

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА»

ВЕСТНИК

**ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА
ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА**

Выпуск 3 (31)

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2015**

Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова, 2015. — Вып. 3 (31). — 228 с.

ISSN 2309-5180

«Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова» является научным периодическим изданием, зарегистрированным Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Свидетельство о регистрации средства массовой информации от 17 июля 2013 г. ПИ № ФС 77-54734).

В Вестнике публикуются материалы научных исследований, а также статьи для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук по основным группам специальностей в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников: **05.22.00 «Транспорт»** в разделах: Эксплуатация водного транспорта, судовождение, Водные пути сообщения и гидрография; **05.08.00 «Кораблестроение»** в разделах: Судостроение и судоремонт, Судовые энергетические установки, системы и устройства; **08.00.00 «Экономические науки»** в разделе: Экономика и управление на транспорте; **05.09.00 «Электротехника»** в разделе: Электротехнические комплексы и системы; **05.13.00 «Информатика, вычислительная техника и управление»** в разделе: Информационные технологии и автоматизация на транспорте.

Статьи публикуются на русском и английском языках.

Статьи тщательно отбираются по критериям новизны, актуальности, научно-практической значимости, возможности реального использования описанных в них новых технологий на водном транспорте. По содержанию статьи должны соответствовать тематике журнала, его целям и задачам.

Статьи рецензируются независимыми экспертами.

Кроме того, в Вестнике публикуются обзорные материалы научных конференций, семинаров и совещаний; сообщения и статьи к юбилейным датам ведущих ученых и знаменательным событиям университета.

Вестник включен в Перечень ведущих рецензируемых журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки РФ.

Вестнику присвоен международный стандартный номер сериального периодического издания ISSN 2309-5180.

С 2009 года журнал включен в базу данных «Российский индекс научного цитирования» (РИНЦ).

Индекс для подписки в каталоге «Газеты. Журналы» агентства Роспечать: 37276.



СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ	7
<i>Андреев А. А., Андреева М. Ю.</i> Использование конструктивных возможностей азиподов на танкерах усиленного ледового класса при плавании в Арктике	7
<i>Дерябин В. В.</i> Нечёткая модель прогноза скорости дрейфа судна	14
<i>Крюков Н. Д., Шматков В. А.</i> Учёт течений, генерируемых ветром, при плавании судов	23
<i>Лупачев В. В., Кубасов Р. В., Богданов Р. Б.</i> Влияние климатогеографических условий на состояние здоровья моряков во время рейса (на основе анализа публикаций)	30
<i>Ахундова Г. А.</i> Исследование поглощения интенсивности акустической волны в океане	36
<i>Кирсанов М. Н.</i> Аналитическое исследование деформаций плоской фермы арочного типа	42
<i>Анненков Л. В.</i> Исследование устойчивости защемленной прямоугольной пластины, сжатой в одном направлении	48
ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ	54
<i>Колосков Е. Н., Фирсов Ю. Г.</i> Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа дна и донного газопроявления в северных морях России	54
<i>Каретников В. В., Волков Р. В., Киселевич Г. В.</i> Использование речной дифференциальной подсистемы Глонасс/GPS на внутренних водных путях Российской Федерации при проведении путевых работ	63
<i>Дорошенко Н. И.</i> Повышение эффективности седиментационной очистки ливневых сточных вод от железа	69
<i>Пластинин А. Е.</i> Оценка размера вреда, причиненного почве, при разливах нефти с судов	74
<i>Селиверстов Я. А., Селиверстов С. А.</i> Применение метода имитационного моделирования для оценки эффективности новых видов городского пассажирского транспорта	83
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА	93
<i>Безюков О. К., Жуков В. А., Тимофеев В. Н.</i> Современная концепция регулирования охлаждения судовых дизелей	93
<i>Иванченко А. А., Петров А. П., Живлюк Г. Е.</i> Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов	103
<i>Кулаченков С. А., Безпальчук С. Н., Белецкий Е. Н.</i> Перспективы способа магнитореологического полирования ответственных деталей топливной аппаратуры судовых двигателей внутреннего сгорания	113
ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАНСПОРТЕ	120
<i>Давыденко А. А., Кириченко А. В., Кузнецов А. Л.</i> Обоснование концепции создания транспортной системы совместного использования в Арктическом регионе Российской Федерации	120
<i>Пантина Т. А., Бородулина С. А.</i> К вопросу формирования системы мониторинга подпрограммы «Внутренний водный транспорт» ФЦП «Развитие транспортной системы России (2010 - 2020 годы)»	124

выпуск **3(31)**
2015

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор

С. О. Барышников,

д.т.н., профессор

rector@gumrf.ru

Зам. гл. редактора

Т. А. Пантина, д.э.н., проф.

PantinaTA@gumrf.ru

Ю. Н. Горбачев —

ген. конструктор ОАО
«Инженерный центр
судостроения», д.т.н., проф.

С. Гуца —

ректор Морской академии
(г. Щецин, Польша), д.т.н.,
проф.

Г. В. Егоров —

ген. директор ЗАО «Морское
инженерное бюро — СПб»,
д.т.н., проф.

Ф. В. Кармазинов —

ген. директор ГУП
«Водоканал СПб», д.т.н., проф.

Р. Качиньски —

проректор по развитию и
сотрудничеству Технического
университета (г. Белосток,
Польша), д.т.н., проф.

А. И. Пошивай —

заместитель руководителя
Федерального агентства
морского и речного транспорта

А. Е. Сазонов —

д.т.н., проф., член-
корреспондент РАН

Р. М. Юсупов —

директор Санкт-Петербургского
института информатики и
автоматизации РАН, д.т.н.,
проф., член-корреспондент РАН

РЕДАКЦИЯ:

E-mail: journal@gumrf.ru

http://journal.gumrf.ru

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-54734 от 17.07.2013 г.

Адрес редакции: 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7.

Подписной индекс в каталоге Роспечать — 37276.

Все материалы, поступившие в редакцию, рецензируются.

**Члены
ред. коллегии:**

О. К. Безюков,
д.т.н., проф.
В. В. Веселков,
д.т.н., проф.
П. А. Гарибин,
д.т.н., проф.
Д. П. Голоскоков,
д.т.н., проф.
Б. П. Ивченко,
д.т.н., проф.
Ю. М. Искандеров,
д.т.н., проф.
О. Г. Каратаев,
д.т.н., проф.
А. В. Кириченко,
д.т.н., проф.
М. А. Колосов,
д.т.н., проф.
Е. А. Королева,
д.э.н., проф.
И. И. Костылев,
д.т.н., проф.
Е. А. Лаврентьева,
д.э.н., проф.
А. Ю. Ластовцев,
к.т.н., проф.
С. Б. Лебедев,
д.э.н., проф.
В. А. Логиновский,
д.т.н., проф.
Г. В. Макаров,
д.т.н., проф.
В. Е. Марлей,
д.т.н., проф.
А. М. Никитин,
д.т.н., проф.
А. П. Нырков,
д.т.н., проф.
Л. И. Погодаев,
д.т.н., проф.
Н. В. Растрьгин,
к.т.н., доц.
В. И. Решняк,
д.т.н., проф.
В. В. Романовский,
д.т.н., проф.
А. А. Сикарев,
д.т.н., проф.
И. П. Скобелева,
д.э.н., проф.
С. В. Смоленцев,
д.т.н., проф.
А. Л. Степанов,
д.т.н., проф.
М. В. Сухотерин,
д.т.н., проф.
Е. Г. Трунин,
к.э.н., директор РРР
Г. В. Ушакова,
к.и.н., проф.
В. И. Черненко,
д.т.н., проф.
В. Б. Чистов,
д.т.н., проф.

<i>Изотов О. А.</i> Обоснование оптимальных капиталовложений в формирование транспортной инфраструктуры обеспечения работ на арктическом шельфе России	132
<i>Вепринская Т. А., Панасенко З. А.</i> Специфика применения модели массового обслуживания для определения рациональной численности ролл-трейлерного парка линейной компании	138
<i>Алексеева Е. Г.</i> Анализ системы и организационной структуры управления навигационно-гидрографическим обеспечением судоходства	145

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<i>Сахаров В. В., Чертков А. А., Сабуров С. В.</i> Моделирование стационарных режимов в электрических и гидравлических сетях средствами нелинейного программирования	156
<i>Григорьев А. В., Зайнуллин Р. Р.</i> Анализ режимов эксплуатации судовых валогенераторных установок с преобразователями частоты и синхронными компенсаторами	164
<i>Барцевский Е. Г.</i> Влияние конструктивных особенностей генераторных агрегатов на параметры модулированного напряжения генератора	171
<i>Приходько В. М., Приходько И. В., Игнатов Д. И.</i> Повышение эффективности энергообеспечения судостроительно-судоремонтных предприятий	175

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

<i>Кузнецов В. Н., Матвеев А. А., Нырков А. П.</i> Алгоритм построения вектора признаков при распознавании судов	187
<i>Фетисов В. А., Майоров Н. Н.</i> Решение задачи прогнозирования и оперативного управления работой морской контейнерной линией на основе имитационного моделирования	193
<i>Юрин И. В., Пантюхин И. С.</i> Проверка гипотезы создания цифрового полиграфа на основе видео и аудио данных	202
<i>Король Р. Г., Балалаев А. С.</i> Имитационная модель системы «железнодорожная станция — морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла	209
<i>Тындыкарь Л. Н., Крупенина Н. В., Барышникова Н. Ю.</i> Организация распределенной системы подготовки и проведения электронного тестирования для оценки соответствия профессиональных компетенций работников морских специальностей	216

OPERATION OF WATER TRANSPORT, NAVIGATION	7
<i>Andreev A. A., Andreeva M. Ju.</i> Additional potential of the azipod for ice-classed tankers operating in the Arctic	7
<i>Derjabin V. V.</i> Fuzzy inference vessel's drift speed prediction system	14
<i>Krjukov N. D., Shmatkov V. A.</i> Account of wind currents in navigation	23
<i>Lupachev V. V., Kubasov R. V., Bogdanov R. B.</i> Climate-geographic environment effect to sailor staff health during sea voyage (publications	30
<i>Ahundova G. A.</i> The absorption intensity of the acoustic waves in the ocean	36
<i>Kirsanov M. N.</i> Analytical study of deformations of a flat truss arch type	42
<i>Annenkov L. V.</i> Explore of stability of clamped rectangular plate, compressed in one direction	48
WATERWAYS AND HYDROGRAPHY	54
<i>Koloskov E. N., Firsov Ju. G.</i> Implementation of the new hydrographic technologies for bottom topography and seafloor gas venting investigations in the Russian northern seas	54
<i>Karetnikov V. V., Volkov R. V., Kiselevich G. V.</i> To the question of use river differential subsystem GLONASS / GPS on the inland Russian waterways at carrying out of track works	63
<i>Doroshenko N. I.</i> Improving the efficiency of sedimentation rainwater treatment of iron	69
<i>Plastinin A. E.</i> Assessment of the extent of harm to the soil at oil spills from vessels	74
<i>Seliverstov Ja. A., Seliverstov S. A.</i> About using simulation to evaluate the efficiency of the new type of the urban passenger transport	83
SHIP POWER PLANTS, SYSTEMS AND DEVICES	93
<i>Bezjukov O. K., Zhukov V. A., Timofeev V. N.</i> Contemporary conception of regulation in cooling system of ship's diesel engines	93
<i>Ivanchenko A. A., Petrov A. P., Zhivljuk G. E.</i> Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions	103
<i>Kulachenkov S. A., Bezpalchuk S. N., Beleckij E. N.</i> Prospects the way magneto-rheological polishing responsible parts of fuel equipment of ship engine	113
ECONOMICS AND MANAGEMENT OF TRANSPORT	120
<i>Davydenko A. A., Kirichenko A. V., Kuznecov A. L.</i> Theoretical justification for the development of multi-users transportation system in the Arctic region of Russian Federation	120
<i>Pantina T. A., Borodulina C. A.</i> Formation of monitoring system for Federal Program "Development of Transport System in Russia (2010-2020)" (direction "Inland water transport")	124
<i>Izotov O. A.</i> Substantiation of the optimum investment in developing transport infrastructure for the work on the Russia's arctic shelf	132
<i>Veprinskaja T. A., Panasenko Z. A.</i> Specifics of use the queuing model for search a rational number of roll-trailers for linear company	138
<i>Alekseeva E. G.</i> Analysis of the system and the organizational structure of shipping navigation and hydrographic support management	145

edition **3(31)**
2015

EDITOR-IN-CHIEF

S. O. Baryshnikov
doctor of technical Sciences, prof.
rector@gumrf.ru

Deputy Editor-in-Chief

T. A. Pantina
doctor of economic Sciences, Prof.
PantinaTA@gumrf.ru

Yu. N. Gorbachev —
general Designer of JSC
"Engineering center of
shipbuilding", doctor of technical
Sciences, Prof.

S. Gutsma —
Rector of the Maritime Academy
(g.Schetsin, Poland), doctor of
technical Sciences, Prof.

G. V. Yegorov —
General Director of "Marine
Engineering Bureau - St.
Petersburg", doctor of technical
Sciences, Prof.

F. V. Karmazinov —
General Director "Vodokanal
of St. Petersburg", doctor of
technical Sciences, Prof.

R. Kachin'ski —
Vice-Rector for Development
and Cooperation of the Technical
University (Bialystok, Poland),
doctor of technical Sciences, Prof.

A. I. Poshivay —
Deputy Head of the Federal
Agency of Sea and River
Transport

A. Ye. Sazonov —
doctor of technical Sciences,
Prof., corresponding member of
the Russian Academy of Sciences

R. M. Yusupov —
director of "St. Petersburg
Institute for Informatics and
Automation of RAS", doctor
of technical Sciences, Prof.,
corresponding member of the
Russian Academy of Sciences

EDITORIAL STAFF:
E-mail: journal@gumrf.ru
http://journal.gumrf.ru

Editorial Collegium:

O. K. Bezyukov,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. V. Veselkov,
doctor of technical Sciences, Prof.
P. A. Garibin,
doctor of technical Sciences, Prof.
D. P. Goloskokov,
doctor of technical Sciences, Prof.
B. P. Ivchenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
Y. M. Iskanderov,
doctor of technical Sciences, Prof.
O. G. Karatayev,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. V. Kirichenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
M. A. Kolosov,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. A. Koroleva,
doctor of economic Sciences, Prof.
I. I. Kostylev,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. A. Lavrentyeva,
doctor of economic Sciences, Prof.
A. Yu. Lastovtsev,
candidate of technical Sciences, Prof.
S. B. Lebedev,
doctor of economic Sciences, Prof.
V. A. Loginovskiy,
doctor of technical Sciences, Prof.
G. V. Makarov,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. Ye. Marley,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. M. Nikitin,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. P. Nyrkov,
doctor of technical Sciences, Prof.
L. I. Pogodayev,
doctor of technical Sciences, Prof.
N. V. Rastrygin,
candidate of technical Sciences,
Associate Prof.
V. I. Reshnyak
doctor of technical Sciences, Profe
V. V. Romanovskiy,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. A. Sikarev,
doctor of technical Sciences, Prof.
I. P. Skobeleva,
doctor of economic Sciences, Prof.
S. V. Smolentsev,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. L. Stepanov,
doctor of technical Sciences, Prof.
M. V. Sukhoterin,
doctor of technical Sciences, Prof.
Ye. G. Trunin,
candidate of economic Sciences,
General Director
of FSI Russian River Register
G. V. Ushakova,
doctor of History, Prof.
V. I. Chernenko,
doctor of technical Sciences, Prof.
V. B. Chistov,
doctor of technical Sciences, Prof.
A. A. Yershov,
doctor of technical Sciences,
Associate Prof.
A. P. Gorobtsov,
candidate of technical Sciences,
Associate Prof.
B. A. Smyslov,
Candidate of Law, Prof.
A. Yu. Sharonov,
candidate of Geography, Associate Prof.
A. Ye. Sazonov,
doctor of technical Sciences, Prof.

ELECTRICAL EQUIPMENT AND SYSTEMS 156

Saharov V. V., Chertkov A. A., Saburov S. V. Simulation of stationary regimes
in electric and hydraulic networks by means of nonlinear programming 156
Grigorev A. V., Zajnullin R. R. Analysis of operation modes of ship shaft generator
plants with frequency converters and synchronous compensators 164
Barshhevskij E. G. Influence of design features genset on parameters modulated
voltage generator 171
Prihodko V. M., Prihodko I. V., Ignatov D. I. Improving the efficiency
of energy supply shipbuilding and ship-repairing enterprises 175

INFORMATION TECHNOLOGY AND AUTOMATION IN TRANSPORT 187

Kuznecov V. N., Matveev A. A., Nyrkov A. P. The signs detection algorithm
in ship recognition solution 187
Fetisov V. A., Majorov N. N. Solution to the problem of forecasting and operational
management of maritime container lines on the basis of simulation 193
Jurin I. V., Pantjuhin I. S. Testing the hypothesis of creating a digital polygraph
based on video and audio data 202
Korol R. G., Balalaev A. S. The simulation modeling system «railway station –
seaport» Vladivostok transport hub 209
Tyndykar L. N., Krupenina N. V., Baryshnikova N. Ju. Organization
of a distributed system by electronic testing for conformity assessment
of professional competencies by employees 216

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА, СУДОВОЖДЕНИЕ

УДК 656.61.052

А. А. Андреев,
капитан танкера;

М. Ю. Андреева,
канд. экон. наук, доц.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АЗИПОДОВ НА ТАНКЕРАХ УСИЛЕННОГО ЛЕДОВОГО КЛАССА ПРИ ПЛАВАНИИ В АРКТИКЕ

ADDITIONAL POTENTIAL OF THE AZIPOD FOR ICE-CLACCED TANKERS OPERATING IN THE ARCTIC

В статье рассмотрены движители (азиподы), которыми оснащены суда повышенной ледовой проходимости и дополнительные возможности аzipодов при плавании в затороженных льдах Арктики. Приведены результаты личных наблюдений, полученных при управлении танкером «Тимофей Гуженко», на основании которых можно сделать выводы о том, что разрушение льда «снизу» при генерировании струи от аzipодов дает возможность ломать лед с использованием меньшей мощности. Изменение угла наклона вертикальной оси установки аzipода в корпусе судна позволяет изменять плоскость направления вращения аzipодов, благодаря чему наблюдается снижение потерь мощности от влияния корпуса. Дальнейшее совершенствование системы позволит значительно повысить судходные характеристики и безопасность плавания во льдах.

At this article we are trying to pay attention on the additional ability of the Azipod handling ships during Arctic ice readge penetration. It was observed that destruction of the ice from sea side under generation of Azipod propeller flow give us the possibility penetrate through the ice with less power consumption on the bases of the hands operation of the m\т Timofey Guzenko equiped with Azipods .If the angel of inclination of the Azipod axe had been changed the direction of the rotation Azipod and flow will changed accordingly it gives us possibility to reduce influence of the hull designThe future innovation Azipods system are necessary for increasing ships possibility for ice navigation and safe navigation at Arctic.

Ships for arctic, built during last ten years are quite often equipped with revolutionary propulsion devices known under the name AZIPODs. There are many reasons for choosing AZIPODs as main propulsion units, the main reason being excellent maneuvering characteristics achieved. However in case of large propulsion units, having power of 45 MW, used for propulsion there are also some advantages during proceeding through ridge ice , the last mainly related to operational factors. Handling of ships equipped with AZIPODS is different from handling conventional icebreaker ships and in certain maneuvering situations safety of the ship and of the propulsion units might be endangered. Therefore some innovation proposals offers on handling procedures are necessary and it is essential that masters of ships fitted with AZIPODs must be specially equipped and trained.

*Ключевые слова: судовождение в Арктике, аzipоды, суда двойного назначения, плавание во льдах.
Key words: Ship maneuverability, podded propulsion, handling of ships with Azipods.*

ВЕЛИКИЙ русский флотоводец вице-адмирал С. О. Макаров отмечал, что если Россию сравнивать с домом, то ее фасад выходит в Арктику. Хозяйственное освоение континентального шельфа, строительство новых портов и заводов по переработке углеводородов, а также сопутствующее этому прогнозируемое увеличение численности населения региона актуализирует задачу осуществления круглогодичной навигации в Арктике. Активизация судходства по трассам Северного морского пути определяется не только политической волей и внешнеэкономической ситуацией, но и теми технологическими прорывами в области судостроения, которые делают круглогодичную навигацию реальностью.

В XVIII в. купец Михаил Бритнев продлил навигацию в Кронштадте на несколько недель, обрезав нос у своего судна. В это же время в США было замечено, что при буксировке тороса, под разрушительным влиянием струи от винтов, последний распадается за счет размывания подводной части, где консолидация льда значительно больше, но смерзание его достаточно слабое за счет нахождения льда под водой [1]. В 1887 г. американец Кирби предложил оснащать ледоколы носовым гребным винтом. Спустя шесть лет судно «Сент-Мери» было построено для озера Мичиган и уже первые его рейсы подтвердили правильность самой идеи.

Концепции изменения носовой части и оснащения ее винтом были использованы С. О. Макаровым на ледоколе «Ермак», но впоследствии от носового винта пришлось отказаться ввиду слабости вала по сравнению с ледовой нагрузкой и, соответственно, постоянных повреждений вала и винта.

Следует отметить, что в основе развития отечественного ледокольного флота лежит увеличение мощности ледоколов и использование атомной энергии. Однако сама по себе мощность не могла дать такого эффекта, как работа всего комплекса во взаимодействии: движителя, двигателя и обводов корпуса и, конечно, большую роль имел опыт управления всем этими элементами. При ледокольных испытаниях а/л «Ленин» и дизельного л/к «Ленинград» натурные испытания показали, что имея почти двукратное превосходство в мощности, л/к «Ленин» не смог обогнать л/к «Ленинград», а при сравнительных испытаниях финского л/к «Торо» с носовым винтом л/к «Ермак» первый прошел там, где второй не смог пройти и застрял [2].

Таким образом, исследования деформации льда за счет технических нагрузок можно свести к решению двух типов задач: определение максимальной нагрузки на лед и определение минимального напряжения, при котором происходит его разрушение [3]. Толщина ледового покрова в Арктике, согласно исследованиям К. Вейприхта, зависит от количества холода и тепла в течение рассматриваемого периода времени. Так, К. Вейприхт рассчитал, что максимальная толщина ровного льда может достигать 260 см [4]. Продолжив исследования льда, В. А. Афанасьев вывел формулу расчета силы, необходимой для разлома льда. Согласно выполненным расчетам, для безостановочного движения во льду со скоростью 1 уз, при толщине льда 12 футов, необходимо 52000 л.с. мощности. Такую мощность имеет уже сейчас л/к «50-летие победы» – 55 МВт и вновь заложенный л/к «Арктика» – 60 МВт. Экспериментальные, а затем и коммерческие рейсы на Северный полюс подтверждают эти предположения.

Поведению льда вокруг судов при плавании в море посвящены многие отечественные и зарубежные исследования [5] – [9]. Тем не менее, согласно справедливой оценке Ю. П. Дронова, ввиду сложности строения льда и особенностей его поведения под нагрузкой, многие его механические характеристики не могут вычислены аналитически, а определяются только экспериментально. При этом приходится иметь в виду, что морской лед поликристалличен. В нем всегда имеются пустоты и поэтому даже при выборе для анализа образцов льда из одной льдины неизбежны различия в результатах эксперимента [3, с. 158]. Наряду с изучением льда и моделированием поведения судна при плавании во льду технология судостроения совершенствуется, разрабатываются новые концепции движения во льдах. Одной из таких концепций, разработанной финской судостроительной корпорацией «ABB» (рис. 1), является движение с помощью азимутальных устройств типа «азипод»¹ [10], [11]. При сопровождении транспортных судов ледоколами суда часто застревали и ледоколу приходилось возвращаться к ним для обколки. При этом затрачивалось огромное количество времени для разворота ледокола. Поворотное устройство аzipод позволило простым его разворотом исключить потерю времени, затрачиваемую на этот процесс, и сразу идти кормой к застрявшему судну, т.е. выполнять операцию *двойного действия*.

¹ Аzipод конструктивно представляет собой движительную колонку с электродвигателем, расположенным внутри обтекаемой гондолы с возможностью поворота вектора упора по азимуту. С 1998 г. является зарегистрированной торговой маркой финского консорциума «ABB AZIPOD OY».

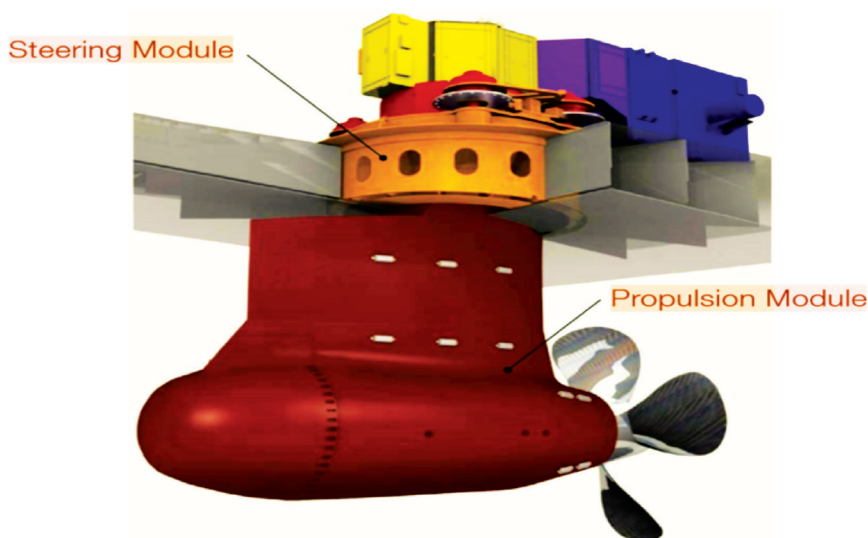


Рис. 1. Модель аzipода корпорации «ABB»

Технология аzipодов активно используется в Арктике. В частности, преимущества, возможности и перспективы судов двойного назначения активно обсуждались в рамках 16- и 17-й Международных конференций по вопросам инженерного обеспечения портов и океанских сооружений в условиях Арктики², проводимых в Канаде, и Международного симпозиума по Охотскому морю и морскому льду³, проводимого в Японии. В России для транспортировки грузов используются оснащенные аzipодами суда ОАО «Норильский Никель» (оснащены одним аzipодом) и танкеры ОАО «Лукойл» (оснащены двумя аzipодами). Танкеры ОАО «Лукойл» работают на самом северном морском терминале мира – о. Варандей. Использование аzipодов позволяет осуществлять круглогодичную навигацию в Печорском и Карском море без помощи ледоколов [12].

Управление аzipодами позволило отметить многочисленные преимущества движения судна кормой в очень толстом льду на малых скоростях, такие как обмыв корпуса струей от винта, сброс ледовой подушки от налипания льда на корпус, размыв торосов льда в кормовой части, избежание заклинивания судна. Тяжелые ледовые условия в определенные периоды времени, превышающие проектные показатели, заставили капитанов искать новые пути управления аzipодными комплексами. Так, используя балластную систему, меняя осадку и крен, и тем самым поднимая винт и изменяя угол атаки струи винта на лед, был отмечен колоссальный эффект разрушения ледяного поля струей от аzipодов. Управляя аzipодами, а точнее, струей от них, совмещая обе струи, суда могут двигаться без заклинивания за счет управления разрушительной силой струй.

Исходя из имеющегося опыта, предлагается изменить конструкцию аzipода, сделав его вращающимся не только вокруг горизонтальной, но и вокруг вертикальной оси на вновь проектируемых судах, или устанавливать аzipод под углом к вертикальной плоскости уже сейчас (в частности, на танкерах-газовозах, строящихся для проекта «Ямал СПГ»). Практически, это может быть сделано и на имеющихся судах в случае изменения осадки и крена судна. Основной сложностью реализации при этом являются повышенные требования к судоводителям, обеспечивающим проводку судна во льду.

Следует отметить, что классический ледокол пытается проломить лед своим корпусом за счет мощности и конфигурации носа. Однако в результате пробивания льда сверху происходит опрессовывание и без того заторошенного льда толщиной 5 м и более, что делает его неподдающимся разлому [5], [7], [13]. Новые технологии, такие как аzipод, позволяют разрушить лед снизу, что делает их незаменимыми для реализации задачи круглогодичной навигации по Северному

² International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions.

³ Symposium on Okhotsk Sea & Sea Ice.

морскому пути. В связи с этим возникает вопрос: *почему до сих пор на это специалисты не обращали внимание?* По-видимому, данное обстоятельство было вызвано тем, что использование одного аzipода не позволяет добиться нужного эффекта за счет тяги в обратную сторону винта, – судно просто отходит вперед от кромки льда и оператор видит только струю в канале после отхода судна. Оснащение двумя аzipодами позволяет удерживать корму у края кромки льда, работая аzipодами «враздрай» и компенсируя тем самым тягу. Натурные наблюдения за возможностями аzipодов проводились на танкере «Тимофей Гуженко» (Совкомфлот – о. Варандей). Тип судна – Shuttle tanker, класс судна RMRS, ABS; ледовый класс Arc6, оснащен двумя аzipодами корпорации «ABB», мощностью 10.0 МВт каждый. На сегодняшний день это судно имеет наибольшую суммарную мощность аzipодов [10]. На проекте «Ямал СПГ» будет использована концепция трех аzipодов мощностью 45 МВт. Можно предположить, что возможности новых газозовов при плавании в тяжелых льдах будут значительно превосходить возможности существующих ледоколов [12].

Механизм работы струи зависит от следующих факторов: диаметра винта, равного 5,6 м, осадки судна кормой – 9,6 м, мощности одного аzipода – 10000 МВт (13000 л. с.) Мощность в 100 л. с. создает упор примерно в 1 т. При уменьшении осадки кормой до 8,6 м верхняя кромка струи входит в контакт со льдом при его толщине 3 м от поверхности воды. Поскольку корма судна имеет овальную форму, наблюдается выход струи на поверхность в районе кормы за счет разности угловых скоростей потока у корпуса и в воде на глубине. За счет трения о корпус скорость в верхней части потока меньше, чем в нижней его части, происходит загиб струи с выходом ее на поверхность. Работая двумя аzipодами, направляя их в одну точку, суммируют их мощности, по 13000 л. с. каждый, и получают примерно 260 т нагрузки на лед площадью примерно 20 м².

Для развития концепции вращающихся аzipодов или изменения угла установки существующих (рис. 2) необходим расчет процесса разрушения льда струей воды от аzipодов с изменением угла атаки на лед в пространстве и времени, что приводит к искусственному созданию *эффекта зыби*. Действие потока воды и тем более влияние его на ледовые образования изучены слабо, ввиду отсутствия опыта практического применения. Вместе с тем, существует теория волновых колебаний ледяного покрова, которую, с нашей точки зрения, целесообразно использовать применительно к решению задачи разрушения льда изгибно-гравитационными волнами. Такие волны формируются от движущейся по льду нагрузки (струи) вследствие вращения аzipодов при движении транспортных судов во льдах Арктики.

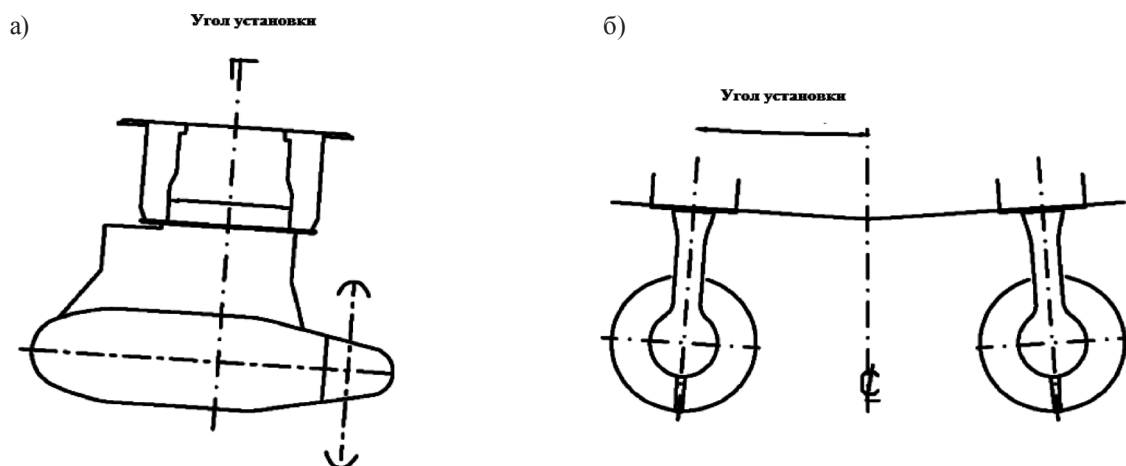


Рис. 2. Монтажные углы: продольный (а) и боковой (б)

Отмеченные ранее наблюдения имеют место при плавании в суровых, толстых и заторошенных льдах Арктики. При движении по ровному ледяному полю средней толщины судно движется носом гораздо быстрее, чем кормой за счет ледовой конфигурации носа и массы судна. Однако при появлении заторошенного льда толщиной 3 м и более исчезает способность двигаться носом,

но благодаря азиподам появляется возможность следовать кормой. Движение осуществляется со значительной потерей скорости, что компенсируется устойчивостью продвижения во льду.

Натурные наблюдения за механизмом воздействия потока воды от струи азипода на ледовые образования, в особенности на заторошенные поля, проведенные в условиях Арктики, подтверждаются опытными испытаниями в бассейне (рис. 3). Струя, вытекающая в массу однородной жидкости, постепенно расширяется и на некотором расстоянии от насадки рассеивается в ней. Струя состоит из ядра струи, скорость в котором постоянна, и турбулентного слоя, в котором происходит перемешивание основной массы струи с окружающей ее неподвижной жидкостью. Это приводит к затормаживанию движения струи и увеличению ее массы за счет вовлечения жидкости извне. По мере утолщения пограничного слоя ядро струи сужается. На некотором расстоянии от выхода струи оно исчезает и вся струя оказывается охваченной пограничным слоем. В рассматриваемом случае основной интерес представляет длина ядра струи, в которой скорость движения равна скорости на выходе потока из струи, и как следствие, воздействие струи на лед с усилием, создаваемым азиподом без потери мощности. Многочисленные расчеты показали, что длина ядра струи равна примерно шести его диаметрам⁴.

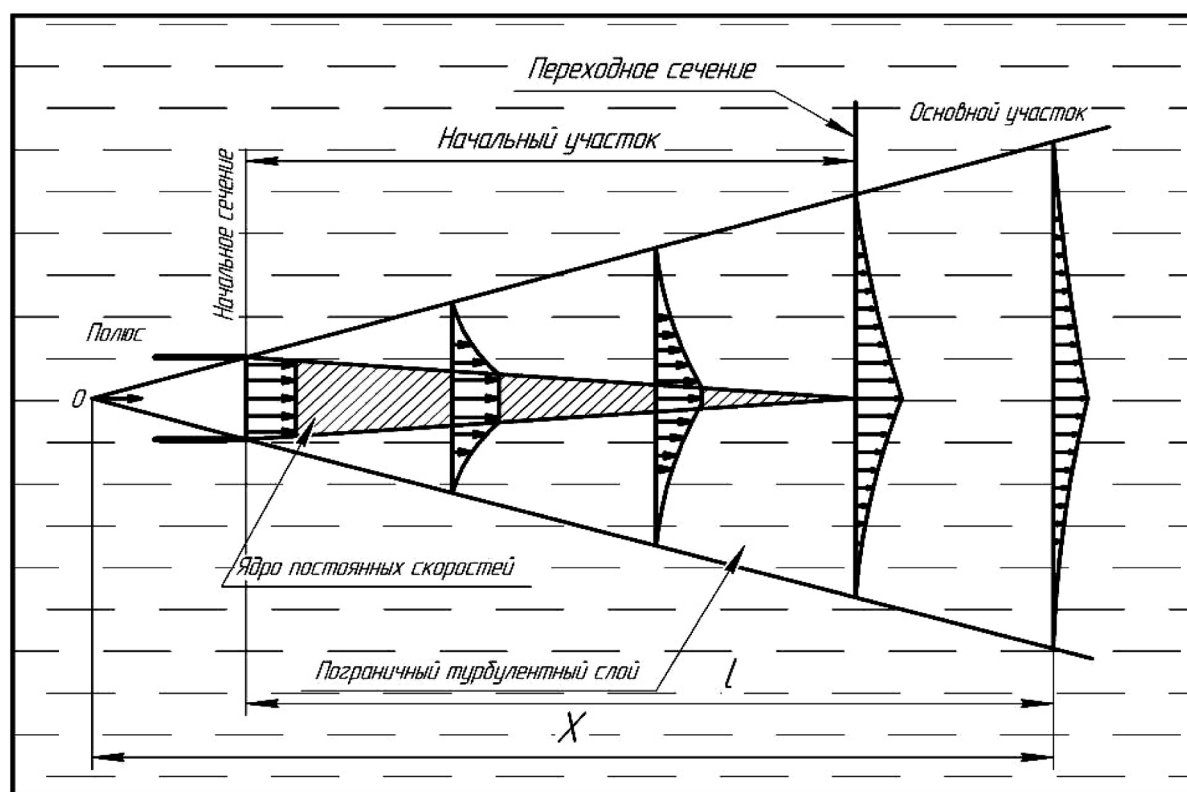


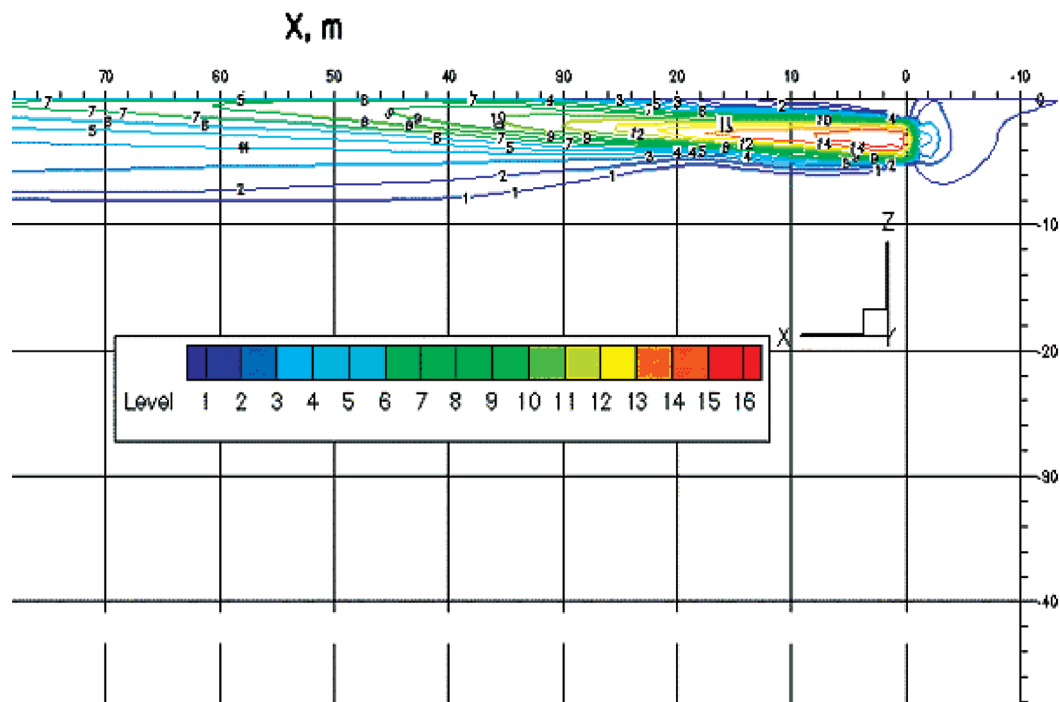
Рис. 3. Сечение затопленной струи

В ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова проводились исследования влияния струи азиподов и потери их мощности за счет влияния корпуса при установке на буровую платформу при работе в режиме динамического позиционирования [14], [15]. Диаметр винта принимался равным 3,6 м.

На эпюрах рис. 4 наглядно видно подтверждение приведенных ранее наблюдений, которое дает основание полагать, что танкер типа «Василий Диньков» с диаметром винта 5,6 м имеет ядро струи или поле постоянных скоростей в районе 30 м. При осадке судна, равной 14 м, следует отметить, что сила потока на поверхности воды будет равна максимальному упору винта при направлении струи вверх с помощью придания судну крена на один из бортов.

⁴ Справочник по гидравлическим расчетам. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1972.

а)



б)

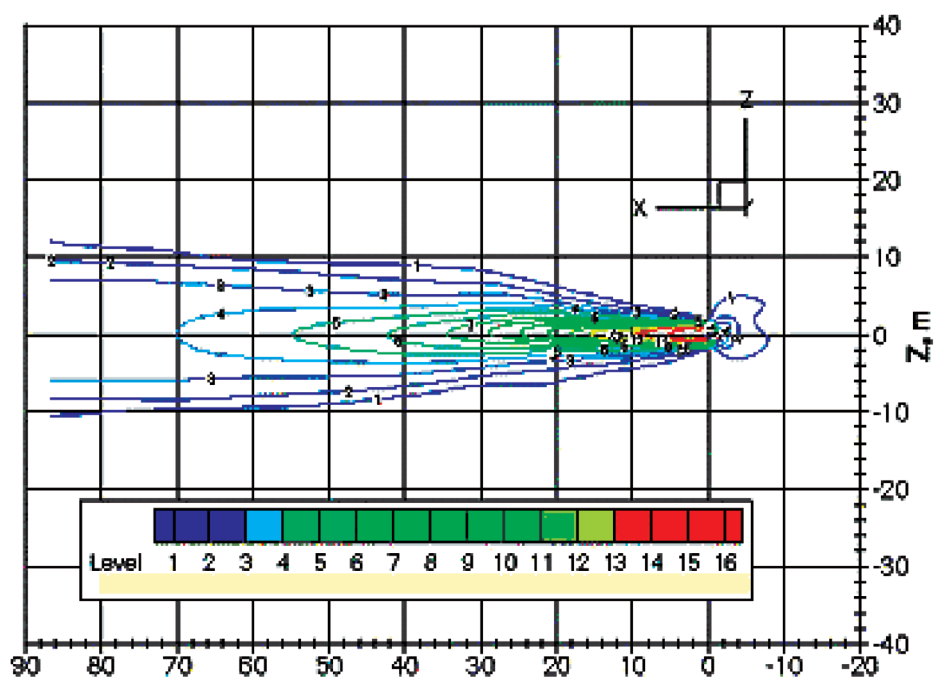


Рис. 4. Распределение осевой скорости V_x от пропеллера вблизи платформы (а) и распределение скоростей в струе от пропеллера (б)

Исходя из ранее изложенного, можно сделать вывод о том, что азиподы являются хорошим инструментом для борьбы со льдом. Наличие рассматриваемого эффекта от азиподов подтверждается следующим фактом: при работе азипода в поток вовлекаются куски льда извне, которые выбрасываются вместе со струей со скоростью около 10 м/с, оказывая точечное воздействие на ледяные поля, приводя их в разрушение по принципу пескоструя. Именно этот процесс объясняет причину обнаружения после плавания кормой в Печорском море у танкеров проекта «Варандей»

многочисленных вмятин в их кормовой части от обломков льда, сбрасываемых на корпус, что требует принятия мер по усилению корпуса судна в корме.

Развитие техники и новых технологий позволило судам иметь достаточную мощность и надежный корпус для осуществления круглогодичного плавания в суровых льдах Арктики. Основным препятствием в Арктике для нынешнего поколения судов служат торосы, наиболее эффективным средством для преодоления которых по сравнению с многократными набегами корпусом на препятствие является направленная струя от азипода. Торос, формируемый под воздействием внешних факторов, состоит из паруса и киля, которые к концу зимы достигают значительных размеров и становятся непреодолимым препятствием для современных ледоколов. Вместе с тем, консолидированная нижняя часть тороса находится под водой и является наиболее слабой в плане ледопроеходимости. Делая набег на торос, ледокол спрессовывает по вертикали и собирает по горизонтали ледяные фрагменты, тем самым ухудшая ситуацию. Вследствие этого следующий разбег уже приходится делать на больших скоростях или изменять тактику прохода, что значительно увеличивает затраты как по времени, так и по мощности.

Использование методики разрушения тороса струей азипода позволяет устранить необходимость прохождения набегам. Размывание тороса значительно ослабляет несущие способности льда за счет как механического, так и термического разрушения силой потока жидкости. Понижение температуры льда вследствие обмыва более теплой водой также способствует ослаблению льда под напором тяжести выгнанной на него воды через образовавшиеся трещины. При этом процесс разрушения наблюдается с рулевого мостика, что позволяет держать под контролем данный процесс и действовать оперативно без потерь времени и усилий. Поскольку при «набегах» ледоколом не видно, что происходит в носовой части, действуют интуитивно. Торосистые гряды могут простираться на многие мили и занимать значительные площади, вплоть до полной затопленности отдельных ледяных полей, т. е. наблюдается так называемый *жатый лед*, и здесь без ранее изложенного метода движения никак не обойтись.

Используя прессиометрический метод исследования грунтов, финские специалисты провели обследование торосов на предмет их прочности. Эти изыскания проводились в 90-е гг. XX в. в Охотском море. Скважины бурились в районе паруса тороса для оценки прочностных характеристик на различных горизонтах от поверхности: 0,6; 1,2; 2,0; 3,0; 4,0; 4,7 м. На основании расчета усилий по разрушению льда были получены следующие данные: на глубине 0,6 м от уровня воды прочность на сжатие R_c составила 3,2 МПа, а на глубине 4,7 м – 0,4 МПа. Полученные результаты наглядно показывают, что прочность льда с глубиной значительно снижается и это подтверждается практическим использованием метода разрушения льда снизу [17].

Выводы:

- процесс разрушения льда с использованием азиподов позволяет разрушать лед снизу, а не сверху, как было принято до сих пор, что дает возможность добиваться результата с использованием меньшей мощности;
- изменения угла наклона вертикальной оси установки азипода в корпусе судна позволяют изменить плоскость направления вращения азипода, благодаря чему снижается потеря мощности от влияния корпуса. При работе винтами «внутрь» мощность теряется за счет скега, установленного между азиподами. Изменение угла выхода струи на поверхность воды способствует усилению воздействия на ледяные образования;
- можно предположить, что в случае установки трех азиподов на танкерах-газовозах, строящихся для проекта «Ямал СПГ» [12], для получения описанного эффекта потребуется задействовать два бортовых азипода.

Список литературы

1. Макаров С. Ледокол Ермак / С. Макаров, Н. Кузнецов, С. Долгов. — М.: Паулсен, 2010. — 672 с.
2. Блинов В. М. Ледокол Ленин. Первый атомный / В. М. Блинов. — М.: Паулсен, 2009. — 288 с.
3. Доронин Ю. П. Физика океана / Ю. П. Доронин. — СПб: РГТМУ, 2000. — 305 с.
4. Визе В. Моря российской Арктики / В. Визе. — М.: Европейские издания, 2008. — 664 с.
5. Смирнов В. Н. Динамика процесса разлома дрейфующего ледяного поля станции Северный полюс-38 / В. Н. Смирнов, Л. В. Панов, В. Т. Соколов // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2013. — № 4. — С. 26–45.
6. Степанюк И. А. Методы измерений характеристик динамики ледяного покрова / И. А. Степанюк, В. Н. Смирнов. — СПб.: Гидрометеиздат, 2001. — 135 с.
7. Смирнов В. Н. Особенности динамики и механики деформирования льда Арктического бассейна / В. Н. Смирнов // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2007. — № 75. — С. 73–84.
8. M. Sc. THESIS Control Strategies for Maneuvering in Ice Ridge and Multi Ice Regimes., Sindre Ueland & Sverre Slettebo, Trondheim. — 2010. — P. 1–5.
9. Jürgens D. Design Thrusters using CFD / D. Jürgens, M. Palm, A. Amelang, T. Moltrecht // DP Conference. Houston. — October, 7–8, 2008. — P. 1–8.
10. Azipod VI Series Product Introduction . — Helsinki: ABB Oy Marine, 2010. — 36 с.
11. Developing the First Arctic LNG fleet // Arctic Passion News. — 2012. — № 7. — P. 7–9.
12. Цой Л. Г. Обоснование основных параметров перспективных крупнотоннажных газовозов для Арктики / Л. Г. Цой, А. В. Андрияшин, А. А. Штрек // Проблемы Арктики и Антарктики. — 2013. — № 3. — С. 46–57.
13. Марченко А. В. Модели торошения морских льдов [Электронный ресурс] / А. В. Марченко. — Режим доступа: <http://www.rusmechanics.ru/3/articles/marchenko> (дата обращения — 20.03.2015). — 20.03.2015.
14. Moukhma L. A. Computation of counterrotating propellers steady and unsteady characteristics / L. A. Moukhma, A. Yu. Yakovlev // ISC'2002 Proceedings, St-Petersburg, Russia, 2002. — P. 137–144.
15. Яковлев А. Ю. Расчет стационарных гидродинамических характеристик тянущей винторулевой колонки / А. Ю. Яковлев // Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. — 2008. — Вып. 35 (320). — С. 96–110.
16. Mikko Mattila & Jari Ylitalo. The reliable solution with minimal Thrust Losses / Mikko Mattila & Jari Ylitalo // Dynamic positioning conference. — Finland, September, 17–18. — 2002. — P. 1–9.
17. Сальников А. В. Нефтегазовые трубопроводы на арктическом шельфе: в 2 ч. — Ч. 2. Ледовое воздействие: метод. указания / А. В. Сальников. — Ухта: УГТУ, 2013. — 44 с.

УДК. 656.61.052

В. В. Дерябин,
канд. техн. наук

НЕЧЁТКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ ДРЕЙФА СУДНА

FUZZY INFERENCE VESSEL'S DRIFT SPEED PREDICTION SYSTEM

В статье рассматривается построение нечёткой системы, прогнозирующей скорость дрейфа судна. Входной сигнал составляют величины, характеризующие движение судна в условиях влияния ветра и волнения, режим работы его движительно-рулевого комплекса. Предлагается методика получения набора значений векторов входного и выходного сигналов, которая может использоваться в процессе текущей эксплуатации судна. Формирование эталонных ситуаций для создания базы правил системы и проверки её работоспособности выполняется с использованием имитационной модели движения судна. Приводятся результаты тестирования нечёткой системы в различных навигационных ситуациях, характеризующихся определёнными значениями возмущающих и управляющих воздействий. В рассмотренных модельных ситуациях синтезированная система позволяет определять траекторию движения судна с приемлемой для навигационных целей средней точностью.