



ЦЕНТРАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «БАЛТСУДОПРОЕКТ» THE «BALTSUDOPROECT» CENTRAL DESIGN BUREAU



ЦКБ «БАЛТСУДОПРОЕКТ» – старейшее конструкторское бюро России по проектированию гражданских судов. В бюро разработано около 180 проектов, по которым построено более 2800 судов различного типа и назначения общим водоизмещением свыше 11 млн. тонн. В настоящее время ЦКБ является филиалом ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова». Основываясь на богатом опыте проектирования и постройки судов, а также на применении современной САПР «NUPAS-CADMATIC», ЦКБ предлагает услуги по разработке:

- проектов и техническому сопровождению постройки транспортных судов различного назначения, включая: суда с горизонтальной грузообработкой, контейнеровозы, навалочные, наливные, специальные суда, ледоколы, буксиры, суда снабжения, научно-исследовательские суда и др.;
- проектов переоборудования и модернизации судов различного назначения.

CDB «BALTSUDOPROJECT» is the oldest ship design bureau in Russia that has developed about 180 designs to which about 2800 ships of various type and purposes with the total displacement of over 11 millions tons have been built. At present the Central Ship Design Bureau is the branch of the Krylov Shipbuilding Research Institute. Drawing on wide experience of ship design and shipbuilding and also use of modern CAD system «NUPAS-CADMATIC» CDB «Baltsudoproject» offers services as follows:

- development of designs and engineering support for vessels of various purposes including Ro-Ro ships, container ships, bulkers, tankers, dedicated ships, ice-breakers, tugboats, replenishment ships, research ships and others.
- development of projects of reequipment and modernization for ships of various purpose.

Россия, 196158, С.-Петербург, Московское шоссе, 44
тел.: +7 (812) 727-96-37, факс: +7 (812) 727-93-34, e-mail: bsp@sp.ru



В 2007 г. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова и ЦКБ «Балтсудопроект» был выполнен технический проект научно-экспедиционного судна (НЭС) для Российской антарктической экспедиции (РАЭ), которое должно заменить научно-экспедиционное судно «Академик Федоров», построенное в 1987.

В соответствии с заданием это судно предназначается для обеспечения деятельности РАЭ и проведения научных исследований. Район плавания НЭС – неограниченный, в том числе плавание и дрейф в ледовых условиях и в тропических районах. Климатические условия эксплуатации: диапазон температур воды – от -2°C до $+32^{\circ}\text{C}$ и воздуха – от -40°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Ледопробитность – 1,1 м. Класс судна – КМ★ЛУ7[2]А2 (специального назначения).

НЭС, которое планируется построить в начале следующего десятилетия – многофункциональное, сочетающее в себе качества:

- транспортного судна снабжения, перевозящего разнообразные грузы широкой номенклатуры (вездеходы, самолеты, продукты питания, топливо наливом и в бочках, строительные конструкции и многое др.);
- пассажирского судна, обеспечивающего комфортные условия для длительного пребывания 80 человек экспедиционной партии;
- научно-исследовательского судна, выполняющего широкий спектр океанологических, геологических, ме-

НАУЧНО-ЭКСПЕДИЦИОННОЕ СУДНО НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ

В.Н. Киреев, начальник–главный конструктор ЦКБ «Балтсудопроект»,
Ю.Б. Могутин, ст. науч. сотр. ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова,
Е.С. Былинович, главный конструктор проекта,
М.С. Руденко, канд. техн. наук, зам. главного конструктора, ЦКБ «Балтсудопроект»

теорологических, экологических и прочих исследований на ходу и на антарктических станциях;

– авиационного носителя, обеспечивающего базирование и полеты двух вертолетов;

– ледокола, совершающего самостоятельное плавание в высоких широтах северного и южного полушарий в сложных ледовых условиях и обладающего при этом хоро-

шей мореходностью для трансокеанских переходов в любых волновых условиях.

Судно спроектировано в соответствии с требованиями Российского Морского Регистра судоходства (РМРС) и всеми действующими международными конвенциями, национальными и региональными правилами и нормами (рис. 1).

Боковой вид и вид сверху разработанного НЭС

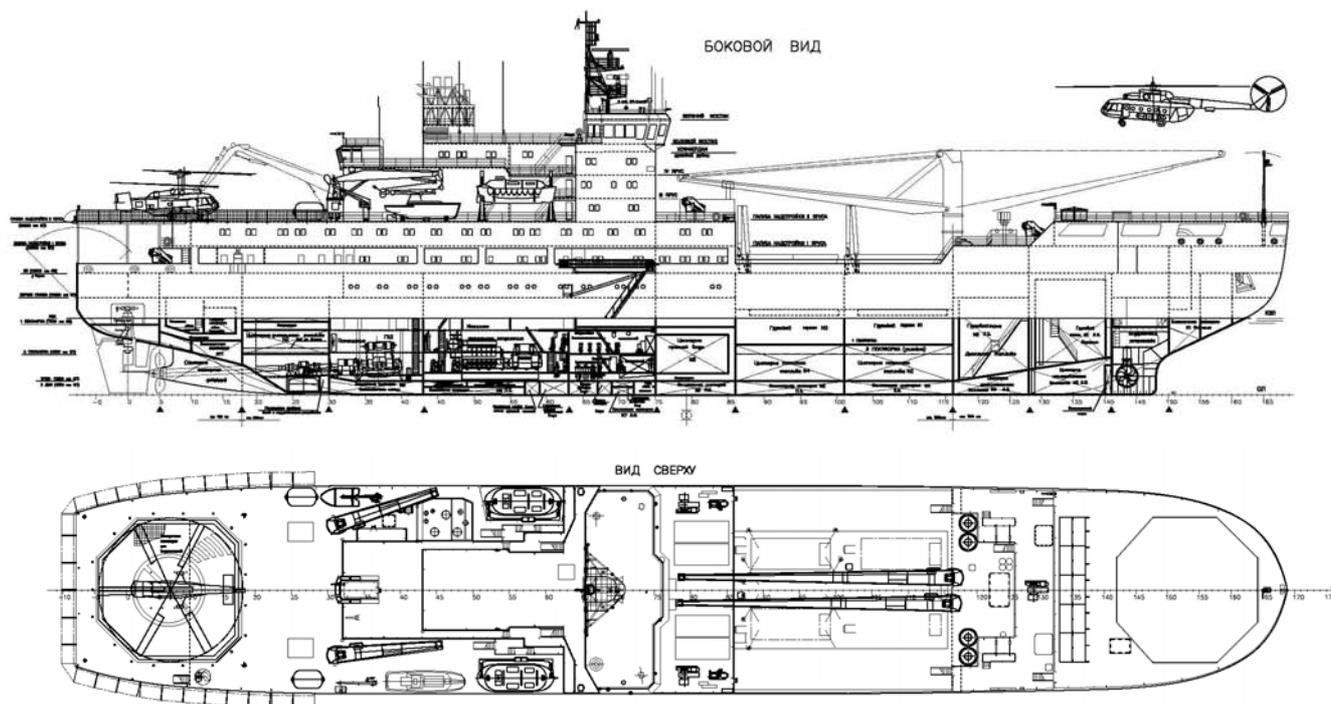


Рис. 1. Научно-экспедиционное судно (пр.22280)

НЭС представляет собой двухвинтовое судно ледового плавания с наклонным форштевнем, транцевой кормой (в надводной части), средним расположением машинного отделения, с двойным дном и двойными бортами, развитой надстройкой с базовой вертолетной площадкой и ангаром в кормовой части и с грузовой площадкой в носу, грузовыми танками и грузовыми трюмами в носу, рефрижераторными трюмами в корме, лабораториями и научно-исследовательским оборудованием.

Для обеспечения двухотсечного стандарта непотопляемости корпус судна разделен по длине на 12 главных водонепроницаемых отсеков поперечными переборками, доведенными до главной палубы.

Надстройка, включающая блоки служебных, жилых, общественных и лабораторных помещений, выполнена прямоугольной в плане с вертикальными наружными стенками, что не только дает технологические преимущества, но и позволяет в максимальной степени применить стандартные жилые модули. Дымовая труба смещена на левый борт для обеспечения размещения устройств и ангара вертолетов. Ходовая рубка приподнята и имеет круговой обзор.

При разработке общего расположения НЭС применен зональный принцип. Зоны скомпонованы в соответствии с требованиями правил РМРС и функциональных связей с учетом техники безопасности и удобства обслуживания. Грузовая зона размещена в носовой части, и палубные работы полностью контролируются из ходовой рубки,

Главные размерения НЭС

Длина, м:	
наибольшая	133,6
по КВЛ	128,4
Ширина, м:	
наибольшая	23,0
по КВЛ	22,6
Осадка по КВЛ, м	8,5
Высота борта до ВП, м	13,5
Водоизмещение при осадке по КВЛ, тыс. т	16 900

в том числе грузовые операции по приему и выдаче жидких грузов и передаче грузов вертолетом.

Взрывоопасные жидкости и грузы, в том числе в бочках и баллонах, перевозятся в танках и помещениях в носовой части судна. В этой зоне применяются специальные конструктивные и организационные меры по обеспечению взрыво- и пожаробезопасности.

Передача сухих и штучных грузов из носовых трюмов производится кранами на лед, причал, плашкоут или на носовую грузовую площадку. Использо-

вание этой площадки дает возможность передавать грузы на берег вертолетами на подвеске без предварительной выгрузки их на лед. Подача небольших грузов типа бочек, баллонов и т.п. на носовую площадку выполняется краном-манипулятором.

В качестве основных грузовых устройств, осуществляющих выгрузку снабженческих грузов, использован спаренный грузовой кран грузоподъемностью по 2х35 т, установленный на одной колонне. Кран может работать на любой борт, что в случае выхода из строя одной из стрел обеспечит одновременную выгрузку на оба борта и спаренную работу. При необходимости спаренными кранами можно выгружать грузы массой около 50 т.

Практически по всей длине корпуса предусмотрены двойные борта, которые обеспечивают защиту судна в ледовых условиях и позволяют выполнить большинство топливных цистерн и грузовых танков без набора, по простой технологии, но с качественным покрытием танков, что упрощает их мойку и очистку.

Расположение трасс в сухих отсеках двойного борта означает как технологичность монтажа, так и доступность трасс по всей длине для осмотра и ремонта, а при авариях – возможность обеспечения дублирования жизненно важных трасс побортно.

Лабораторные комплексы расположены в трех местах:

- четыре мобильных лаборатории устанавливаются на палубе надстройки 2-го яруса перед жилой надстройкой;
- метеосиноптическая и гидрографическая лаборатории располагаются в рубке на палубе 4-го яруса рубки;
- комплекс океанографических лабораторий размещается в корме на главной и первой палубах, а используемые для этих исследований кран-балки и лебедки устанавливаются в непосредственной близости от лабораторий с обеспечением минимальных расстояний до поверхности моря.

При разработке планировочных решений и проектировании отдельных помещений применен принцип максимальной унификации размеров, что позволяет применить для обстройки жилых, общественных и служебных помещений модульную систему зашивки.

В каютах экипажа и экспедиции предусмотрены телевизионная и компьютерная сети. На судне имеются конференц-зал, сауна, библиотека, увеличенный медицинский блок и иные помещения, необходимые для полноценной работы. Благодаря выбранному составу помещений уровень комфортности для 59 членов экипажа и 80 человек экспедиции высокий.

Ложкообразная форма носовой оконечности принята с учетом требований обеспечения судну высоких ледовых качеств и хорошей мореходности при переходе через океан. В днищевой части форштевня предусмотрен ледоотводящий выступ, снижающий вероятность попадания обломков льда в зону движительного комплекса, ограничивающий выход судна на лед при малой осадке и обеспечивающий размещение носового подруливающего устройства (ПУ).

Кормовая оконечность спроектирована из условий размещения двух гребных винтов с обеспечением к ним плавного подтока воды.

Для отработки обводов корпуса, элементов винторулевого комплекса и успокоителя качки, а также для подтверждения расчетных эксплуатационных показателей судна проведены модельные испытания ходкости, мореходности, ледовых качеств и управляемости в опытовых бассейнах ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова.

Корпус НЭС спроектирован на класс ЛУ7 РМРС и соответствует условиям эксплуатации судна у берегов Антарктиды и в Северном Ледовитом океане. В соответствии с ледовым классом судна для металлического корпуса принята поперечная система набора для бортов и продольная система верхней палубы и днища судна.

Выбранная компоновка и главные размерения позволили удовлетворить все требования заказчика к количеству и номенклатуре перевозимого груза, комфортности размещения экипажа и экспедиции, а главные размерения позволили обеспечить заданную ледопробиваемость при минимизации установленной мощности и одновременном необходимых характеристиках остойчивости, а также удержать осадку судна в диапазоне, ограниченном, с одной стороны, возможностью захода в порты, с другой – необходимым заглублением кромки винтов при ледовом плавании.

В качестве пропульсивного комплекса была выбрана двухвальная дизель-электрическая энергоустановка с открытыми гребными винтами фиксированного шага (ВФШ), двумя гребными электродвигателями (ГЭД) и тремя главными дизель-генераторами суммарной мощностью ок. 16,8 МВт.

Дизель-электрическая установка (ДЭУ) используется на абсолютном большинстве судов активного ледового плавания («Полар Штерн» (ФРГ), «Хейли» (США) и др.), хорошо себя зарекомендовала при эксплуатации НЭС «Академик Федоров».

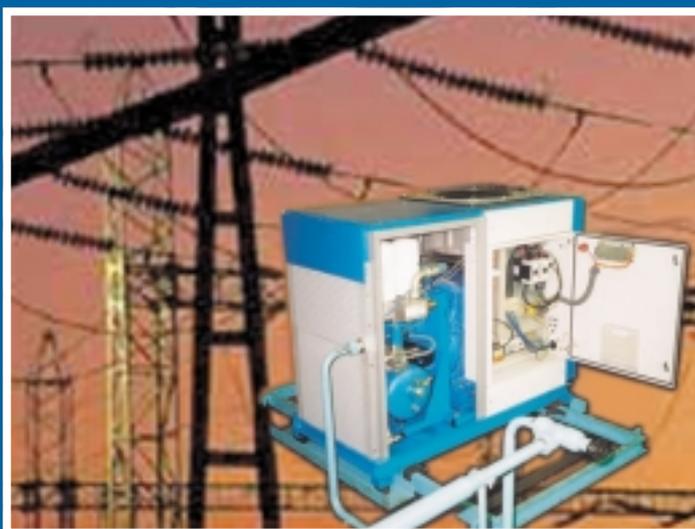
ДЭУ имеет такие основные преимущества по сравнению с другими типами ЭУ, как:

- возможность рациональной загрузки главных двигателей при работе



ОАО «КОМПРЕССОР»

ОСНОВАНО В 1877 ГОДУ



*Приобретая продукцию нашего завода, вы способствуете
развитию экономики России*

Адрес: 194044, С-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 64. Телефакс (812) 596-33-97.
Телефоны: (812) 295-50-90 – секретарь, (812) 295-51-27 – отдел маркетинга.
E-mail: office@compressor.spb.ru, www.compressor.spb.ru

пропульсивной установки на малых ходах;

– наилучшая приспособленность к изменению режимов работы ЭУ, в том числе использованию больших мощностей для судовых нужд (подруливающие устройства, тяжеловесные краны и пр.);

– меньшая вероятность повреждения винтов в силу меньшей «жесткости» системы «винт - гребной электродвигатель», чем «винт - приводной дизель»;

– возможность воспринимать значительные перегрузки по крутящему моменту при заклинивании винта, а также увеличение оборотов при оголении или потере винта.

По сравнению с одновальной двухвальной компоновка имеет следующие преимущества:

– мощность, необходимая для преодоления льда заданной толщины, у двухвального варианта ниже на 1 МВт, что позволило снизить установленную мощность ЭУ;

– диаметр винта в двухвальном варианте меньше, чем в одновальном, следовательно, в этом варианте обес-

печивается большее заглубление и защита винта от льда;

– при выходе из строя одной линии вала или одного электродвигателя двухвальный вариант позволяет сохранить движение с меньшей скоростью, в то время как при одновальном варианте ход теряется полностью; тем самым обеспечивается повышенная надежность в условиях одиночного плавания при значительном удалении от береговых баз;

– двухвальная установка позволяет в определенных условиях выполнять мелкие ремонты без потери хода судна;

– электрическая двухвальная установка позволяет более дискретно использовать мощность, подаваемую на гребные валы, обеспечив оптимальный коэффициент загрузки ГЭД;

– в двухвальном варианте высокая управляемость на малых скоростях хода обеспечивается за счет изменения оборотов гребных винтов.

Исходя из требований к управляемости НЭС на малых ходах и удержания его во время проведения исследований и разгрузки у кромки льдов,

предусмотрено носовое подруливающее устройство типа «винт в трубе» с гребным ВФШ и плавным регулированием величины упора за счет изменения частоты вращения двигателя.

Пропульсивная установка позволяет обеспечивать длительный устойчивый, экономичный ход по чистой воде, плавание во льдах при работе переменными режимами, в том числе с возможностью работы судна набегами для преодоления ледовых препятствий, движение малыми ходами и в дрейфе с работой подруливающего устройства при выполнении научных исследований, удержание у ледовой стенки во время разгрузки с помощью винтов и подруливающего устройства при воздействии ветра и течения.

Осуществленные в процессе проектирования НЭС многовариантные проработки проектных решений позволили разработать судно, удовлетворяющее всем предъявляемым к нему требованиям, обладающее высокими эксплуатационными показателями и способное эффективно решать задачи по обеспечению деятельности Российской антарктической экспедиции. ■

К  **рабел.ру**

информационно-поисковая система

www.korabel.ru

СУДОСТРОЕНИЕ



К 75-ЛЕТИЮ «СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ФИРМЫ «АЛМАЗ»»

*Л.Г. Грабовец, генеральный директор
ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз»»*

В мае 2008 г. судостроительная фирма «Алмаз» отмечает свой 75-летний юбилей.

За годы, прошедшие со дня основания предприятия, оно несколько раз меняло наименование: до 1939 г. это была верфь Морпогранохраны ОГПУ, с 1939 г. – завод №5 НКВД, с 1941 г. – завод № 5 НКСП, с 1946 г. – завод № 5 МСП, с 1966 г. – Ленинградский Приморский завод, с 1970 по 1990 гг. – ПО «Алмаз», с 1993 г. – ОАО «Судостроительная фирма «Алмаз»».

Деятельность предприятия за время его существования можно разделить на ряд последовательных этапов, характеризующих отечественное военное катеростроение в целом. Рамки журнальной статьи не позволяют подробно осветить содержание каждого из этих этапов, поэтому остановимся только на наиболее важных моментах каждого из них.

ОТ ВЕРФИ МОРПОГРАНОХРАНЫ ОГПУ ДО ЗАВОДА № 5 НКСП

Созданная в 1923 г. в составе ОГПУ Морская пограничная охрана страны нуждалась в большом количестве катеров для охраны границы. Катеростроительная база отсутствовала. Переданная в 1930 г. Морпогранохране кустарная верфь моторных катеров Золотова могла строить в год не более четырех–шести небольших катеров, а требовалось около 270 ед. Решить эту проблему можно было только путем строительства верфи Морпогранохраны, работающей по современным технологиям. После долгих обсуждений правительством было принято решение о строительстве верфи в Ленинграде, обладающей базой инженерных и производственных кадров.

23 февраля 1931 г. Ленгорисполком выделил ОГПУ для этого участок земли на Петровском острове. Уже летом 1931 г. началось строительство первой очереди верфи, предназначенной для крупносерийного строительства пограничных катеров с корпусами из дерева. Оно было завершено в начале 1933 г., и уже 23 марта 1933 г. в стапельном цехе верфи заложили первые 30-тонные пограничные катера типа ГК.

Что касается торжественного открытия верфи, то оно состоялось 1 мая 1933 г. На митинге по случаю этого события выступил первый секретарь Ленинградского обкома ВКПб С.М. Киров.

С открытием верфи Морпогранохраны ОГПУ (первый начальник – Д.Л. Блинов) в отечественном катеростроении произошел качественный переход от кустарного к промышленному производству боевых катеров с корпусами из дерева.

Вслед за этим конструкторское бюро верфи под руководством главного конструктора А.К. Зворыкина согласно идее конструктора В.И. Тягунова разработало проект сторожевого пограничного катера – «малого охотника» («МО-2»). В 1934–1936 гг. на предприятии было построено 32 таких катера. Эксплуатация катеров «МО-2» показала необходимость их доработки, в первую очередь усиления пожаро-взрывобезопасности. Такой проект под индексом МО-4 КБ верфи разработало в 1935–1936 гг. под руководством главного конструктора С.В. Пугавко. В 1936 г. верфь построила два головных катера «МО-4», которые в том же году прошли ходовые, а в марте 1937 г. – государственные испытания. Эти катера дали начало большой серии, строившейся на нашем заводе до октября 1941 г. (построено 228 ед.). Катера «МО-2» и «МО-4» внесли весомый вклад в Победу нашего народа в Великой Отечественной войне; моряки их любовно называли «мошками». В октябре 1937 г. заводское КБ сделало проектное предложение по мореходному безреданному ТКА типа Д-3. На базе этого предложения в 1938–1939 гг.

КБ под руководством Л.Л. Ермаша (главный конструктор КБ в 1939–1941 гг.) разработало проект, по которому в 1940 г. был построен и сдан головной катер «ТКД-3». К началу Великой Отечественной войны была построена серия из пяти катеров.

Кроме катеров ГК, «МО-2», «МО-4», строившихся на Петровском острове, в филиале верфи (так стала называться бывшая верфь Золотова) с 1934 г. строились малые катера типа КМ для контрольно-пропускных пунктов и охраны рейдов («КМ-2» и «КМ-4»). К началу войны их было построено 224 ед. и 192 ед. уже во время войны. Эти катера использовались как малые тральщики.

К маю 1941 г., когда верфь вошла в состав Наркомата судостроительной промышленности как завод № 5, она представляла собой современный судостроительный завод с большим коллективом высококвалифицированных производственных рабочих и инженерно-технических работников. За высокие производственные показатели уже в 1939 г. большая группа сотрудников предприятия была удостоена высоких правительственных наград, в том числе орденом Ленина был награжден ее директор Е.Я. Локшин.

900 БЛОКАДНЫХ ДНЕЙ

Начавшаяся вероломным нападением фашистской Германии 22 июня 1941 г. Великая Отечественная война уже через два месяца докатилась до стен нашего города – в начале сентября 1941 г. сомкнулось кольцо вражеских войск вокруг Ленинграда, началась беспрецедентная 900-дневная блокада.

Завод №5 НКСП и весь его коллектив, несмотря на лишения блокадного времени, ни на час не прекращали своей работы по строительству боевых катеров. Правда, к ним добавились и работы по ремонту побывавших в боях катеров. Появились трудности, связанные не только с голодом и холодом, артобстрелами и бомбежками, но и с нехваткой квалифицированных кадров – более половины работников верфи в первые дни войны ушло на фронт, и их место заняли женщины и подростки. Качество работ достигалось невероят-



*Модель пограничного катера
типа ГК*

ными усилиями горстки оставшихся на заводе квалифицированных специалистов.

Сократилась и номенклатура выпускаемой продукции – в октябре 1941 г. был построен последний катер «МО-4» (всего после начала войны завод сдал 40 ед.). Все внимание было сосредоточено на выпуске торпедных катеров «ТКД-3». За годы войны их было построено 67 ед.

Строительству ТКА большое внимание уделяли и руководители обороны Ленинграда – 3 октября 1942 г. А.А. Кузнецов и Я.Ф. Капустин лично посетили завод и дали высокую оценку его работе.

Учитывая большую потребность КБФ также в катерах-«охотниках» и отсутствие производственных возможностей для строительства двух разнотипных корпусов типа «МО-4» и «Д-3», КБ завода под руководством главного конструктора Д.А. Черногуза разработало проект «малого охотника» в корпусе ТКД-3, так называемый «МО-Д3» (ПП19-О). В 1943 г. началась постройка этих катеров частично за счет выводимых из эксплуатации ТКА «ТКД-3», частично – за счет вновь строившихся (всего построено 21 ед.). В 1944 г. проект был усовершенствован за счет установки двигателя малого хода (ПП19-ОК). По доработанному проекту завод построил еще 25 катеров.

Кроме того, завод во время войны вел массовое строительство малых катеров «КМ-4». Эти 10-тонные катера, оснащенные двумя двигателями от грузовика «ЗиС-5», использовались как катера-разведчики, десантные, но главное – как катерные тральщики, прозванные «блошиными тральщиками». Неутомимым трудом этих катеров на Балтике было обезврежено более 2700 мин. Не зря в ЦПКиО нашего города поставлен памятник катерам «КМ».

Большой вклад нашего завода в дело Победы над врагом был высоко оценен: 31 мая 1944 г. Председателем Президиума Верховного Совета СССР

М.И. Калининым был подписан Указ о награждении завода №5 НКСП орденом Трудового Красного Знамени. Многие инженеры, мастера, строители, рабочие, проявившие беспримерное самопожертвование ради Победы, были удостоены высоких правительственных наград. В их числе – главный инженер А.Ф. Симин, главный конструктор Д.А. Черногуз, строитель Л.Н. Одинцов, мастера В.Д. Глухов и А.М. Копкин, рабочие А.Г. Гончаров, М.А. Альховиков и др.

ПЕРВОЕ ПОСЛЕВОЕННОЕ ДЕСЯТИЛИТИЕ

С окончанием Великой Отечественной войны началось форсированное восстановление разрушенного хозяйства. Завод готовился к созданию новых, более совершенных катеров. Высокая эффективность ТКА во время войны способствовала сохранению и развитию этого класса боевых катеров и в первое послевоенное десятилетие. Сопоставление отечественных ТКА времен войны с ТКА, поставленными из США по ленд-лизу, показало преимущество последних по мореходным качествам. Это объяснялось тем, что американские катера не были ограничены габаритами для перевозки по железной дороге, что позволяло выбирать более рациональные соотношения характеристик, обводов и размеров. В 1945 г. отечественный ВМФ выдал промышленности ТТЗ на мореходный негабаритный ТКА.

Поскольку наш завод в 1945–1947 гг. собирал мореходные негабаритные ТКА типов «Vosper» (14 ед.) и «Elko» (29 ед.), поставленные нам в конце Великой Отечественной войны из США по ленд-лизу, выбор предприятия-строителя нового катера выпал на завод № 5. Для разработки проекта, которому был присвоен № 183, на заводе по линии МВД в 1946 г. было создано ОКБ-5 из сотрудников Зеленодольского ОКБ-340 и вольнонаемных. Главным конструктором пр. 183 был назначен

П.Г. Гойнкис. Головной катер был заложен в апреле 1948 г., а уже в ноябре 1948 г. он был спущен на воду. По результатам заводских и государственных испытаний в 1949 г. катер допущен для серийной постройки. Четыре быстроходных дизеля М-50 обеспечивали ему скорость хода в 44 уз, выбранные обводы – высокую мореходность. Вооруженный двумя ТА калибром 533 мм, артиллерийскими 2МЗ, РЛС «Зарница» он стал лучшим отечественным ТКА первого послевоенного десятилетия.

За создание его П.Г. Гойнкис, Г.И. Китаенко, Е.А. Попов, В.Д. Цапкин, В.М. Товкач были удостоены звания лауреатов Государственной премии.

С 1952 г. на нашем заводе в новом эллинге №3 началось серийное строительство катеров пр. 183 (всего построено 220 ед.). На основе базового варианта был разработан ряд модификаций. Из них следует упомянуть пр. 183ТК, который предусматривал установку в дополнение к четырем дизелям М-50 газовой турбины М-1 мощностью 4000 л.с. Теперь катер пр. 183ТК развивал скорость 50 уз. Всего завод построил 25 катеров пр. 183ТК.

Принятая во время войны концепция создания на одной базовой платформе торпедного катера и катера-«охотника» была реализована и в пр. 183. На его платформе был разработан пр. 199. По нему на заводе было построено 52 катера.

Катер пр. 183 был использован и для отработки дизелей М-503 агрегатной мощностью 4000 л.с. На катере пр. 183У было размещено два таких дизеля вместо четырех М-50.

Серийного строительства катеров по этому проекту не велось, но отработка дизелей М-503 сократила доводочные работы на катерах последующих проектов.

Залечив нанесенные войной раны, завод к середине 50-х гг. XX в. по всем производственным показателям стал ведущим катеростроительным предприятием страны.



Малый охотник МО-Д3



Торпедный катер пр. 183

В АВАНГАРДЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

Вторая мировая война дала толчок бурному развитию науки и техники, вызвавший в 50–80-х гг. появление совершенно новых вооружений и технических средств для ведения боевых действий на море. Отечественное военное катеростроение оказалось в авангарде этого процесса, а нашему заводу выпала ключевая роль в реализации новаторских решений.

Появление в начале 50-х гг. легких авиационных крылатых ракет было замечено отечественными проектантами боевых катеров, стремившимися удержать их эффективность в условиях развившихся средств самообороны противника.

В короткие сроки с участием нашего завода были проведены масштабные опытно-конструкторские работы и уже летом 1957 г. построены два опытных катера пр. 183Э для натурных испытаний ракет П-15. Положительные результаты испытаний этих катеров позволили приступить к серийной постройке первых в мире ракетных катеров по пр. 183Р. Всего в СССР было построено 112 катеров пр. 183Р.

Удачная базовая платформа ТКА пр. 183, простота и надежность в эксплуатации позволили длительное время катера пр. 183Р использовать в отечественном и зарубежных флотах.

Во время арабо-израильского конфликта 1967 г. два египетских катера пр. 183Р потопили израильский эсминец «Eilat» и на практике доказали свою боевую эффективность.

Успешная работа по строительству первых в мире ракетных катеров пр. 183Р явилась началом долголетней деятельности нашего предприятия по участию в создании и серийном строительстве все более совершенных ракетных катеров.

Следующим шагом в этой работе стало создание катеров пр. 205. Согласно ТТЗ он оснащался четырьмя ракетами П-15 (на РКА пр. 183Р – две ракеты П-15), артиллерия была усилена размещением двух

30-мм автоматических установок АК-230 с управлением от РЛС МР-104, в качестве главных двигателей применили вновь созданные уникальные дизели М-504. Но не только в этом было отличие нового катера от всех строившихся ранее на нашем заводе: впервые нам предстояло строить катер не с деревянным, а с металлическим корпусом. При этом все делалось на существующих производственных площадях и с сохранением программы деревянного судостроения. Благодаря организаторскому таланту директора В.Д. Колечицкого завод в сжатые сроки освоил новые технологии, обучил кадры и в 1960 г. успешно сдал головной катер пр. 205.

С 1961 г. началось серийное строительство БРКА пр. 205 на трех заводах. Для нашего завода катера пр. 205 были главной продукцией на протяжении 30 лет. За эти годы построено 89 катеров, в том числе на экспорт.

За создание РКА пр. 183Р и 205 в 1962 г. большая группа сотрудников завода №5 была награждена орденами и медалями, а ответственный сдатчик Н.И. Мартынычев в составе группы ведущих участников создания этой техники был удостоен звания лауреата Ленинской премии. Традиция использовать платформу боевого катера при создании пограничных катеров была сохранена и в пр. 205 – на базе платформы этого катера был создан пограничный корабль пр. 205П «Тарантул». Начиная с 1967 г. завод по пр. 205П построил 111 единиц.

Не упуская инициативу в создании ракетных катеров, отечественный ВМФ поставил перед промышленностью задачу создать новый катер с усиленным ракетным вооружением (ракеты П-120) и средствами самообороны (ЗРК «Оса-М» и 57-мм артиллерия АК-725). Проект такого катера, отнесенного согласно новой классификации к МРК, был разработан под руководством главного конструктора И.П. Пегова. Головной корабль, получивший наименование «Буря», был заложен на заводе 13 января 1967 г.,

предъявлен на испытания и сдан в 1970 г. Строительство МРК пр. 1234 потребовало очередной реконструкции завода, одним из главных элементов которой был переход от спуска с помощью слипа на спуск с помощью плавучего дока, для чего был построен целый комплекс гидротехнических сооружений. В 1974 г. была разработана модификация МРК пр. 1234 – пр. 1234.1 и с 1975 г. началось серийная постройка таких МРК. Последний МРК пр. 1234.1 завод построил в 1991 г. Всего было построено 30 МРК по пр. 1234 и 1234.1 для отечественного ВМФ, и кроме того, 10 МРК по пр. 1234Э на экспорт.

Больших успехов в создании кораблей с динамическими принципами поддержания – на подводных крыльях (ПК) и воздушной подушке (ВП) – предприятие достигло в 60-е гг. Состояние промышленности позволяло строить МРК, близкий по составу вооружения пр. 1234, но не водоизмещающий, а с автоматически управляемыми ПК (АУПК). Это позволяло увеличить скорость с 34 до 60 уз и мореходность при использовании оружия. Первое ТТЗ на такой корабль ВМФ выдал в составе ТТЗ пр. 1234 (позднее – пр. 1240). Как разработка проекта, так и постройка корабля были предельно сложными задачами – корпус корабля был из нового легкого сплава АМг62Т, крылья – из титана, а в качестве главных двигателей использовали две газотурбинные установки агрегатной мощностью 18 000 л.с. и множество опытных механизмов и устройств, включая устройство подъема крыльев.

Конструкторы и производственники успешно справились с постройкой и испытаниями этого корабля – сравнительные мореходные испытания МРК пр. 1240 «Ураган» и МПК с АУПК «Сокол» показали более высокие мореходные качества «Урагана». Но корабль опередил свое время – промышленность не была готова к серийному производству, а ВМФ – к эксплуатации таких кораблей.



Катер пр. 205



Малый ракетный корабль пр. 1234.1 «Овод»



Ракетный катер пр. 12411 «Молния»



Малый десантный корабль на воздушной подушке пр.12322 «Зубр»

К концу 60-х гг. в стране началось реформирование промышленности с целью сокращения времени внедрения новой техники. Создавались организационные структуры, сочетающие проектную и производственную базы. Поскольку единоличным проектантом катеров для нашего завода было ЦМКБ «Алмаз», выросшее в свое время из КБ завода № 5, встал вопрос об объединении этих организаций в единый комплекс, тем более что у ЦМКБ «Алмаз» в это время был в качестве опытного Морской завод, расположенный рядом – на противоположном берегу Малой Невы. Так, в 1970 г. родилось ПО «Алмаз». Первым генеральным директором его стал начальник-главный конструктор ЦМКБ «Алмаз» Е.И. Юхнин.

В ПО «Алмаз» на территории бывшего Морского завода развернулось строительство кораблей на воздушной подушке. После штурмовых катеров пр.1205 «Скат» началось серийное строительство танкодесантных КВП «Джейран» (всего построено 20 ед.). Здесь же построили и два КВП «Кальмар», размерения которых позволяли размещать их в трюме десантного корабля «Иван Рогов». При создании КВП пришлось решить много как исследовательских, проектных, так и производственных задач. Революционным был переход с клепаных на сварные корпуса. Много времени заняла отработка гибкого ограждения, вопросов заселения двигателей и ряд других проблем. Благодаря производственному объединению время решения этих проблем сокращалось.

Работа по созданию КВП в 1978 г. была удостоена Государственной премии СССР.

Опыт, накопленный при создании КВП первого поколения, был использован при создании уникального КВП второго поколения «Зубр» (пр. 12322), предназначенного для перевозки трех танков со скоростью

60 уз. Строительство и доводка головного корабля осуществлялись в период 1982–1988 гг., после чего началось его серийное строительство.

В объединении на территории бывшего Приморского завода (№ 5) продолжалось строительство РКА. На смену РКА пр. 205 и МРК пр. 1234.1 в ЦМКБ «Алмаз» был разработан проект БРКА с современным ракетным комплексом «Москит», средствами самообороны, газотурбинными и дизель-газотурбинными двигателями (пр. 12411 «Молния») под руководством главного конструктора Е.И. Юхнина. Головные катера всех базовых модификаций были построены на ПО «Алмаз». Работа по созданию БРКА типа «Молния» была удостоена премии Правительства РФ (в числе лауреатов – Е.И. Юхнин, В.Н. Устинов, Л.Г. Грабовец, Е.Ф. Волкович, А.В. Шляхтенко).

В 1960–1990 гг. коллективом предприятия был накоплен бесценный опыт создания уникальных катеров и малых кораблей для отечественного ВМФ и на экспорт.

ВРЕМЯ ПЕРЕМЕН

Произошедшие в стране в начале 90-х гг. перемены отразились и на жизни нашего предприятия. В 1991 г. прекратило свое существование объединение. В том же году завод построил последние корабли пр. 1234.1, 205П и 12322, служившие основным источником финансирования. Новых кораблей отечественный ВМФ не заказывал в связи с переходом на рыночную экономику. Определенную поддержку оказывали работы по началу строительства новых пограничных кораблей пр. 10410 «Светляк». В 1992 г. заводом Морпогранохране был сдан головной корабль пр. 10410, а всего в 90-е гг. предприятие построило семь ПСКР пр. 10410.

Провозглашенная в стране политика конверсии предприятий потребовала от руководства завода поиск

ка новых заказчиков. Благодаря умелым действиям генерального директора А.П. Королева фирма «Алмаз» стала участником программы по созданию системы природоохранных судов. В 1995 г. было построено судно экологического мониторинга пр. 16220 «Экопатруль-1» для акватории Невы, Невской губы и Ладоси, а вскоре и судно «Экопатруль-2» для акватории Волги и Каспия. В 1999 г. по пр. 23107Э было построено морское природоохранное судно. В эти же годы делалась попытка наладить производство легкосплавных яхт для иностранного заказчика. Учитывая опыт предприятия в создании КВП, в 1998 г. было построено амфибийное судно пр. 14661 для Общества морских лоцманов Санкт-Петербурга «Рысь». Корабелы «Алмаза», имея большой опыт работы с легкими сплавами, приняли участие и в постройке первых опытных вагонов для скоростной магистрали Москва – Санкт-Петербург. В порядке конверсии фирма изготавливала даже расадо-посадочные машины. И хотя эта разнообразная продукция всегда соответствовала уровню квалификации предприятия, тем не менее она помогла преодолеть огромные трудности адаптации при переходе к рыночной экономике. На предприятии в целях поддержания высокого качества выпускаемой продукции была внедрена система управления качеством, соответствующая международному стандарту ISO 9001. В мае 1998 г. фирма получила Премию Санкт-Петербурга за качество. Руководству фирмы «Алмаз» удалось после акционирования предприятия сохранить мощное судостроительное производство, способное выпускать самые современные корабли. Подтверждением этого стал контракт на строительство для Греческой республики самых крупных и совершенных в мире КВП пр. 12322 «Зубр», заключенный в 2000 г.



АЛМАЗ

Судостроительная фирма

market@almaz.spb.ru

www.almaz.spb.ru



Малый артиллерийский корабль пр. 21630 «Астрахань»



Сторожевой пограничный корабль пр. 10410 «Светляк»

СФ «АЛМАЗ» В ТРЕТЬЕМ ТЫСЯЧЕЛЕТИИ

Плодотворными и насыщенными оказались для фирмы «Алмаз» первые семь лет третьего тысячелетия.

После четырехлетнего перерыва в июне 2001 г. был сдан ПСКР пр. 10410 «Светляк» для ФПС России, а в декабре 2000 г. Греческой Республике был передан первый КВП «Зубр», и фирма приступила к строительству следующего корабля. В 2002 г. фирма выполнила контракт на поставку двух ПСКР пр. 10412 для Вьетнама. В этом же году прошла модернизацию яхта Президента РФ пр. 1360 «Кавказ», строившаяся на нашем заводе в 1978 г.

В 2002–2004 гг. для Греческой Республики были построены еще два КВП «Зубр». В 2003 г. «Алмаз» был отме-

чен Почетной премией «Золотая идея» за успехи в области производства экспортно-ориентированной продукции военного назначения.

В 2004 г. для отечественной ФПС был построен очередной ПСКР «Светляк». Принципиально важным событием в жизни фирмы явилась закладка 30 января 2004 г. головного малого артиллерийского корабля пр. 21630 «Астрахань». Этому событию предшествовал конкурс, в котором в результате острой борьбы СФ «Алмаз» выиграл право на строительство головного корабля, а затем и всей серии (в феврале 2005 г. состоялась закладка второго корабля «Каспийск», а в марте 2006 г. – третьего корабля «Махачкала»). В 2006 г. головной корабль «Астрахань» был передан ВМФ России. Это первый надводный корабль, спроектированный и построенный для ВМФ России в XXI в. Строительство этого корабля – прекрасный пример высокого профессионального уровня коллектива фирмы – все новые решения были успешно отработаны на корабле всего за полтора года.

В 2006 г. к саммиту «Большой восьмерки» судостроительная фирма «Алмаз» изготовила далеко не судостроительную продукцию – самый большой в мире плавучий фонтанный комплекс.

Верное своему чувству нового руководство фирмы, отслеживая рынок идей, решило за счет своих оборотных средств построить новейший патрульный катер по пр. 12200 «Соболь» ФГУП ЦМКБ «Алмаз». Благодаря системе автоматически управляемых интерцепторов этот патрульный катер водоизмещением около 60 т может развивать скорость 48 уз и эксплуатироваться на волнении до 5 баллов. Во время ходовых испытаний в 2006 г. головной катер подтвердил все свои отличные ходовые и мореходные качества и был передан Пограничной службе ФСБ РФ. Как на внутреннем, так и на внешнем рынке существует значительная потребность в ПСКА типа «Соболь», и фирма «Алмаз» готова к их производству.



Правительственная яхта пр. 1360 «Кавказ»



Пограничный патрульный катер пр. 12200 «Соболь»



Президент В.В. Путин на борту яхты «Кавказ» с экипажем, 2002 г.

2007 г. оказался успешным для «Алмаза» как по сдаче готовой продукции (Пограничной службе был передан очередной ПСКР пр. 10410 «Светляк» и четыре катера для Таможенной службы Азербайджана), так и по формированию задела – были заложены корабли двух новых проектов: для охраны территориальных вод пр. 22460, для Пограничной службы ФСБ РФ, спроектированный Северным ПКБ, и буксир-ледокол пр. 2805.

Результаты работы «Судостроительной фирмы «Алмаз» в течение первых семи лет XXI в., современное производство, высококвалифицированные кадры и наличие портфеля заказов позволяют ей с оптимизмом смотреть в будущее. ■

В течение многих столетий парусные артиллерийские корабли определяли мощь морских держав, и лишь в XIX в. они уступили свое место судам с паровым двигателем. Сперва Испания и Португалия, потом Голландия и Англия, еще позднее – Франция и Россия создавали все более совершенные линейные парусные корабли с возрастающим числом пушек. Эти корабли участвовали в ожесточенных морских битвах, последней из которых была Синопская под командованием адмирала П.С. Нахимова.

Наиболее быстроходные парусные суда – клипера – достигали при полной парусности скоростей 18–19 уз (рис. 1 из



Рис. 1. Клипер – наиболее быстроходный тип парусного судна

работы [20]). В наши дни крупные парусные корабли являются преимущественно плавучими морскими школами. Однако есть успешные примеры создания больших пассажирских парусных судов для морских круизов. Энергично развиваются спортивные парусные суда, хотя их размеры сравнительно невелики. Появляются также суда, преобразующие энергию ветра не с помощью парусов, а посредством ветроустройств нового типа – роторных и пропеллерных. Далее речь пойдет в основном о мерах безопасности эксплуатации парусных судов современных типов.

К настоящему времени моторные суда вытеснили парусники с морских торговых путей, но экологические причины заставляют возвращаться к использованию судов-ветроходов. Большое значение имеет обоснование на основе кораблестроительной теории для будущих ветроходных судов таких проектных характеристик, при которых гарантируется эффективность и безопасность их эксплуатации (рис. 2 из работы [6]).

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРУСНЫХ СУДОВ И НОВЫХ ТИПОВ СУДОВ С ВЕТРОУСТРОЙСТВАМИ

Д.И. Кизилов, *д-р техн. наук, проф.*,
Б.А. Царев, *д-р техн. наук, проф.*, СПбГМТУ



Рис. 2. Фрегат «Паллада» в штормовом плавании (по версии худ. Е. Войшвилло)

Главные средства обеспечения безопасности таких судов – непрерывная активность и экстремальные действия парусной вахты. В режиме штормования при курсе носом на волну фрегат удерживается благодаря управляющему действию парусов на кормовой мачте – бизани. Если же экипаж теряет управление, то остается возможность «срубить» переднюю фок-мачту и буксировать ее за форштевнем (при движении кормой вперед) в роли тормозного плавучего якоря. Оставшиеся грот-мачта (средняя, самая высокая) и бизань-мачта позволят экипажу на курсе носом на волну пассивно ожидать окончания шторма. На средневековых парусных судах то же обеспечивалось за счет специальной формы корпуса и высоких кормовых надстроек. На современных парусных яхтах (рис. 3 [2]) имеются особые комплекты штормовых парусов. Вместо самого большого паруса – грота – ставится небольшой трисель, вместо передних парусов – стакселей – штормовой стаксель малой площади.

Развитие кораблестроительной науки в начальный период как раз и определялось задачами, стоящими перед парусными судами [29, 30]. Здесь следует вспомнить работы великого Л. Эйлера, по разработкам которого до сих пор иссле-

дуются вопросы остойчивости проектируемых судов любых типов, а не только парусников. В 2007 г. исполнится 300 лет со дня рождения этого ученого, что, несомненно, будет отмечено рядом интересных публикаций.

Характеристики современных парусных судов и яхт настолько отличаются от тех, которые строились в XVIII–XIX в., что большинство других проектных вопросов (помимо остойчивости) приходится анализировать по-новому. На рис. 4 изображена «минимальная» яхта («человек-парус», виндсерфер, парусная доска для виндсерфинга) [2]. Почти все мореходные качества такой парусной «яхточки» определяются поведением и экстремальными действиями самого человека – виндсерфингиста.

Пассажиры комфортабельных туристских парусников, часто переоборудуемых из судов других типов мало беспокоятся о борьбе с ветром и волнами (рис. 5 из работы [2]). В то же время наиболее инициативные туристы могут участвовать в постановке и уборке па-

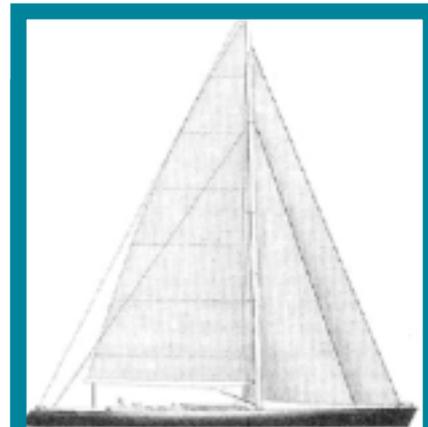


Рис. 3. Типичная современная парусная килевая яхта

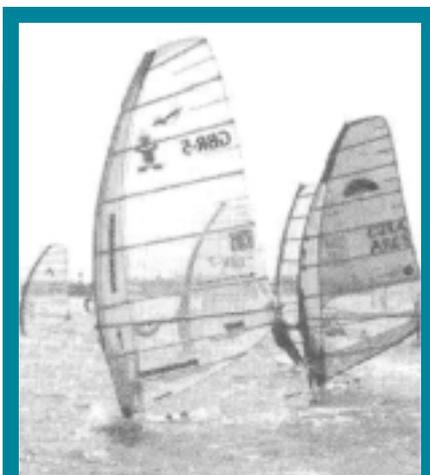


Рис. 4. Виндсерферы

ристов, в других матросских работах, постоять за штурвалом, ощутить романтику морских странствий и сопричастность к делам предков. Подобным судам должен быть обеспечен высочайший уровень безопасности.

Еще во второй половине XIX в. в кораблестроительной науке на первый план вышли проблемы, с которыми столкнулись проектанты судов с моторными установками и с металлическими корпусами. Они стали уделять меньше внимания парусным кораблям и их преемникам – парусным яхтам, поэтому многие важные вопросы их проектирования оказались полузабытыми и не нашли полного отражения в проектных методиках [11, 15, 31].

Некоторый застой в теории парусных судов объясняется тем, что у большинства килевых парусных яхт не обеспечена непотопляемость. У парусников с деревянными корпусами живучесть она также до конца не была обеспечена, но выручало то, что у гибнущих моряков под руками оказывалось, по крайней мере, много плавучих деревянных обломков, а это увеличивало шансы на спасение. Сейчас крупные парусные яхты строятся в основном из стали, легких сплавов, стек-

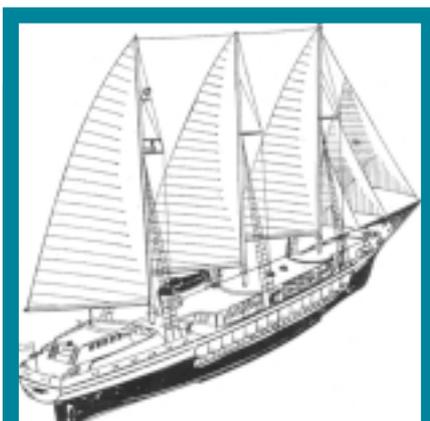


Рис. 5. Туристский парусник, переоборудованный из траулера типа «Маяк»

лопластика. С такими конструкционными материалами обеспечение непотопляемости возможно лишь за счет специальных предусмотренных мер [1, 3, 27].

В наши дни возродился общий интерес к созданию парусных судов как экологичных и энергоэкономичных. Появились новые идеи использования энергии ветра с помощью ветроустройств с жестко-крыльевого, роторного и пропеллерного типов [9, 10, 24, 28]. В связи с этим следует самое серьезное внимание обратить на современные подходы в борьбе за безопасность и живучесть этих судов [5, 7, 26].

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ

При проектном анализе парусников используются три типа логико-математических моделей: концептуально-проектировочные, объектово-построечные и эргатически-эксплуатационные. При этом под *эргатичностью* понимается удобство существования человека как элемента сложной системы «человек–судно». В первых двух версиях логико-математических моделей для решения вопросов безопасности закладывается теоретическая и практическая база, а эргатически-эксплуатационная модель отображает сам процесс борьбы за безопасность в аварийных условиях, когда человеческий фактор и организационный уровень играют решающую роль. Все упомянутые модели содержат подмодели, системно отображающие на содержательном уровне подсистемы парусных судов [9, 20, 23–25]. В концептуально-проектировочной системе выделяются алгоритмические подсистемы (т. е. математизированные части проектных разделов, которые в большинстве случаев одноименны с соответствующими проектными уравнениями или неравенствами).

В системе *объектово-построечного типа* происходит разбивка на построечные единицы (модули) в виде районов, блоков (или групп помещений, агрегатов), секций (или помещений, механизмов), узлов (или комплектов). *Эргатически-эксплуатационная* модель судна объединяет такие функциональные подсистемы, которые обслуживаются определенными группами специалистов, разделяемыми на судовые службы (или на корабельные боевые части, если говорить о военных парусниках прошлых веков).

С учетом тематического сходства подмоделей трех упоминавшихся видов вопрос удобнее всего рассмотреть на примере алгоритмических подсистем. При этом для анализа обеспечения комплексной безопасности фактически будет использована суперподсистема, объединяющая несколько подсистем (особо актуальных для безопасности эксплуатации) и несколько важнейших фрагментов в подсистемах, влияющих на бе-

зопасность частично. Согласно наиболее типичному разделению на алгоритмические подсистемы, непосредственно влияющие на обеспечение безопасности относятся следующие [7, 24]:

- 1) продольная центровка, удифференровка, балластировка;
- 2) остойчивость;
- 3) непотопляемость;
- 4) прочность;
- 5) управляемость.

Подсистемами второго порядка, влияющими на безопасность, относятся следующие:

- 6) комплектация экипажа и навигационная характеристика района плавания, уровень организации вахт и учений из подсистемы «Функциональность»;
- 7) характеристики реверса из подсистемы «Ходкость»;
- 8) безопасный надводный борт из подсистемы «Плавучесть»;
- 9) ремонтпригодность из подсистемы «Технологичность»;
- 10) незаливаемость, всхожесть на волну, отсутствие сильных ударных волновых нагрузок и слеминга из подсистемы «Мореходность»;
- 11) комплектация аварийной электростанции, противопожарного и спасательного оборудования, средств наблюдения и связи, дистанционных приводов, из подсистемы «Оборудованность»;
- 12) пути эвакуации из подсистемы «Компоновка».

Рассмотренные позиции пока не ранжированы по значимости (это будет сделано в ходе дальнейшего анализа), однако необходимо сразу подчеркнуть, что отсутствие какого-либо элемента безопасности невосполнимо, не может быть заменено увеличенным значением какого-либо другого элемента. Например, отказ аварийной электростанции сразу делает неработоспособными многие из перечисленных подсистем и элементов. В практических же оценках безопасности про электростанцию часто забывают.

Возможны ситуации, когда заказчик и проектант заведомо отказываются от какого-либо элемента безопасности, перенося центр тяжести на возмещение убытков за счет страхования и на эвакуацию экипажа спасательными средствами. Подобный факт еще имеет место при проектировании некоторых судов с горизонтальной грузообработкой, для которых не регламентирована непотопляемость. На практике о подобной дилемме не всегда информирован экипаж, в результате чего может быть с запозданием принято решение об эвакуации людей в аварийных случаях.

При оценке количественных параметров, характеризующих перечисленные выше позиции, можно сделать вывод о том, на что должен ориентироваться проектант при обеспечении безопасности. В первой позиции важны емкости цистерн, их расположение и

насосное оборудование. По позиции 2 главный упор должен делаться на те потенциальные опасности для нарушения остойчивости, которые характерны для данного типа судна или корабля (для парусников эти опасности на порядок выше, чем для обычных моторных судов. Далее должны рассматриваться возможности преодоления опасностей. Примеры неблагоприятия по непотопляемости (3) уже отмечались. Проблема прочности, в принципе, является кардинальной, но благодаря принятым мерам, разработанным правилам и установлению жесткой системы контроля в конкретных ситуациях практически решена (кроме прочности мачт и других опор, на которых могут быть подняты ветроустройства нового типа). Управляемость (5) особенно важна для парусных судов, у которых поворот не сводится к простой перекладке руля. Поворот является сложным маневром по перемене галса (т.е. борта, на который ориентированы паруса по характеристике «подветренный-наветренный») и требует заблаговременной перестановки или регулирования значительной части парусов и обслуживания их снастей (шкотов, брасов, топенантов, бакштагов, фалов). Особо критической является управляемость при угрозе столкновения с другим судном, при приближении к бровке фарватера, при движении в районах с большим числом скал или мелей. Конечно, в большинстве случаев в опасных районах паруса частично или полностью убираются, а главную роль начинают играть вспомогательные двигатели. Но опасность почти всегда приходит неожиданно. Поэтому-то так важно соблюдать правило «хорошей морской практики»: «Если есть достаточно веские основания считать, что опасность (например, шквал) близка, то надо действовать так, как будто опасность уже наступила!»

Доминантное значение среди элементов подсистем второго порядка имеет *комплектация экипажа*, а еще больше – его реальная квалификация, уровень организации вахт и учений, дисциплинированность. В настоящее время при анализе аварий и их последствий широко обсуждается так называемый «человеческий фактор», т.е. неполное соответствие нормам тех действий вахтенной службы и других членов экипажа, которые предшествуют аварии или совершаются при борьбе за безопасность [3, 5, 26]. Причинами неправильных действий могут быть недостаточная тренированность, усталость и, к сожалению, пьянство. Морской инженер, проектант парусных судов должен основное внимание обращать на технические средства предотвращения аварий или их надежной ликвидации. Однако опасной тенденцией является чрезмерная надежда на автоматизацию и заметное сокращение чис-

ленности экипажа, интенсификация труда моряков. В нормальных условиях можно «нажимать на кнопки» и сводить численность вахты к минимуму. Но при ликвидации аварий «кнопки» помогают мало, здесь нужны реальные действия людей.

Ставка на автоматизацию парусных судов в их современных «ветроходных» версиях является исходной в качестве условия рентабельности. Тем не менее надо здраво оценивать реальные условия эксплуатации и оптимизировать численность экипажа на основе реалистичных моделей. Видимо, парусно-моторные суда должны хотя бы частично выполнять учебные функции, тогда сменная часть экипажа будет иметь умеренный уровень оплаты труда, поэтому заметного снижения рентабельности не произойдет.

Такой элемент, как «навигационная характеристика района плавания», тесно связан с безопасностью надводного борта (8) и (6) незаливаемость, но волновыми нагрузками, слемингом (10). В то же время особое значение имеют мели, скалы, глубины на фарватерах. Совокупность подобных факторов может быть отражена в подразделении районов плавания по локальным категориям, требующим именно высокого уровня мастерства экипажа при данной комплектации.

Возможность реверса (7) для парусных судов отсутствует. Поэтому экипаж должен быть бдительным и предусмотрительным, а создатели судов-ветроходов – максимально повышать и маневренные возможности парусных судов.

Ремонто-пригодность и комплектация оборудованием (позиции 9, 11 и 12) имеют большую важность (о чем уже говорилось по поводу электростанции), но их решение на обычных судах и на парусниках должно быть организовано сходным образом, поэтому более детально данная тема здесь не обсуждается.

А вот остойчивость на больших углах крена требует анализа. Если рассматривать всю совокупность парусных судов, то на малых спортивных яхтах, швертботах и катамаранах в регулировании остойчивости участвует сам экипаж путем отклонения, т.е. перемещения на наветренный борт [2, 10, 11, 14]. Для больших парусных судов такой вариант неприемлем, поэтому должно обеспечиваться достаточное низкое исходное положение центра тяжести, достигаемое приемом рассчитанного количества твердого балласта. Дополнительное регулирование остойчивости возможно за счет уменьшения парусности и (как на обычных судах) приема жидкого балласта.

Однако главной проблемой остойчивости парусных судов как при расчете, так и при практических действиях экипажа остается ситуация шквала с подветра. В расчетах необходимо четкое указание о времени взятия рифов и до-

пустимой площади парусности при достижении конкретной силы ветра.

Непотопляемость на больших парусных судах вопрос без особых затруднений решается такой расстановкой переборок, которая соответствует наличному запасу плавучести. Проблемным является обеспечение непотопляемости на относительно малых спортивных и туристских яхтах. Для этих целей прежде всего должно быть принято в корпус достаточное количество пенопласта или аналогичных ему наполнителей. Имеет смысл этот вопрос решать, как на спасательных шлюпках.

Для улучшения управляемости на больших и средних парусниках необходимо использовать подруливающие устройства, что однако требует увеличения финансирования при создании (проектировании и постройке) судов.

ПУТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Несколько слов необходимо сказать о совершенствовании судов в отношении защиты окружающей среды (конкретно – морей и их прибрежных акваторий), которая стала актуальной по мере повышения мощности двигателей (а следовательно и количества топлива на борту), а также из-за роста объемов перевозок нефтепродуктов и непосредственного устройства нефтепромыслов в море. Пути решения этих проблем многообразны, но оптимум можно рассмотреть на примере парусных судов, которые почти не потребляют топлива, т.е. благоприятны в экологическом отношении.

Относительно небольшая экологическая опасность парусного судна не освобождает экипаж от необходимости не сбрасывать за борт мусор, не сливать сточно-фекальные воды.

Старинные артиллерийские парусные корабли имели остойчивость (т.е. не опрокидывались при боковом ветре, действующим на высоко расположенные паруса) за счет балласта, понижавшего центр тяжести. Современные парусные суда и яхты вместо балласта в виде камней и песка имеют балластные кили-плавники. На парусных судах масса такого балласта достигает 15–20 % полной массы, на быстроходных и мореходных спортивных парусных яхтах – до 45–55 %. Конечно, при проектировании требуется так обосновать ширину и другие характеристики парусных судов и яхт, чтобы количество балласта минимизировать. Сам же балластный киль-плавник должен иметь такие размеры и местоположение по длине, чтобы был как можно меньший дрейф, т.е. боковое и угловое смещение судна с заданного направления курса [14, 17, 25]. Так как по мере роста силы ветра кренящий момент растет, на парусных судах наступает момент, когда площадь парусов необходи-

мо уменьшать. Часть парусов просто убирается либо заменяется парусами меньшего размера, на части парусов «берутся рифы», и таким образом их поверхности выводятся из рабочего состояния по заранее намеченным линиям отверстий. «Взятие рифов» – очень ответственная и небезопасная операция. Для ускорения «взятия рифов» постоянно вводятся усовершенствования.

Обсуждая применение судов с пропеллерными ветроустройствами, проблему их «нейтрализации» в штормовых условиях приходится ставить на первый план. Пока что удовлетворительное решение еще не найдено [9].

При обеспеченной остойчивости следующим важнейшим требованием к ветроходному судну или яхте является не столько прочность корпуса, сколько прочность крепления балластного килля к корпусу, мачт, на которых размещаются паруса, такелажных тросов, как подкрепляющих мачты (стоячего такелажа), так и предназначенных для управления парусами (бегучего такелажа). Проверка прочности и надежности парусных судов, корпуса которых строятся из современных конструкционных материалов, осуществляется по известным методикам. Благодаря этому у парусных судов растет показатель способности нести паруса, называемый числом Брюса. Это число равно отношению квадратного корня из площади парусности к кубическому корню из объемного подводного водоизмещения.

Третьим важнейшим аспектом безопасности является управляемость. Уже упоминалось о борьбе с дрейфом, не менее важно стабильно удерживать парусное судно на заданном курсе. Для этого должны находиться в соответствии положение по длине центра площади парусов и центра проекции боковой подводной поверхности. В регулировании этого положения доминирует роль плавника и руля, поэтому обособление их характеристик – важная задача.

На четвертое место следует поставить вопрос о непотопляемости, хотя именно это качество у спортивных парусных судов редко достигает требуемого уровня. При наличии тяжелого плавника и при относительно небольшом надводном борте требуется поставить на яхте значительное число переборок внутри корпуса. Считается, что это сильно ухудшает условия эксплуатации яхты и ее оборудования. Но ведь вахтенная часть команды все равно находится не в корпусе, а в открытом кокпите, где сосредоточено все управление яхтой. В отсеках же можно сделать палубные задраиваемые в непогоду люки. Такие же люки, но вертикальные, можно сделать и в переборках, в основном должны быть закрыты.

Говоря о живучести яхт, не следует забывать и о пожаробезопасности.

Конечно, противопожарное оборудование на этих судах всегда должно быть в готовности.

К живучести и безопасности относятся также вопросы охраны труда экипажа как в «штатной» ситуации, так и в аварийных условиях. При математическом моделировании можно опираться на стохастические методы. Вообще же, не только в борьбе за живучесть, но и в обеспечении нормальной безаварийной эксплуатации судов громадную роль играет организационное и психологическое преодоление так называемого «человеческого фактора». Под этим понимается борьба с недостаточной квалификацией, недисциплинированностью, расхлябанностью, халатностью, с употреблением спиртных напитков и наркотиков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕТХОДОВ НОВЫХ ТИПОВ

По мнению авторов, экологически оптимальные парусные суда начнут заметно вытеснять суда, использующие тепло и ядерную энергию, уже в нынешнем, XXI в.

Проведенный анализ показал, что в морях, подобных Баренцеву и Охотскому, при характерной для них повторяемости ветров, суда с ветроустройствами (и небольшим вспомогательным двигателем) уже сегодня выгоднее, чем суда с полноразмерной энергетикой, работающей на топливе.

Речь идет как о судах с классическим или модернизированным парусным устройством, так и о судах с роторными и пропеллерными ветроустройствами. Схема пропеллерного судна, у которого ветроустройство имеет горизонтальную ось вращения, показана на рис. 6; роторное судно в катамаранном варианте показано на рис. 7 (из работы [9]).

На роторных судах движущая сила создается благодаря взаимодействию ветрового потока с медленно вращающимися от действия электромотора рото-



Рис. 6. Схема пропеллерного судна с лопастными ветроустройствами

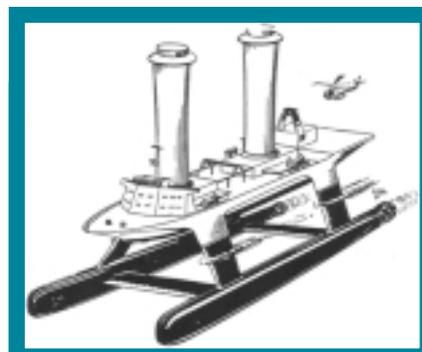


Рис. 7. Научно-исследовательский катамаран с ветроустройствами-роторами

рами. С одной стороны роторов скоростной вектор силы трения суммируется со скоростью потока, с другой стороны – вычитается. Разность в скоростях порождает градиент давлений и появляется поперечная сила. Ее величина и направление больше всего зависят от характеристик ветра, но могут регулироваться путем изменения частоты вращения роторов.

На пропеллерных судах лопасти, схожие с авиационными или с «мельничными», направляются против потока ветра. Вращающий момент создается за счет угла атаки винтовых поверхностей лопастей, этот момент через редукторы и выравнивающие устройства передается на гребной винт регулируемого шага. Пропеллерные суда (в отличие от парусных и роторных) могут идти прямо против ветра.

Конечно, нужна исследовательская, разъяснительная, учебно-кадровая и организационная работа, чтобы поддержать тех предпринимателей, которые будут использовать парусные суда. Так как рост цен на топливо будет скорее всего продолжаться, то через 15–20 лет парусные суда станут выгодно использовать и на морях типа Балтийского, Каспийского и Японского, а затем возможно и до Черного и Азовского морей. По-видимому, вначале появятся небольшие туристские суда (такие, как на рис. 5), а затем в это число войдут суда с горизонтальной грузообработкой, контейнеровозы и другие грузовые суда.

Целесообразно применение парусов, прежде всего на тех типах судов, которые и раньше успешно использовали силу ветра. Речь идет о научно-исследовательских и рыболовных судах.

На французском исследовательском ветроходном судне (рис. 8) крылья («сэйл») служат обтекателями роторов («турбо») и в то же время выполняют роль жестких парусов. Их высота искажена из-за чертежного условного разрыва, при полном показе потребовалась бы вся страница.

В большинстве случаев перечисленные выше суда значительную долю рейсового времени движутся на малых скоростях (с тралами, драгами, эхолотами,

подводными аппаратами), либо вообще стоят (при взятии проб, при бурении, при обработке избыточного улова). В таком же примерно режиме работают современные суда экологического контроля и мониторинга.

Подробнее следует остановиться на обеспечении штормовой безопасности парусных и ветроходных судов в качестве важнейшего условия их успешного распространения. Потенциалом штормовой безопасности парусных судов является разделение площади парусности на отдельные элементы, которые (как упоминалось в начале статьи) либо убираются, либо заменяются, либо «рифятся». При этом достигается оптимальная безопасность и ходкость судна, хотя моряки, работающие на большой высоте на раскачивающемся судне, и подвергаются значительному риску. У автоматизированных парусных судов с усовершенствованными конструкциями парусов такой риск минимизируется.

Оптимальность ходкости при регулировании площади парусов связана с тем,

телескопическими, то пропеллеры становятся неработоспособными (если только не сделать телескопическими и сами лопасти, чтобы диаметр пропеллеров уменьшался). В-третьих, при установке лопастей во флюгерное положение лобовое сопротивление уменьшается незначительно (только от уменьшения площади самих лопастей, в то время как сопротивление гондол и опор не уменьшается).

Таким образом, пропеллерные ветроустройства вряд ли удастся приспособить к штормовым условиям на основе привычных решений.

К тому же пропеллерные конструкции сложны и материалоемки, следствием чего становится увеличение затрат на их постройку. Не случайно, уже известны конкретные суда с роторными и роторно-крыльевыми ветроустройствами, а пропеллерных в виде натуральных судов пока нет.

Как уже отмечалось, наиболее перспективны два типа «парусных» ветроустройств (жесткие вертикальные кры-

лья можно считать «парусами» с повышенными аэродинамическими характеристиками):

Это «ветророторы» (см. рис. 7), т.е. вертикальные принудительно вращающиеся цилиндрические конструкции, при взаимодействии которых с ветровым потоком появляется горизонтальная сила, продольную (по отношению к генеральному курсу) составляющую которой можно использовать

в качестве силы тяги (поперечная составляющая будет вызывать дрейф и крен) и «ветропропеллеры» (см. рис. 6) – лопастные устройства с горизонтальной осью (аналогичные ветряным мельницам и «ветрякам»), передающие вращающий момент через два конических редуктора и вариатора оборотов (с промежуточным вертикальным валом) на обычный валопровод и гребной винт; эти устройства и далее будут называться «ветропропеллерами».

В обоих случаях (и для ветророторов, и для ветропропеллеров) наряду с этими ветроустройствами на ветроходных судах должны быть вспомогательные двигатели относительно небольшой мощности. Они необходимы в штиль (при отсутствии ветра) и в такой шторм, при котором использование ветроустройств уже нецелесообразно по соображениям прочности их опор и устойчивости самих судов.

По отношению к «ветропропеллерам» на начальном этапе их потенциального использования возникает вопрос, можно ли их применять при движении прямо против ветра? Оказалось, можно, несмотря на кажущийся парадокс: навстречу судну действует некая сила (от ветра), часть энергии от действия этой силы теряется в передачах, добавляется сила сопротивления корпуса, в итоге, на движителе судна с лопастором все-таки появляется сила, движущая ветроход вперед. Получается, что коэффициент полезного действия больше единицы.

Возможность такого движения была доказана экспериментально, и теоретикам пришлось искать причины парадокса. Оказалось, что встречный ветер на той высоте, где установлен ветропропеллер, намного сильнее, чем в зоне, прилегающей к поверхности воды. Энергия ветра на этой высоте колоссальна. Возведенное в квадрат соотношение скоростей и создает тот резерв, который с лихвой компенсирует все потери в передачах. Вместе с этим судно с ветропропеллером все-таки представляет собой настолько экзотичное и высокогабаритное сооружение, что широкое применение в ближайшие годы вряд ли найдется. Однако в рамках общего сопоставления разработка оценки свойств «ветропропеллерного» судна необходима. Эта задача будет решаться параллельно с совершенствованием рабочих характеристик ветроустройств и с нахождением такого оптимума автоматизации, при котором надежность эксплуатации и безопасности не потребует использования многочисленных экипажей, которые были характерны для парусников старого типа.

СОВОКУПНОСТЬ ПРОЕКТНЫХ УРАВНЕНИЙ К АНАЛИЗУ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ

Уже говорилось о тех позициях, которые требуют первоочередного исследования при оценке уровня безопасности. Но при проектировании применению соответствующих уравнений должно предшествовать решение архитектурно-компоновочных вопросов и детальное рассмотрение состава нагрузки, состава и объема помещений, установление их координат.

Поэтому в качестве исходной базы анализа безопасности будут служить уравнения нагрузки и вместимости (только, как правило, не по объемам, а по площадям). Кроме этого, в ходе анализа уравнения ходкости будут определены те элементы парусности, без которых невозможно решать задачи устойчивости, дрейфа и управляемости.

Таким образом, в первую группу войдут те уравнения, которые отличаются

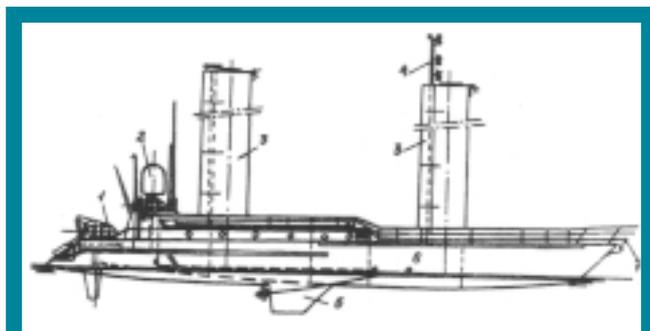


Рис. 8. Боковой вид судна с ветроустройством типа «турбосэйл»

1 – спасательный плот; 2 – антенна радиолокатора; 3 – овалы по сечению роторы-крылья с вентилируемыми щелевыми соплами; 4 – ходовые огни; 5 – плавниковый киль; 6 – машинное отделение; 7 – якорное устройство

что при форсировании парусами чрезмерно наклоненное или сильно дифферентованное (особенно на нос) судно имеет дополнительное сопротивление, а паруса теряют часть тяги (пропорционально косинусу угла крена или дифферента).

Более сложно обеспечение штормовой безопасности достигается на роторных и пропеллерных ветроходных судах. Роторы относительно легки и мало влияют на положение центра тяжести. Для уменьшения рабочей поверхности и понижения центра парусности роторы должны иметь телескопическую конструкцию. Тогда верхние цилиндрические участки могут вдвигаться в средние, а средние – в нижние.

Труднее обеспечить штормовую безопасность для громоздких пропеллерных ветроустройств. Во-первых, и пропеллеры, и их опоры-мачты исходно имеют высокое положение центра тяжести. Во-вторых, если сделать опоры

от тех уравнений, привычных для современного строителя судов (т.е. от уравнений для плавучих судов с гребными винтами, дизелями и с другими типами двигателей). Во вторую группу, которая не нуждается в подробном рассмотрении, войдут такие уравнения, форма и содержание которых почти не меняется для парусных и ветроходных судов.

К первой группе причислены следующие комплексные проектные уравнения:

1) габаритно-компоновочное, связывающее размеры парусов и ветроустройств с главными размерениями; для парусных и ветроходных судов роль этого уравнения более определяющая, чем роль уравнения плавучести для большинства «обычных» судов (типа грузовых судов) или роль уравнения вместимости для судов с развитыми функциональными комплексами (типа пассажирских и промысловых судов);

2) аэродинамической тяги и баланса сил сопротивления;

3) центровки по динамическим боковым силам (действующим на надводные и подводные поверхности) и дрейфа (здесь и далее уравнения связаны с проверкой безопасности);

4) баланса масс и статических моментов (по высоте и по длине), расширяемые по номенклатуре до учета массы парусов и других ветроустройств, масс возможных противодрейфовых и балластных устройств, и сопоставляемое с уравнением плавучести (а в экстремальных случаях и с уравнением вертикальных динамических сил, например, создаваемых подводными крыльями);

5) начальной остойчивости (в форме Л. Эйлера, но с учетом действия балласта, а иногда и отклонения, на положение центра тяжести), а также уравнение продольной остойчивости (то есть удифферентовки);

6) остойчивости на значительных углах крена при действии рабочей кренящей силы, возникающей одновременно с силой тяги;

7) для проверки конструктивно-прочностных характеристик жесткой структуры ветроустройств (такелажа, мачт и другого рангоута), а также сильно развитых килей при посадке на мель.

Эти уравнения представляют собой логико-математическую модель, необходимую для локальной и общей оптимизации проектных характеристик. Аналитические выражения для обсуждаемых уравнений приведены в работе [24].

Во вторую группу можно включить уравнения, которые связывают характеристики проектируемых судов со следующими свойствами:

8) как рациональность теоретического чертежа парусных судов; функциональное предназначение;

9) во взаимосвязи с комплектацией экипажа;

10) экономичность, т.е. цена, доходность, прибыль, срок окупаемости (исключая трудности оценки себестоимости ветроустройств, особенно в экспериментальный период их применения);

11) вместимость помещений;

12) продольная удифферентовка, прочность корпуса* и надстроек (не считая уже упомянутой ранее местной прочности килей и опорных конструкций ветроустройств);

13) непотопляемость;

14) пожаробезопасность;

15) конструктивно-технологическая рациональность;

16) ходкость под вспомогательным двигателем;

17) плавность качки;

18) обитаемость помещений.

Результаты решения этих уравнений должны рассматриваться в общей схеме обоснования и оптимизации элементов и характеристик, но их парусная или «ветроходная» специфика минимальна. Из перечисленных уравнений второй группы только неудовлетворительность трех позиций (теоретического чертежа, экономичности и непотопляемости) может заметно повлиять на первоначально назначенные (обоснованные) главные размерения и коэффициенты (если проектирование велось при слабой информационной базе). Результаты по остальным позициям изменения будут носить, как правило, локальный характер.

Разъяснение специфически «парусных» уравнений можно найти в соответствующей литературе [2, 4, 8–11, 15–25, 31]. Необходимо только проследить взаимосвязь важнейших уравнений и тех сквозных доминантных проектных параметров, от которых и будет зависеть уровень безопасности.

В уравнении аэродинамической тяги в качестве таких параметров надо называть достижимую скорость, силу тяги, площади отдельных парусов в актуальном варианте их комплектования, углы их установки (отклонения паруса по отношению к диаметральной плоскости судна). Обычно расчетом по этому уравнению проверяют курсы бейдевинд, галфвинд, бакштаг и фордевинд. Если известен характер поляры, показывающей график изменения скорости в зависимости от курсового угла, то можно рассчитать один из курсов (например, бакштаг, при котором скорость максимальна), а остальные характерные скорости определить по условиям подобия.

Совместное решение уравнения аэродинамической тяги и уравнения баланса сил сопротивления дает возможность найти актуальное для проектной ситуации отношение скоростей парусного судна и скорости действующего ветра. Действующий ветер – понятие весьма

виртуальное, однако при его конкретной реализации проявляется и вполне конкретное значение достигаемой скорости судна.

В основу оценок скоростей может быть положено сезонное и региональное распределение характеристик ветра и волнения, а также их взаимосвязь с бальностью ветра (по шкале Бофорта):

Тесно взаимосвязаны уравнения центровки по боковым силам и дрейфа. Для силы, вызывающей дрейф, главную роль играет сама площадь боковых поверхностей, расположенных выше ватерлинии. Важна и роль подводных площадей так называемого «бокового сопротивления». Отношение суммарной надводной поверхности к суммарной площади бокового сопротивления характеризует потенциал дрейфа и крена, поэтому оно называется коэффициентом ветробойности.

Центровка по боковым силам учитывает баланс моментов, поэтому учитываются произведения составных частей надводных и подводных площадей на их продольные координаты. В результате определяется для надводной части положение центра парусности, а для подводной части – положение центра бокового сопротивления. Их совпадения по вертикали не требуется. Практически рекомендуется, чтобы эффективный центр парусности был в корму от центра бокового сопротивления. «Эффективное» положение отличается от статического потому, что в динамике центр давления смещается в нос от статического центра. При этом смещение для центра сил бокового сопротивления превосходит таковое для сил тяги.

В сложившейся в кораблестроении структуре уравнения баланса масс (обычно называемого «уравнением нагрузки») учет массы парусов и других ветроустройств возможен по разделу 2 «Устройства», а учет масс возможных противодрейфовых и балластных устройств – как по разделу 2 «Устройства», так и по разделу 10 «Твердый балласт» или по разделу 18 «Жидкий балласт». Это уравнение не переведено во вторую группу из-за того, что без него невозможен анализ остойчивости. Остойчивость же для парусных судов практически неотделима от ходкости в смысле способности создавать требуемую тягу благодаря несению достаточно большой парусности (при неизбежном значительном накрениении).

Как уже отмечалось, даже для «обычных» современных судов уравнение начальной остойчивости применяется в исходной форме Л. Эйлера. Но для парусных и ветроходных судов (в связи с заведомо высоким размещением парусов и других ветроустройств) принципиально важен учет компенсирующего действия приема балласта (твердого,

реже жидкого) на положение центра тяжести по высоте.

Для этих судов самостоятельный анализ условий устойчивости на значительных углах крена при действии рабочей кренящей силы (диаграммы Рида) необходим, поскольку знания начальной устойчивости заведомо недостаточно. В зависимости от скорости и силы ветра может (и должен) меняться состав парусов, для ветроустройств по мере ухудшения погоды также могут приниматься меры к уменьшению рабочей поверхности ветроустройств.

Из изложенного видно, что создание судов, использующих энергию ветра, связано с применением значительного вполне эффективного физико-математического аппарата. В то же время многие вопросы парусного яхтостроения нередко решаются «по старинке», в отношении к ряду мореходных качеств яхт относятся с предубеждением. Отчасти виноваты в этом и сами специалисты, которые недостаточно пропагандируют достижения кораблестроительных наук в применении к парусу. Часть яхтенных конструкторов ведет себя так, как действовали старинные ремесленники, т.е. старается не раскрывать секретов профессии, передавать их чуть ли не «по наследству».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Авторы ставили целью привлечь внимание к актуальному вопросу исследования и обоснования основных проектных характеристик при создании современных судов, использующих энергию ветра. Ещё более важной задачей было стремление показать значение необходимости более целеустремленного подхода к обеспечению безопасности парусных и ветроходных судов, к оценке особенностей и перспектив пополнения рассматриваемой группы судов новыми типами ветроходов.

К сожалению, должное внимание со стороны крупных исследовательских организаций к этой проблеме отсутствует. Если о спортивно-гоночных, учебно-крейсерских и прогулочно-туристских парусных яхтах пишут журналы «Катера и яхты» и «Капитан-клуб», то крупными парусными судами и судами-ветроходами новых типов не занимается по-настоящему никто.

Авторы приносят благодарность С.Н. Рюмину, Б.М. Сахновскому и А.Л. Шифману за компьютерное редактирование рисунков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров М.Н. Безопасность человека на море. – Л.: Судостроение, 1983.
2. Андреев С.С., Деметьев М.И. Обзор задач проектирования и при-

- менения спортивных парусных судов // Морской Вестник. – 2004. – № 4(12).
3. Григорьев П.С., Царев Б.А., Любимов Я.Е. Роль человеческого фактора в проведении аварийно-спасательных операций и повышении навигационной безопасности судов // Морской Вестник. – 2003. – № 4 (8). – С. 31–34.
4. Деметьев М.И., Дружино П.Н., Халбад Д.С., Царев Б.А. Модель оценки ходкости при проектировании парусных яхт. – Мат-лы конфер. «Кораблестроительное образование и наука-2003». – СПб., Изд. СПбГМТУ, 2003, с. 150–156.
5. Егоров В.А. Влияние проектных характеристик судов на уровень безопасности мореплавания. – Мат-лы конфер. «Моринтех-Юниор-2002». – СПб., ВМИИ, с. 52–53.
6. История штормовой мореходности от древности до наших дней / В.Н. Храмушин, С.В. Антоненко, А.А. Комарицын, П.Ф. Бровко, А.С. Втюрина, М.Л. Красный, А.Е. Малащенко, Ю.И. Недорез, А.Е. Солдатенков, А.В. Файн, В.А. Шустин. – Южносахалинск. – Сахалин. кн. изд-во, 2004.
7. Кизилов Д.И. Методология комплексной оценки живучести судов в процессе их проектирования: – Автореферат диссерт. – СПб.: Изд. СПбГМТУ, 2000.
8. Косоротов А.В., Матаруев М.О. Система исправления времени в современных парусных яхт на основе методики компьютерного расчета ходовых качеств. – Тр. конфер. «Моринтех-Юниор-2000». – СПб.: НИЦ Моринтех, с. 46 – 47.
9. Крючков Ю.С., Перестюк И.Е. Крылья океана. – Л.: Судостроение, 1983.
10. Крючков Ю.С., Латин В.И. Парусные катамараны. – Л.: Судпромгиз, 1963.
11. Курбатов Д.А. 15 проектов судов для любительской постройки. Справочник. – Л.: Судостроение, 1985.
12. Кэмпбелл Дж.Ф. Чайные клипера. – Л.: Судостроение, 1985.
13. Кэннел Д., Литер Д. Современные тенденции в проектировании яхт. – Л.: Судостроение, 1979.
14. Ларин Ю.А., Пильчин Ю.В. Подготовка яхтсмена-гонщика. – М.: Физкультура и спорт, 1981.
15. Мархай Ч. Теория плавания под парусами. – М.: Физкультура и спорт, 1976.
16. Матаруев М.О., Косоротов А.В. Определение нормативных параметров парусных яхт. – Тез. докл. региональной конфер. «Корабелы – 300-летию Санкт-Петербурга». – СПбГМТУ, 1998.
17. Норвуд Д. Быстроходные парусные суда. – Л.: Судостроение, 1983.

18. Оскольский А.А. Особенности проектного обоснования обводов корпуса парусных яхт. – Тр. ЛКИ: Проектирование морских судов и плавучих технических средств, 1987, с. 84–90.
19. Оскольский А.А. Совершенствование крейсерско-гоночных характеристик парусных судов и яхт по критерию эффективности их рулевого комплекса. – Тр. ЛКИ: Проектирование судов, 1980, с. 133–140.
20. Рейнке К., Лютъен Л., Мус И. Постройка яхт. – Л.: Судостроение, 1983.
21. Стружилин А.С. Определение массы плавника из условий устойчивости яхты. – Тр. НКИ. – 1980. – Вып.171. – С. 49–53
22. Стружилин А.С. Определение оптимальной площади плавника парусного судна и анализ целесообразности применения активных средств управления лавировочными качествами. – Тр. ЛКИ: Гидродинамика технических средств освоения океана, 1981, с. 96–104.
23. Стружилин А.С. Логико-математическая модель поиска оптимальных характеристик крейсерско-гоночных яхт на стадии эскизного проектирования. – Тр. ЛКИ: Перспективные направления в проектировании судов, 1983, с. 106 – 110.
24. Царев Б.А. Проектирование экологически чистых и энергосберегающих судов. – Л.: Изд.: ЛКИ, 1987.
25. Он же. Оптимизационные обоснования при проектировании крейсерско-гоночных парусных яхт. Общие вопросы проектирования судов. – Л.: Судостроение, 1977. – Сб. 1 – Вып. 251, с. 88–91.
26. Он же. Вклад ученых-кораблестроителей в обеспечение безопасной эксплуатации флота // Морской журнал. – 2000. – № 2. – С. 25–34.
27. Он же. Проектный анализ проблемы навигационной безопасности. – Тр. ЛКИ: Проектирование морских судов. – Л., 1988, с. 36 – 41.
28. Чайкин М.А. Развитие парусных транспортных судов и перспективы применения новых конструкций ветроустройств. – Тр. конфер. «Моринтех-Юниор-2004», – СПб.: НИЦ Моринтех, с. 21 – 22.
29. Эйлер Л. Полное умозрение строения и вождения кораблей. – СПб. Академия наук, 1778.
30. Chapman F.H. Architektura Navalis Mercatoria. – Bielefeld, Berlin. Verlag: Delius, Klasing und Co. 1969.
31. Milewski Z. J. Projektowanie i budowa Jachtow Zaglowjch. – Gdansk, Wydawnictwo Morskie, 1974. ■

При проектировании судов любого назначения первоначально формулируются задачи, которые должны решать рассматриваемые суда, и конкретизируются интервалы тех предельных величин их элементов и характеристик, которые должны быть обеспечены в результате этого проектирования. Эффективность обслуживающего флота в значительной мере зависит от соответствия его характеристик условиям эксплуатации. К таким характеристикам относится в числе прочих и количество судов каждого типа.

В рассматриваемой методике определения количества судов принимается, что в обслуживании могут быть заняты буксиры, ледоколы, аварийно-спасательные (пожарные и спасательные) суда, суда снабжения и их модификации.

Созданный математический аппарат позволяет при заданных внешних условиях предварительно формировать флот обслуживающих судов. Задача определения необходимого и достаточного количества судов обслуживающего флота, способного выполнить планируемые объемы работ, решается в несколько этапов, в рамках которых требуется учесть большой объем разнородной исходной информации. Однако упрощенно алгоритм расчета можно представить в следующем виде:

1) определение теоретической потребности в судах обслуживающего флота (СОФ);

2) определение количества судов на основании физической потребности морских буровых установок (МБУ) в обслуживании;

3) определение (проверка) достаточности количества судов обслуживания с использованием теории массового обслуживания (ТМО).

Далее эти три стадии будут описаны подробнее.

Определение теоретической потребности в судах

Для определения состава комплекса обслуживающих судов необходимо определить физическую модель функционирования СОФ. При обслуживании морских буровых установок (МБУ) физические модели функционирования судов могут быть разделены на следующие:

– судно выходит к месту назначения для выполнения поставленных задач и после выполнения работ или по истечении автономности возвращается в базу. По такой модели работают, например, суда снабжения, ледоколы;

– судно выходит к месту выполнения работ; после выполнения поставленного объема работ в одном районе техническое средство, не заходя на базу, переходит в другой район. При этом требуется периодическое снабжение технического средства различными запасами. По такой модели работают буксиры, аварийно-спасательные суда.

На основании физических моделей разрабатываются описательные модели, представляющие перечень операций, которые должны выполнять суда для достижения цели. Эти модели формализуются математическими зависимостями, позволяющими вычислить их производительность.

При работе судна по первой из вышепредставленных физических моделей процесс функционирования разбивается на временные интервалы:

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕОБХОДИМОГО И ДОСТАТОЧНОГО КОЛИЧЕСТВА СУДОВ, ОБСЛУЖИВАЮЩИХ МОРСКИЕ БУРОВЫЕ УСТАНОВКИ

Г.А. Макеев, инженер ОАО «ЦКБ «Айсберг»»

$$T_p = \sum_{i=1}^{n+1} T_{пер i} + \sum_{i=1}^{n+1} T_{ож.пер i} + \sum_{i=1}^n T_{подг i} + \sum_{i=1}^n T_{пер i} + \sum_{i=1}^n T_{раб i} + \sum_{i=1}^n T_{ож.раб i} + T_{ст},$$

где T_p – время условного рейса судна; $T_{пер}$ – время переходов в назначенные районы; n – число районов; $T_{подг}$ – время, затрачиваемое на подготовительные операции; $T_{ож}$ – время ожидания благоприятных гидрометеорологических для переходов или работы; $T_{ст}$ – время стоянок.

Количество рейсов K_p , которое может выполнить судно за год, определяется как $K_p = T_э / T_p$, где $T_э$ – длительность эксплуатационного периода.

Время, за которое судно в течение года будет выполнять работы по своему назначению, равно

$$K_p \sum_{i=1}^n T_{раб i} = T_э - K_p \sum_{i=1}^{n+1} (T_{пер i} + T_{ож.пер i}) - K_p \sum_{i=1}^n (T_{ож.раб i} + T_{подг i}) - K_p T_{ст}.$$

Годовой объем работ работы при суточной производительности q составит

$$Q_r = q K_p \sum_{i=1}^n T_{раб i}.$$

Теоретическую потребность K_T в судах можно определить, зная требуемый объем Q и объем работ за T лет:

$$K_T = Q / (Q_r T).$$

При работе судна по второй физической модели время рейса:

$$T_p = \sum_{i=1}^{n+1} T_{пер i} + \sum_{i=1}^{n+1} T_{ож.пер i} + \sum_{i=1}^n T_{подг i} + \sum_{i=1}^n T_{пер i} + \sum_{i=1}^n T_{раб i} + \sum_{i=1}^n T_{ож.раб i}.$$

Число циклов за T лет определится как $T / (T_p + T_{рем})$, где $T_{рем}$ – продолжительность ремонтов. Объем работы за T лет составит

$$Q_T = TQ_p / (T_{\text{ц}} + T_{\text{рем}}),$$

где Q_p – объем работы за время T_p .

Теоретическую потребность K_T в судне можно определить, зная требуемый объем Q и объем работ за T лет:

$$K_T = Q / (Q_T).$$

Определение количества судов на основании физической потребности МБУ в обслуживании

Физическая потребность каждого типа судов, обслуживающих МБУ определяется с учетом различных эксплуатационных факторов, поэтому единой модели создать нельзя. Для каждого типа судов модель определения их необходимого количества подчинена в первую очередь реализации основной задачи, возложенной на конкретный тип судов.

Определение количества буксиров. В качестве исходной информации в расчетах, выполняемых для определения количества буксиров, используются тип обслуживаемых объектов; количество обслуживаемых объектов; периодичность вызова буксиров; необходимая для буксировки (удержания) объектов тяга; скорость и расстояние буксировки; глубина моря в месте постановки якорей.

Тяга, необходимая для обеспечения тяговых усилий при работе с якорями $R_{\text{я}}$, может быть определена по следующей зависимости:

$$R_{\text{я}} = \frac{0,5(0,7 \cdot h + 820)^2 q}{h},$$

где h – глубина якорной постановки, м; q – калибр якорной цепи, мм.

При известной тяге для определения мощности буксира в первом приближении можно воспользоваться зависимостью $R = 0,022N_6^{0,962}$.

Число буксиров n_6 может быть установлено по следующей зависимости:

$$n_6 = \frac{N_R}{N_6 \eta_6}; \quad \eta_6 = e^{-0,0986 N_R / N_6},$$

где η_6 – КПД буксировки; N_R – необходимая для выполнения буксирных операций мощность; N_6 – мощность энергетической установки буксира.

Определение количества ледоколов. В качестве исходной информации в расчетах, выполняемых для определения количества ледоколов, используются: круглогодичная гидрометеорологическая и ледовая ситуация; количество обслуживаемых объектов; размер освобождаемых ото льда территорий; периодичность вызова ледоколов.

Количество ледоколов могут быть определены из условия толщины льда, времени его образования и времени, необходимого на его прохождение ледоколами (при этом необходимо помнить, что поддержание канала гораздо проще реализуемо, чем прокладка нового):

$$t_{\text{ло}} \leq (l_{\text{ло}} / v_{\text{лед}} + l_{\text{перех}} / v_{\text{перех}}) / n_{\text{лед}},$$

где $t_{\text{ло}}$ – время, за которое на чистой воде образуется ледовый покров заданной толщины; $l_{\text{ло}}$ – ледовый путь, который подлежит очистке ото льда; $l_{\text{перех}}$ – расстояние, проходимое по чистой воде; $v_{\text{лед}}$ – скорость ледокола, при движении во льдах заданной толщины; $v_{\text{перех}}$ – скорость на чистой воде; $n_{\text{лед}}$ – количество ледоколов.

Определение количества противопожарных судов. В качестве исходной информации в расчетах, выполняемых для определения количества пожарных судов, используются: количество и характеристики обслуживаемых объек-

тов; местоположение объектов относительно места базирования пожарного судна.

Производительность пожарных насосов (если она задана неявно) можно определить по следующим зависимостям:

$$m_e = \frac{q_g W_g}{C_b k_p (100 - t_B)},$$

где m_e – количество воды необходимое для создания экрана, поглощающего тепловыделение от горящего факела; q_g – дебит скважины по газу; W_g – удельная теплота сгорания газа; C_b – удельная теплоемкость воды; k_p – коэффициент рассеивания, учитывающий потери воды вследствие воздействия гидрометеорологических условий:

$$m_M = \frac{k_M q_g W_g (R / (V_S (1 - P_{\text{п}}) + T_{\text{орг}}) (1000 - t_k))}{T \cdot C_b (100 - t_B) (1000 - t_M) k_p},$$

где m_M – количество воды необходимое для охлаждения металлоконструкций, находящихся в очаге огня; k_M – коэффициент, учитывающий долю теплоты, идущей на нагрев металлоконструкций; R – расчетное расстояние от объекта до места дежурства пожарного судна; V_S – скорость хода пожарного судна; $T_{\text{орг}}$ – затраты времени на подготовительные работы; $P_{\text{п}}$ – повторяемость погодных условий, при которых невозможен переход к месту аварии; T – время, в течении которого производится охлаждение конструкций, чтобы обеспечить высадку аварийной партии; t_k – температура, до которой требуется охладить металлоконструкции; t_M – температура металлоконструкций до начала пожара.

Также необходимо учитывать, что для эффективной ликвидации пожара должно работать не менее двух пожарных судов с целью обеспечения полного охвата очага пожара. Таким образом, производительность одного пожарного судна будет определяться

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{пс } j} &= \frac{m_e + m_M}{n_{\text{пс}}} = \frac{Q_{\text{треб}}}{n_{\text{пс}}}; \\ n_{\text{пс}} &\geq 2, \end{aligned} \right\}$$

где $n_{\text{пс}}$ – количество пожарных судов с производительностью пожарных средств $Q_{\text{пс } j}$; $Q_{\text{треб}}$ – требуемая производительность всех пожарных средств для эффективной борьбы с огнем.

Определение количества спасательных судов. В качестве исходной информации в расчетах, выполняемых для определения количества спасательных судов, используются: численность персонала на обслуживаемом объекте; местоположение объектов относительно места базирования спасательного судна.

В случае, когда бедствие терпит один объект, число спасательных судов может быть определено следующим образом: $n_{\text{сп}} = m_{\text{перс}} / m_{\text{сп}}$, где $m_{\text{перс}}$ – количество персонала на МБУ; $m_{\text{сп}}$ – количество людей, размещаемых в спасательном судне.

Определение количества судов снабжения. В качестве исходной информации в расчетах, выполняемых для определения количества судов снабжения, используются: количество обслуживаемых объектов и их характеристики; объемы работ для одного обслуживаемого объекта; характеристики района работ.

Грузоподъемность судна по k -му виду груза P_k определяется по следующим зависимостям:

$$P_k = q_k \max T_p z,$$

где $q_k \max$ – максимальная интенсивность расхода груза k -го вида при формировании типовой скважины; T_p – продолжительность рейса судна снабжения; z – число объектов, одновременно обслуживаемых судном снабжения.

Грузоподъемность судов снабжения можно определить из условий

$$q_j = q_{i \max} - g_j(q_{i \max} - q_{i \min}),$$

где $0 \leq g_j \leq 1$ – возможный актуальный коэффициент; $q_{i \max}$, $q_{i \min}$ – максимальное и минимальное значение интенсивности расходов всех грузов на i -й стадии формирования скважины; q_j – текущее (расчетное) значение интенсивности.

Грузоподъемность судов снабжения $P_j = q_j T_{pj} z$, где T_{pj} – время рейса судна при j -й интенсивности доставки грузов.

В случае, когда общее количество груза, который необходимо доставлять, можно принять равным некоторому среднему за ограниченный период времени значению, число судов может быть определено из условий:

– число судов должно обеспечивать суммарный грузооборот на однотипных объектах $n_1 = P/P_1 T$, где P – суммарное количество грузов, доставляемых на однотипные обслуживаемые объекты; P_1 – годовой грузооборот судна снабжения; T – время работы однотипных обслуживаемых объектов.

– число судов снабжения выбранного типа должно быть таким, чтобы обеспечить доставку единовременного груза $n_2 = P_2/P_r$, P_2 – количество груза, доставка которого требуется единовременно; P_r – грузоподъемность судна снабжения.

Число судов определяется наибольшим значением n_1 или n_2 .

Определение количества унифицированных судов. Возможность решения одним судном нескольких разнородных функций по обслуживанию решается в мировой практике различными способами. В данной методике первоначально любая унификация происходит в соответствии со следующим принципом:

- мощность энергетической установки многофункционального судна выбирается максимальной из всех комбинируемых судов;
- грузоподъемность по перевозимым грузам равна грузоподъемности выбранных судов снабжения;
- необходимо выполнять требования пассажироемкости и скорости при возложении спасательных функций на суда других типов;
- при перенесении пожарных функций со специализированных судов актуальным остается требование о том, что борьба с огнем должна вестись минимум с двух судов.

Алгоритм определения количества многофункциональных судов в общем виде будет выглядеть в соответствии с принципом, рассмотренным на рис. 1.

Определение (проверка) достаточности количества судов обслуживания с использованием теории массового обслуживания (ТМО)

Последним этапом определения количества судов является проверка достаточности. Определение параметров взаимодействия судов обслуживания и МБУ может быть осуществлено с использованием теории массового обслуживания, как задача замкнутой системы с ограниченным числом заявок и при интенсивности поступления заявок, зависящей от состояния источников.

Поток заявок на обслуживание какого-либо количества МБУ с помощью судов обслуживания будет определяться номенклатурой выполняемых функций. Закон поступления заявок принимается пуассоновским. Дисциплина обслуживания принимается следующей:

- каждая поступившая заявка должна быть обслужена;



Рис. 1. Алгоритм определения количества многофункциональных судов обслуживания

– если в момент ее поступления нет возможности выполнения, МБУ становится в очередь и все последующее обслуживание ведется в порядке очереди.

Режим работы системы принимается стационарным, т.е. интенсивность поступления заявок и их обслуживание во времени не меняются.

Определение достаточного количества обслуживающих судов выполняется по следующему алгоритму:

1. Задаются значения количества судов. Можно использовать также полученное из первого или второго этапов расчетов значение. Диапазон варьирования для универсальных судов может находиться в пределах

$$\min(n_{it_sp}) < n_{iskomoe} < \sum_{i=1}^m n_{it_sp},$$

где n_{it_sp} – полученное в предыдущих этапах число специализированных судов предназначенных для выполнения определенной функции; m – число типов судов/число необходимых для решения функции;

2. Задаются вероятностные характеристики (вероятность отказа или ожидания).

3. Среднее число МБУ, ожидающих обслуживания.

4. Среднее время ожидания обслуживания каждой заявки.

5. Время простоя МБУ при выполнении всего объема работ.

Интенсивность потока заявок для судна обслуживания $\lambda = 1/t_m$, где t_m – средний интервал времени между заявками на обслуживание.

Для аварийно-спасательных судов интенсивность может быть определена исходя из данных о происшедших ранее на МБУ авариях $\lambda = n_a/t_a$, где n_a – количество произошедших на МБУ аварий, когда использовались суда аварийно-спасательного назначения; t_a – период в который происходили данные аварии.

Для ледоколов t_m определяется погодными условиями в зоне работ, частотой возобновляемости ледового поля.

Для буксирного судна зависимость для интенсивности может принять следующий вид:

$$\lambda = m \cdot (u - 1),$$

где m – количество МБУ; u – среднее число проходимых скважин на одной МБУ за год.

Для судна снабжения

$$\lambda = m \frac{\omega \cdot u \cdot h}{Q},$$

где Q – масса расходных материалов для проходки скважины, хранимых на МБУ; h – средняя глубина скважины, м; ω – средний расход на 1 м скважины.

В случае, когда судно задействовано в нескольких операциях, необходимо определять для него суммарную интенсивность потока заявок от каждой МБУ, которая определится как

$$\lambda = \sum \lambda_i,$$

где λ_i – заявка на i -ю операцию обслуживания.

Интенсивность выполнения заявок

$$\mu = 1/t_p,$$

где t_p – среднее время по выполнению работ по одной заявке, сут.

Если учитывать, что судно, задействованное в нескольких операциях, в момент поступления заявки на обслуживание будет, например, в порту, тогда можно рассмотреть следующие ситуации:

- ледокол с функциями снабжения;
- судно снабжения с функциями буксирной поддержки;
- ледокол с функциями снабжения и буксирной поддержки;
- ледокол с функциями буксирной поддержки.

В приведенных вариантах нет функциональной нагрузки, связанной с аварийно-спасательными функциями, так как поступление подобной заявки отменяет какой-либо другие функциональные нагрузки судна.

В первом случае на судно возлагается две основные функции, однако если существует необходимость окальвания льда, функция снабжения не может быть выполнена. В то же время ледокол-снабженец, получая заявку на окальвание, может получить данные о размере возможного пополнения запасов на буровой и совместить эти две операции. В таком случае интенсивность выполнения суммарного потока заявок судном будет

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{путь}} + t_{\text{окальвание}}} + \frac{1}{t_{\text{разгрузка}}}.$$

Совмещение буксирной поддержки и снабженческой функции

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{путь}} + t_{\text{разгрузка}}} + \frac{1}{t_{\text{поддержка}}}.$$

Совмещение буксирной поддержки, снабженческой и ледокольной функций (сначала выполняется окальвание, так как необходимо первоначально добраться до объекта, затем выполняется разгрузка, а потом – поддержка с использованием полной мощности судна)

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{путь}} + t_{\text{окальвание}}} + \frac{1}{t_{\text{разгрузка}}} + \frac{1}{t_{\text{поддержка}}}.$$

Совмещение буксирной поддержки и ледокольной функции (сначала выполняется окальвание, поскольку необ-

ходимо первоначально добраться до объекта, затем выполняется буксирная поддержка)

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{путь}} + t_{\text{окальвание}}} + \frac{1}{t_{\text{поддержка}}}.$$

Интенсивность обслуживания

$$\Psi = \frac{\lambda}{\mu}.$$

При этом должно выполняться условие, когда количество каналов S (число судов обслуживания) больше коэффициента использования каждого канала Ψ (интенсивности обслуживания): $S > \Psi$, иначе очередь будет бесконечной.

Среднее число требований, ожидающих в очереди, определим по формуле

$$\bar{v} = \frac{\Psi^{S+1}}{S \cdot S!(1 - \Psi/S)^2} \cdot P_0;$$

$$\text{где } P_0 = \frac{1}{\frac{\Psi^S}{S!(1 - \Psi/S)} + 1 + \frac{\Psi}{1} + \frac{\Psi^2}{2!} + \frac{\Psi^3}{3!} + \dots + \frac{\Psi^{S-1}}{(S-1)!}}.$$

Среднее время ожидания в очереди при установившемся режиме:

$$\bar{t}_f = \frac{\bar{v}}{\lambda} = \frac{\Psi^S}{S \cdot S!(1 - \Psi/S)^2} \cdot P_0.$$

Вероятность любого ожидания появляется при количестве требований на обслуживание n большем или равном количеству каналов S :

$$P(>0) = \frac{\Psi^S}{S!(1 - \Psi/S)} \cdot P_0.$$

В предлагаемом подходе предлагается устанавливать определенные вероятностные ограничения, как, например, ограничение времени ожидания обслуживания, установление лимита на вероятность отказа (постановки в очередь) и т.п. и, исходя из этих ограничений, определять количество судов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя приведенные в статье зависимости, можно определить теоретически необходимое число судов обслуживания, а также проверить получившуюся систему обслуживания на работоспособность посредством расчета на достаточность.

При расчете количества судов по описанной методике проектант получает для каждого типа судов три значения, максимальное из этих трех величин и будет считаться искомой величиной, характеризующей необходимое для выполнения поставленной задачи число судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гайкович А.И.* Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: НИЦ Моринтех, 2001. – 432 с.
2. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания / Пер. с англ. И.И. Грушко. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. *Кофман А.* Методы и модели исследования операций. – М.: Мир, 1966. – 524 с.
4. *Пашии В.М.* Оптимизация судов. – Л.: Судостроение, 1983. – 296 с. ■

МОРСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ВО ФРАНЦИИ

*Е.А. Горин, д-р эконом. наук и канд. физ.-матем. наук,
советник вице-губернатора Санкт-Петербурга*

В настоящее время реализуются принятые в начале 2007 г. важные решения по организационной перестройке отечественного судостроительного комплекса, в первую очередь Указ Президента России от 21 марта 2007 г. № 394, предусматривающий создание ОАО «Объединенная Судостроительная Корпорация» и ОАО «Западный центр судостроения» в качестве одной из трех территориальных отраслевых структур этой корпорации.

Вместе с тем, как и в предыдущие годы, специалистами продолжается обсуждение и поиск наиболее рациональных механизмов практических действий, поэтому постоянный анализ отечественного и зарубежного опыта организационных, экономических и технологических решений для судостроения, отнесенного к приоритетным отраслям, и других непосредственно связанных с ним секторов экономики остается весьма актуальным.

Рассмотрение состояния и определение перспектив мирового судостроения [1], существующих проблем и их решений в конкретных странах [2] и регионах [3] дополнено кратким обзором морской деятельности во Франции в свете структурных изменений в европейском судостроении.

В морском секторе Франции занято более 315 тыс. работающих, а годовой оборот компаний этой сферы национальной экономики составляет около 37 млрд. евро.

Идеологическим центром регулирования и развития деятельности, прямо или косвенно связанной с морем, традиционно является Французский морской институт (French Maritime Institute – IFM) – единственная национальная организация, представляющая интересы всех участников этого рынка и активно сотрудничающая с правительством по вопросам исследований, информации и обучения. Осуществляя координацию работы 40 членов своего Совета, Французский морской институт с 1861 г. издает журнал «The Revue Maritime», а также газеты «Journées nationales de la mer» и «Mardis de la mer et des Français».

Французские судоходные компании работают во всех сегментах морских перевозок, включая океанографические и сейсмические исследования, прокладку подводных кабелей, портовое обслуживание, используя собственные и арендованные суда.

Французский коммерческий флот не занимает лидирующих мест в мире по количеству и тоннажу судов, однако остается одним из наиболее новых и безопасных. Средний возраст судов французского флота на начало 2006 г. составил 8 лет, в то время как средний по Европе – 15. При этом 30% французских судов имеют воз-

раст менее 5 лет по сравнению с мировым – 14,5.

Кстати, флот российских морских пароходств, который за последние 15 лет сократился почти в 5 раз – до 1,5 тыс. судов общим дедвейтом 15 млн. т, имеет возраст около 9 лет, причем 60% флота работает под «удобным» флагом, так что фактически возраст судов под российским флагом – 24 года /4/.

Как известно, до 90% всех мировых грузоперевозок осуществляется морским транспортом, в море постоянно находится до 50 тыс. различных судов, из которых ок. 11 тыс. – транспортные. За последние годы в мире наблюдается непрерывный рост объемов перевозимых морем грузов, их годовой объем превысил 7 млрд. т. С точки зрения нагрузки на окружающую среду, морской транспорт наиболее экологичный: выбросы углекислого газа при перевозке 1 т на 1 км составляют 30 г, в то время как для железнодорожного – 40, автомобильного – 200, авиационного – 550. Если учесть, что ежегодно Пиренеи и Альпы пересекают до 10 млн. грузовых автомобилей, то расширение использования каботажных судов для Франции позволяет не только снизить нагрузку на автомагистрали, но и существенно улучшить экологическую обстановку.

Морской транспорт наиболее чувствителен к изменениям в мировой экономике, а его существенная инерционность и еще больший период адаптации судостроительного производства ставят перед руководителями компаний этого сектора весьма сложные задачи: требуется постоянное прогнозирование экономической ситуации и улучшение качества услуг. Только специальные меры способны обеспечить конкурентоспособность национального флота и стимулировать регистрацию судов под французским флагом. В настоящее время под этим флагом ходит широкий спектр судов: контейнеровозы вместимостью до 8 тыс. TEU, суда для транспортировки деталей фюзеляжа аэробуса A380 и ракет «Ariane», буксиры и кабелеукладчики, исследовательские суда и круизные лайнеры, паромы и пассажирские суда. Доля

морского транспорта во французской внешней торговли достигает 72%.

Флот в значительной степени строится на национальных верфях, а ситуация в современном французском судостроении характеризуется возрастанием доли высокотехнологичной продукции и усилением интереса инвесторов к этому сектору экономики на фоне расширения мировых торговых и производственных связей.

Важной составляющей отрасли остается военное кораблестроение, занимающее заметное место в мире и строящее как корабли для национальных ВМС, так и на экспорт. С 1997 г. наблюдается последовательное сокращение количества военных заказов и уменьшение численности занятых на национальных верфях. Вместе с тем объемы расходов на исследования, проектирование и строительство кораблей для национального военно-морского флота в последние годы составляют не менее 2 млрд. евро. Основное строительство военных кораблей осуществляется на верфях и профильных предприятиях компании «DCN» («Direction des constructions navales»), расположенных в Бресте, Шербуре, Тулоне, Индре, Рюэле, Сент-Тропезе и Папезте. Для выполнения ряда заказов, в первую очередь на малые корабли и боевые катера, привлекаются частные верфи судостроительных фирм «Chantiers de l'Atlantique» в Сент-Назере и Нанте, «Constructions Mecaniques de Normandie» в Шербуре, «Alstom Leroy Naveles» в Лорьяне и др. [5].

В судостроительной отрасли Франции, как и во всем европейском судостроении, происходит организационная перестройка и оптимизация структуры. Наиболее существенным в этом непрерывном процессе стало присоединение в декабре 2005 г. компанией «DCN» активов фирмы «Thales» в сфере военного кораблестроения путем передачи «Thales» 25% капитала «DCN». Этим шагом был продолжен процесс успешной кооперации между указанными компаниями на внутреннем и международном рынках, начатый «Armaris» в 2002 г. и сделавший «DCN» ключе-

вым игроком на рынке военного кораблестроения, добавив ей 3 млрд. евро годового оборота. В результате компания достигла в 2005 г. объема производства в 4,9 млрд. евро, имеет портфель заказов на 8 млрд. евро и численность более 13 тыс. квалифицированных сотрудников. На ближайшее время у государства остается 75% акций компании «DCN» с перспективой увеличения в ней доли частного капитала фирмы «Thales» до 35% за счет дополнительных производственных активов.

Такие действия корреспондируются с дальнейшей консолидацией сектора военного кораблестроения в Европе, а целью упоминаемых выше компаний становится занятие ключевых позиций в регионе и реализация крупных проектов по строительству военных кораблей для национального флота и на экспорт.

Во Франции, как и в других странах, судостроение является системным интегратором. Причем это относится как к гражданскому сектору, так и к строительству военных кораблей. Реализуя такую функцию, судостроительные компании естественным образом осуществляют не только тесную кооперацию между собой и смежными предприятиями, но и активно проводят организационные преобразования. Взаимодействие с финляндскими специалистами позволило французской верфи «Chantiers de l'Atlantique» построить крупнейший в мире пассажирский океанский лайнер «Queen Mary 2» стоимостью 700 млн. долл., а сменившее его судно «Freedom of the Sea», построенное «Aker Yards» в Финляндии, благодаря финансированию со стороны американо-норвежской компании «Royal Caribbean», также вряд ли долго будет возглавлять этот список.

Мегаяхты длиной до 60 м стали строиться на верфи компании «Constructions Mecaniques de Normandie» («CMN») в Шербуре после прихода новых собственников в 1992 г. Как «CMN», так и группа «Pigou» участвуют в ряде перспективных проектов по международной кооперации. В отношении французских верфей в последнее время значительная активность проявляется со стороны норвежских промышленных кругов, в первую очередь группы «Aker Yards», и предпринимателей Юго-Восточной Азии.

В качестве системного интегратора компания «DCN» работает практически по всем направлениям судостроения и занимает ключевые позиции в строительстве авианесущих и десантных кораблей, фрегатов и подводных лодок. В соответствии с современными подходами ударные корабли типа «Mistral» и «Tonnerre» становятся ос-

новой стратегией формирования французских ВМС и строятся совместно компаниями «DCN» и «Chantiers de l'Atlantique» («Atlantic Shipyards» ставшая «Akeryards France») на верфи в г. Сен-Назер, демонстрируя эффективное взаимодействие военных и гражданских предприятий.

Однако сохраняется значительная разобщенность европейских участников судостроительного рынка, что особенно заметно по сравнению с этим сектором в США, где четыре основные фирмы имеют ежегодный оборот около 12 млрд. евро, в то время как для 10 ведущих европейских компаний эта цифра составляет немного более 9 млрд. евро. Необходимость повышения конкурентоспособности и снижения издержек для европейских судостроителей неизбежно приведет к их дальнейшей интеграции. Более того, при существующих затратах на проектирование и создание необходимых комплектов обеспечения при строительстве конкурентных технических и стоимостных параметров, по-видимому, возможно только при использовании унифицированных проектов, что прежде всего относится к европейскому фрегату. В этом случае тесная кооперация должна осуществляться не только между французскими компаниями «DCN», «Thales» и «Amaris», но и с фирмами других европейских стран. Кстати, в производстве судового оборудования (а это до 70% стоимости судна) это осуществляется весьма успешно, но роль европейских производителей остается весьма заметной и, что особенно важно, успешной. По данным Европейского совета по морскому оборудованию в этом сегменте непосредственно занято до 262 тыс. работающих (со смежными производствами – до 436 тыс.) при годовом объеме реализации около 26 млрд. евро, из которых 46% – поставки за границы Европы [6].

Для координации производственной деятельности, оптимизации финансовых ресурсов и лоббирования интересов на всех уровнях все более актуальным становится организационное взаимодействие участников судостроительного рынка. Если первоначально 65 французских компаний, задействованных в военном кораблестроении, создали «GIGAN» («The Groupement Industriels des Constructions et Armements Navals»), то уже в 2003 г. 10 вышли из ее состава, но после появления конкретных результатов, особенно в кооперации на европейском уровне, инициировании перспективных исследований и продвижении экспортных заказов, в состав ассоциации были приняты 65 новых членов в 2004 г., еще 80 – в 2005 г. и 90 – в 2006 г.

Наряду с содействием росту соб-

ственного производства входящих в него компаний, «GIGAN» стал активно заниматься вопросами реструктуризации, двойными технологиями, взаимным использованием возможностей гражданского и военного производства, повышением уровня безопасности. Французский Комитет военно-морского оборудования (The French Committee for naval equipment – COFRENA) использовал возможности «GIGAN» для экспертных исследований и перекрестного внедрения новаций, также как и Ассоциация средств безопасности и спасения (The association of security and safety technologies – ATECMAR). На европейском уровне GIGAN взаимодействует с находящимися в Брюсселе Европейским советом по морскому оборудованию (European Maritime Equipment Council – EMEC) и Ассоциацией аэрокосмической и оборонной промышленности (AeroSpace and Defence Industries Association of Europe – ASD).

ATECMAR была создана в 2001 г. по инициативе министерства транспорта для координации деятельности промышленных компаний, малых и средних предприятий в сфере морских спасательных технологий, обеспечение безопасности судоходства, развитие навигации и связи, включая создание системы региональной береговой охраны и спасательных станций. Важная роль выполняемых функций и постоянные контакты с французскими министерствами транспорта и обороны сделали ATECMAR весьма представительной организацией на уровне Европейского Союза и Европейского агентства спасения на море (European Maritime Safety Agency). В последнее время сфера деятельности ATECMAR распространяется на контроль перемещения и обеспечение безопасности контейнерных перевозок, охрану экологии и морских биоресурсов, гидрографию.

Несмотря на указанные выше примеры создания общественных ассоциаций, наиболее значимое объединение французских участников морской деятельности произошло в июле 2006 г., когда после ряда консультаций руководители более 20 ведущих национальных компаний в этой сфере договорились о координации и определили совместный план действий [7]. Одновременно в качестве первого шага к региональной интеграции пять европейских компаний «BAE Systems», «DCN», «Fincantieri», «Navantia» и «VT Shipbuilding Limited», участвующих в выполнении военных заказов, подписали соглашение и создали неформальное объединение «Warship European Procurement Club».

Портовая инфраструктура Франции активно приспосабливается к бы-

стро изменяющимся условиям, определяемым ростом дальних контейнерных перевозок, интенсификацией внутренних европейских каботажных рейсов как альтернативы для возрастающих транспортных потоков по суше, развитием логистических и промышленных функций причальных зон и их переход к интермодальным связям, усиление требований по безопасности и экологии. В этом процессе используются особенности действующих портов с учетом их разделения на расположенные у выхода в море и, соответственно, легко доступные для обслуживания дальних линий и находящиеся в заливах и устьях рек, такие как Руан, Бордо и Нант, где локализуется большое число разноплановых грузов, обрабатываемых для близлежащих территорий. Следует отметить высокое качество портовой инфраструктуры Гавра и развитые зоны промышленной обработки грузов в Марселе, Дукере, Нанте, Руане и Бордо.

Грузооборот французских торговых портов, где занято более 44 тыс. работающих, составляет 370 млн. т и 26 млн. пассажиров, причем до 85% по объему – французские экспортные грузы. Организацией, объединяющей менеджмент 50 торговых и рыбопромысловых портов Франции, является соответствующий Совет при Торговой Палате (Union of Independent Ports and Maritime Chambers of Commerce – UPACCIM), согласующий интересы государственных органов и частных компаний и представляющий французские порты в Европейском портовом союзе (European Sea Ports Organization – ESPO).

Протяженная прибрежная зона способствует успешному функционированию рыбопромысловой отрасли, около 400 компаний работают в этой сфере, действует 63 специализированных рыбных порта и 21 крупное перерабатывающее предприятие, 41 аукционная площадка. Вылов рыбы осуществляют около 5,5 тыс. судов (до 9% европейского рыболовного флота), основное количество которых (более 4 тысяч единиц) имеют длину до 12 м, более 1200 – с длиной корпуса от 16 до 25 м – около 17% флота.

Зона добычи морских биоресурсов весьма значительна, включает просторы Атлантики до Гренландии, в составе французского рыболовецкого флота имеются и 23 больших морозильных траулера, ежегодно добывающих более 160 тыс. т тунца в Индийском океане. Ежегодно французскими рыбаками добывается около 700 тыс. т морепродуктов на общую сумму более 1,4 млрд. евро. Профессиональной организацией, объединяющей предприятия рыбопромысловой и перерабатывающей отрасли, по законодательной инициативе 1991 г. стал находящийся

в Париже Национальный комитет – Comite National Peches Maritimes et des Elevages Marins (CNPMEM), имеющий 13 региональных и 39 местных отделений.

Сегодня морская деятельность не ограничивается строительством больших судов и перевозкой грузов по воде. В результате роста доходов населения и популярности морских видов отдыха увеличивается производство парусных судов и надувных лодок. Франция становится мировым лидером в этом секторе, уже догнав Италию и Великобританию. Начиная с 60-х гг. прошлого века отдых на воде перестал быть привилегией для избранных, а становится массовым увлечением: около 8 тыс. специальных школ ежегодно готовят более 500 тыс. любителей парусного спорта, выдается около 90 тыс. лицензий на управление моторными лодками. Количество энтузиастов водных видов спорта и отдыха на воде возросло с нескольких тысяч в 60-х гг. до более 9 млн. Если мировые объемы продаж маломерных судов и сопутствующего оборудования возрастают с 1997 по 2004 г. на 5,2% и достигли 12 млрд. евро в год, то во Франции рост в этот период составил 16,2%. Несмотря на популярность парусного флота, до 85% регистрируемых во Франции новых маломерных судов – моторные лодки длиной до 6 м. Возрастает число заказов на круизные однокорпусные яхты длиной от 12 до 24 м. В этом секторе экономики, который все более активно использует новые разработки и материалы, современную бортовую электронику и оборудование, уже занято более 45 тыс. человек.

Франция располагает наиболее протяженной береговой полосой в Европе – 5500 км, вместе с тем число удобных стояночных мест составляет до 250 тыс., поэтому разрабатываются и реализуются большое количество проектов по развитию портовой инфраструктуры под контролем соответствующего Комитета (French Committee for the development of pleasure ports – CODCAP).

Более 800 фирм объединяет Федерация морской промышленности (Federation des industries nautiques), созданная в 1964 г. и представляющая все направления строительства водных объектов от виндсерфинга до больших судов, в том числе верфи, оборудование и различный сервис. С ее помощью во Франции проводятся три наиболее заметные международные выставки: Salon Nautique в Париже (Paris Boat Show), Festival de la Plaisance в Каннах и Grand Pavois в Ларошеле. На первой из них обычно участвуют более 800 экспонентов и оформляются договора, составляющие треть годового оборота французских

производителей маломерных судов. Если 15 лет назад до 40% поставок осуществлялось на внутренний рынок, то сейчас эта величина снизилась до 25% из-за ограниченности стояночных мест на побережье страны и роста доли международных продаж. За этот период объем экспорта вырос с 167 до 627 млн. евро (в 2004 г.), в то время как рост национальных покупок увеличился с 187 до 381 млн. евро. До половины экспорта приходится на США, среди других покупателей основные – Великобритания, Италия и Испания. В борьбе за международные рынки маломерного флота французские фирмы действуют весьма слаженно, заслужив звание «лучшего коллективного международного действия» со стороны национального Министерства финансов и промышленности.

Равномерное развитие всех сфер морской деятельности во Франции, активное формирование национальных общественных и интегрирующих институтов позволяет успешно сочетать государственные и частные интересы, осуществлять взаимную координацию, обеспечивать постоянное наблюдение и поддержку социально и экономически значимых направлений со стороны государства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логачев С.И., Чугунов В.В.* Мировое судостроение: современное состояние и перспективы развития. – СПб.: Судостроение, 2001. – 312 с.; Логачев С.И.. Мировое судостроение // Морской вестник. – 2003. – №3(7). – С.27–33.
2. *Горин Е.А., Смирнов Ю.В., Шархин П.С., Щетинин В.В.* Структурная перестройка судостроения Польши и Хорватии // Морской журнал. – 2000. – №2. – С.16–18; *Горин Е.А.* Японское судостроение: возможности и результаты // Морской вестник. – 2007. – №3(23).
3. *Горин Е.А.* Европейское судостроение: проблемы и решения // Морской вестник. – 2007. – №1(21). – С. 17–19.
4. *Барков Б.* Морской транспорт – развитие всех составляющих // Промышленный вестник. – 2007. – №7(84). – С. 30–33.
5. *Машиш А.* Состояние и перспективы развития кораблестроительного комплекса Франции // Зарубежное военное обозрение. – 2003. – №8. – С.55–59.
6. *Blenkey N.* Europe keeps its tech edge sharp // Marine Log. – 2007. – Vol.112. – №5. – P. 19–25.
7. *French Maritime Cluster // Defense nationale et securite collective, special edition, 2006.* ■

Повышение конкурентоспособности отечественной продукции судового машиностроения – одна из основных задач производителей этого оборудования в современных рыночных условиях.

В настоящей статье рассматриваются некоторые вопросы технической политики решения этой проблемы, а также теоретические подходы для ее реализации.

Бурное развитие отечественного гражданского и военного судостроения привело к необходимости создания типоразмерных рядов судового машиностроительного оборудования различного назначения. Таким образом, к настоящему времени сложилось такое положение дел, когда созданные типоразмерные ряды судового машиностроительного оборудования по своим главным параметрам адаптированы к соответствующим характеристикам судов будущего применения, а совокупность прочих характеристик оборудования (потребляемая мощность, массогабаритные характеристики, надежность, эксплуатационные расходы, технологичность и др.) не способствует конкурентоспособности изделий судового машиностроения.

Исходя из этого, вытекает задача: в ранее созданных типоразмерных рядах судового машиностроительного оборудования при неизменных главных параметрах, адаптированных к соответствующим характеристикам судна, оптимизировать совокупность остальных параметров оборудования для повышения его конкурентоспособности.

Теоретическая сложность этой задачи заключается прежде всего в том, что большое количество указанных (остальных) параметров оборудования между собой достаточно сложно взаимосвязаны и их весовые функционально-оценочные характеристики имеют существенные различия.

Наиболее перспективным выглядит подход к решению поставленной задачи, заключающийся в разработке алгоритма, который вырабатывает решения по выявлению параметров.

Изначально формируется исходный набор образцов какого-либо судового оборудования, производится оценка их функционально-конструктивных особенностей и определяются главные (неизменные) параметры. Затем выделяются второстепенные (варьируемые) параметры, изменяя которые по определенному закону, моделируем процесс модернизации. Формулируются цели, и поэтапно осуществляется передача генерируемым решениям главных параметров (таким образом, модернизация проводится внутри типоразмера, и вновь создаваемое оборудование будет адаптировано

К ВОПРОСУ ВЫБОРА СТРАТЕГИИ ОПТИМИЗАЦИИ СУДОВОГО МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

В.Ф. Суслов, д-р техн. наук, проф.,

генеральный директор ОАО «Пролетарский завод»,

А.А. Георгиев, инженер-конструктор ЗАО «ЦНИИ СМ»

к соответствующим характеристикам судов будущего применения) и пошаговое изменение варьируемых параметров проектируемого оборудования. На каждом этапе вырабатывается набор технических решений. Они сортируются и отбираются успешные по критерию оптимальности. Полученные решения образуют промежуточное множество, которое уже является исходным для следующего этапа. Возможны два варианта:

1) новые решения участвуют в последующих итерациях наравне с исходными, т.е. в промежуточное множество включается исходное;

2) неудачные решения отбрасываются, и последующие итерации производятся только с полученным промежуточным множеством.

Количество подобных циклов может быть определено либо численным ограничением количества генерируемых решений, либо разницей между целевыми функциями предыдущего поколения и полученных решений (это указывает на неэффективность дальнейшего движения в данном направлении).

Например, в случае применения предложенной стратегии для оптимизации судовых палубных кранов главными параметрами могут стать грузоподъемность, максимальный вылет стрелы, скорости основных механизмов и пр., а варьируемыми – масса металлоконструкций, установочная мощность двигателей и гидрооборудования и пр. В качестве целевой функции можно задать снижение массы металлоконструкций крана при сохранении их несущей способности. В конечном итоге

решением будет множество успешных по критерию оптимальности сгенерированных наборов параметров.

Хотелось бы отметить, что не требуется выражать взаимосвязь варьируемых параметров в аналитической форме, согласно представленной стратегии, оценка их весовых функционально-оценочных характеристик привязывается к конкретным образцам.

Чем больше размер начальной выборки, тем точнее прослеживается их влияние друг на друга и, следовательно, вернее результат.

Предложенная стратегия рассматривает процесс совершенствования на уровне функционально-конструктивного элемента.

Имеет смысл провести анализ принципов и особенностей построения предлагаемой стратегии.

БАЗОВАЯ СХЕМА ПРЕДЛОЖЕННОЙ СТРАТЕГИИ

Будем считать, что в терминах математического программирования задача состоит в минимизации целевой функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_i – вещественные переменные ($i = 1, 2, \dots, n$). Каждому образцу соответствует вектор в n -мерном пространстве, который представляет собой некоторое решение поставленной задачи. Кроме того, каждый образец характеризуется некоторым среднеквадратичным отклонением σ_j ($j = 1, 2, \dots, m$; $1 < m < n$), которое означает среднюю величину изменения.

Будем считать, что, если $1 < m < n$, то $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_{m-1}$, жестко связаны с пере-

менными x_1, x_2, \dots, x_{m-1} , а величина σ_j для остальных переменных x_m, x_{m+1}, \dots, x_n является свободной. Отметим, что в большинстве практических приложений $m = 1$ или $m = n$.

Рассмотрим основные этапы построения предложенной стратегии:

1. Инициализация. Формируется начальное множество $P(t = 0)$ из μ образцов $\bar{a}_k = (\bar{x}_k, \bar{\sigma}_k)$, $k = 1, 2, \dots, \mu$. Образцы из начального множества желательно распределить равномерно по всему пространству поиска решения. Рекомендуется случайная генерация по равномерному закону распределения, а при $m = n$ установить одинаковое для всех σ_j , равное 3,0;

2. Оценка решения. Для каждого образца \bar{a}_k устанавливается функция $\Phi(\bar{a}_k)$, которая идентифицирует с целевой функцией $\Phi(\bar{x}_k)$, т.е. считаем, что $\Phi(\bar{a}_k) = F(\bar{x}_k)$.

3. Генерация решений. На этом этапе задача состоит в получении λ решений из μ образцов. Для этого необходимо выбрать исходные образцы, провести копирование и передачу главных параметров существующих изделий объектам проектирования, что обеспечит адаптацию к соответствующим характеристикам судов будущего применения. Затем производится изменение варьируемых свойств объектов. Данный этап алгоритма выполняется обычно λ раз и включает в себя следующую последовательность действий:

3.1. Случайный выбор исходных образцов;

3.2. Обмен отдельными признаками. В результате данного обмена возникает решение для объекта проектирования;

3.3. Изменение свойств объектов. Речь идет о том, что в начале осуществляется пошаговое изменение параметров полученных решений путем их мультипликации по логарифмическому нормальному закону распределения. После этого производится изменение выражения каждой логарифмической переменной, в котором к ее значению прибавляется нормально распределенная величина с математическим ожиданием, равным 0, и среднеквадратическим отклонением σ_j .

Таким образом, имеем:

$$\sigma'_k = \sigma_k \exp(l_1 N(0,1) + l_2 N_k(0,1));$$

$$x'_{j_i} = x_{j_i} + \sigma'_j N_j(0,1), \forall i = m: \sigma'_j = \sigma'_m.$$

где $N(0,1)$ – единичная реализация нормально распределенной переменной решения; $N_j(0,1)$ – вновь определяемое для j -й переменной значение $N(0,1)$; l_1 – постоянный коэффициент;

l_2 – коэффициент, варьируемый при каждом изменении.

Если $m = 1$, то изменение упрощается и формально имеет следующий вид:

$$\sigma' = \sigma \exp(l_0 N(0,1));$$

$$x'_j = x_j + \sigma' N_j(0,1).$$

В целом применение закона нормального распределения при изменениях вполне соответствует утверждению, что вновь создаваемые изделия похожи на прототип, а небольшие изменения в перенесении признаков, наоборот, воспринимаются как большие. Напротив, для мультипликативного изменения среднеквадратичных отклонений логарифмический нормальный закон распределения имеет следующие преимущества:

- 1) среднеквадратическое отклонение автоматически остается постоянным;
- 2) малые изменения реализуются чаще, чем большие;
- 3) медиана мультипликативного изменения близка к единице, так что ошибки в распределении приводят лишь к небольшому дрейфу в решении.

Предположительно, что среднеквадратическое отклонение лежит вблизи 0 на расстоянии ϵ . Это означает, что в ходе оптимизации пространство поиска практически не сокращается и не возникает проблема «локальной ямы».

Таким образом, предложенная стратегия позволяет адаптивно найти подходящее значение среднеквадратического отклонения и можно вести речь о двухуровневом процессе оптимизации, т.е. на одном уровне происходит поиск оптимального значения переменных, а на другом – настройка и установка параметров алгоритма. Причем самоадаптивная установка параметров позволяет максимально гибко учитывать разнообразие ландшафта целевой функции, конечно, при достаточно большом размере выборки μ .

3.4. Оценка решений и ограничение промежуточного множества. Оценивается каждое решение $\bar{a}' = (\bar{x}', \bar{\sigma}')$ $\Phi(\bar{a}') = F(\bar{x}')$.

4. Отбор. На данном этапе необходимо образовать новое множество с учетом вновь появившихся λ решений. Это (μ, λ) – распределение, которое не дает шансов образцам с «плохим» значением $\Phi(\bar{a}_k)$; Пропорция μ/λ указывает на степень «суровости» отбора. Управляя этой пропорцией, скажем в сторону уменьшения дроби, мы тем самым ужесточаем отбор.

5. Условия остановки алгоритма. Критериями остановки алгоритма являются, например, максимальное число шагов t_{\max} , отсутствие

прогресса в смысле заметного улучшения значений $\Phi(\bar{a}_k)$, малая разница между лучшим и худшим значениями $\Phi(\bar{a}_k)$ для текущего множества и т.п.

Рассмотренные выше этапы можно представить более компактно в виде следующей программы на псевдокоде:

1. Выбор начальных значений параметров $\mu, \lambda, m, \sigma_k, l_1, l_2, \epsilon$.
2. $t \leftarrow 0$.
3. $P(t) \leftarrow$ инициализация \bar{a}_i ($i = 1, 2, \dots, \mu$)
4. Определение $F(\bar{a}_i)$, $\forall \bar{a}_i \in P(t)$.
5. REPEAT
6. $t \leftarrow t + 1$.
7. $P(t) \leftarrow \emptyset$.
8. $P_{\text{промежуточная}} \leftarrow \emptyset$.
9. FOR $z \leftarrow 1$ TO λ REPEAT
10. BEGIN
- (п. 11, если исходные образцы выбираются случайно)
11. Случайный отбор двух образцов из $P(t-1)$ с вероятностью $p_s = 1/\mu$ для всех $\bar{a}_i \in P(t-1)$.
12. Образование решения \bar{a}_z .
13. Изменение решения \bar{a}_z и образование \bar{a}'_z .
- (п.п. 14, 15, если размеры промежуточного множества ограничены)
14. Определение $\Phi(\bar{a}'_z)$.
15. $P_{\text{промежуточная}} = P_{\text{промежуточная}} \cup \{\bar{a}'_z\}$.
16. END
- (п. 17, если отбор ведется детерминировано)
17. $P(t) \leftarrow$ лучшие образцы из выборки $P_{\text{промежуточная}}$
18. Проверка условий останова.
19. Выдача результатов.
20. Останов.

Для наглядности представим примерные графические зависимости, характеризующие процесс реализации предложенного алгоритма:

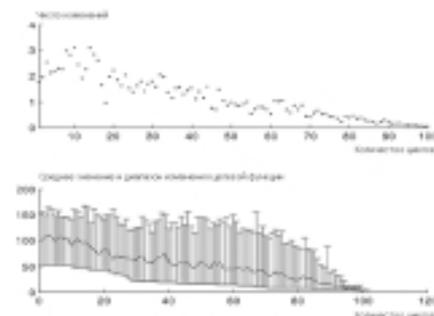


Рис. 1. Среднее расстояние между точками для каждого генерируемого промежуточного множества и диапазон изменения $\Phi(\bar{a}_k)$

Каждая точка на верхнем графике – это результат пошаговой оптимизации внутренних параметров для рассматриваемого изделия. По мере выполнения алгоритма происходит уменьшение числа изменений, что представляет собой среднее расстояние между индивидуализированными объектами, примерно до нуля для конечной генерации. Это свидетельствует о том, что ресурсы алгоритма по мере выполнения исчерпываются из-за уменьшения размеров промежуточных множеств в результате отсеивания неудачных реализаций.

На нижнем графике представлена вертикальная линия для каждого промежуточного множества, отображающая диапазон изменения целевой функции от наибольшего до наименьшего значения, а также среднего значения $\Phi(\bar{a}_k)$, например металлоемкости изделия. По мере уменьшения числа изменений уменьшается и данный диапазон. Эта зависимость также показывает, что уменьшение числа изменений приводит к снижению диверсификации последующих поколений.

Представленная концепция является базовой. Она не учитывает специфику решаемой задачи, например, является ли задача комбинаторной, многоцелевой и т.п. Рассмотрим некоторые варианты модификации и адаптации базового алгоритма с учетом возможной постановки задачи.

МОДИФИКАЦИЯ И АДАПТАЦИЯ АЛГОРИТМА

Добиться новых качественных характеристик проектируемого оборудования возможно только путем одновременного изменения нескольких его параметров.

Задача многоцелевой оптимизации состоит в получении эффективных или Парето-оптимальных решений, из которых затем с учетом субъективных или иных предпочтений принимается к реализации единственное решение. Предположим, что заданы g целей. Тогда одна из возможных стратегий состоит в том, что отбор новой выборки разделяется на g отдельных этапов для каждой целевой функции. Традиционно выбирается μ/g образцов, характеризующих отдельную цель в предположении одинаковой важности целей, что соответствует (μ, λ) -распределению.

Однако при многоцелевой оптимизации важность отдельных целей может быть различной. Механизм применим при многоцелевой оптимизации с различным «весом» целевых функций. Для этого достаточно изменить долю отбираемых образцов в промежуточном множестве в соответствии с «весом» той или иной цели.

Другое предложение сводится к тому, что размер промежуточного множества μ может быть переменным, поскольку оно охватывает все найденные в данный момент недоминируемые решения (Парето-множество). Число решений λ , напротив, можно установить постоянным, что соответствует $(\mu + \lambda)$ -распределению, в которой образцы и решения конкурируют между собой, а все недоминируемые решения не исключаются.

Для выборки большого размера предлагается составительный Парето-отбор, идея которого заключается в следующем. Из объединенного множества образцов и решений выбираются ξ единиц ($2 \leq \xi < \mu + \lambda$) с одинаковой вероятностью выбора. Из ξ решений определяются недоминируемые, которые копируются в следующее промежуточное множество $P(t+1)$, причем все ξ образцов одновременно присутствуют в выборке $P(t)$. Этот процесс повторяется до тех пор пока размер множества $P(t+1)$ не станет равным μ .

Коррелируемые изменения. В базовой концепции изменение отдельных переменных проводится независимо, в отличие от коррелируемых изменений, которые ускоряют процесс продвижения к оптимуму с учетом ландшафта целевой функции. Алгоритмически коррелируемые изменения реализуются с помощью дополнительного параметра, называемого углом ротации.

Каждый образец \bar{a}_i ($i = 1, 2, \dots, \mu$) представляется тремя элементами, т.е. $\bar{a}_i = (\bar{x}_i, \bar{\sigma}_i, \bar{\alpha}_i)$, где $\bar{\alpha}_i \in [-\pi, \pi]$ – угол ротации, который является внутренним параметром и от которого зависит скорость сходимости алгоритма оптимизации и адаптивные возможности стратегии. Моделирование показывает, что использование $\bar{\alpha}_i$ как дополнительного параметра требует модификации базовой формы.

При $(\mu + \lambda)$ -распределении новое множество образуется из объединенного множества образцов и решений, и включает в себя образцы, имеющие лучшие значения $\Phi(\bar{a}_k)$. Эксперименты свидетельствуют в пользу (μ, λ) -отбора, который имеет очевидные преимущества перед $(\mu + \lambda)$ -отбором, прежде всего при решении проблемы «локальных ям» и с точки зрения адаптивных свойств алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение предлагаемой методики имеет ряд преимуществ:

Модификация какого-либо вида судового оборудования производится

изменением второстепенных параметров при сохранении главных его параметров, что предполагает его адаптацию к соответствующим характеристикам судов будущего применения.

Движение в сторону улучшения сопровождается в соответствии с принципами взаимосвязи параметров.

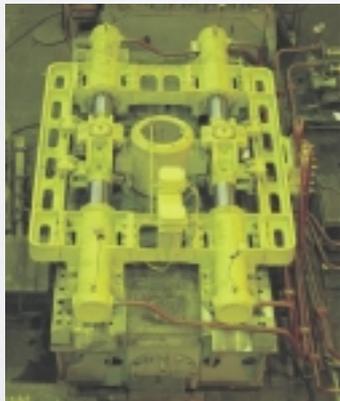
Нет необходимости в выражении аналитической взаимосвязи параметров, их весовые функционально-оценочные характеристики определяются в конкретных реализациях на уже созданных изделиях.

Можно оценить временной период, необходимый для создания подобного оборудования с заданными качественными характеристиками и др.

Моделирование процесса совершенствования объектов морской техники с помощью предложенной методики может служить базовой концепцией для многих интеллектуальных систем, в том числе и для выбора стратегии технического развития судового машиностроительного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Rechenberg I.* Evolutionsstrategie. Optimierung technischer Systeme nach prinzipien der biologischen evolution. – Stuttgart: Frommann-Holzboog, 1973.
2. *Vöck T.* Evolutionary algorithms in theory and practice. – NY: Oxford Uni press, 1996.
3. *Расстригин Л.А.* Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981.
4. *Родзин С.И.* Методы математического программирования (поисковой оптимизации): Уч. пособие. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.
5. *Wolpert D.H., Macready W.G.* No free lunch theorems for search // Operations research. Santa fe inst., 1995.
6. *Родзин С.И.* Гибридные интеллектуальные системы на основе алгоритмов эволюционного программирования // Новости искусственного интеллекта. – 2000. – №3. – С. 159–170.
7. *Rudolph G.* Parallel approaches to stochastic global optimization. – Amsterdam: IOS press, 1992.
8. *Суслов В.Ф., Даниловский А.Г., Ефимов О.И., Исаев И.И., Шаманов Н.П.* Оптимизация судового машиностроительного оборудования. – СПб: Изд. центр СПбГМТУ, 2004, т. 1.
9. *Суслов В.Ф., Даниловский А.Г., Шаманов Н.П.* Оптимизация судового машиностроительного оборудования. – СПб: Изд. центр СПбГМТУ, 2004, т. 2. ■



СУДОВОЕ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ И ОБЩЕЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

Санкт-Петербург, ул. Дудко, 3
e-mail: marketing@proletarsky.ru
www.proletarsky.ru

Тел./факс: (812) 567-17-56
Тел./факс: (812) 567-29-14

Комплексное научно-производственное предприятие.
Машиностроительная продукция предприятия повышает конкурентоспособность гражданских судов и кораблей ВМФ различного назначения, морских плавбуровых нефте-газодобывающих платформ и других объектов общепромышленного назначения.

