

## АРХИТЕКТУРНО-КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АРКТИЧЕСКИХ СУДОВ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ

**В. В. Платонов**

Крыловский государственный научный центр (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

**В. Н. Тряскин**

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2019 г.

*Рассматриваются основные особенности и этапы развития судов ледового плавания, реализующих концепцию «судов двойного действия» (double action ship). Представлена общая характеристика современных судов двойного действия, которые в настоящее время эксплуатируются в Арктике и на трассах Северного морского пути. Выполнен анализ архитектурно-конструктивных особенностей носовой и кормовой оконечностей современных судов ледового плавания, имеющих высокий ледовый класс Российского морского регистра судоходства.*

**Ключевые слова:** суда двойного действия, архитектурно-конструктивные особенности, винторулевой комплекс, Российский морской регистр судоходства.

### Введение

Концепция судна двойного действия (СДД, double acting ship — DAS, изначально double acting tanker — DAT) была предложена в середине 1990-х годов специалистами Arctic Research & Development group фирмы «Kvaerner Masa-Yards» (Финляндия) [1] применительно к решению задачи вывоза нефти из российской Арктики транзитом через Мурманск в Роттердам. На таком маршруте большая часть пути может быть пройдена по чистой воде круглый год. В связи с этим было предложено предусмотреть соответствующие параметры формы корпуса в носовой оконечности для движения на чистой воде, в том числе при необходимости и бульбовые обводы, которые, естественно, не соответствуют оптимальным параметрам формы корпуса для плавания в ледовых условиях. Утверждалось, что движение кормой вперед наиболее эффективно в слож-

ных ледовых условиях. Так, для танкера дедвейтом 90 тыс. т, применительно к которому выполнялись исследования концепции DAT, показана возможность самостоятельного форсирования торосистых перемычек толщиной до 12 м, что соответственно снижает зависимость таких судов от ледокольного обеспечения.

Хотя идея движения во льдах кормой вперед не нова<sup>1</sup>, обеспечить реализацию лучших ледовых качеств судна при движении кормой вперед полностью удалось только после разработки и внедрения в судостроение азимутальных пропульсивных систем (Azipod propulsion units) и винторулевых колонок (далее — винторулевых комплексов, ВРК).

Концепция DAT, по мнению ее разработчиков, приводит к нескольким положительным эффектам:

- обводы кормовой оконечности, приспособленные к движению во льдах, не ухудшают поведение суд-

<sup>1</sup> Изначально эта идея была связана с применением носовых гребных винтов. Обстоятельный исторический экскурс представлен в [2; 3].

на на чистой воде, поэтому мореходные качества при плавании в акватории, свободной ото льда, практически такие же, как у обычного судна;

- при движении во льдах кормой вперед обеспечиваются более высокие характеристики ледовой ходкости;
- исключительно высокая маневренность, обусловленная наличием ВРК;
- более высокие показатели экономической эффективности судна.

Концепция DAT была проверена как при испытаниях в ледовом бассейне Masa-Yards Arctic Research Centre (MARC), так и при натурных испытаниях ряда судов. ВРК типа Azipod мощностью 11,4 МВт были установлены на танкеры «Uikku» и «Lunni» (рис. 1). Испытания показали, что при движении во льдах кормой вперед сопротивление существенно ниже. Аналогичные результаты были получены при модельных испытаниях крупнотоннажного судна, оснащенного двумя ВРК типа Azipod.

В качестве примера ниже приведены сопоставительные характеристики судов с различными концептуальными решениями в части формы корпуса [1]:

Обычный танкер / одновальная пропульсивная система / ледокольная форма носовой оконечности:

- скорость на чистой воде 16 уз при 50%-ном использовании мощности энергетической установки (ЭУ);
- ледопроходимость<sup>2</sup> составляет 1,2—1,6 м (движение носом вперед);
- эффективность судна 80% при плавании на чистой воде.

Танкер, оснащенный одним ВРК типа Azipod / традиционная форма носовой оконечности для плавания на чистой воде / ледокольная форма кормовой оконечности:

- скорость на чистой воде 16 уз при 40%-ном использовании мощности ЭУ;
- ледопроходимость составляет 1,6—2,2 м при движении кормой вперед и 0,5—0,7 м при движении носом вперед;
- эффективность судна 100% при плавании на чистой воде.



Рис. 1. Танкер «Uikku»  
Fig. 1. Crude oil tanker «Uikku»

Показано, что при движении кормой вперед с использованием ВРК типа Azipod сопротивление льда движению судна снижается практически вдвое в диапазоне толщин льда 1,0—2,5 м.

Эффективность концепции DAT объяснялась авторами следующим образом:

- имеется возможность фрезеровать/разрушать лед гребным винтом;
- в кормовой оконечности при таком движительном комплексе меньше выступающих частей;
- более эффективна работа движителя, так как можно изменять направление потока;
- повышаются динамические качества судна (маневренность);
- омывание водой корпуса снижает трение о лед.

Авторы работы [1] прогнозировали дальнейшее развитие концепции DAT в направлении поиска оптимального компромиссного решения между требованиями к форме корпуса судна для плавания на чистой воде и в ледовых условиях. Кроме того, высказывались аргументы, что концепция DAT позволит обеспечить эффективный вывоз нефти и газовых конденсатов из месторождений, расположенных в районах восточного сектора Арктики, поскольку транспортировка углеводородов по трубопроводам в условиях тундры значительно более затратна, чем морская транспортировка.

Опыт проектирования и эксплуатации СДД к настоящему времени составляет около 25 лет. Первоначальная идея СДД (неледовая носовая оконечность и ледовая кормовая) была реализована в небольшом количестве проектов. Достаточно хорошо себя зарекомендовали при плавании в набитых и слегка смерзшихся ледяных каналах Финского залива танкеры дедвейтом около 106 тыс. т «Mastera» и «Tempera» (рис. 2). Эти два танкера, приспособленные для плавания во льдах, используются для круглогодичной перевозки сырой нефти с россий-

<sup>2</sup> Под ледопроходимостью понимают предельную толщину сплошного ровного льда, которую может преодолеть судно, двигаясь с минимальной устойчивой скоростью (1,5—2,0 уз), обеспечивающей управляемость судна, при работе ЭУ на полную мощность. Такой показатель обычно используют как эталон сравнения ледовых качеств судов.



Рис. 2. Танкер «Mastera»  
Fig. 2. Crude oil tanker "Mastera"

ского нефтяного терминала в Приморске Ленинградской области на нефтеперерабатывающие заводы Neste Oil в Порвоо и Наантали (Финляндия). В арктических условиях эти суда не применялись.

### Общие характеристики и архитектурно-конструктивные особенности современных арктических СДД

Эволюция концепции СДД представлена в [3]. Показано, что крупнотоннажные суда с бульбовой носовой оконечностью практически не



Рис. 3. Контейнеровоз «Норильский никель»  
Fig. 3. Container ship "Norilsk Nickel"

Таблица 1. Суда проекта Aker ACS 650

Строительный номер	Дата постройки	Номер IMO	Название
505	28.02.2006	9330836	«Норильский никель»
156	31.07.2008	9404015	«Мончегорск»
158	12.11.2008	9404027	«Заполярный»
160	11.12.2008	9404039	«Талнах»
161	28.01.2009	9404041	«Надежда»

могут двигаться передним ходом в сплошных льдах. Их предельная ледопроходимость обычно не превышает 20—25 см. Для самостоятельного плавания в Арктике такие ограничения недопустимы. Поэтому современные суда ледового плавания, построенные для эксплуатации в арктических условиях, имеют ледокольную или полуледокольную форму носовой оконечности. Утверждается, что за прошедшие 20—25 лет концепция СДД эволюционировала в сторону отказа от обеспечения хороших показателей мореходности на чистой воде.

Убедительным подтверждением этого являются арктические транспортные СДД, построенные за последние 10—15 лет.

1. Контейнерное судно ледового класса Arc7 проекта Aker ACS 650 «Норильский никель» (рис. 3) предназначено для перевозки контейнеров, генеральных и массовых грузов по северным и арктическим водным путям без ледокольной проводки. Судно имеет минимальный надводный борт, носовую (бак) и кормовую (ют) надстройки, четыре трюма, оборудованные люковыми закрытиями, машинное отделение, расположенное в корме, и многоярусную рубку, обеспечивающую полный круговой обзор. Судно оснащено ВРК типа Aziprod, который позволяет реализовать концепцию СДД: в открытой воде судно перемещается вперед носовой оконечностью, а в ледовых условиях — кормой вперед. Судно имеет следующие общие характеристики: длина 169,0 м, ширина 26,5 м, осадка 10,0 м, дедвейт 18 339 т, водоизмещение 29 136 т, скорость 15,5 уз.

Конструкция и ледовые усиления корпуса при движении кормой вперед позволяют преодолевать ровный лед толщиной до 1,7 м со значительно меньшей мощностью (13 МВт) и более низкими энергозатратами по сравнению с теми, которые характерны для обычных судов с дизельной ЭУ, аналогичными водоизмещением и конструкцией корпуса, движущихся во льдах носом вперед.



Всего построено 5 судов данного проекта (табл. 1). Места постройки: Aker Yards (Хельсинки, Финляндия) — 1 судно, Wadan Shipyards MTW / Nordic Yards (Висмар, ФРГ) — 4 судна.

2. Арктические челночные танкеры «Михаил Ульянов» (рис. 4, табл. 2) и «Кирилл Лавров» ледового класса Arc7 проекта P-70046 построены на АО «Адмиралтейские верфи» для АО «Совкомфлот». Танкеры предназначены для перевозки нефти с морской ледостойкой нефтедобывающей платформы «Приразломная» на перегрузочный терминал в районе Мурманска. При проектировании танкера была использована патентованная технология DAT финской компании «Aker Arctic Technology». Суды имеют следующие общие характеристики: длина 257,7 м, ширина 34 м, осадка 14 м, дедвейт 69 830 т, водоизмещение 102 000 т, скорость 16 уз.

Суды строились под совместным надзором двух классификационных обществ — Российского морского регистра судоходства (PMPC) и Lloyd's Register of Shipping. Впервые на российских верфях построены танкеры с мощным дизель-электрическим пропульсивным комплексом — танкеры снабжены двумя установками Azipod мощностью 8,5 МВт каждая.

3. Российский арктический челночный танкер «Василий Динков» (рис. 5, табл. 3), построенный по заказу группы компаний АО «Совкомфлот» в 2008 г. на судостроительной верфи Samsung Heavy Industries Co. Ltd Geoje Shipyard в Южной Корее, является головным судном серии из трех танкеров усиленного ледового класса Arc6, предназначенных для морской транспортировки нефти с находящегося в арктическом регионе месторождения Варандей. Танкеры построены в соответствии с требованиями PMPC и American Bureau of Shipping. Они имеют следующие характеристики: длина 257 м, ширина 34 м, осадка 14 м, дедвейт 72 722 т, водоизмещение 93 515 т., скорость 14 уз.



Рис. 4. Танкер «Михаил Ульянов»  
Fig. 4. Crude oil tanker "Mikhail Ulyanov"

Таблица 2. Суды проекта P-70046

Строительный номер	Дата постройки	Номер IMO	Название
02750	26.02.2010	9333670	«Михаил Ульянов»
02751	10.09.2010	9333682	«Кирилл Лавров»



Рис. 5. Танкер «Василий Динков»  
Fig. 5. Crude oil tanker "Vasily Dinkov"

Таблица 3. Танкер «Василий Динков»

Строительный номер	Дата постройки	Номер IMO	Название
1660	01.01.2008	9372547	«Василий Динков»
1661	27.05.2008	9372559	«Тимофей Гуженко»
1662	24.02.2009	9372561	«Капитан Готский»



Рис. 6. Танкер «Енисей»  
Fig. 6. Tanker "Enisey"

Архитектурно-конструктивный тип судна: однопалубное с избыточным надводным бортом, коротким баком, кормовым расположением машинно-котельного отделения (МКО) и жилой надстройки (рубки), ледокольной формой носовой оконечности и специальной формой кормовой оконечности, обеспечивающей возможность движения во льдах кормой вперед.

Танкеры оснащены двумя движительными комплексами типа Azipod суммарной мощностью 20 МВт, системой динамического позиционирования, вертолетной площадкой. Такие технические решения обеспечивают судну высокую ледопроходимость при движении как носом, так и кормой вперед, что значительно сокращает продолжительность маневрирования во льдах и повышает безопасность судна.

4. В марте 2010 г. компания «Норильский никель» разместила заказ на нефтеналивной танкер на верфи Nordic Yard в Висмаре. Танкер под названием «Енисей» (рис. 6) был построен в конце сентября 2011 г. Судно, обозначенное как «Nordic AT 19», имеет такие же основные размеры, характеристики и возможности, как и 5 ледокольных контейнеровозов компании (типа «Норильский никель»): длина 169 м, ширина 26,45 м, осадка 10 м, дедвейт 18 902 т, водоизмещение 29 339 т, скорость 15,3 уз.

Судно имеет класс Российского морского регистра судоходства KM ★ Arc7 AUT2-ICS EPP, ANTI-Ice VCS IGS-IG ECO BWM CSR Oil tanker (ESP) (Arc7 at  $d \leq 9.0$  m) и в дополнение DNV Class notation: WINTERIZED COLD (−40°C) — (−50°C) COMF — C(3) CLEAN.

Судно предназначено для круглогодичной эксплуатации в российской Арктике, Печорском, Карском морях и Енисее. В случае необходимости допускает-

ся использование ледокольного обеспечения. Судно оборудовано кормовым движительным комплексом типа Azipod мощностью 13 МВт и подруливающим устройством в носовой части судна. Ледопроходимость: кормой вперед — 1,5 м при скорости около 2 уз, носом вперед — 1,5 м при скорости около 1 уз.

5. Танкер «Штурман Альбанов» (рис. 7, табл. 4) — первый из 6 арктических челночных танкеров двойного действия дедвейтом около 42 тыс. т, построен на верфи судостроительной компании «Samsung Heavy Industries» (Южная Корея) по заказу группы компаний АО «Совкомфлот» в рамках контракта с компанией «Газпромнефть». Суда предназначены для морской транспортировки сырой нефти Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения, расположенного на юге полуострова Ямал, через терминал «Ворота Арктики» в Обской губе в районе мыса Каменный в порт Мурманск в условиях круглогодичной навигации. Суда спроектированы с учетом малых глубин Обской губы и климатических условий Арктики и имеют следующие характеристики: длина 249 м, ширина 34 м, осадка 9,5 м, дедвейт 41 455 т, водоизмещение 63 186 т, скорость 14,9 уз.

Суда могут самостоятельно преодолевать лед толщиной до 1,8 м при движении кормой вперед и до 1,4 м — носом вперед. Танкеры оборудованы двумя ВРК типа Azipod, способными поворачиваться на 360° вокруг своей оси, что обеспечивает высокую маневренность при движении носом и кормой.

Архитектурно-конструктивный тип судна: однопалубное с минимальным надводным бортом. Между носовой и кормовой надстройками располагается длинный тронк, палуба которого находится на уровне палуб кормовой и носовой надстроек. Судно имеет кормовое расположение МКО, ледокольную форму носовой оконечности и специальную форму кормовой оконечности, обеспечивающую возмож-





Рис. 7. Танкер «Штурман Альбанов»  
Fig. 7. Crude oil tanker "Navigator Albanov"

ность движения во льдах кормой вперед. Корпус танкера имеет ледовые усиления, соответствующие ледовому классу Arc7 Российского морского регистра судоходства.

Судно оборудовано носовым погрузочным устройством, позволяющим присоединять, удерживать танкер и принимать нефть с терминала «Ворота Арктики».

6. Южнокорейская верфь «Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering» (DSME) выиграла тендер на строительство серии из 15 танкеров-газовозов ледового класса в июле 2013 г. Соглашение о строительстве заключено между DSME и «Ямал СПГ», однако допускает возможность передачи права собственности на новые танкеры сторонним компаниям-перевозчикам. Танкеры данной серии типа YAMALMAX («Ямалмакс») предназначены для перевозки сжиженного природного газа (СПГ), поставляемого российским предприятием «Ямал СПГ».

Головным танкером-газовозом является «Christophe de Margerie» (рис. 8, табл. 5), постройка которого завершена 9 ноября 2016 г. на верфи «Daewoo Shipbuilding &

Таблица 4. Танкер «Штурман Альбанов»

Строительный номер	Дата постройки	Номер IMO	Название
2132	16.08.2016	9752084	«Штурман Альбанов»
2133	07.10.2016	9752096	«Штурман Малыгин»
2134	08.12.2016	9752101	«Штурман Овцын»
2135	16.02.2017	9759915	«Штурман Скуратов»
2136	19.03.2017	9759927	«Штурман Щербинин»
2137	2017	9759939	«Штурман Кошелев»



Рис. 8. Танкер-газовоз «Кристоф де Маржери»  
Fig. 8. LNG Tanker "Chris. de Margerie"

Таблица 5. Танкер-газовоз «Christophe de Margerie»

Год постройки	Номер IMO	Название
2016	9737187	«Кристоф де Маржери»
2017	9768368	«Борис Вилькицкий»
2017	9768370	«Федор Литке»
2017	9750696	«Эдуард Толль»
2017	9750713	«Рудольф Самойлович»
2017	9750701	«Владимир Русанов»
2017	9750658	«Владимир Визе»
2018	976838	«Георгий Брусилов»
2018	9768394	«Борис Давыдов»
2018	9768526	«Николай Зубов»

Marine Engineering». К настоящему времени построено 10 газозовов СПГ для проекта «Ямал СПГ». Из них российской компании «Совкомфлот» принадлежит лишь одно судно — головной танкер «Кристоф де Маржери».

Основные характеристики танкера: водоизмещение 143 866 т, дедвейт 80 200 т, длина 299 м, ширина 50 м, максимальная осадка 11,8 м, скорость хода 19,5 уз, грузопместимость 172,6 тыс. м<sup>3</sup>. Ледовый класс судна соответствует категории Arc7 по классификации РМРС, что позволит танкеру самостоятельно эксплуатироваться во льдах толщиной до 2,1 м.

#### Форма корпуса современных судов ледового плавания

Архитектурно-конструктивный тип судна в значительной степени характеризуется формой корпуса. Форма корпуса современных судов ледового плавания (и СДД в частности) в носовой и особенно в кормовой оконечностях существенно отличается от традиционных форм, которые характерны для судов, построенных в 1970—1980-х годах, опыт проектирования и эксплуатации которых заложен в основу действующих требований Правил Российского морского регистра судоходства к усилениям судов для плавания во льдах.

Для современных судов ледового плавания характерны значительно меньшая протяженность носового заострения, вертикальные борта в средней части. Ряд судов ледового плавания имеет необычную (ложкообразную) форму носовой (кормовой) оконечности. Так, у традиционных судов ледового плавания протяженность носового заострения достигала 40% длины судна. Для судов ледового класса УЛА (усиленный ледовый арктический, современное обозначение Arc7) Правилами РМРС [4] регламентировался угол наклона в средней части не менее

8°<sup>4</sup>. У современных арктических транспортных судов ледового плавания протяженность носового заострения обычно не превышает 20—25% длины судна. Это приводит к формам корпуса с большими значениями углов наклона ватерлиний и шпангоутов в носовом районе, которые могут достигать 60—70° и более.

На рис. 9 и 10 показаны результаты сопоставительного анализа формы корпуса современного арктического судна типа «Василий Динков» и судна типа «Амгуема» проекта 550, которое было эталоном для разработки требований Правил РМРС к арктическим судам класса УЛА. Кривые распределения углов наклона ватерлинии и шпангоутов на уровне осадки в полном грузу в носовой и кормовой оконечностях, представленные на рисунках, показывают кардинальное различие формы корпуса современных и традиционных арктических судов. Очевидно, это будет влиять на величину и характер распределения расчетных ледовых нагрузок на носовой и кормовой районы корпуса судна [5].

Формы обводов и конструкция корпуса в кормовой оконечности кардинально изменились в связи с широким применением ВРК типа Azipod или винторулевой колонки и внедрением концепции СДД. Форма корпуса в кормовой оконечности зависит от количества ВРК [5]. Все существующие СДД могут иметь один, два или три ВРК в виде азиподов и/или винторулевых колонок. Количество ВРК зависит как от размеров судов, так и от ледового класса. Предпочтение отдается ВРК в виде азиподов, особенно для судов с высокой категорией ледовых усиления.

<sup>3</sup> У первого отечественного лихтеровоза с ядерной ЭУ «Севморпуть» с категорией ледовых усиления корпуса УЛА, который проектировался в конце 1970-х годов, угол наклона борта в средней части составляет 11°.

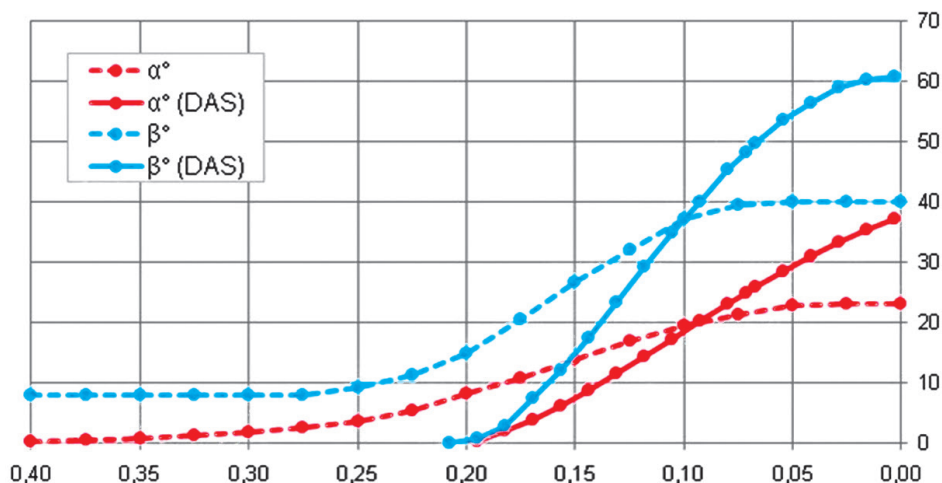


Рис. 9. Углы наклона ватерлинии  $\alpha^\circ$  (DAS) и шпангоутов  $\beta^\circ$  (DAS) в носовом районе СДД «Василий Динков» и универсального сухогрузного судна типа «Амгуема» ( $\alpha^\circ$  и  $\beta^\circ$ )

Fig. 9. The inclination angles of the waterline  $\alpha^\circ$  (DAS) and frames  $\beta^\circ$  (DAS) in the bow area of the DAV "Vasily Dinkov" and the universal dry cargo vessel of the "Amguema"-type ( $\alpha^\circ$  and  $\beta^\circ$ )

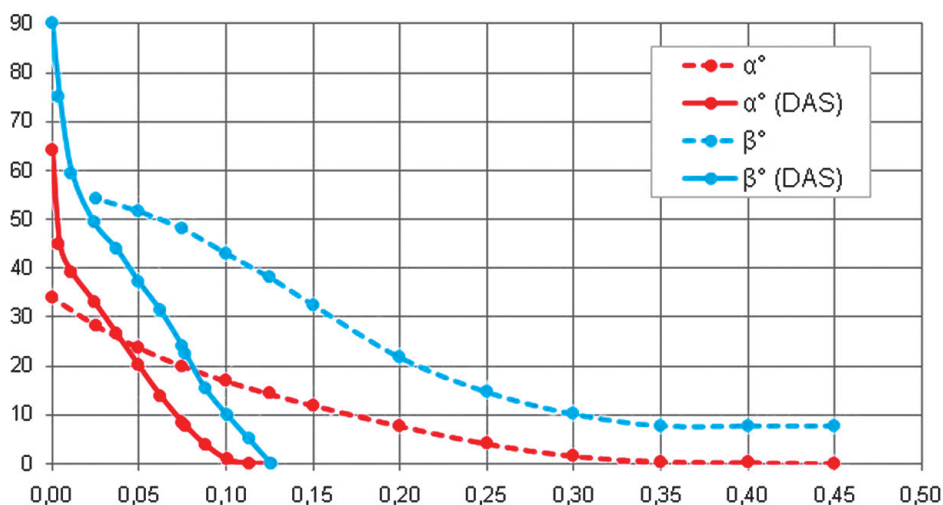


Рис. 10. Углы наклона ватерлинии  $\alpha^\circ$  (DAS) и шпангоутов  $\beta^\circ$  (DAS) в кормовом районе СДД «Василий Динков» и универсального сухогрузного судна типа «Амгуема» ( $\alpha^\circ$  и  $\beta^\circ$ )

Fig. 10. The inclination angles of the waterline  $\alpha^\circ$  (DAS) and frames  $\beta^\circ$  (DAS) in the aft area of the DAV "Vasily Dinkov" and the universal dry cargo vessel of the "Amguema"-type ( $\alpha^\circ$  and  $\beta^\circ$ )

Количество ВРК практически полностью определяет форму ватерлиний в районе кормовой оконечности:

- при одном ВРК форма действующих ватерлиний в районе кормовой оконечности практически такая же, как и в носовой оконечности (рис. 11а);
- при двух ВРК корпус в районе диаметральной плоскости, как правило, имеет «выемку», предназначенную для удаления обломков льда, попавших в район ВРК (рис. 11б);
- при трех ВРК форма ватерлиний еще более сложна и является некоторой комбинацией форм ватерлиний при одном и двух ВРК (рис. 11в).

Кроме того, для кормовой оконечности СДД характерны наличие и большая протяженность кор-

мового подзора, который имеет наклонную плоскую форму днища; углы наклона кормового подзора находятся в диапазоне 16—20° (рис. 12 и 13).

Указанные особенности кормовой оконечности позволяют сформулировать некоторые общие рекомендации по ее конструктивному оформлению:

- Целесообразно наличие скега в кормовой оконечности, который увеличивает жесткость консольных участков кормового свеса и защиту ВРК от воздействий льда, попадающего в район кормового подзора (см. рис. 13)<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Существуют конструктивные решения кормы с двумя скегами.



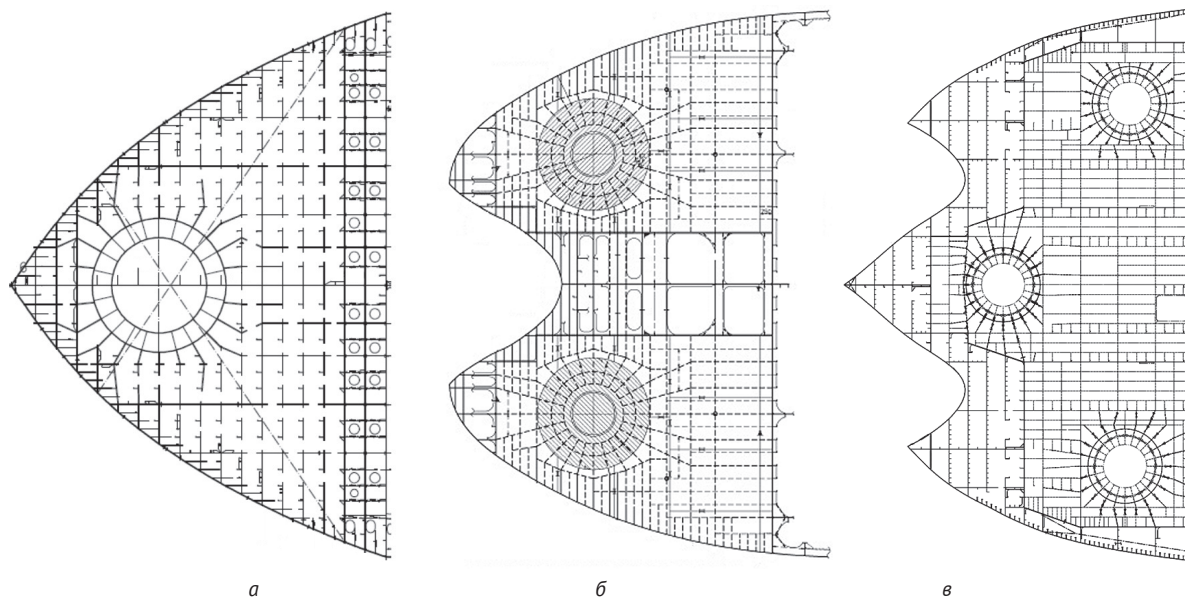


Рис. 11. Пример форм действующих ватерлиний в районе кормовых оконечностей СДД: а – с одним ВРК, б – с двумя ВРК, в – с тремя ВРК

Fig. 11. Examples of existing waterline forms in the aft ends of DAVs: а – one thruster, б – two thrusters, в – three thrusters

- Для увеличения жесткости конструкций кормовой оконечности, уменьшения общей вибрации и исключения повреждений усталостного характера должна устанавливаться продольная переборка (или переборки), которая должна быть доведена до транца (см. рис. 13 и 11).

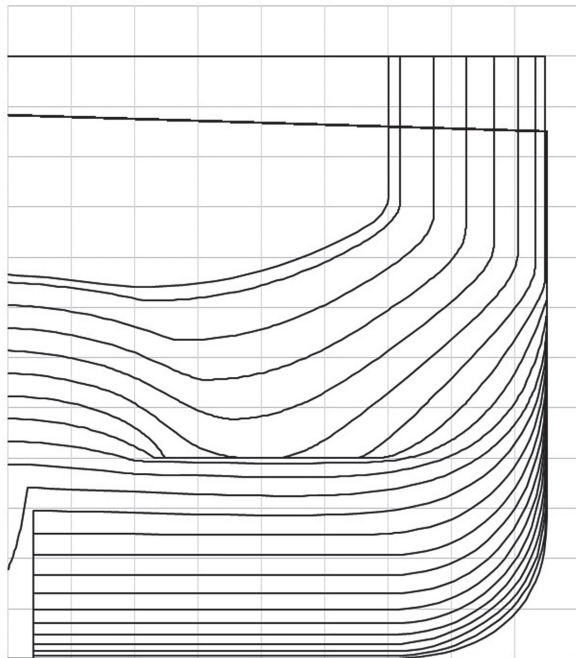


Рис. 12. Форма кормовой части корпуса арктического судна двойного действия

Fig. 12. Form of the aft hull of a double-acting arctic vessel (DAV)

- В районе плоского днища кормового подзора целесообразно применение продольной системы набора с промежуточными продольными балками (рис. 14). Такое конструктивное решение благоприятно влияет на условия работы основного набора кормового подзора, на воздействие ледовых нагрузок<sup>5</sup>.
- Блок винторулевого комплекса должен устанавливаться в опорный барабан или шахту в зависимости от формы опорного фланца винторулевого комплекса. Соединение блока с корпусными конструкциями болтовое. Опорный барабан должен быть надежно конструктивно перевязан с основными корпусными конструкциями, которые в районе расположения опорного барабана ВРК дополнительно усиливаются (рис. 15). Требуемые усиления конструкций в районе опорного барабана обосновываются прямым расчетом на воздействие ледовых нагрузок с использованием метода конечных элементов.

Обстоятельные рекомендации, касающиеся конструкции корпуса в кормовой оконечности СДД, приведены в проекте требований Правил РМРС [5].

Особенности формы корпуса современных арктических судов, в том числе СДД, позволяют сформулировать некоторые общие рекомендации к конструкции носовой оконечности:

<sup>5</sup> При движении судна кормой вперед зона контакта со льдом конструкций кормового подзора преимущественно будет вытянута в поперечном направлении. При продольной системе набора в восприятии ледовых нагрузок будет одновременно участвовать значительное число продольных балок, что позволит получить более легкие конструкции.

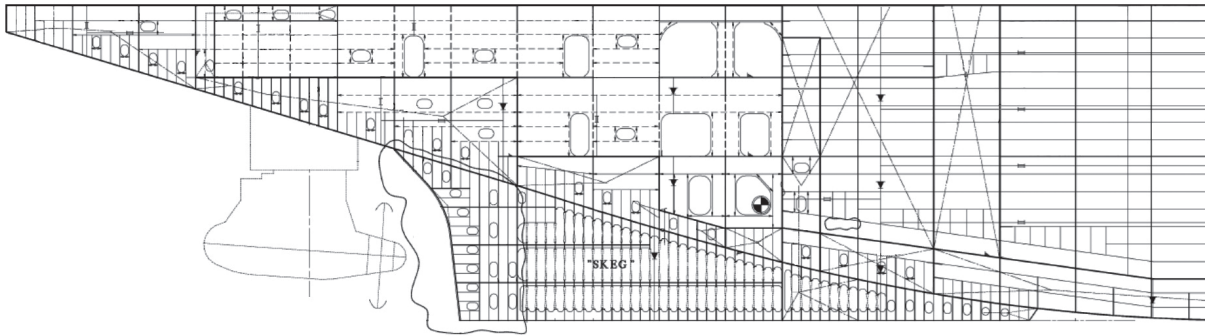


Рис. 13. Кормовая оконечность одного из арктических челночных танкеров двойного действия  
Fig. 13. Aft tip of one of the arctic double-acting shuttle tankers

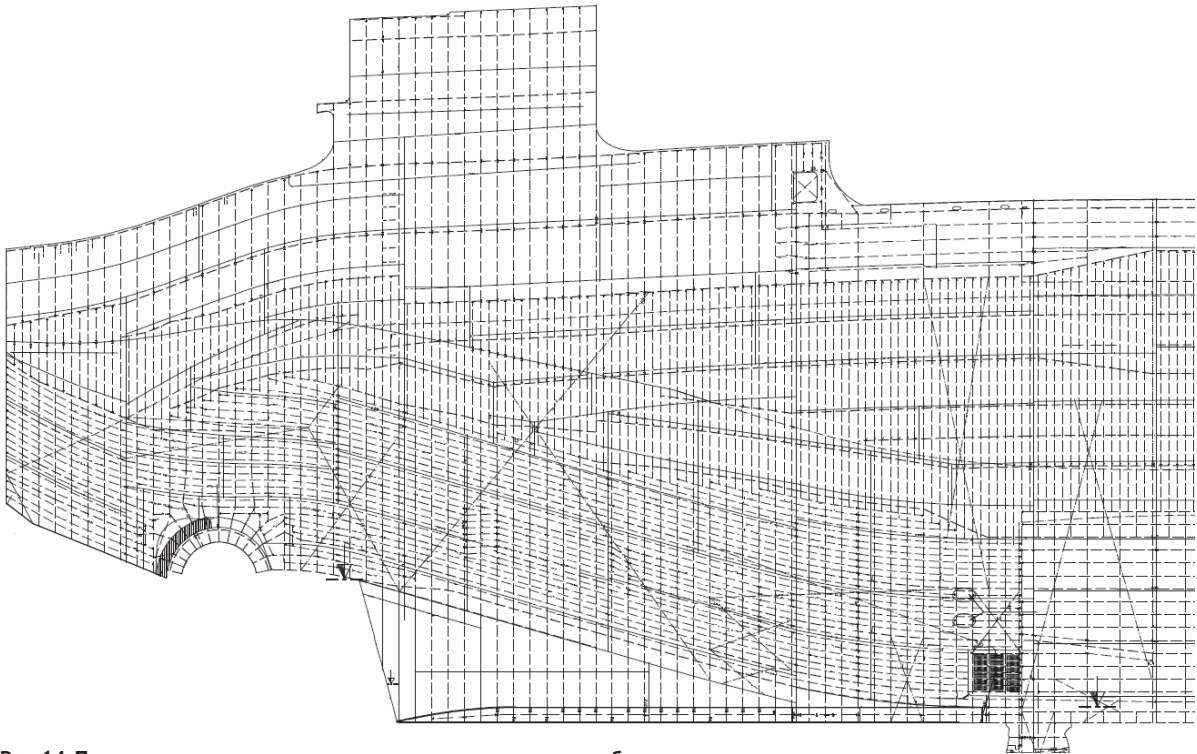
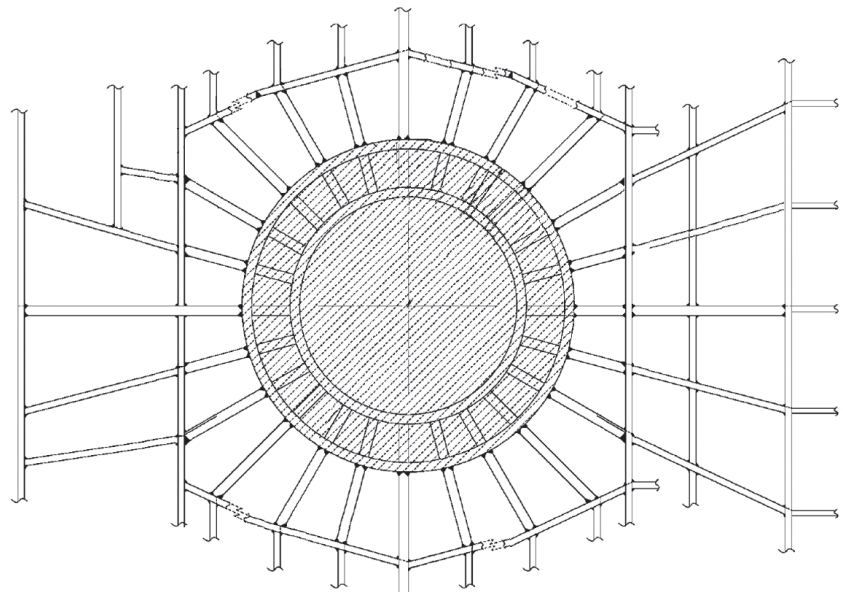


Рис. 14. Подкрепление днища кормового подзора продольными балками  
Fig. 14. Reinforcement of the bottom of the aft exploration with longitudinal stiffeners

Рис. 15. Принцип перевязки опорного барабана с корпусными конструкциями  
Fig. 15. The principle of ligation support drum with hull structures



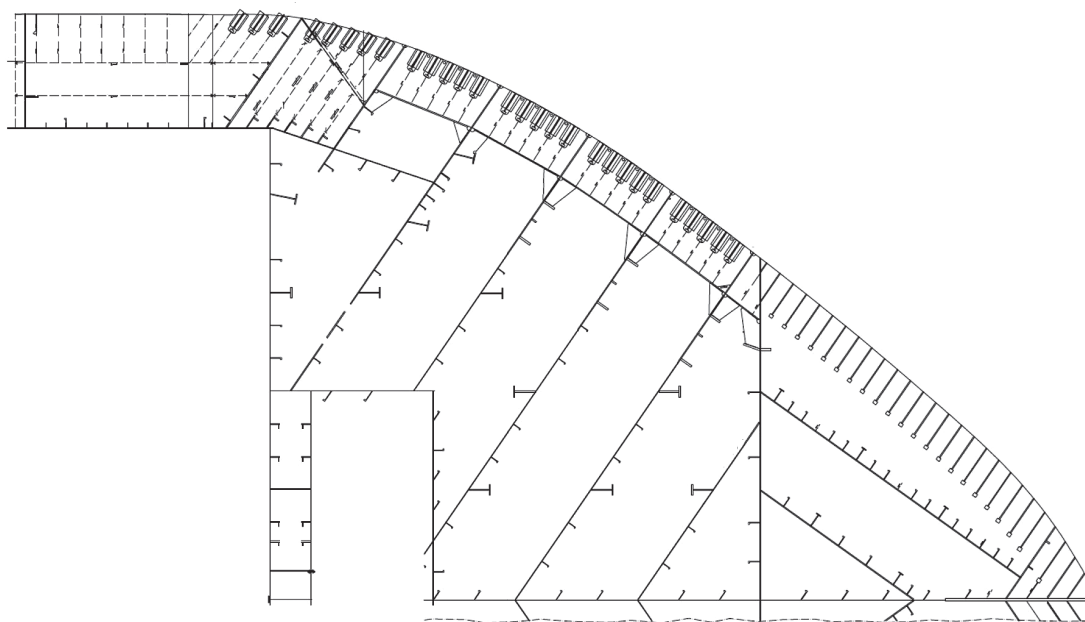


Рис. 16. Поперечная система набора борта с «поворотными» шпангоутами  
Fig. 16. Transverse system set with "swivel" frames

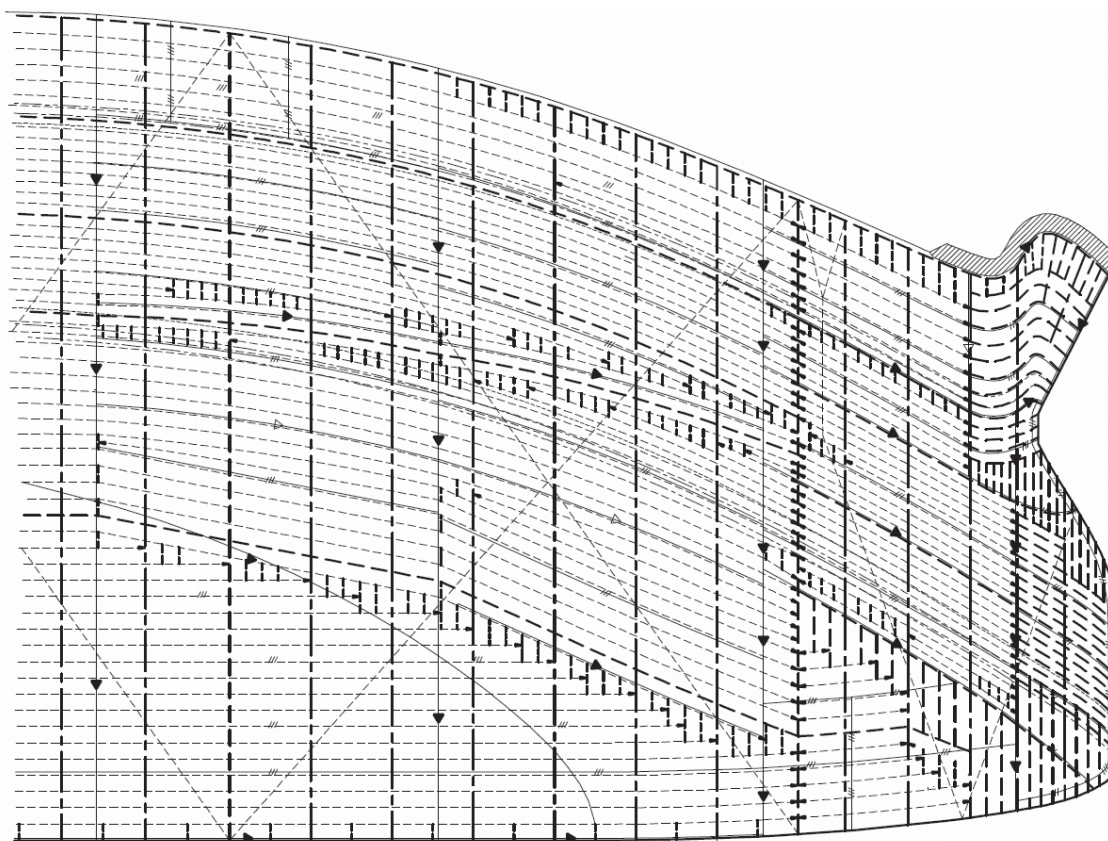


Рис. 17. Продольная система набора ледового пояса танкера типа AFRAMAX в носовой оконечности  
Fig. 17. Longitudinal framing system in the area of the ice belt of the AFRAMAX-type tanker in the bow part



- Предпочтительной является поперечная система набора корпуса в районе ледового пояса. Поскольку зона контакта корпуса со льдом вытянута в продольном направлении, такое конструктивное решение позволяет получить более легкий основной набор.
- В связи с малой протяженностью носового заострения у современных арктических судов и большими углами наклона ватерлинии рекомендуется применять поперечную систему набора с «поворотными» шпангоутами, установленными под углом, близким к направлению нормали к борту на уровне расчетной ватерлинии (рис. 16). Такое конструктивное решение позволяет увеличить значение фактического момента сопротивления шпангоута и, следовательно, уменьшить размеры шпангоутов [6]. Кроме того, это дает возможность снизить влияние требований к боковой устойчивости шпангоутов на их требуемые размеры [7]. Расширяется возможность применения полосового набора для основных и промежуточных шпангоутов (см. рис. 16).
- Крупнотоннажные суда двойного действия, имеющие неледую носовую оконечность (с бульбовыми обводами в том числе), могут иметь продольную систему набора в районе ледового пояса, конструктивно согласованную с системой набора корпуса в среднем районе (рис. 17).

### Заключение

В статье сформулированы основные особенности и этапы развития концепции судна двойного действия — СДД применительно к судам, предназначенным для эксплуатации в Арктике. Приведен обзор современных СДД, построенных в соответствии с требованиями Российского морского регистра судоходства и эксплуатирующихся в настоящее время в Арктике и на трассе Северного морского пути. Выполнен анализ особенностей формы корпуса СДД в районе носовой и кормовой оконечностей современных судов ледового плавания, реализующих концепцию СДД. Даны предложения

по конструкции корпуса СДД в кормовой и носовой оконечностях.

Материалы, представленные в данной работе, использовались авторами при разработке требований Российского морского регистра судоходства к определению расчетных ледовых нагрузок на корпус современных судов ледового плавания в носовом и кормовом районах, включая суда двойного действия. Результаты разработки этих требований предполагается опубликовать в следующем номере журнала «Арктика: экология и экономика».

### Литература

1. Juurmaa K., Wilkman G., Bäckström M. New ice-breaking tanker concept for the arctic (DAT) // Proceeding of POAC 95. — Vol. 4. — St. Petersburg, 1995. — P. 52—71.
2. Андриенко В. Г. Ледокольный флот России, 1860-е — 1918 гг. — М.: Европ. изд., 2009. — 536 с.
3. Сазонов К. Е. О ледовой ходкости и управляемости крупнотоннажных судов двойного действия в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2016. — № 1 (107). — С. 50—60.
4. Правила классификации и постройки морских судов. — Т. 1. — Ч. 2: Корпус / Рос. мор. регистр судоходства. — Л., 1981.
5. Александров А. В., Платонов В. В., Тряскин В. Н. Разработка проекта требований Правил РМРС к конструкции ледовых усилений корпуса судов, предназначенных для эксплуатации кормой вперед // Науч.-техн. сб. Рос. мор. регистра судоходства. — 2018. — Дек., № 52/53. — С. 47—56.
6. Правила классификации и постройки морских судов. — Т. 1. — Ч. 2: Корпус / Рос. мор. регистр судоходства. — СПб., 2019.
7. Babtsev V. A., Kultsep A. V., Tryaskin V. N. Investigations of ice Load-carrying Capacity of Ship Hull Ice Belt Framing in Elastic-Plastic Stage // 16th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering OMAE '97. — Yokohama, April 13—18, 1997.

### Информация об авторах

**Платонов Виктор Викторович**, кандидат физико-математических наук, начальник сектора, Крыловский государственный научный центр (196158, Россия, Санкт-Петербург, Московское шоссе, д. 44), e-mail: viktorplatonov@yandex.ru.

**Тряскин Владимир Николаевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой конструкции и технической эксплуатации судов, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет (190121, Россия, Санкт-Петербург, Лоцманская ул., д. 3), e-mail: tryaskin.vn@yandex.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

Платонов В. В., Тряскин В. Н. Архитектурно-конструктивные особенности арктических судов двойного действия // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 3 (35). — С. 84—96. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96.

## ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL FEATURES OF ARCTIC DOUBLE-ACTING VESSELS

Platonov V. V.

Krylov State Research Centre (St. Petersburg, Russian Federation)

Tryaskin V. N.

State Marine Technical University (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on April 11, 2019

### Abstract

The concept of a double-acting vessel was proposed in the mid-1990s by experts from the Arctic Research & Development Group of Kvaerner Masa-Yards (Finland) as applied to solving the problem of oil export from the Russian Arctic. Experience in the design and operation of the DAS to date is about 25 years. The article discusses the main features and development stages of ice navigation vessels that implement the “double-acting vessel” concept. The paper presents general description of modern double-acting vessels currently operating in the Arctic and in the North Sea Route. Architectural and structural features of bow and aft areas are analyzed for modern ice navigation vessels with a high ice class of the Russian Maritime Registry of Shipping.

**Keywords:** *Double-acting vessels, architectural and structural features, propeller-rudder system, Russian Maritime Registry of Shipping.*

### References

1. Juurmaa K., Wilkman G., Bäckström M. New icebreaking tanker concept for the arctic (DAT). Proceeding of POAC 95. Vol. 4. St. Petersburg, 1995, pp. 52—71.
2. Andrienko V. G. Ledokol'nyi flot Rossii, 1860-e — 1918 gg. [Icebreaker fleet of Russia, 1860s — 1918]. Moscow, Evrop. izd., 2009, 536 p. (In Russian).
3. Sazonov K. E. O ledovoi khodkosti i upravlyaemosti krupnotonnazhnykh sudov dvoynogo deistviya v Ark-tike. [On propulsion and maneuvering performance of large-size double-acting vessels in Arctic waters]. Problemy Arktiki i Antarktiki, 2016, no. 1 (107), pp. 50—60. (In Russian).
4. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. T. 1. Pt. 2. Korpus. [Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Pt. 2]. Ros. mor. registr sudokhodstva. Leningrad, 1981. (In Russian).
5. Aleksandrov A. V., Platonov V. V., Tryaskin V. N. Raz-rabotka proekta trebovaniy Pravil RMRS k konstruksii ledovykh usilenii korpusa sudov, prednaznachennykh dlya ekspluatatsii kormoi vpered. [Development of draft RS Rules requirements for hull ice strengthening of ships designed for astern operation]. Nauch.-tekhn. sb. Ros. mor. registra sudokhodstva, 2018, Dek., no. 52/53, pp. 47—56. (In Russian).
6. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Vol. 1. Pt. 2: Korpus. [Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Pt. 2]. Ros. mor. reg-istr sudokhodstva. St. Petersburg, 2019. (In Russian).
7. Babtsev V. A., Kultsep A. V., Tryaskin V. N. Investiga-tions of ice Load-carrying Capacity of Ship Hull Ice Belt Framing in Elastic-Plastic Stage. 16th Interna-tional Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering OMAE '97. Yokohama, April 13—18, 1997.

### Information about the authors

**Platonov Viktor Viktorovich**, PhD of Physical and Mathematical Sciences, Head of Section, Krylov State Research Centre (44, Moskovskoe shosse, St. Petersburg, Russia, 196158), e-mail: viktorplatonov@yandex.ru.

**Tryaskin Vladimir Nikolaevich**, Doctor of Engineering Science, Professor, Head of Department, Ship Structure and Operation Department, State Marine Technical University (3, Lotsmanskaya Str., St. Petersburg, Russia, 190121), e-mail: tryaskin.vn@yandex.ru.

### Bibliographic description

**Platonov V. V., Tryaskin V. N.** Architectural and structural features of Arctic double-acting vessels. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 3 (35), pp. 84—96. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-3-84-96. (In Russian).

© Platonov V. V., Tryaskin V. N., 2019