shipbuilding Corporation

Co-chairman:

M.V. Alexandrov, General Director JSC SSTC,
President of the Association
of Shipbuilders of St. Petersburg and Leningrad Region

V.S. Nikitin,

President of the International
and Russian Scientific and Technical Association
of Shipbuilders named after Acad. A.N. Krylov

G.A. Turichin, Rector SPbSMTU

Council Members:

M.A. Alexandrov, Director JSC CRIME

A.S. Buzakov, General Director

JSC Admiralty Shipyards

A.A. Diachkov, General Director

JSC Severnoye Design Bureau

V.Yu. Dorofeev, General Director

JSC SPMDB Malachite

G.V. Egorov, General Director

JSC Marine Engineering Bureau Spb

S.G. Filimonov, General Director

JSC Concern Morflot

E.T. Gambashidze, General Director

JSC Control Systems and Instruments

E.A. Konov, Director

JSC Publishing House Mor Vest

A.A. Kopanov, General Director

JSC SPF Meridian

G.A. Korzhavin, Scientific Director

JSC Concern Granit-Elektron

A.V. Kuznetsov, General Director JSC Armalit

L.G. Kuznetsov, General Designer

JSC Compressor

G.N. Muru, General Director JSC 51 CDTISR

N.V. Orlov, Chairman

St. Petersburg Marine Assembly

A.G. Rodionov, General Director

JSC Kronstadt Technologies

S.V. Savkov, General Director

JSC NE

I.V. Scherbakov, General Director JSC PDB Petrobalt

V.A. Seredokho, General Director JSC SNSZ

V.V. Shatalov, General Director

JSC DO Vympel

K.Yu. Shilov, General Director

JSC Concern SPA Aurora

A.V. Shlyakhtenko, General Director JSC Almaz CMDB

K.A. Smirnov, General Directors JSC MNS

A.S. Solov'yev, General Director

PJSC Vyborg Shipyard

I.S. Sukhovinsky, Director JSC VINETA

V.S. Tatarsky, General Director JSC ERA

G.R. Tsaturov, General Director

OJSC Pella

A.L. Ulyanov, General Director

LLC Neva International

N.M. Vikhrov, General Director

JSC Kanonersky Shiprepairing Yard

M.V. Zakharov, General Director

JSC Pumor-north-west

CONTENTS

SHIP DESIGN AND CONSTRUCTION

- A. L. Rakhmanov.** On increasing the efficiency of the introduction of scientific and technical groundwork in the implementation of innovative projects in shipbuilding..... 1
- V. B. Boytsov, S. M. Lyashenko.** Strategy of technical development of the USC group9
- S. M. Lyashenko, I. B. Garankin, D. Yu. Kleshnyov.** Management of innovative projects in the companies of the USC Group 12
- Yu. S. Prokhorov, A. A. Egorova.** Digital transformation of the USC group. Assessment of approaches to its implementation..... 15
- V. F. Belonenko, O. M. Kapranov, A. V. Litsis, V. S. Nikitin.** Scientific and technical groundwork as the basis for the advanced development of naval technology 17
- S. M. Lyashenko, P. N. Guzanov, S. V. Antusheva, N. A. Bulyukina, I. B. Garankin.** The Sotalia series of passenger ships: new technical solutions 20
- D. O. Semenov, R. V. Sokolov, G. S. Gurin, L. A. Rogova.** The Vityaz project 22
- D. O. Semenov, A. V. Tkachev, A. S. Goncharov, L. N. Kasikova.** Yunona AUV complex modification 1 24
- D. O. Semenov, B. A. Luskin, E. V. Aksenova.** Autonomous unmanned underwater vehicle of heavy class..... 27
- I. V. Vil'nit, M. V. Makarov, E. E. Toropov.** Marine equipment for exploration and production of minerals in the Arctic and the need to create new structural materials ... 28
- V. V. Kuzmin, M. S. Varakin.** OIRFP Prirazlomnaya is a unique oil production platform..... 31
- I. L. Blagovidova, A. S. Tertyshnikova.** Assessment of global ice loads on the ice-resistant stationary platform of the Kamennomyskoe-more field 34
- M. V. Kovalev, I. L. Blagovidova, A. S. Tertyshnikova, A. A. Dobrodeev, K. E. Sazonov.** Promising floating rig for exploration drilling in the Arctic seas..... 38
- V. V. Rudenko, I. L. Blagovidova, A. V. Pyanov, N. S. Dyachuk.** Experience in the design and conduct of offshore operations in the construction of offshore facilities 41
- V. Yu. Dorofeev, O. G. Vlasov, A. V. Kruglov, Yu. M. Trapeznikov.** A prototype of an underwater cluster manifold 46
- V. Yu. Dorofeev, A. S. Serebrennikov, D. V. Sidorenkov.** Nuclear underwater gas carrier 48
- S. A. Milavin.** Arctic direction in the projects of a Vympel DB 50
- A. A. Aleksashin, V. A. Volkov, O. Ya. Timofeev.** Justification of the concept of creating Arctic infrastructure systems based on shipbuilding technologies 54
- M. S. Rudenko, S. N. Stepanov.** Promising scientific expedition vessel for the Arctic and Antarctic 58
- K. G. Golubev, A. K. Levoshkin, A. G. Smirnov.** «Almaz» continues the St. Petersburg traditions of creating floating ship-lifting structures 60
- V. F. Lensky, N. V. Amosova, V. A. Matveenko, I. L. Blagovidova.** Design and construction of sea floating cranes with lifting capacity of 400 and 700 tons 66
- V. A. Seredokho, S. M. Makeev, S. G. Potapov, E. V. Kozlov.** Practical experience in the development of an Skanda unmanned boat project for project 12700 ships 69
- S. V. Antusheva.** Application of an integrated approach to the creation of ship interiors 72



TECHNOLOGY OF SHIPBUILDING, SHIP REPAIR AND ORGANISATION OF SHIPBUILDING

<i>A. G. Varlakhov. Application of the concept of a distributed shipyard in the implementation of projects for the construction of ships and marine equipment implemented by the USC Group.....</i>	73
<i>A. S. Solov'yev. Large-block construction of ships as a solution to large and complex projects in shipbuilding.....</i>	76
<i>V. A. Nekrasov. Unique bench test complex of PO Sevmash JSC.....</i>	79
<i>V. A. Seredokho, S. M. Makeev, N. A. Pilikov. Formation and accumulation of digital assets in the virtual workspace of the enterprise. Digital Shipyard Project</i>	81
<i>O. V. Sikhimbaev, P. O. Sidorov, S. V. Gavrishov, G. V. Yurchenko, N. V. Melnikov. Preparation of electrical installation production as a special case of digitalization of Severnoye DB JSC in the framework of order life cycle management</i>	83

SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS

<i>Ya. Yu. Solov'yova. Application of additive technologies in the creation of ship propellers</i>	87
<i>A. Yu. Spiridonov, S. M. Lyashenko, A. A. Prokhoda, P. G. Zobov. Practical experience of using additive technologies in domestic shipbuilding.....</i>	90
<i>A. V. Shitoev, A. S. Ionkin. Overview of jet thrusters with T-shaped channel from world manufacturers of propulsion systems.....</i>	94
<i>S. A. Zakharov. Methodology for experimental development of modern propulsion systems for autonomous unmanned underwater vehicles.....</i>	97
<i>S. S. Kurguzov. Development of a microdrive steering mechanism robotic autonomous small-sized underwater vehicle.....</i>	99
<i>S. G. Degtyaryova, V. V. Gorda. Improving the maneuvering characteristics of the propulsion unit of an autonomous unmanned underwater vehicle</i>	101
<i>V. V. Gorda, A. V. Vanifat'iev, S. G. Degtyaryova, V. A. Taraseev. Propulsion and steering complex with an electric drive for an underwater vehicle.....</i>	102
<i>V. V. Gorda, J. Yu. Solovyova. Propulsion systems based on open-type submersible electric motors</i>	104
<i>N. V. Zemtsovsky, A. I. Lychakov. Features of calculating the frequencies of free vibrations of rudder propellers</i>	105
<i>A. A. Khabarov. Research, development and development of production of innovative bearings for shipbuilding and oil production complexes</i>	107
<i>Yu. B. Yanenko, M. S. Bocharnikov. Hydrogen trend in shipbuilding. New impulse</i>	109
<i>K. N. Kulikov, R. A. Nizamutdinov. Development of engineering solutions for the disposal of ships of nuclear technological service of the civil fleet</i>	112
<i>A. A. Sarkisov, S. V. Antipov, V. L. Vysotsky, V. S. Nikitin, G. S. Sosunov. Rehabilitation of the Arctic water area from dumped nuclear and radiation hazardous objects – an urgent task of the development of the Arctic</i>	116

Editor-in-Chief

E.A. Konov, Ph. D.

Deputy Editor-in-Chief

D.S. Glukhov

Phone/Fax: +7 (812) 6004586

Fax: +7 (812) 3124565

E-mail: morvest@gmail.com

www.morvest.ru

Editorial Collegium

G.N. Antonov, D. Sc.

V.I. Chernenko, D. Sc., Prof.

A.I. Gaikovich, D. Sc., Prof.

E.A. Gorin, D. Sc.

V.N. Ilukhin, D. Sc., Prof.

B.P. Ionov, D. Sc., Prof.

D.V. Kazunin, D. Sc.

R.N. Karaev, Ph. D.

Yu.N. Kormilitsin, D. Sc., Prof.

A.I. Korotkin, D. Sc., Prof.

P.A. Krotov, D. Sc., Prof.

P.I. Maleev, D. Sc.

Yu.I. Nechaev, D. Sc., Prof.

Yu.F. Podoplyokin, D. Sc., Prof., member of the Academy of Rocket and Artillery of Sciences of Russia

V.N. Polovinkin, D. Sc., Prof.

A.V. Pustoshny, D. Sc., Prof., corresponding member of the Academy of Sciences of Russia

A.A. Rodionov, D. Sc., Prof.

K.V. Rozhdstvensky, D. Sc., Prof.

N.P. Shamanov, D. Sc., Prof.

Editorial staff

Phone/Fax +7 (812) 6004586

E-mail: morvest@gmail.com

Editor

T.I. Ilyichiova

Design, imposition

S.A. Kirillov, V.L. Kolpakova

Editorial office

office 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, St. Petersburg

The magazine is registered by RF Ministry of Press,

TV and Radio Broadcasting and Means of Mass

Communications, Registration Certificate

ПИ № 77-12047 of 11 march 2002

Founder-Publisher

JSC Publishing House «Mor Vest»

office 13H, 84, Nab. r. Moyki,

190000, St. Petersburg

The magazine electronic version

is placed on the site LLC «Nauchnaya elektronnyaya

biblioteka» www.e-library.ru and is also included to the

Russian index of scientific citing

By the decision of the Council of VAK the Morskoy Vestnik magazine is entered on the list of the leading scientific magazines and editions published in the Russian Federation where basic scientific outcomes of doctoral dissertations shall be published.

www.perechen.vak2.ed.gov.ru

You can subscribe to the Morskoy Vestnik magazine

using the catalogue of «Rospechat» agency (subscription

index 36093) or directly at the editor's office via the

Morvest Publishing House

Printed in the Printing-House «Premium-press»

Circulation 500. Order № 1446

Authors and advertisers are responsible for contents of information and advertisement materials as well as for use of information not liable to publication in open press.

Reprinting is allowed only with permission of the editorial staff

В настоящее время выявлены многочисленные перспективные нефтегазовые месторождения в Арктическом регионе. Одна из основных сложностей освоения Арктики – суровые ледовые условия, которые должны выдерживать объекты обустройства месторождений. Корректная оценка глобальных нагрузок, возникающих при взаимодействии платформ с ледовыми образованиями, критически важна для выбора наиболее оптимальной конструкции платформы и способа ее удержания на грунте. В настоящей статье рассмотрены подходы к оценке глобальной ледовой нагрузки на примере ледостойкой стационарной платформы для освоения месторождения Каменномысское-море.

Это газовое месторождение располагается в акватории Обской губы Карского моря, в районе мыса Каменный (рис. 1).

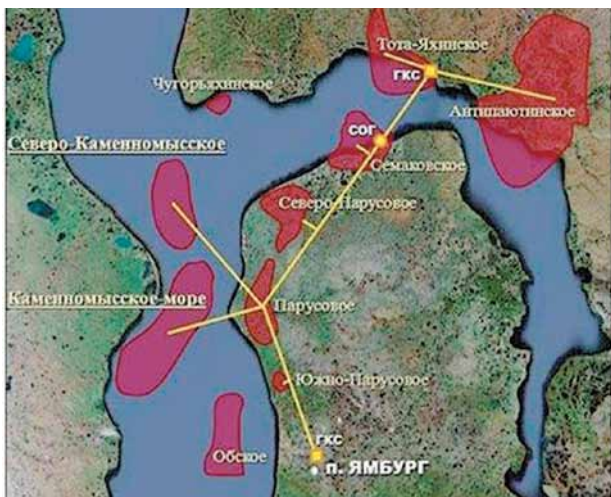


Рис. 1. Расположение месторождения Каменномысское-море

Данный регион отличается сложными природными условиями: малые глубины (6–15 м) сочетаются с тяжелыми ледовыми условиями (длительность ледового периода – до 10 месяцев, толщина льда – до 2,5–3,0 м) и значительными колебаниями уровня воды как в безледовый, так и в ледовый периоды.

Месторождение будет осваиваться с помощью ледостойкой стационарной буровой платформы (ЛСП «А») и трех блок-кондукторов.

Опорное основание ЛСП «А» представляет собой сооружение максимальными размерами в основании 139,2×69,0 м



Рис. 2. Общий вид ЛСП «А»

ОЦЕНКА ГЛОБАЛЬНЫХ ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК НА ЛЕДОСТОЙКУЮ СТАЦИОНАРНУЮ ПЛАТФОРМУ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КАМЕННОМЫССКОЕ-МОРЕ

*И.Л. Благовидова, зам. начальника отдела,
А.С. Тертышников, начальник сектора, АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь,
контакт. тел. +7(978) 736 1550, +7(978) 734 5643*

и с наклонными боковыми гранями в ледорезной части платформы. Угол наклона граней к горизонту составляет 51° (рис. 2).

Анализ природных условий в районе установки ЛСП «А» выполнен на основании архивных материалов гидрометеорологических наблюдений, а также численного моделирования параметров ледовой обстановки и результатов изысканий в районе м. Каменный, выполненных в период апрель–июль 2014 г. [1–3].

В южной части Обской губы в районе м. Каменный можно отметить следующие стадии присутствия ледяного покрова и характерные для них явления:

Начало ледообразования происходит в октябре и сопровождается появлением первичных форм плавучего льда. Дрейф льда осуществляется преимущественно под действием ветра и определяется его направлением и силой.

Образование припая на рассматриваемом участке Обской губы происходит в среднем в первой декаде ноября. При этом первичные формы льда перерастают в ледяной заберег, а затем в припай, занимая всю акваторию. Возможны взлом образовавшегося припая, образование торосов и стамух.

Вскрытие. Интенсивное разрушение ледяного покрова в Обской губе происходит под комплексным воздействием гидрометеорологических факторов и начинается с перехода температуры воздуха к положительным значениям, который, по средним многолетним данным, наступает в первой декаде июня. Взлом припая в районе м. Каменный в соответствии с этими же данными в среднем наблюдается в третьей декаде июня. В этот период отмечается дрейф сплоченного льда 9–10 баллов в основном под действием стоковых течений и преобладающих ветров южных направлений.

Полное очищение ото льда акватории Обской губы в регионе происходит, по средним многолетним наблюдениям, во второй декаде июля.

Таким образом, присутствие ледяных образований в точке установки ЛСП «А» в среднем наблюдается с октября по июль.

Лед в районе м. Каменный пресный. Средние и экстремальные толщины льда по результатам измерений в период 1950 – 1994 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1
Средние и экстремальные толщины льда, м,
на конец месяца (1950 – 1994 гг.)

Толщина льда	Месяц							
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя	0,21	0,63	0,94	1,24	1,43	1,60	1,67	1,61
Минимальная	0,08	0,27	0,57	0,86	0,99	1,08	1,10	1,10
Максимальная	0,38	0,93	1,38	1,64	2,02	2,10	2,11	2,35

Натурные измерения прочности льда, выполненные в рамках экспедиции ААНИИ в район мыса Каменный в апреле 2014 г., позволили получить следующие оценки крупномасштабной прочности льда:

- прочность льда при сжатии параллельно поверхности ледяного покрова – 2,27 МПа;
- прочность льда при изгибе – 0,78 МПа.

Как указывается в [2], типичной чертой ледяного покрова Обской губы, в особенности западного побережья, является наличие протяженных гряд торосов, распространяющихся с севера на юг и повторяющихся в общих чертах конфигурацию береговой черты. Расстояние между такими грядами составляет 1–2 км и увеличивается по мере удаления от берега до 5–7 км. Такие «магистральные» гряды торосов сопровождаются, как правило, трещиной, которая проходит в 5–10 м от гряды.

Характеристики дрейфа ледяного покрова в точке установки ЛСП «А» определяются ветром и течением. При этом анализ характеристик дрейфа буев, установленных на ледяном покрове в апреле 2014 г., и данных метеостанции показал, что дрейф ледяных образований в данном районе находится в прямой зависимости от направления и скорости преимущественно дующего над акваторией ветра [3].

Роза дрейфа имеет асимметричную форму с преобладающими северными направлениями распространения дрейфа. Наиболее часто повторяющимися направлениями являются С, ССВ, ССЗ, ЮЮВ, ЮЮЗ, Ю. В среднем значения модуля скорости достигали 0,15–0,16 м/с при направлении дрейфа ССЗ, СЗ. Максимальные значения достигали 0,49–0,62 м/с при ССЗ направлении распространения.

Колебания уровня в исследуемом районе м. Каменный определяются приливами и ходом атмосферного давления в месте наблюдения. Приливы носят полусуточный характер, а колебания атмосферного давления имеют более продолжительный период. Внутримесячный размах колебаний в зимний период может достигать 1,5 м и более. При этом следует отметить, что согласно выполненным в период с 5 апреля по 14 апреля 2014 г. изысканиям, размах колебаний уровня в течение суток может достигать почти 0,2 м, а за период наблюдений (10 дней) превысил 0,3 м.

На основании информации о ледовых режимах Обской губы, представленной в Техническом отчете [1] ААНИИ, сценарии взаимодействия платформы с ледовыми образованиями целесообразно рассмотреть во временной последовательности:

- взаимодействие с начальными формами образующегося льда;
- взаимодействие с дрейфующими ледяными полями ровного и торосистого льда в осенне-зимний период перед становлением припая;
- взаимодействие с неокрепшим припаем в начале зимнего периода, когда еще возможны его взлом и подвижки;
- взаимодействие с установившимся (неподвижным) припаем в зимний период (в январе-мае);
- взаимодействие с припаем в весенний период перед его взломом;
- взаимодействие с дрейфующими ледяными полями, образующимися в весенне-летний период после взлома припая.

Ледообразование в акватории начинается с появления первичных плавучих форм льда в виде сала, игл, шуги, которые дрейфуют в зависимости от направления и скорости ветра. Очевидно, что для начальных видов льда характерны малое значение толщины льда и небольшая его прочность. Учитывая этот факт, взаимодействие платформы с начальными формами льда не рассматривается ввиду малости возникающих нагрузок.

В ноябре, с появлением однолетних тонких льдов, на акватории начинается активный процесс торошения льда. Плавающий лед под воздействием ветра и течений дрейфует, при этом в ряде случаев претерпевает сжатие, приводящее к его деформации, т. е. разрушению и нагромождению, а значит, и образованию торосов.

Очевидно, что сначала ровный плавающий лед, а затем и образовавшиеся торосы будут взаимодействовать с ЛСП «А», причем платформа будет служить преградой для движения льда и инициировать образование новых торосов и стамух.

Характер взаимодействия с дрейфующими ледяными полями в осенне-зимний период зависит от направления, скорости и длительности периода дрейфа льда. Учитывая габаритные размеры платформы, а также малую глубину воды, можно говорить о неизбежности нагромождения перед платформой битого льда, образующегося при разрушении льдин вначале о борт платформы, а затем при взаимодействии льдин между собой на внешней границе нагромождения битого льда у борта. При этом нагрузка на платформу может соответствовать непосредственно нагрузке от ровного ледяного поля, нагрузке от тороса (если воздействует торосистое поле) или нагрузке, которая будет аккумулирована растущим перед платформой нагромождением льда вплоть до момента касания им дна. После касания льдом грунта благодаря возникающим силам трения нагрузка на платформу более не увеличивается.

С января до мая южная часть акватории Обской губы покрыта достаточно устойчивым припаем [1]. Данные о ледовом режиме в месте установки ЛСП «А», в частности, достаточно существенные колебания уровня воды, позволяют исключить сценарий вмерзания опорного основания в ледяной покров с последующей подвижкой ледяного поля. Этот сценарий не рассматривается как определяющий проектные уровни ледовых нагрузок ЛСП «А».

Конфигурация и расположение ЛСП «А» относительно берегов в Обской губе позволяет также не рассматривать сценарий глобального термического воздействия льда на опорное основание, поскольку источники отмечают наличие магистральной трещины в ледовом покрове, идущей от м. Каменный к Новому порту.

В весенний период перед взломом припая лед отличается несколько большей толщиной, однако значительно меньшей прочностью, чем зимой. В дальнейшем, с повышением температуры воздуха и воды, прочность льда начинает быстро снижаться, и при освобождении акватории ото льда воздействие полей дрейфующего льда не приводит к возникновению значительных глобальных нагрузок на платформу.

Учитывая вышеизложенное, в качестве основного сценария, определяющего проектный уровень глобальных ледовых нагрузок, принято взаимодействие платформы с торосистым льдом в осенне-зимний период перед становлением припая.

На акватории ЛСП «А» располагается вдоль губы. Анализ ледовой обстановки в Обской губе показывает, что под действием ветров возможно смещение ледового покрова в различных направлениях, в том числе и поперечном. Поэтому ледовое воздействие рассматривается как на широкую, так и на узкую стороны опорного основания (рис. 3).

При определении ледовых нагрузок отдельно не рассматривались сценарии предельной движущей силы и предельной кинетической энергии, поскольку суммарные размеры ледяных полей охватывают практически всю прилегающую акваторию Обской губы, что составляет значительную площадь. Таким образом, под воздействием на ледяной покров внешних факторов (ветра, течения) реа-

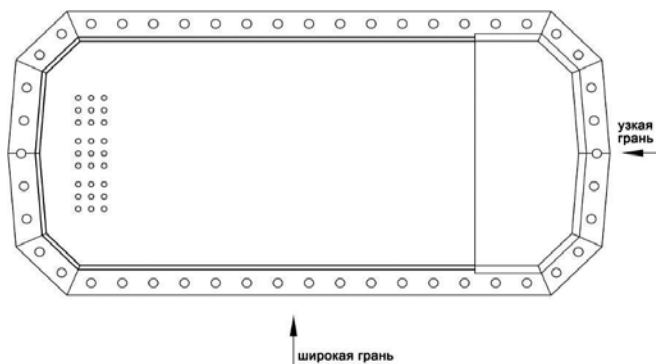


Рис. 3. Направления воздействия ледовой нагрузки

лизуется сценарий разрушения льда по всей эффективной ширине опорного основания («пределного напряжения»).

Методики определения глобальных ледовых нагрузок при различных сценариях взаимодействия платформы с ледовыми образованиями представлены в следующих основных нормативных документах:

- СП 38.13330.2018 «СНиП 2.06.04–82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [4];
- Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ Российского морского регистра судоходства (РМРС) [5];
- ISO 19906 – Petroleum and natural gas industries. – Arctic offshore structure. International Organization for Standardization [6].

На основании анализа методик указанных документов можно отметить следующее:

- основным нормативным документом для расчета внешних нагрузок на гидротехнические сооружения является СП 38.13330.2018, однако предложенная в нем методика не в полной мере учитывает особенности взаимодействия наклонных сооружений со льдом, коэффициенты влияния геометрических размеров представлены в табличной форме, что приводит к резкому изменению величины нагрузки на границах табличных диапазонов;
- Правила РМРС [5] не предусматривают определение ледовых нагрузок от дрейфующего льда на рассматриваемый тип опорных оснований (сооружения с плоской наклонной гранью), методика Правил предназначена для конических сооружений;
- международный стандарт ISO 19906 предлагает методы определения ледовых нагрузок, основанные на современном мировом уровне знаний этого вопроса. В частности, для определения ледовых нагрузок от дрейфующего льда на сооружения с протяженной наклонной гранью рекомендуется использовать апробированные методы Кроасдейла (нагрузки от ровного льда и консолидированного слоя тороса) и Меллора–Долгополова (нагрузки от кила тороса).

Дополнительно оценка глобальной ледовой нагрузки выполнена на основании метода Кроасдейла. При взаимодействии наклонной поверхности с ледяной пластиной, трещинообразование при изгибе ледяного покрова может быть описано с использованием теории изгиба балки, лежащей на упругом (Винклеровском) основании. Метод Кроасдейла учитывает трехмерные эффекты воздействия ледяного покрова, а также наличие ледяных обломков на поверхности конструкции. Процесс взаимодействия со льдом широкого сооружения с наклонной гранью имеет циклический характер. Начальные этапы этого процесса показаны на рис. 4.

Результаты расчетов глобальной ледовой нагрузки от торосистого льда при воздействии дрейфующего льда с ши-

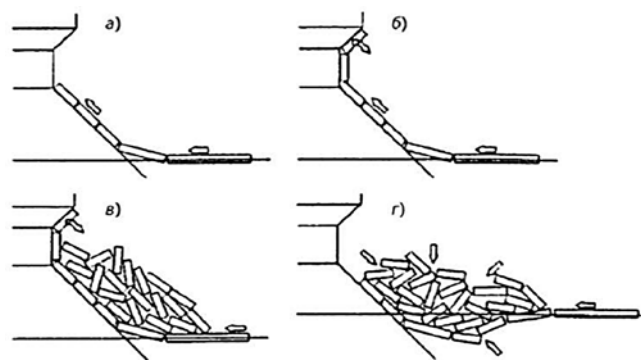


Рис. 4. Схема взаимодействия ледостойкой платформы с плоскими наклонными гранями и дрейфующего ровного льда (модель Кроасдейла [7]: а – разрушение изгибом и наползание блоков льда; б – опрокидывание блоков льда на ледяное поле; в – формирование надводного нагромождения; г – провал нагромождения и повторение цикла

рокой и узкой стороны платформы оценены по различным методикам (табл. 2). Поскольку возможны значительные колебания уровня моря, оценка выполнена также для разных глубин.

Таблица 2

Глобальные ледовые нагрузки на опорное основание ЛСП

Параметр	Значение						
	Осадка, м		Нагрузка, МН				
Осадка, м	4,62		5,02				7,03
Нагрузка, МН	гориз.	верт.	гориз.	верт.	гориз.	верт.	
Воздействие на широкую сторону опорного основания							
СП 38.13330.2018	225,2	130,2	237,0	137,3	234,6	135,0	
ISO 19906:2010	212,1	134,9	210,1	132,9	207,5	135,9	
Авт. метод Кроасдейла	253,0	154,0	260,0	158,0	232,0	143,0	
Воздействие на узкую сторону опорного основания							
СП 38.13330.2018	135,1	78,4	146,7	85,3	141,9	82,0	
ISO 19906:2010	105,0	66,7	103,9	65,6	100,2	65,5	
Авт. метод Кроасдейла	126,0	77,0	130,0	79,0	113,0	70,0	

Как видно из табл. 2, изменение глубины не оказывает значительного влияния на значение действующей нагрузки. При изменении глубины примерно на 2,4 м изменение значения действующей нагрузки находится в пределах 10 %.

При выборе нормативных значений нагрузки следует принимать во внимание, что метод Кроасдейла учитывает механизм взаимодействия с ледовыми образованиями широких сооружений с наклонной гранью – особенности разрушения льда на наклонной грани и формирования нагромождений у сооружения. Таким образом, метод Кроасдейла более физически обоснован по сравнению с методикой СП 38.13330.2018.

С учетом вышеизложенного, в качестве расчетных для выбора параметров свайного крепления приняты нагрузки, полученные по методу Кроасдейла.

Важным является определение точки приложения глобальной ледовой нагрузки. Аппликаты точек приложения горизонтальной силы (см ниже) были оценены на основании рекомендаций нормативных документов и общего принципа формирования ледовых нагромождений:

- при малой глубине формируются значительные надводные нагромождения, вклад подводной части ледового образования в общую нагрузку относительно невелик.



Рис. 5. Торжественная церемония закладки опорного основания ЛСП «А» для освоения месторождения Каменномысское-море

Точка приложения суммарной силы располагается высоко от ватерлинии;

- с увеличением глубины увеличивается вклад подводной части нагромождения в суммарную нагрузку, точка приложения располагается ближе к ватерлинии.

Аппликата точки приложения горизонтальной составляющей глобальной ледовой нагрузки

Глубина, м	Аппликата, м
4,62	5,5
5,02	5,8
7,03	7,3

Точка приложения вертикальной силы с ошибкой в безопасную сторону принята в точке пересечения контура опорного основания, взаимодействующего со льдом, и ватерлинии.

Следует отметить, что при взаимодействии протяженных сооружений с ледовыми образованиями из-за неоднородности ледяного покрова и неравномерности процессов разрушения льда возникает достаточно значительный момент вращения относительно вертикальной оси (рыскание). В частности, в работе [8] показано, что эксцентриситет приложения горизонтальной силы может достигать 15 % от ширины сооружения по ватерлинии (эффективной ширины ледового воздействия). Этот эффект наблюдался и исследовался при проведении модельных экспериментов. Эксцентриситет приложения горизонтальной нагрузки необходимо учитывать при расчете свайного крепления платформы.

Таким образом, можно отметить, что при проектировании платформы для освоения месторождения Каменномысское-море учитывались крайне жесткие требования к обеспечению ее безопасности при воздействии ледовых образований. В настоящий момент продолжается разработка рабочей конструкторской документации для платформы ЛСП «А».

25 июня 2020 г. в Астраханской области на верфи АО «Южный центр судостроения и судоремонта» (завод «Красные баррикады», входящий в состав ОСК, состоялась торжественная церемония закладки опорного основания платформы (рис. 5). Также в строительстве платформы принимают участие входящие в ОСК заводы Северодвин-

ка – ОАО «ПО «Севмаш» и АО «Центр судоремонта «Звездочка». Сферы ответственности заводов четко разделены и контролируются генеральным проектировщиком. После изготовления все части будут доставлены на сборочную верфь, откуда далее будет транспортированы на точку эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технический отчет ФГБУ «ААНИИ» по инженерно-гидрометеорологическим и ледовым изысканиям по отдельным характеристикам гидрометеорологического режима на основе анализа архивных материалов и модельных расчетов по объекту «Арктический терминал круглогодичной отгрузки нефти Новопортовского месторождения», 2014.
2. Технический отчет ФГБУ «ААНИИ» по инженерно-гидрометеорологическим и ледовым изысканиям в районе м. Каменный на прилегающей акватории Обской губы для проектирования объекта «Арктический терминал круглогодичной отгрузки нефти Новопортовского месторождения» в Ямало-Ненецком автономном округе (промежуточный), 1-й этап, 2014.
3. Технический отчет ФГБУ «ААНИИ» по инженерно-гидрометеорологическим и ледовым изысканиям в районе м. Каменный на прилегающей акватории Обской губы для проектирования объекта «Арктический терминал круглогодичной отгрузки нефти Новопортовского месторождения» в Ямало-Ненецком автономном округе, 2-й этап, 2014.
4. СП 38.13330.2018 «СНиП 2.06.04–82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)». – М.: Минстрой России, 2018.
5. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ / Российский морской регистр судоходства, 2018.
6. ISO 19906 – Petroleum and natural gas industries. – Arctic offshore structure. International Organization for Standardization, 2019.
7. Croasdale K., Cammaert A., Metge M. A Method for the Calculation of Sheet Ice Loads on Sloping Structures. – Proceedings of the IAHN International Symposium on Ice, Trondheim, Norway, 1994.
8. Карулина М.М. Метод оценки глобальных ледовых нагрузок на широкие сооружения с плоской наклонной гранью. – Тр. Крыловского государственного научного центра. – 2015. – Вып. 86(370). – С.117–124. ■

Для осуществления разведки и эксплуатационного бурения на арктических месторождениях с различными глубинами и сложными ледовыми условиями, имеющими свои специфические для каждого из участков особенности, в настоящее время невозможно создать универсальное техническое средство. Следовательно, требуется проектирование и строительство буровых платформ различных типов, которые в полной мере соответствовали бы условиям их эксплуатации. В настоящей работе рассмотрена перспективная концепция плавучей буровой установки для эксплуатации в ледовых условиях на глубинах 70–400 м.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

АО «ЦКБ «Коралл» выполнен в полном объеме концептуальный проект ледостойкой плавучей буровой установки клиновидной формы с турельной системой удержания для бурения в Арктике (рис. 1) [1]. Некоторые основные характеристики установки представлены ниже.

Геометрические характеристики установки

Характеристика	Величина
Длина габаритная, м	111,9
Ширина габаритная, м	80,7
Высота борта, м	33,0
Осадка эксплуатационная со 100% запасов, м	16,0
Водоизмещение (осадка 16,0 м), т	43873

Корпус установки имеет клиновидную форму, сходную с носовой оконечностью судна ледового плавания с ледовыми усилениями категории Arc7.

Удержание установки в заданной точке морской акватории обеспечивается якорной системой удержания. Чтобы минимизировать величину действующих внешних нагрузок, прежде всего ледовых, якорные связи системы удержания крепятся к устанавливаемой в носовой части корпуса турели (рис. 2). Вращаясь относительно турели, установка всегда разворачивается форштевнем навстречу действующим внешним силам. При ухудшении внешних условий (сильный шторм, сложная ледовая обстановка) имеется возможность отсоединения системы удержания и ухода с точки эксплуатации.



Рис. 1. Общий вид установки клиновидной формы

ПЕРСПЕКТИВНАЯ ПЛАВУЧАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ

*М.В. Ковалев, зам. ген. директора по проектированию,
И.Л. Благовидова, зам. начальника отдела,
А.С. Тертышников, начальник сектора,
АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь,
А.А. Добродеев, канд. техн. наук,
зам. начальника лаборатории – начальник сектора,
К.Е. Сазонов, д-р техн. наук, начальник лаборатории,
ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
контакт. тел. +7(978)736 1550, +7(911)159 8497*

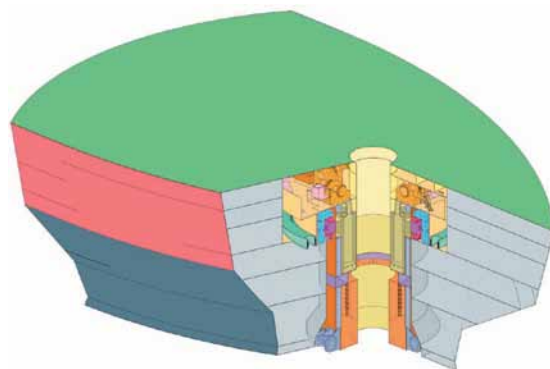
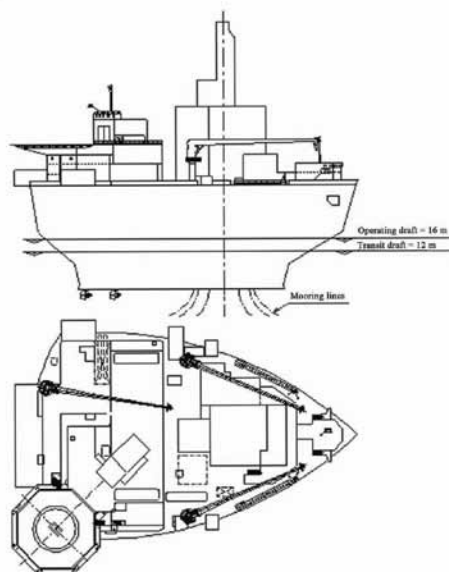


Рис. 2. Турель

В ходе проектирования клиновидной установки ее конструкция была сопоставлена с другими вариантами установок с целью определения наиболее эффективной конструкции, способной надежно функционировать в тяжелых ледовых условиях Арктики. Рассматривались платформы различных типов: ледостойкая плавучая буровая установка с корпусом в виде судна яйцеобразной формы (egg form) фирмы Mitsui с турельным устройством, круглые в плане платформы – ледостойкая плавучая буровая установка «Sevan» и ледостойкая плавучая буровая установка «Kulluk», платформа типа SPAR, ледостойкая плавучая полупогружная буровая установка «JBF ARCTIC» фирмы Huisman, а также турельное судно.

Клиновидная установка имеет существенные преимущества по сравнению с другими рассмотренными платформами при работе в ледовых условиях. Она испытывает меньшие ледовые нагрузки по сравнению с цилиндрическими плат-



формами, а в сравнении с классическими судном с турелью размер ее корпуса позволяет установить турель большего диаметра, за счет чего все элементы якорной системы удержания (якорные лебедки, цепные ящики, механизм отсоединения турели и др.) размещаются непосредственно в турели, что в итоге позволяет при необходимости менять натяжение и длины связей системы удержания.

МОДЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В ЛЕДОВОМ БАССЕЙНЕ

Для ледостойких буровых и добычных установок основной нагрузкой, определяющей как их архитектурный тип, так и систему удержания, является ледовая нагрузка, поэтому на первом этапе разработки новой технической конструкции изучению именно ледового воздействия уделялось наибольшее внимание. Детальный анализ взаимодействия установки с ледовыми образованиями различных типов выполнен в рамках модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр». Экспериментальные исследования включали изучение не только уровня ледовой нагрузки, действующей в различных ледовых условиях, но и возможности пассивного позиционирования (флюгирования) установки с помощью турельного устройства под действием ледовой нагрузки. Модель установки была изготовлена в масштабе 1:60. На рис. 3 показан внешний вид модели.



Рис. 3. Внешний вид модели установки клиновидной формы

Модельные испытания установки проводились двух типов: при жестком закреплении исследуемой модели под буксировочной тележкой и с якорной системой удержания [2]. Использование различных типов испытаний позволяет оценить влияние якорной системы удержания на ледовые характеристики модели.

При жестком креплении модели к буксировочной тележке изучается воздействие ровного и торосистого льда. При

проведении испытаний с помощью динамометра измерялась глобальная ледовая нагрузка на модель.

На втором этапе модель крепилась к специальной раме, жестко связанной с буксировочной тележкой с помощью якорной системы удержания. Эксперимент осуществлялся в режиме обращенного движения. В каждую связь якорной системы были установлены динамометры, измеряющие натяжение связи. Схема экспериментальной установки показана на рис. 4.

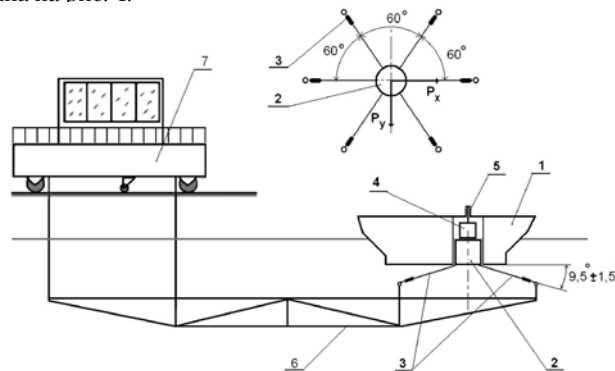


Рис. 4. Экспериментальная схема проведения испытаний
1 – установка, 2–5 – якорная система удержания, 6 – рама, 7 – буксировочная тележка

На рис. 5 показаны последовательные положения модели при пассивном позиционировании на 170° . В ходе проведения эксперимента регистрировались усилия при имитации якорной системы удержания, а также угол курса, крен и дифферент модели. По результатам замеров сил натяжения вычислялась общее усилие, действующее на турельное устройство.

Результаты экспериментов, выполненных как в сплошных ровных, так и в битых льдах, показали, что платформа хорошо разворачивается при дрейфе ледяного поля. Подводные наблюдения, выполненные с помощью подводной телевизионной камеры, не зафиксировали попадания обломков льда к якорной системе удержания.

Важным параметром, фиксируемым в процессе проведения испытаний, был угол крена. Ранее проведенные испытания с другими моделями показали, что при пассивном развороте на 170° (рис. 5) примерно в середине этого разворота возникает большой угол крена, достигающий критических значений. Угол крена у исследуемой платформы не превышал $6,5^\circ$ при развороте в льдах толщиной 3 м и $2,8^\circ$ при развороте во льдах толщиной 1,5 м. В битых льдах величина угла крена не превышала $1,8^\circ$.

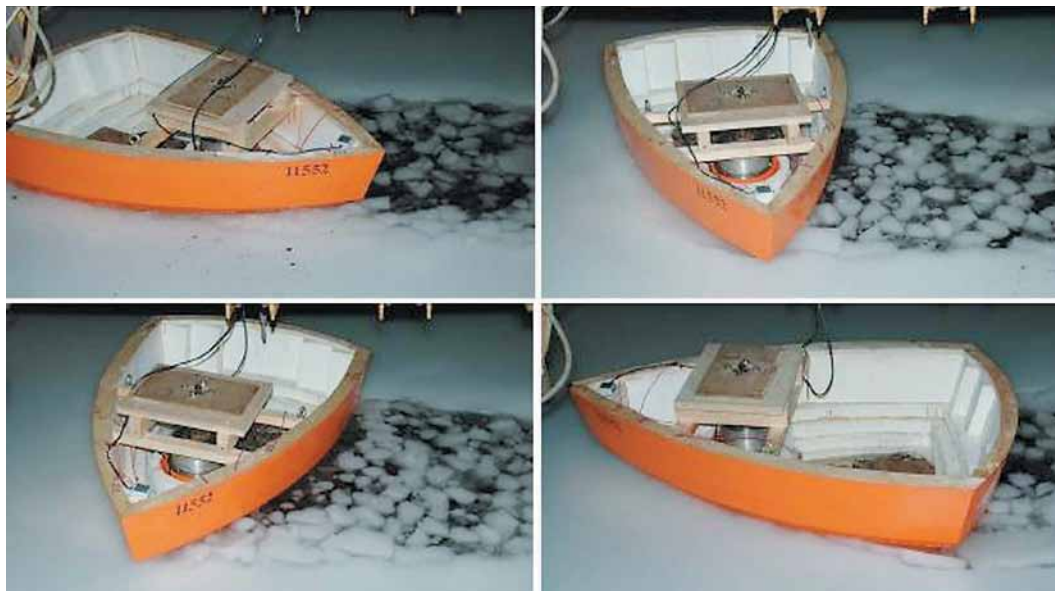


Рис. 5. Последовательные этапы пассивного разворота клиновидной платформы на 170°

СРАВНЕНИЕ ЛЕДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВКИ С РАННЕ ПРОВЕДЕННЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

При сопоставлении значений по глобальной ледовой нагрузке полученных результатов с данными ранее выполненных опытов и опубликованными данными использован безразмерный параметр $F/\sigma_f hB$, где F – глобальная ледовая нагрузка, σ_f – прочность льда на изгиб; h – толщина льда; B – максимальный размер объекта (ширина или диаметр).

Результаты сравнения по глобальной ледовой нагрузке приведены в таблице. Описание некоторых ранее проведенных экспериментов представлены в [3, 4].

Таблица

Сравнение различных платформ по глобальной ледовой нагрузке, скорость дрейфа льда – 0,5 м/с

Толщина льда, м	$F/\sigma_f hB$			
	Клиновидная установка	JBFArctic	Цилиндрическая установка	SPAR
1,5	0,042	0,259	0,273*	0,321*
2,0	0,071	0,289	–	–
3,0	0,079	–	–	–

* При скорости 0,283 м/с. При скорости 0,5 м/с значения возрастут.

Данные таблицы показывают, что по уровню глобальной ледовой нагрузки исследуемая платформа имеет существенные преимущества по сравнению с ранее исследованными.

На рис. 6 приведено сравнение максимальных усилий при развороте на 90° и 170° клиновидной установки и турельного судна.

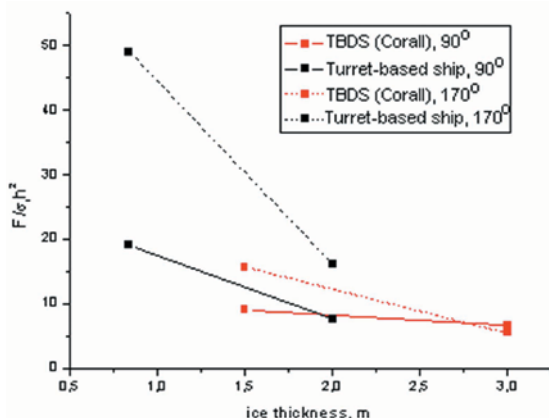


Рис. 6. Сравнение клиновидной установки с турельным судном, скорость 0,2 м/с

Данные рис. 6 свидетельствуют о том, что пассивные параметры разворота установки ниже, чем у турельного судна.

При проведении экспериментов было замечено, что разворот платформы осуществляется достаточно быстро (рис. 7).

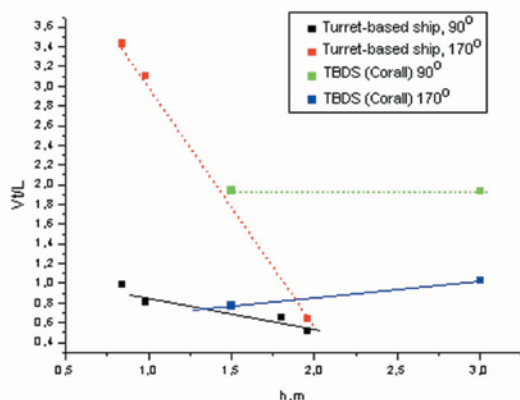


Рис. 7. Сравнение безразмерного времени поворота клиновидной установки и турельного судна
 V – скорость дрейфа льда, м/с; t – время разворота, с; L – длина объекта

Данные рис. 7 показывают, что во льдах толщиной менее 2 м установка разворачивается заметно быстрее, чем турельное судно. Это очень важный фактор, так как чем быстрее установка займет положение, в котором глобальная ледовая сила минимальна, тем меньше будет ее смещение относительно положения равновесия.

По результатам модельных испытаний клиновидной установки можно отметить, что форма корпуса и возможность саморазворота установки при любом направлении дрейфа льда (в том числе с борта и кормы) обеспечивают относительно небольшие по величине ледовые нагрузки, а наличие турели – возможность отсоединения системы позиционирования и ухода с точки эксплуатации при экстремальном ухудшении ледовой обстановки. Экспериментально доказано, что величины глобальных ледовых нагрузок от воздействия ровного и торосистого льда на клиновидную установку в два-три раза меньше по сравнению с другими испытанными платформами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования и модельные испытания показали, что принятые в концептуальном проекте решения по архитектурно-конструктивной форме установки с корпусом клиновидной формы, сходным с носовой оконечностью судна ледового плавания, а также применение турели и ее конструктивное расположение на установке обеспечивают следующие конкурентные преимущества:

- сравнительно небольшие величины ледовых нагрузок;
- безопасную работу якорной системы удержания (с возможностью отсоединения турели и ухода с точки эксплуатации при ухудшении погодных условий), а также хорошую управляемость установки во льдах;
- компактные размеры платформы и ее относительно небольшой вес, что соответственно отразится на стоимостных показателях.

Таким образом, можно отметить, что выполненный проект клиновидной установки является перспективным для освоения глубоководных месторождений арктического шельфа (диапазон глубин 70–400 м, а при необходимости и более), включает инновационные решения, не имеет прямых аналогов в мире, при этом строительство установки вполне осуществимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Blagovidov L. B., Blagovidova I. L., Kovalyov M. V., Kolchenko L. V.* Ice-resistant turret-based mobile drilling unit with the wedge-shaped hull approximating ship form (wedge-shaped ship). – Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013, issued in Nantes, France, 2013.
2. *Kovalyov M. V., Blagovidova I. L., Kolchenko L. V., Blagovidov L. B., Dobredeev A. A., Sazonov, K. E., Klementyeva N. Y.* Model testing of turret-based drill ship in ice conditions. – Proceedings of the ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering OMAE2013, issued in Nantes, France, 2013.
3. *Bezzubik O. N., Bitsulya A. V., Karulin E. B., Karulina M. M., Klementyeva N. Y., Sazonov K. E., Chernetsov V. A., Kulakov A. V., Kupreev V. V.* Experimental Investigation of Interaction of Moored Platforms with Drifting Ice Features. – 17th International Symposium on Ice, St.-Petersburg, Russia, 21–25 June 2004.
4. *Sazonov K. E., Kaitanov Yu. S., Klementyeva N. Yu.* Comparative Study of Offshore Process Platform Alternatives for Shtokman Gas-Condensate Field, Based on Model Testing Data. – Proceedings of 9th International Conference and Exhibition on the Development of Russian Arctic and CIS Offshore Oil and Gas Deposits, issued in St. Petersburg, 2009. – Vol. 1. – P. 160–164. ■

В 1965 г. в связи с необходимостью оснащения новыми тяжелыми плавкранами морских портов и ВМФ Правительство СССР приняло решение об организации отечественного плавкраностроения.

Строительство плавкранов поручается Севастопольскому морскому заводу им. С. Орджоникидзе. Для проектирования плавкранов было создано специальное конструкторское бюро по комплексному проектированию плавучих кранов и крановых судов также в Севастополе. В дальнейшем СКБ было реорганизовано в ЦКБ «Техморсудопроект», а в 1992 г. – в ЦКБ «Коралл». Во времена СССР Севморзавод и ЦКБ «Коралл» были лидерами отечественного плавкраностроения – за период с 1965 г. ЦКБ «Коралл» спроектировало порядка 90 ед. плавкранов и крановых судов различной грузоподъемности, а на заводе построено и сдано в эксплуатацию около 70 плавкранов и крановых судов с кранами грузоподъемностью от 100 до 1600 т [1].

Построенные плавучие краны отличались новизной основных технических решений, высоким техническим уровнем и эксплуатационной надежностью. Конструкция плавучих кранов была полностью адаптирована к требованиям отечественных потребителей в части эксплуатации, обслуживания и ремонта. Большинство плавучих кранов до сих пор находится в эксплуатации. Некоторые из них более чем в два раза превысили расчетный срок службы.

В 90-е гг. строительство тяжелых морских плавкранов прекратилось, и только в 2004 г. в Севастополе был сдан плавкран пр. 15202 «Севморнефтегаз» грузоподъемностью 350/400 т (с октября 2014 г. – «Юрий Кондрашов»), корпус которого был спущен на воду еще в 1990 г.

В настоящее время наиболее остро необходимость в новых плавучих кранах испытывают судостроительные заводы, которые применяют современную технологию крупноблочной постройки судов, морские нефтяники при транспортировке и монтаже буровых платформ, ВМФ России.

Первыми новые плавкраны получил ВМФ. В 2014–2019 гг. судостроительной фирмой «Алмаз» (Санкт-Петербург) было построено и сдано ВМФ РФ 14 плавкранов грузоподъемностью 150 т (пр. 02690).

Возобновление строительства тяжелых плавучих кранов в Российской Федерации – безусловно, государственная задача. Объединенная судостроительная корпорация, в состав которой на данный момент входят ЦКБ «Коралл» и Севморзавод, являющийся филиалом Центра судостро-

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО МОРСКИХ ПЛАВУЧИХ КРАНОВ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬЮ 400 И 700 ТОНН

В.Ф. Ленский, ген. директор,
Н.В. Амосова, гл. инженер проектов,
В.А. Матвеевко, вед. конструктор,
И.Л. Благовидова, зам. начальника общепроектного отдела,
АО ЦКБ «Коралл», г. Севастополь,
контакт. тел. +7(978)736 1550

ремонта «Звездочка», начала масштабную модернизацию Севморзавода с целью восстановления компетенций в судостроении, судоремонте и плавкраностроении. В рамках этих задач в 2017 г. было принято решение о начале строительства плавкранов грузоподъемностью 400 т для «Адмиралтейской верфи» (Санкт-Петербург) и грузоподъемностью 700 т для Севмашпредприятия (Архангельск).

Торжественные церемонии закладки ПК 400 («Севастополь») и ПК 700 («Григорий Просянкин») состоялись соответственно в 2017 и 2018 гг. в филиале «Севастопольский морской завод» АО «Центр Судоремонта «Звездочка» (рис. 1).

Разработка проектов кранов нового поколения выполнена АО «ЦКБ «Коралл». При этом предусмотрены применение российских материалов и оборудования, а также возможность изготовления на предприятиях РФ. Проектирование кранов велось с учетом требований предприятий, для которых они строятся.

Плавучие краны предназначены для выполнения всех видов судостроительных грузоподъемных работ и транспортировки грузов на верхней палубе. Опыт создания и эффективной эксплуатации ранее разработанных АО «ЦКБ «Коралл» плавучих кранов максимально использовался при проектировании плавкранов нового поколения, включая:

- выбор рациональных характеристик корпуса и грузоподъемного устройства с учетом их взаимного

влияния при грузоподъемных работах и переходе;

- оптимизация запасов непотопаемости и динамической остойчивости при воздействии на плавкран предельных опрокидывающих моментов от обрыва груза и максимальных внешних воздействий;
- повышение мореходных качеств и всхожести на волну при корпусе понтонного типа со снижением сопротивления движению;
- внедрение комплекса конструктивных мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность и безопасность грузоподъемного устройства.

Проектирование выполнялось с использованием системы 3D-моделирования «Tribon-M3», «Aveva», «Inventor R», программных комплексов «Anchored Structures», «Ansys», «Sesam», «Лира», «Caesar II», широко применялась система «nanoCAD».

Была учтена специфика грузоподъемных работ на каждом из предприятий, при этом плавкран ПК 400 имеет некоторые особенности в сравнении с ПК 700: иные главные размерения, характеристики основного грузоподъемного устройства, массу перевозимых грузов, мощность энергетической установки. Кроме того, ПК 400 должен иметь четыре подруливающие винторулевые колонки и меньшую осадку.

В проектах плавкранов предусмотрено применение инновационных решений, соответствующих международным стандартам в плавкраностроении



Рис. 1. Закладные доски ПК 400 и ПК 700

и межпроектной унификации основных технических решений.

К числу архитектурно-компоновочных решений, впервые использованных в отечественном морском плавкраностроении, относится расположение грузоподъемного устройства в носу и жилой рубки в корме, чем достигается:

- удифферентовка плавкрана порожнем без использования балласта;
- отделение зоны проживания от района грузоподъемных работ с обеспечением безопасности и комфорта обитания персонала;
- сокращение маневровых операций при выполнении грузоподъемных работ;
- уменьшение коммуникаций жилой рубки;
- оптимизация размеров грузовой площадки.

Расположение ходовой рубки в носу обеспечивает хороший обзор при грузоподъемных операциях и маневрировании. Наличие продольных коридоров по бортам в корпусе позволяет безопасно перемещаться персоналу при крановых работах. Конструкция подвеса корпуса в носу и подзора в корме уменьшают сопротивление и улучшают управляемость при буксировке.

Общие виды и характеристики ПК 400 и ПК 700 представлены в таблице.

Корпус плавучих кранов имеет ледовые усиления, соответствующие классу ISE-2.

Грузоподъемные устройства ПК 400 и ПК 700 спроектированы с учетом технических решений, положительно зарекомендовавших себя на серийных отечественных плавкранах. Конструктивный тип – стреловой полноповоротный электрический кран на неподвижной колонне. В мировой практике

краны аналогичной грузоподъемности, как правило, проектируются на роликовой опоре. В эксплуатации диагностика и ремонт роликовой опоры возможны только с привлечением сервисной службы изготовителя.

Примененный тип грузоподъемного устройства пригоден для изготовления на российских предприятиях. Стрела грузоподъемного устройства выполнена коробчатой формы, имеющей конструктивные особенности в сравнении с решетчатой стрелой, в том числе:

- сварка узлов решетчатой стрелы (с обратным корнем шва) выполняется по специальной технологии, сборка коробчатой стрелы сравнительно проста;
- усталостная прочность соединений решетчатой стрелы ниже, чем коробчатой.

К тому же трубы требуемой прочности российскими предприятиями не изготавливаются;

При разработке проектов ПК 400 и ПК 700 применены следующие решения, повышающие эффективность и безопасность операций:

- оснащение лебедками, укомплектованными встроенными планетарными редукторами с исключением открытых зубчатых передач;
- для улучшения обзора при выполнении грузоподъемных операций установлена система телевизионного наблюдения;
- предусмотрена информационная система контроля и управления крановыми операциями, обеспечивающая, в том числе:
 - оценку безопасности крановых операций с учетом ветроволновых воздействий;



- автоматическую защиту механизмов при достижении крайних положений;
- автоматическую пожарную сигнализацию о срабатывании защит, о подходе плавкрана к критическим значениям крена и дифферента, о заполнении балластных цистерн;
- применена система электропривода механизмов грузоподъемного устройства на переменном токе с частотным регулированием, характеризующаяся следующими основными особенностями: плавным регулированием скорости; пуском на максимальном моменте; отсутствием затрат времени при пуске; высокой надежностью и простотой обслуживания;
- предусмотрена управляемая из кабины автоматизированная противокреновая система, состоящая из четырех балластных цистерн и четырех перекачивающих насосов;
- предусмотрено серийное производство оборудования российскими компаниями.

Грузовые характеристики грузоподъемных устройств ПК 400 и ПК 700 в сравнении с аналогом (пр. 15202 – плавкран «Юрий Кондратов», грузоподъемность 400 т) приведены на рис. 2 и рис. 3.

Позиционирование плавкранов при грузоподъемных работах осуществляется с помощью носового и кормового якорных устройств. Плавкраны оборудованы интегрированной системой управления техническими средствами на базе современной программируемой электронной техники, которая позволяет получить расширенные функциональные возможности по централи-

Таблица

Общие виды и характеристики ПК 400 и ПК 700

	ПК 400	ПК 700
Основные характеристики плавучих кранов		
Длина наибольшая, м	64,8	74,2
Ширина корпуса, м	25,85	32,6
Высота борта, м	5,40	6,50
Водоизмещение порожнем, т	2927	4082
Осадка средняя порожнем, м	2,23	2,99
Масса палубного груза, т	500	до 2000
Автономность, сутки	20	5
Установленная мощность энергетической установки, кВт	2675	3425
Количество мест	22	14

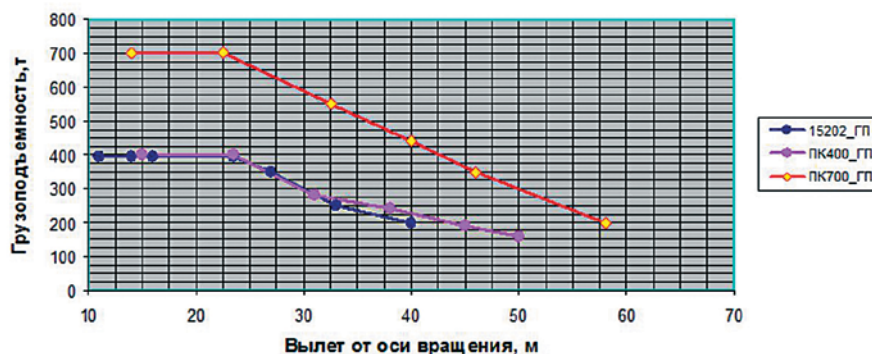


Рис. 2. Грузоподъемность ПК 400 и ПК 700 в сравнении с аналогом

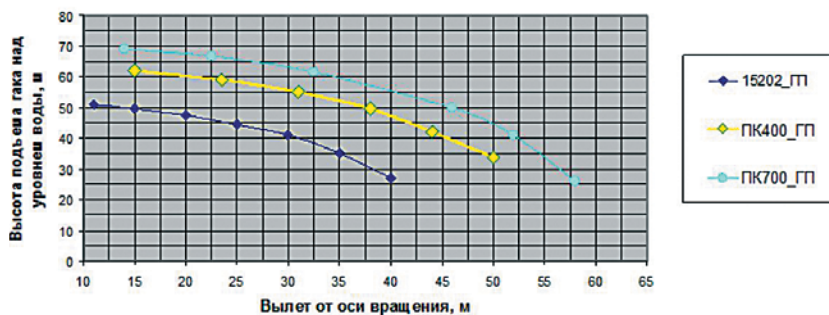


Рис. 3. Высота подъема гака над уровнем воды ПК 400 и ПК 700 в сравнении с аналогом

зованному контролю и управлению. Системой обеспечивается взаимодействие с другими средствами контроля и управления плавкрана.

Плавучие краны максимально укомплектованы оборудованием российского производства. Дизель-генераторы приобретены по импорту в связи с отсутствием отечественных агрегатов требуемых параметров.

АО «ЦКБ «Коралл» разработаны исходные технические требования к импортируемому оборудованию и материалам и с участием завода-строителя проведены работы по предквалификационному отбору поставщиков на основании анализа полученных предложений на поставку. Для прове-

дения закупочных тендерных процедур были оформлены по согласованию с заинтересованными сторонами и утверждены ОСК мейкерс-листы на оборудование и материалы. Решения принимались тендерной комиссией с рассмотрением технических заключений проектанта плавкрана.

Заложенные на ранних стадиях проектирования плавкранов принципиальные технические и компоновочные решения определены на основе анализа технологических возможностей ведущих предприятий судостроительной отрасли РФ. Дальнейшая разработка плавкранов велась с учетом технологических и производственных особенностей филиала «Се-

вастопольский морской завод» АО «ЦС «Звездочка», на котором плавкраны строятся.

С целью оптимального выполнения работ на производственных площадях завода-строителя плавкраны конструктивно разбиты на строительные районы и строительно-монтажные единицы.

Создание морских плавучих кранов с использованием положительного опыта эксплуатирующихся аналогов, внедрением современных, в том числе оригинальных технических решений, – весьма важный шаг для возрождения российского плавкраностроения, а также для обеспечения импортозамещения.

На плавучие краны ПК 400 и ПК 700 получены патенты на промышленный образец и полезную модель [2, 3], а также разработаны «ноу-хау» «Метод сборки корпуса плавучего крана» и «Метод сборки и монтажа стрелы плавучего крана». В октябре 2019 г. состоялась церемония спуска на воду понтона плавкрана ПК-400 «Севастополь» (рис. 4). В 2020 г. планируется завершение строительства плавкрана ПК 400, а спуск на воду понтона ПК 700 планируется в сентябре 2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. «40 лет ЦКБ «Коралл». Создание морских плавучих кранов и средств освоения шельфа. – 2006. – 468 с.
2. Патент на промышленный образец 113636 RU. Кран плавучий морской несамоходный/Ленский В.Ф., Матвеевко В.А., Берхин И.М., Амосова Н.В., Попов А.В., Иванов А.В. Заявл.13.08.2018, опубл. 14.03.2019. Бюлл. №3.
3. Патент на полезную модель 187461 RU, Корпус плавучего крана/Ленский В.Ф., Матвеевко В.А., Амосова Н.В., Иванов В.А., Несин Д.Ю. Заявл. 03.09.2018, опубл. 06.03.2019. Бюлл. № 7. ■



Рис. 4. ПК 400 «Севастополь» спущен на воду

Проектирование технических средств обустройства нефтегазовых месторождений – сложный и многоэтапный процесс, неотъемлемой частью которого является разработка проекта выполнения морских операций. Все проектные решения должны соответствовать принятой процедуре транспортировки оффшорных объектов, установки их в точке эксплуатации, мероприятиям по обеспечению длительной устойчивости на грунте.

Учитывая крайне высокую стоимость и степень ответственности сооружений данного класса, к ним предъявляются особые требования со стороны классификационных и страховых обществ при проведении морских операций.

В «Правилах разработки и проведения морских операций» Российского морского регистра судоходства подробно изложены основные принципы разработки морских операций. ЦКБ «Коралл» имеет опыт разработки различных по своему назначению морских операций в соответствии с отечественными нормативными документами и зарубежными.

В статье рассматривается процесс математического моделирования этапов морских операций, необходимых для безопасного перехода сооружений из транспортного положения в проектное.

Этот процесс может включать в себя:

- раскрепление сооружения (установку якорной системы позиционирования);
- позиционирование в месте установки и ориентацию в пространстве, погружение;
- пересадку методом float-over верхнего строения на заранее установленные на грунт опорные блоки;
- стыковку различных частей сооружения с помощью плавкрана и т.д.

Для решения этих вопросов в ЦКБ «Коралл» длительное время применяется отечественный программный комплекс математического моделирования Anchored Structures.

Результаты численного моделирования были положены в основу проектов морских операций, разработанных для обустройства месторождений имени Юрия Корчагина и Владимира Филановского, расположенных в северной части акватории Каспийского моря, а также проекта морских операций по транспортировке комплекса сооружений из плавучих опор и установленного на них пролетного строения Керченского моста.

ОБУСТРОЙСТВО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. ЮРИЯ КОРЧАГИНА

Месторождение им. Юрия Корчагина находится в северной части Каспийского моря, в 180 км от Астрахани и 240 км от Махачкалы с глубиной моря 11 – 13 м.

Освоение месторождения предусматривало на первом этапе установку добычной и жилой ледостойких платформ. Первым сооружением, устанавливаемым на месторождении, был опорный блок ледостойкой жилой платформы (далее – ЛСП-2), который представляет собой сооружение с тремя опорами переменного по высоте (цилиндрического и конического) сечения. В нижней части колонны объединены опорным матом, представляющим собой коробчатую конструкцию, имеющую форму равностороннего треугольника в плане. Длительная устойчивость на грунте в процессе эксплуатации достигается за счет установки свайного фундамента, состоящего из 15 трубчатых свай диаметром 1660 мм и глубиной забивки около 40 м.

Морские операции по установке ЛСП-2 (рис. 1) были разделены на две части: установка опорного основания и монтаж верхнего строения.

Поскольку в ходе операции после погружения опорного мата в воду резко сокращалась действующая площадь ватерли-

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОВЕДЕНИЯ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОФФШОРНЫХ ОБЪЕКТОВ

В.В. Руденко, гл. конструктор проектов,

И.Л. Благовидова, зам. начальника отдела,

А.В. Пьянов, начальник сектора,

Н.С. Дьячук, инженер-конструктор, АО «ЦКБ «Коралл», г. Севастополь, контакт. тел. +7 (978) 736 1550

нии и, как следствие, параметры устойчивости снижались ниже допустимых пределов, установка опорного блока проводилась с помощью плавкрана «Волгарь» грузоподъемностью 1400 т. Процесс погружения опорного блока на дно был синхронизирован с процессом заполнения балластных цистерн, а само погружение выполнялось с незначительным дифферентом, целью которого было исключить резкое сокращение площади ватерлинии при переходе ее с опорного мата на колонны и тем самым минимизировать возможные негативные факторы, связанные с потерей устойчивости сооружения. Далее устанавливались свайный фундамент и верхнее строение. Последнее устанавливалось на опорное основание также с помощью плавкрана «Волгарь». Сама морская операция состояла из следующих операций:

- позиционирование и постановка на грунт опорного блока ЛСП-2;
- забивка свай опорного блока ЛСП-2;
- установка верхнего строения на опорный блок ЛСП-2.

На рис. 2 – 4 приведены схема позиционирования и фотографии, отражающие процесс погружения опорного блока.



Рис. 1. Общий вид платформы ЛСП-2

С помощью плавкрана «Волгарь» было установлено верхнее строение жилого модуля массой более 1300 т на опорный блок.

В район установки ЛСП-2 жилой блок был доставлен на специальной барже. Далее плавкран «Волгарь» поднимал с баржи жилой блок и с помощью собственной системы позиционирования, состоящей из восьми связей, выполнял процесс точного позиционирования и установки жилого блока (рис. 5 и рис. 6).

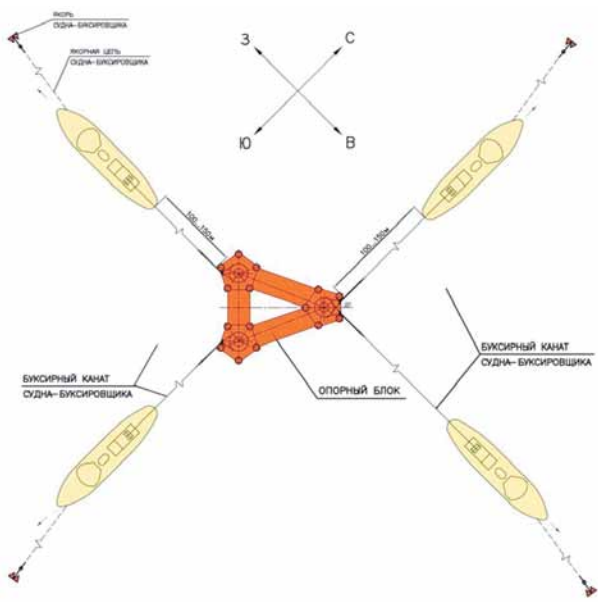


Рис. 2. Схема позиционирования опорного блока ЛСП-2



Рис. 3. Начало погружения и процесс точного позиционирования



Рис. 4. Завершение постановки и установка свайного фундамента

Принимая во внимание сложность этого процесса и сооружения, перед осуществлением реальных грузовых операций в море было выполнено математическое моделирование, целью которого были определение параметров связей системы позиционирования, выбор оптимального натяжения в связях в процессе позиционирования и удержания, в том числе с учетом действующих внешних нагрузок. Дополнительно определялись скорости и ускорения в точках соприкосновения верхнего строения и опорного основания, а также возможные ударные нагрузки, возникающие в процессе постановки. Для определения этих параметров в программном комплексе Anchored Structures были созданы подробные модели всех участвующих сооружений (рис. 7), заданы системы позиционирования, канаты и отбойные устройства.

Следующим сооружением, установленным на месторождении, стала морская ледостойкая платформа ЛСП-1 (рис. 8), оснащенная буровым и технологическим комплексами, предназначенная для бурения и эксплуатации сетки из 33 скважин.



Рис. 5. Подъем верхнего строения и позиционирование



Рис. 6. Стыковка верхнего строения и опорного блока

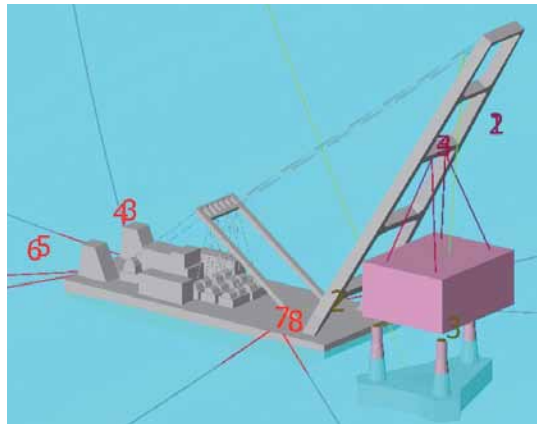


Рис. 7. Расчетная модель

Устойчивость на грунте ЛСП-1 обеспечивается за счет свайного фундамента, состоящего из 14 трубчатых свай диаметром 1660 мм и глубиной забивки более 40 м.

ЛСП-1 практически в полной готовности буксировали в точку установки (рис. 9).

Из-за ограничений по транспортной осадке в Волго-Каспийском канале буксировка ЛСП-1 проводилась со специальным поддерживающим понтоном, в качестве которого был использован транспортный понтон «Севан» (далее – ТП «Севан»).

По окончании морской буксировки транспортный комплекс ЛСП-1 – ТП «Севан» в непосредственной близости от точки постановки ЛСП-1 на грунт была выполнена смена буксирного ордера, с помощью которого осуществлялась морская буксировка ЛСП-1 на удерживающий ордер для выведения ТП «Севан» из-под ЛСП-1 и последующего наведения и удержания ЛСП-1 над точкой ее постановки на грунт. Удержание ЛСП-1 осуществлялось с помощью четырех буксиров, соединенных с носа буксира швартовными канатами с ЛСП-1, а с кормы – с помощью собственных буксирных канатов, соединенных с якорями, заблаговременно уложенными на морское дно в определенных точках вокруг точки постановки ЛСП-1



Рис. 8. Общий вид ЛСП-1

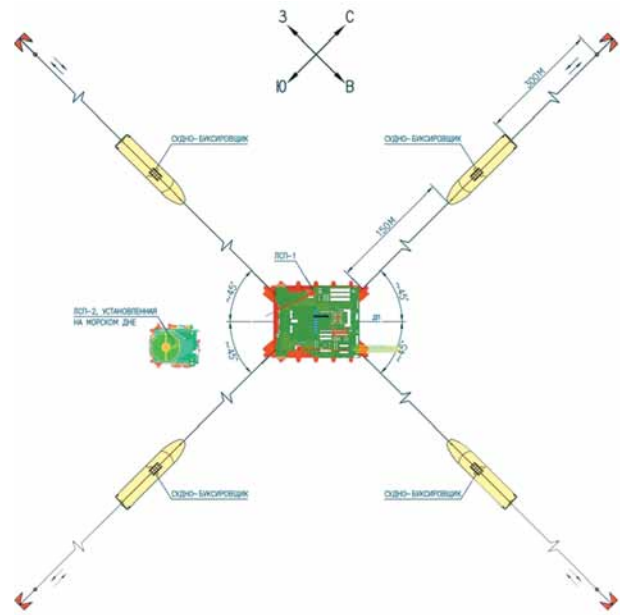


Рис.10. Схема позиционирования ЛСП-1



Рис. 9. Транспортировка ЛСП-1 по Волго-Каспийскому судоходному каналу и морскому участку

на грунт. Схема удерживающего ордера ЛСП-1 при погружении показана на рис. 10.

Выполнено моделирование поведения системы позиционирования ЛСП-1 при постановке на грунт, определены предельные параметры гидрометеусловий при проведении операций. Проанализировано маневрирование длинами связей: процесс выбирания одних связей и потравливания других связей с помощью буксирных лебедок, удерживающих буксиры. В результате маневрирования длинами связей было достигнуто уменьшение горизонтальных смещений и угла рыскания платформы. Определены значения необходимого вытравливания или выбирания якорных связей из условия минимизации горизонтальных смещений и величины рыскания платформы.

Для определения параметров системы позиционирования осуществлено математическое моделирование корпусов всех плавучих объектов (ЛСП-1 и четырех буксиров) и всех составных частей якорно-швартовых связей рассматриваемой системы позиционирования.

Для оценки нагрузок и прочности понтонов при касании грунта выполнено моделирование процесса заполнения балластных цистерн с принудительным созданием дифферента на нос. В результате определены ускорения и вертикальные перемещения в характерных точках понтонов ЛСП-1, которые дали возможность анализа прочности конструкций корпуса.

Дополнительно выполнен анализ возможности удержания ЛСП-1 с помощью предусмотренного комплекса технических средств в случае нештатного хода операций при воздействии на платформу гидрометеусловий, выходящих за рамки принятых для проведения морских операций ограничений. Се-

рий расчетов определены предельные гидрометеусловия, которые способна выдержать рассматриваемая система позиционирования.

СООРУЖЕНИЕ КЕРЧЕНСКОГО МОСТА

Керченский мост – самый протяженный в России. Длина железнодорожного моста – 18 118 м, автомобильного – 16 857 м.

Мост представляет собой длинную эстакаду с пролетами от 54,2 м до 64,2 м, а Керчь-Еникальский канал перекрывается арками (по одной на авто- и железнодорожном мосту) длиной 227 м, высотой 45 м, подмостовым судоходным габаритом высотой 35 м и шириной 185 м.

Установка судоходных пролетов согласно проекту должна была выполняться с помощью понтонной плавучей системы (комплекса сооружений, состоящего из двух плавучих опор и установленного на них пролетного строения). Каждая из плавучих опор состояла из двух соединенных между собой понтонов длиной 60,2 м, шириной – 16,5 м и высотой борта – 5 м. На эти плавучие опоры предстояло погрузить судоходные пролеты с берегового стапеля, отбуксировать их к месту установки, а затем поднять и установить на стационарные опоры Керченского моста.

В ходе проектирования предстояло решить вопросы, связанные с обеспечением прочности плавучих опор, остойчивостью и непотопляемостью, качкой плавучей системы в процессе транспортировки. Особое внимание было уделено обеспечению позиционирования плавучей системы в момент передачи массивного пролетного строения со стапеля на систему плавучих

опор и подъем пролетного строения с плавучей системы на стационарные опоры Крымского моста.

Вследствие податливости плавучих опор при воздействии ветра, течения и волнения система плавучие опоры–пролетное строение совершала колебания, которые могли стать причиной возникновения аварийной ситуации. Правильное определение параметров системы позиционирования, обеспечивающей выполнение технологических операций, связанных с перемещением плавучих опор по отдельности и плавучей системы в целом, имело огромное значение для установки пролетных арочных строений на мостовые опоры.

Расчетный анализ поведения отдельных плавучих опор и плавучей системы в целом, выбор параметров системы позиционирования и формирование ее состава базировалось на математическом моделировании с помощью специализированного программного комплекса Anchored Structures [1] и охватывал все этапы поведения морской операции. Схема выполнения морских операций представлена на рис. 11.

В качестве критериев при проектировании приняты требования к обеспечению необходимой точности позиционирования при предельных внешних воздействиях. Параметры гидрометеословий, в свою очередь, выбирали на основании инженерно-метеорологических изысканий и их анализа с учетом преобладающих в это время года характеристик ветра, волнения и течения, а также наличия погодных окон продолжительностью не менее 72 часов. Предельные параметры гидрометеословий и точность позиционирования при выполнении технологических операций приведены в таблице.

Таблица

Предельные параметры гидрометеословий и точность позиционирования

Параметр	Значение	
	в «ковше»	в районе створа моста
Скорость ветра, м/с	до 10	до 10
Высота волны $h_{3\%}$, м	0,5	1,0
Скорость течения, м/с	0,3	0,9
Точность позиционирования, см	± 5	± 30

Помимо требований к соблюдению точности позиционирования, система позиционирования должна отвечать таким критериям, как коэффициенты безопасности, заложенным в «Правилах разработки и проведения морских операций» [2] и «Правилах классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ» [3] Российского морского регистра судоходства.

На первом этапе в операционной акватории «ковша» выполнялись работы по заведению забалластированных плавучих опор под арки с помощью системы позиционирования. Далее происходила откачка балласта с последующим всплытием плавучих опор, касанием и приемом веса арочного строения.

На рис. 12 и рис. 13 показаны этапы морской операции от математического моделирования до реализации.

После пересадки арочного строения на плавучие опоры вся плавучая система выводилась на ось подходного канала, где формировался буксирный ордер. Длина маршрута от операционной акватории ковша до створа моста составляла примерно более 5 км. Скорость движения буксирного ордера не превышала 2–3 уз (около 4–5 км/ч).

На расстоянии около 300 м от входа в створ моста буксир-

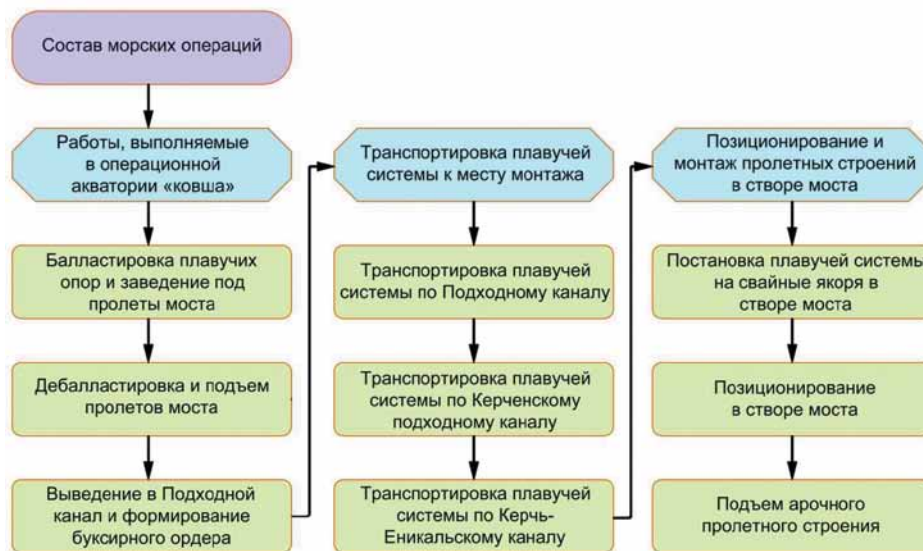


Рис. 11. Схема выполнения морских операций

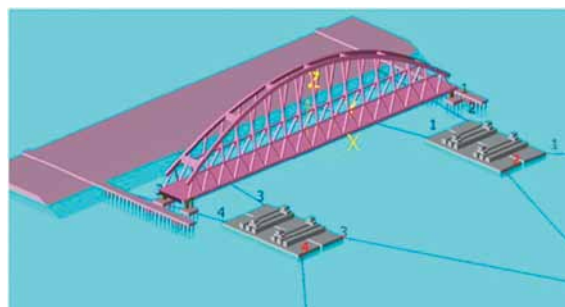


Рис. 12. Расчетная модель в программном комплексе Anchored Structures



Рис. 13. В ходе выполнения операций по приему веса железнодорожной арки и момент отрыва арки от стапеля

ный ордер совершил остановку. Началось заведение связей системы позиционирования на свайные якоря. Дальнейший путь плавучая система уже должна была проделать за счет работы лебедок системы позиционирования. В составе системы позиционирования – восемь лебедок, по четыре на каждой плавучей опоре.

Моделирование заведения плавучей системы в створ моста и проведение операций в реальных условиях показаны на рис. 14 и рис. 15.

Допускаемая проектом точность составляла всего ± 30 см, реальная точность позиционирования плавсистемы при заведении в створ моста составила менее ± 10 см.

Уникальность выполненных операций заключалась не только в том, что ранее никогда в России на море не проводились операции с такими тяжелыми и габаритными сооружениями, но также в том, что после отрыва арочного строения от стапеля обратного пути уже не было. Остановить операции на этом этапе уже невозможно. Дальше двигаться предстояло только вперед. Все это накладывало на всех участников этого уникаль-

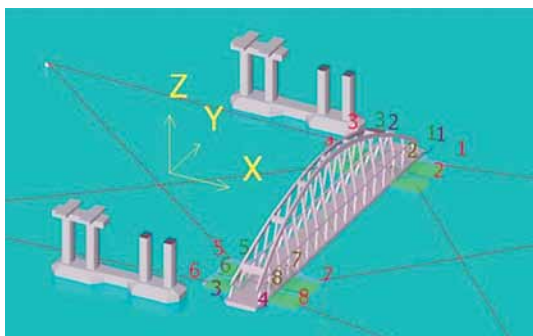


Рис. 14. Расчетная модель заведения плавучей системы в створ моста



Рис. 15. Плавучая система в процессе заведения, позиционирования и подъема арочного строения

ного проекта огромную ответственность за каждое принятое проектное решение, потому что любая ошибка, выявленная уже в ходе выполнения операций, ставила под угрозу возможность реализации всего проекта в целом.

Кропотливая работа инженеров-проектировщиков и грамотное управление процессами в ходе реализации морских операций позволили выполнить все работы с необходимой точностью и в поставленный срок.

ОБУСТРОЙСТВО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ИМ. ВЛАДИМИРА ФИЛАНОВСКОГО

Месторождение им. Владимира Филановского находится в северной части Каспийского моря, в 190 км от Астрахани, глубины моря в районе месторождения находятся в пределах 7 – 11 м.

ЦКБ «Коралл» была выполнена расчетная проверка поведения транспортно-монтажной баржи с установленным на нее верхним строением платформы жилого модуля при пересадке его на опорные блоки методом float-over (рис. 16 – 18).

В результате комплекса расчетов:

1) получены данные о колебаниях, которые совершает транспортная баржа в процессе заведения, позиционирования и погружения;

2) проведен выбор кранцевой защиты, необходимой для надежной защиты корпуса транспортной баржи и опорных блоков от возможных повреждений при контакте в ходе выполнения работ;

3) получены данные по перемещениям и ускорениям в заданных точках на верхнем строении;

4) определены ударные нагрузки, возникающие в точках опирания верхнего строения в процессе передачи его веса с транспортной баржи на опорные блоки.

Подготовка плана и проекта реализации любой морской операции требует определения последовательности действий при этом, выбора технических средств, которые будут выполнять эти действия, прогнозирования погодных условий, в которых можно обеспечить безопасность тех или иных действий. Для гарантирования безопасности морской операции необходимо проанализировать большое количество вариантов ее ре-



Рис. 16. Транспортно-монтажная баржа с размещенным на ней верхним строением платформы жилого модуля в процессе перехода к месту установки



Рис. 17. Заведение транспортно-монтажной баржи и установка верхнего строения в проектное положение

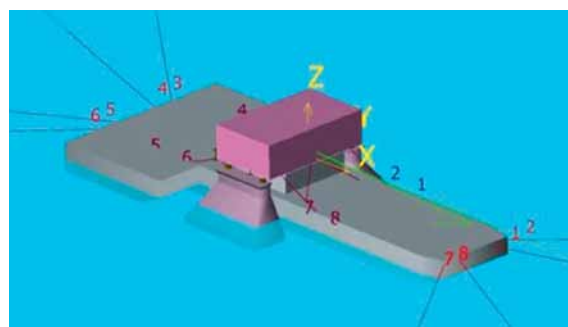


Рис. 18. Моделирование заведения транспортно-монтажной баржи

ализации, найти наиболее рациональные способы выполнения последовательности действий, а также выяснить, при каких погодных условиях такие действия могут быть успешными.

Практика выполнения указанных работ подтверждает целесообразность и эффективность использования методов математического моделирования, а наличие российских программных средств, способных реализовывать современные подходы к проектированию морских операций, позволяет успешно справляться с поставленными задачами.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Большев А.С., Фролов С.А., Кутейников М.А.* Математическое моделирование поведения морских плавучих объектов в программном комплексе Anchored Structures. – Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2011. – № 36. – С. 68–90.
2. Правила разработки и проведения морских операций. – СПб., РМРС, 2014. – 144 с.
3. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – СПб., РМРС, 2014. – 483 с.
4. *Благовидова И.Л., Большев А.С., Фролов С.А.* Математическое моделирование и программное исследование работы системы «морской отгрузочный причал–танкер–буксир». Сб. тр. конфер. «Освоение арктического шельфа России», 2007. ■