

СУДОСТРОЕНИЕ

Издаётся с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

№ 2
2002

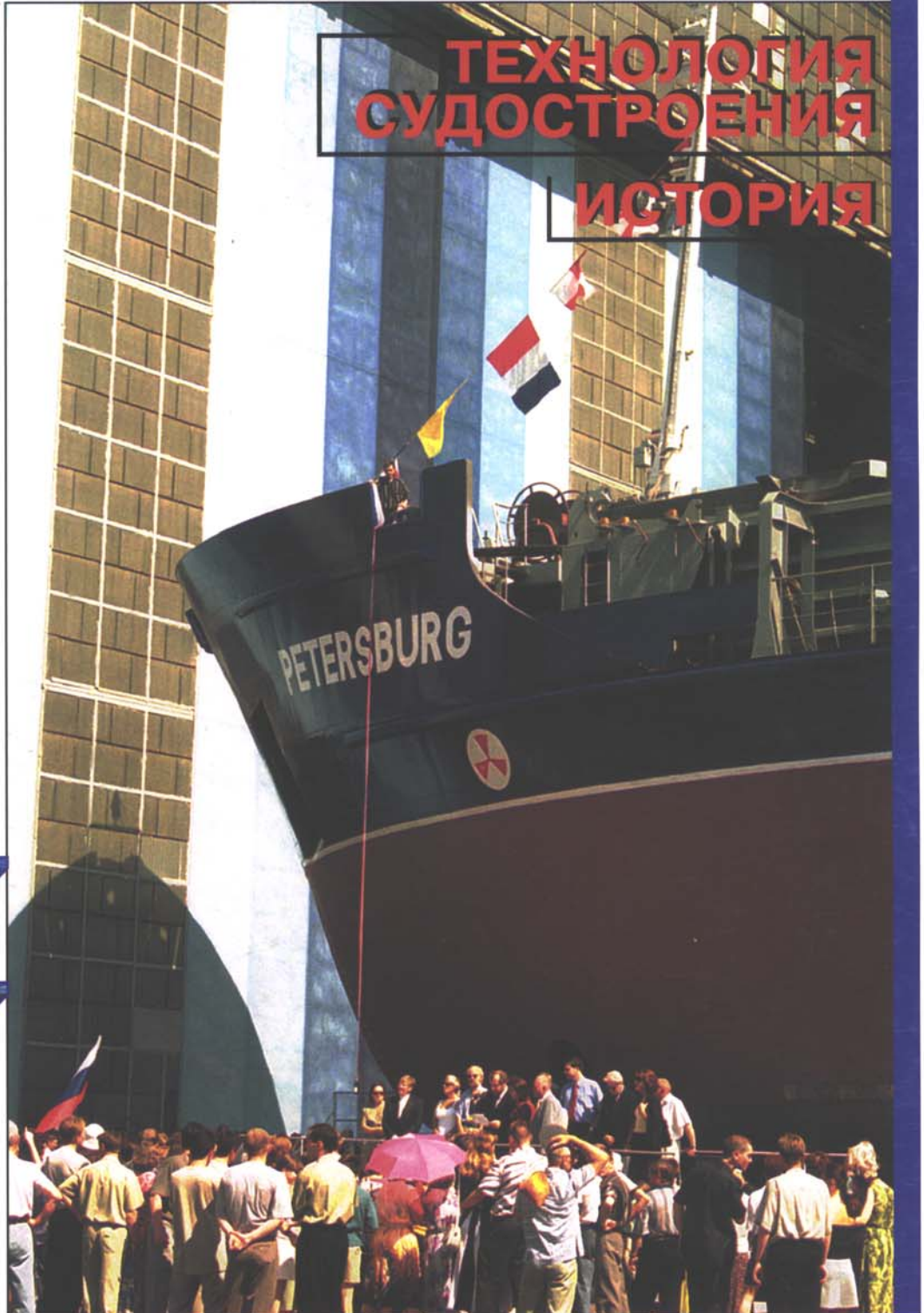
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

**ВОЕННОЕ
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

**СУДОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ
СУДОСТРОЕНИЯ**

ИСТОРИЯ



Издается с сентября 1898 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

В. Я. Поспелов — генеральный директор Россудостроения

ПЕРВЫЙ ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

В. Д. Горбач — генеральный директор ЦНИИСТ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В. Л. Александров — ген. директор «Адмиралтейских верфей»,
президент НТО им. акад. А. Н. Крылова

А. А. Андреев — директор издательства «Судостроение»

Ю. И. Бородин — директор ЦНИИ «Курс»

В. В. Венков — ген. директор СЗ «Северная верфь»

В. В. Войтецкий — ген. директор НПО «Аврора»

Н. Ф. Волов — ген. директор ПСЗ «Янтарь»

И. В. Горынин — ген. директор ЦНИИ КМ «Прометей»

В. Л. Галка — директор ЦНИИ СЭТ

Н. С. Жарков — ген. директор завода «Красное Сормово»

А. А. Завалишин — зам. начальника и гл. инженер ЦКБ МТ «Рубин»

И. Г. Захаров — начальник ЦНИИ МО РФ

А. Г. Иванов — директор ЦНИИ «Центр»

Н. Я. Калистратов — ген. директор МП «Звездочка»

В. И. Кидалов — ген. директор НПО «Марс»

С. А. Климов — ген. директор НПО «Альтаир»

С. Д. Климовский — научный секретарь ЦВММ

Л. М. Клячко — зам. ген. директора Россудостроения

В. П. Королев — зам. ген. директора Россудостроения

Ю. А. Корякин — ген. директор ЦНИИ «Морфизприбор»

Ю. А. Максимов — ген. директор Калужского турбинного завода

В. Ю. Маринин — начальник управления Россудостроения

В. С. Никитин — директор НИИПБ «Онега»

В. А. Никольцев — ген. директор ЦНИИ «Гранит»

В. П. Олеванов — директор ГМЗ «Салют»

Д. Г. Пашаев — ген. директор ПО «Севмашпредприятие»

В. М. Пашин — директор ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова

В. Г. Пешехонов — директор ЦНИИ «Электроприбор»

Н. Г. Повзык — ген. директор Амурского судостроительного завода

С. Г. Прошкин — директор ЦНИИ «Гидроприбор»

В. Н. Пялов — начальник — ген. конструктор СПМБМ «Малахит»

В. А. Радченко — ген. директор завода «Звезда»

Л. В. Струтов — начальник управления Россудостроения

Б. П. Тюрин — пресс-секретарь Россудостроения

В. В. Шаталов — ген. директор КБ «Вымпел»

А. В. Шляхтенко — начальник — ген. конструктор ЦМКБ «Алмаз»

О. Б. Шуляковский — ген. директор Балтийского завода

В. Е. Юхнин — начальник — ген. конструктор Северного ПКБ

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

А. Н. Хаустов, тел. (812)186-05-30, факс: (812)186-04-59

e-mail: cniits@telegraph.spb.ru www.setcorp.ru/sudostroenie

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

В. В. Климов, тел. (812)186-16-09

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Н. Н. Афонин, **В. Н. Хвалынский**, тел. (812)186-16-09

АДРЕС РЕДАКЦИИ

Россия, 198095, Санкт-Петербург, Промышленная ул., 7

ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ ФГУП ЦНИИСТ

© Журнал «Судостроение», 2002

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

3

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

Бойцов Г. В., Кудрин М. А. Оценка усталостной прочности конструктивных узлов корпусов судов

9

Носов Е. П., Рыжов В. А. Влияние упругости на эффективность плавниковых движителей

12

ВОЕННОЕ КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

Жаринов А. В. Этапы развития гидродинамики, устойчивости и управляемости отечественных подводных лодок и роль ЦАГИ в этом процессе

16

Антонов А. М. От «Seawolf» к «Virginia»

21

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Старцев С. Б. Компьютерное моделирование работы гребного винта в неоднородном потоке

29

Файвисович А. В. Усталостная прочность и трещиностойкость лопастей гребных винтов теплоходов типа «Маршал Буденный»

31

Колпаков С. П. Использование топливных суспензий в судовых паровых котлах

33

ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ПРОИЗВОДСТВА

Суслов А. Н., Одегова О. В., Головкин Е. А. Опыт работы со стандартом STEP

37

Герман Г. В. Оптимальная альтернативная технология судовых электро-монтажных работ. Методы и алгоритмы решения задач планирования

39

Кобзев В. В., Нефедович А. В. Эргономический анализ деятельности корабельных специалистов в аварийных ситуациях

43

СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Петров В. Д., Ушков С. С. Состояние и перспективы развития производства высококачественных труб из титановых сплавов на предприятиях России

47

Ушков С. С., Суворов Н. В., Кудрявцев А. С., Карасев Э. А., Титов Ю. А., Дмитриенко А. М., Кузнецов В. Ф. Освоение производства тонкостенных сварных титановых труб повышенного качества для теплообменного оборудования судов и АЭС

50

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТДЕЛ

На расширенном заседании коллегии Россудостроения (54). **Баранов И. Л., Шмелев С. А.** Операция по подъему атомной подводной лодки «Курск» (59). **Клячко Л. М.** Опыт внедрения информационных технологий на судостроительных верфях Западной Европы (67). **Г. Г. Мартиросову 70 лет** (70). Новые журналы (15). Обращение личного состава Кронштадтского военного гарнизона (36). РАН и интеллектуальная собственность (63).

ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ

Андреев В. Г. Портовые и рейдовые ледоколы России в 1890—1918 гг.

72

Черников И. И. Пароход «Редедя князь Косогский»

77

SUDOSTROENIE
SHIPBUILDING**2•2002**

(741) March—April

CONTENTS

Published since September 1898

AT THE SHIPYARDS	3
SHIP DESIGN	
Boytsov G. V., Kudrin M. A. Evaluation of fatigue strength of ship's hull structural assemblies	9
Nosov E. P., Ryzhov V. A. Influence of elasticity upon efficiency of fin propellers	12
NAVAL SHIPBUILDING	
Zharinov A. V. Stages in development of hydrodynamics, stability and steerability of national submarines from mid-1940s up to present time and the role of TsAGI in this process	16
Antonov A. M. From «Seawolf» to «Virginia»	21
SHIPBOARD POWER PLANTS	
Startzev S. B. Computer simulation of screw propeller operation in non-uniform flow	29
Fayvisovitch A. V. Fatigue strength and crack resistance of screw propeller blades of «Marshall Budiony» type vessels	31
Kolpakov S. P. Utilization of fuel suspensions in shipboard steam boilers	33
INDUSTRIAL ENGINEERING AND ECONOMICS	
Suslov A. N., Odegova O. V., Golovko E. A. Practice of work with standard STEP	37
German G. V. Optimal alternate technology of shipboard wiring works. Methods and algorithms of planning tasks salvation	39
Kobzev V. V., Nefedovitch A. V. Ergonomic analysis of shipboard technicians activities in emergency situations	43
SHIPBUILDING MATERIALS	
Petrov V. D., Ushkov S. S. Condition and prospects of development of high quality titanium alloy tubes manufacture at Russian enterprises	47
Ushkov S. S., Suvorov N. V., Kudryavtsev A. S., Karasyov E. A., Titov Yu. A., Dmitrienko A. M., Kuznetsov V. F. Mastering of manufacture of thin-walled titanium tubes of premium quality for heat-exchange equipment of ships and nuclear power stations	50
INFORMATION SECTION	
At enlarged meeting of Rossudostroyeniye collegium (54). Baranov I. L., Shmelev S. A. Nuclear submarine «Kursk» lifting operation (59). Klyatchko L. M. Experience of information technologies introduction at shipyards of Western Europe (67). Martirosov G. G. is 70 (70). New magazines (15). Address of Kronshtadt military garrison personnel (36). RAS and intellectual property (63).	
HISTORY OF SHIPBUILDING	
Andrienko V. G. Port and inshore icebreakers of Russia in 1890-1918	72
Tchernikov I. I. Steamship «Rededya prince Kosogsky»	77

Подписка на журнал «Судостроение» (индекс 70890) в России и СНГ может быть оформлена в почтовых отделениях, а также непосредственно в редакции

На 1-й стр. обложки — сухогруз «Petersburg» (пр. 17310), построенный ОАО «Завод «Красное Сормово» для немецкой компании Wessels в 2001 г. (фото из буклета «Красное Сормово»); на 3-й стр. — конвоирование транспортов — репродукция из альбома «Российский императорский флот» (художник А. В. Ганзен); на 4-й стр. — десантный корабль на воздушной подушке типа «Зубр», построенный ОАО СФ «Алмаз» для ВМС Греции (фото А. Н. Хаустова)

Журнал выпущен при поддержке ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей», ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», ФГУП СПО «Арктика», ФГУП СПМБМ «Малахит», ГУП НПО «Винт»

Редакция журнала «Судостроение» принимает заказы на публикацию рекламных объявлений. The editorial board of the journal «Sudostroenie» takes orders for publication of advertisements

Литературные редакторы

С. В. Силякова
Е. П. Смирнова
Н. Э. Смирнова

Компьютерная верстка

Г. А. Князева
Л. П. Козлова

Цветоделение

О. И. Руденко

Перевод

К. Д. Могилко

Графика

И. Б. Армеева

За точность приведенных фактов, достоверность информации, а также использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, ответственность несут авторы

При перепечатке ссылка на журнал «Судостроение» обязательна

Подписано в печать 15.04.2002 г.
Каталожная цена 100 руб.

Адрес издательства:
Россия, 198095, Санкт-Петербург,
Промышленная ул., 7, ЦНИИТС

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ.
Свидетельство о регистрации № 012360

НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

ОАО МЗ «АЛМАЗ»

12 марта на Морском заводе «Алмаз» состоялась закладка судна-нефтемусоросборщика пр. 82290 («Яхонт»), заказчиком которого стал Комитет по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности Администрации Санкт-Петербурга. Соответствующий договор был заключен в декабре 2001 г. Судно, спроектированное ООО «Квартет» для эксплуатации на Неве и прилегающей к ее дельте части Финского залива, предназначено для транспортировки и постановки плавучих боновых заграждений, ликвидации разливов нефтепродуктов, приемки с судов льяльных вод и мусора. Проектные характеристики: размерения 23 x 4,8 x 2,4 м, водоизмещение 85 т, осадка 1,2 м, мощность двигателей 2 x 243 кВт, движители — водометы, скорость до 10 уз, дальность плавания 600 км, автономность 5 сут. Для распыления сорбента будет использоваться специальное устройство, разработанное ЦКБ МТ «Рубин», — гидравлическая пушка с радиусом действия до 40 м. Производительность нефтесборочного оборудования щеточного типа составит 60 м³/ч. Судно стоимостью 33 млн руб. планируется сдать в третьем квартале 2002 г.

В этом году верфь также сдаст два катера-бонопостановщика и малое нефтесборное судно для обслуживания нефтяного терминала порта Приморск. Контракт на их постройку был заключен 11 октября 2001 г. в результате победы в тендере, объявленном заказчиком — ООО Торговый дом «Транснефть» (за заказ боролись более 20 верфей, в том числе зарубежные). Нефтемусоросборщик должен быть сдан через 7 мес после подписания контракта, первый бонопостановщик — через 9 мес, второй — через 12 мес.

Общая сумма контракта около 2 млн дол. Закладка первых двух судов состоялась 15 февраля 2002 г.

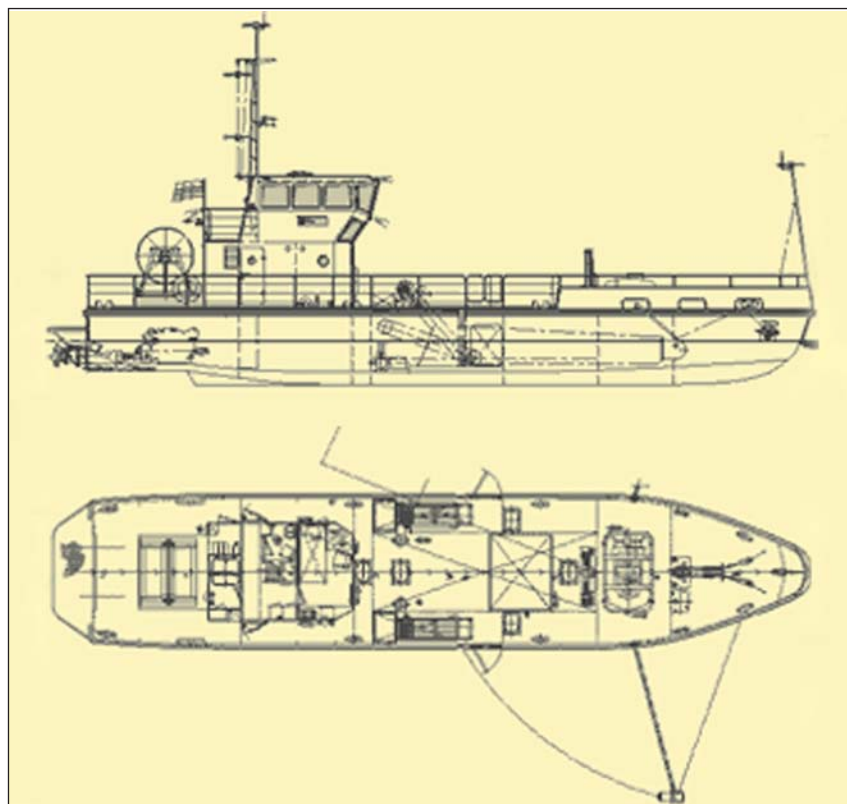
Проектные характеристики водометного катера-нефтемусоросборщика (пр. 9200, ООО «Квартет»): длина 9,2 м, ширина 3 м, осадка 0,7 м, мощность двигателя 109 кВт, скорость 10—12 уз, экипаж 2 чел. Характеристики двухвинтового катера-бонопостановщика (пр. А40-1Б, КБ «Агат»): длина 17,5 м, ширина 4,7 м, осадка не более 1,4 м, мощность двигателей 2 x 400 кВт, скорость 20 уз, дальность плавания 250 миль, автономность 2 сут, экипаж 2 чел. Суда оснащены природоохранным оборудованием финской фирмы Lamo Corp.

Еще один головной заказ, на который завод выиграл тендер 22 октября 2001 г. — патрульный катер для

ГУВД Санкт-Петербурга. Он имеет размерения 7,9x2,4x1,2 м, осадку 0,4 м, мощность стационарного двигателя 184 кВт, максимальную скорость 80 км/ч, дальность плавания около 300 км, экипаж 2 чел. Его проект А99-3 выполнило КБ «Агат» с учетом опыта эксплуатации имеющихся милицейских катеров.

Корпус катера — многоскульный, с повышенной килеватостью, изготовлен из коррозионно-стойкого алюминиево-магниевого сплава. Судно будет максимально приспособлено к неблагоприятным условиям эксплуатации, отличаться хорошими маневренными качествами и сможет нести патрульную службу не только на Неве, но и в Финском заливе. По итогам испытаний будет принято решение о серийной постройке.

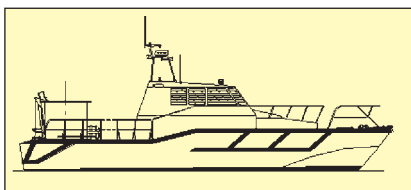
www.shipconstruction.ru www.kvartet.spb.ru



Судно-нефтемусоросборщик для ликвидации аварийных разливов нефти пр. 82290 (ОАО МЗ «Алмаз» /ООО «Квартет»)

ФГУП «АДМИРАЛТЕЙСКИЕ ВЕРФИ»

Судовая мебель — новая продукция адмиралтейцев. В советское время она поступала из Ужгорода (Украина). Изменение политической и экономической обстановки в стране заставило разрабатывать и изготавливать мебель для судов своими силами. Сначала освоили корпусную (заказ 02713), а в октябре 2000 г. была сертифицирована и мягкая мебель. Танкер арктического плавания «Астрахань» уже полностью оснастили мебелью собственного производства. В прошлом году свою мебель начали устанавливать и на подводных лодках; заказчики — индийские моряки — остались довольны ее качеством. 30 июля 2001 г. был подписан контракт с ОАО СЗ «Северная верфь» на поставку мебели для головного сухогруза пр. 01010 «Святой апостол Андрей». Было разработано и к концу

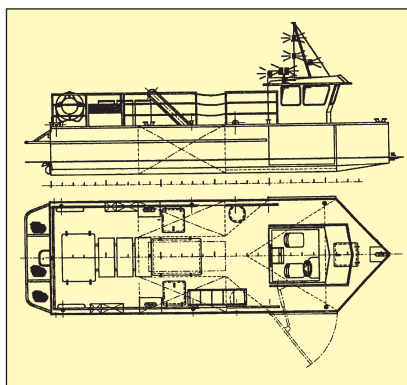


Катер-бонопостановщик пр. А40-1Б (ОАО МЗ «Алмаз»/КБ «Агат»)

декабря изготовлено 179 изделий (72 наименования) корпусной и 41 изделие (7 наименований) мягкой мебели. Адмиралтейцы готовы осуществлять поставки и для серийных сухогрузов. Планируется организация предметно-замкнутого мебельного участка, который сможет поставлять мебель на верфи Северо-Западного региона страны. Но и сегодня без ущерба для собственной производственной программы «Адмиралтейские верфи» могут ежегодно изготавливать мебель для трех—четырех судов.

ОАО СЗ «СЕВЕРНАЯ ВЕРФЬ»

Предприятие осуществляет постройку катера пр. 21270 «Буревестник», спроектированного ЦМКБ «Алмаз». Катер, относящийся к представительскому классу, будет иметь



Катер-нефтемусоросборщик пр. 9200 (ОАО МЗ «Алмаз»/ООО «Квартет»)

трансформируемый салон на 20 чел. с отделкой ценными породами дерева, четыре каюты, в том числе одну — «VIP-класса». Корпус изготовлен из стали, надстройка — из алюминиево-магниевого сплава. Катер имеет проектные длину и ширину по КВЛ соответственно 27,4 и 6,5 м, высоту борта на миделе 3,5 м, осадку 1,5 м при полном водоизмещении 85 т. Два дизеля мощностью по 900 кВт обеспечат скорость полного хода 25 уз, экономического — 14 уз; дальность плавания при 14 уз составит 350 миль. Источниками электроэнергии служат два дизель-генератора по 25 кВт. Автономность катера по запасам составит 5 сут, экипаж — 6 чел. Катер оборудуется специальным комплексом средств связи и навигации.

ГУП «ЗЕЛЕНОДОЛЬСКИЙ ЗАВОД им. А. М. ГОРЬКОГО»

В сотрудничестве с Отделением морских систем ОКБ им. П. О. Сухого зеленодольские судостроители разработали проекты скоростных пасса-

жирских паромов, в которых воплощаются современные авиационные и кораблестроительные технологии.

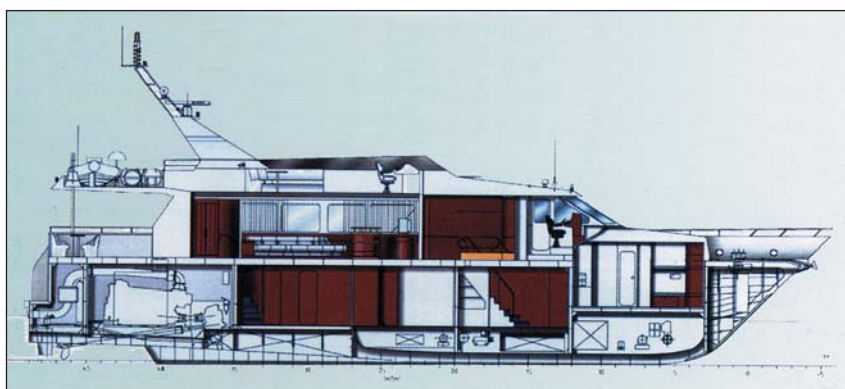
Основные элементы и характеристики паромов

Проект	A21-11	A63-250	«Агат»
Длина, м	50	42	30
Ширина, м	9	10,2	5,8
Высота борта, м	4,8	•	•
Осадка, м	1,13	1,1	0,8
Пассажироместимость, чел.	450	250	140
Число пассажирских палуб	3	2	1
Экипаж, чел.	7	6-7	5
Мощность ГД, кВт	4x2300	2x2300	2x1050
Скорость, уз	45-48	42-45	45
Дальность плавания, миль	400	200	500

В качестве материала корпуса и надстроек предусмотрено использовать морской алюминиевый сплав. Двигателями станут четыре (для А21-11) либо два (для А63-250 и «Агата») водомета. Постройка паромов планируется на класс Bureau Veritas или Российского Регистра.

ООО «АЭРОХОД»

Это предприятие создано в Нижнем Новгороде для проектирования и постройки судов с динамическими принципами поддержания на основе запатентованных технических решений и технологий, проверенных на опытных образцах. ООО «Аэроход» строит из алюминиево-магниевого сплава (АМг-6М) 3-, 6- и 10-местные амфибийные катера на воздушной подушке (КВП) под торговой маркой «Хивус». Так, 3-местный легкий КВП «Хивус-3» рассчитан для использования в качестве личного транспортного средства для охоты, рыбал-



Продольный разрез катера «Буревестник» (пр. 21270), строящегося ОАО СЗ «Северная верфь»



Скоростной пассажирский паром пр. А21-11, разработанный ГУП «Зеленодольский завод им. А. М. Горького» совместно с авиастроителями

ки и т. п. Его грузоподъемность 300 кг, длина 4,7 м, мощность двигателя 48 кВт, максимальная скорость по воде 80 км/ч (по снегу — 110 км/ч). КВП «Хивус-6» может эксплуатироваться как развездной, спасательный или патрульный. Его грузоподъемность 500 кг, длина 6,45 м, мощность двигателя 81 кВт, скорость до 80/110 км/ч. Аналогичное назначение и КВП «Хивус-10»; его характеристики — соответственно 800 кг, 7,45 м, 105 кВт, 60/90 км/ч. В настоящее время ООО «Аэроход» проектирует КВП «Хивус-32». Его характеристики следующие: полное водоизмещение 6400 кг, грузоподъемность 3000 кг, пассажировместимость 33—36 чел., габариты 13,6 х 6,3 х 4,5 м, двигатели ГАЗ 5621 («Steyr»), скорость 60—90 км/ч, высота воздушной подушки 1,1 м, движительный комплекс — два 6-лопастных реверсивных винта в кольцевых насадках. КВП сможет двигаться по мелководным водоемам, отмелям и пологим береговым участкам, глубокому снегу и битому льду.

ФГУП ПО «СЕВМАШ»

В прошлом году для голландской фирмы Damen предприятие построило 23 буксира по трем проектам. В конце 2001 г. заказчику передали сразу 10 буксиров, причем четыре из них впервые прошли швартовные и ходовые испытания, т. е. сданы «под ключ». Общее число заказанных голландцами с 1992 г. буксиров превысило шесть десятков. Кроме того, для

этой страны в 1991—1994 гг. построены 24 баржи типа «Еurore-2» дедвейтом по 2770 т, в 1994—1997 гг. — корпуса четырех балкеров дедвейтом по 4250 т. В Швецию в 1993—1999 гг. поставлены восемь морских понтонов дедвейтом по 9750 т для транспортировки крупногабаритных конструкций.



Очередные буксиры, построенные «Севмашем», готовы для передачи заказчику

Новый вид деятельности открывает для «Севмаша» возможность участия в создании скоростного паррома из высокопрочного алюминиевого сплава 1561 для обслуживания летних Олимпийских игр 2004 г. в Греции. Подписанный 25 июля 2001 г. контракт предусматривает

ных фирм из Греции, Швейцарии и других стран. Авторы проекта — ОКБ им. П. О. Сухого (Морские системы), дизайн — бюро «Агат» с участием ПКБ «Севмаш».

Паром должен перевозить около 1000 пассажиров и до 300 автомобилей, развивая скорость примерно 45 уз. В качестве энергетической установки предусмотрены четыре мощные газовые турбины, работающие на два водомета.

Перспективным направлением является постройка танкеров дедвейтом 70 000 т для Арктики. Обсуждается возможность сотрудничества в этом плане с Минтрансом, Мурманским морским пароходством, ЦКБ «Балтсудопроект».

ОАО «БАЛТИЙСКИЙ ЗАВОД»

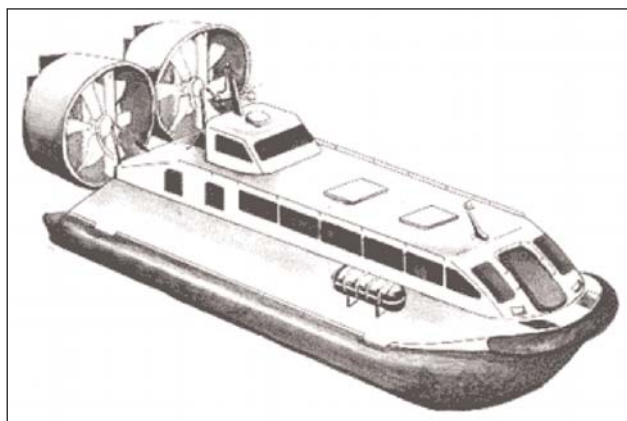
Общий объем реализованного Балтийским заводом товарного выпуска (поставленные заказчиком изделия, фактически выполненная работа на кораблях) в 2001 г. превысил 5,2 млрд руб. Основные работы — строительство трех фрегатов для ВМС Индии, двух танкеров-химовозов для инозаказчика и атомного ледокола «50 лет Победы». Два фрегата и один химовоз будут сданы в 2002 г. Производство машиностроительной продукции (283,6 млн руб.) выросло на 26,5% по сравнению с 2000 г.; доля экспорта составила 20%. В бюджеты и внебюджетные фонды завод заплатил 360 млн руб. — почти на 30% больше уровня 2000 г. В течение прошлого года не было задолженности перед бюджетом, своевременно производились текущие платежи, в том числе за энергоресурсы. Общие инвестиции завода в реконструкцию производства, закупку технологиче-

Основные элементы и характеристики буксиров, освоенных ФГУП ПО «Севмаш»

Номер проекта	Длина, м	Ширина, м	Осадка, м	Мощность, кВт	Скорость, уз	Тяговое усилие, кН	Объем цистерн, м ³
1205	12,52	4,96	1,80	104—440	6,1—7,8	13—62	6,1
1405	14,40	4,73	2,05	164—448	8,4—9,2	23—76	7,15
1605	16,89	5,29	2,51	448—700	9,7—9,9	63—121	14,89
3110	30,70	10,60	4,40	2310—3700	11,6—12,6	424—645	125,1

постройку на класс Bureau Veritas головного и опцион еще на три судна. Заказчик — консорциум запад-

ского оборудования, развитие информационных технологий и капитальный ремонт основных фондов составили

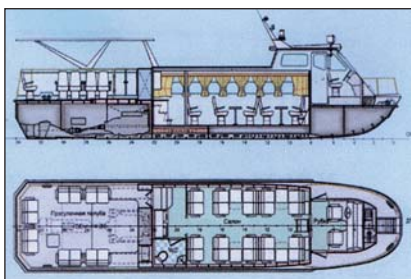


Катера на воздушной подушке «Хивус-3» и «Хивус-32» фирмы «Аэроход» (www.aerohod.r52.ru)

410 млн руб. Затраты на содержание объектов социальной сферы (детский сад, две базы отдыха, детский оздоровительный лагерь, дворец культуры «Гавань», общежитие, медсанчасть) превысили 31 млн руб. Строительство собственной больницы завершится во второй половине 2002 г. В течение прошлого года Балтийский завод принял на работу 460 чел. К концу 2001 г. численность работников составила 6500 чел. Средняя зарплата была 6925 руб., а к концу 2001 г. превысила 7200 руб.

ФГУП СПМБМ «МАЛАХИТ»

Бюро разработало для экспорта концептуальный проект П-750 подводной лодки водоизмещением 950 м³. Она имеет размерения 64 x 6,4 x 7,3 м, предельную глубину погружения 300 м, скорость полного подводного хода 21 уз, дальность



Пассажирский катер пр. КС-14-1 — новая продукция ОАО «Костромской судомеханический завод»

плавания от 280 миль (под водой) до 3000 миль, автономность 30 сут. В качестве конструкционных материалов корпуса применяются титано-

вый сплав и стеклопластик. Лодка вооружается четырьмя крылатыми ракетами, которые располагаются в вертикальной шахте, торпедами калибра 533 мм (4 шт.) и 400 мм (8 шт.), а также минами (12—24 шт.). Предусмотрены четыре зенитных ракетных комплекса «Игла». Для транспортировки боевых пловцов (до 6 чел.) используются два аппарата «Сирена-УМ».

Высокий уровень автоматизации процессов управления лодкой, боевыми и техническими средствами позволяет иметь экипаж в составе 9 чел. Основное назначение подводной лодки — противодействие противнику в ближней зоне, несение охранной службы в исключительной экономической зоне, ведение разведки.

ОАО «КОСТРОМСКОЙ СУДОМЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

В 2001 г. завод освоил серийную постройку речных водометных катеров с корпусом из алюминиево-магниевого сплава на основе базовой модели служебно-разъездного катера КС-110. Его основные характеристики: длина 13,32 м, ширина 3,22 м, средняя осадка 0,42 м, водоизмещение 9,1 т, мощность двигателя 185 кВт, скорость 31—33 км/ч, запас топлива 1000 л.

В настоящее время с участием ОАО «ЦКБ по СПК им. Р. Б. Алексеева» разрабатываются различные модификации нового проекта КС-14. На его базе планируется постройка пассажирских, аварийно-спасатель-

ных и специальных рабочих катеров. Их будет отличать современный дизайн и многовариантность устанавливаемого оборудования. Первый из новой серии — пассажирский водометный катер пр. КС-14-1 на 32 пассажира. Его проектные характеристики: габаритная длина 14,15 м, ширина 3,22 м, осадка 0,37 м, водоизмещение 10 т, двигатель ЯМЗ-238НД4 мощностью 185 кВт, скорость 25—30 км/ч, запас топлива 0,65 т, экипаж 2 чел. Аналогичные характеристики будет иметь и служебно-разъездной катер пр. КС-14-2. Он рассчитан на 8—14 посадочных и 4—6 спальных мест.

www.kmtn.ru/~ksmz/

ФГУП НПО «АВРОРА»

В НПО «Аврора» — крупнейшем российском научно-производственном центре по корабельной автоматике — проводится модернизация информационной инфраструктуры, в том числе в конструкторском бюро, где ведется внедрение системы корпоративного документооборота Documentum 4i и создание электронного архива проектной документации. Основой для архива стал комплекс хранения и доступа к информации Tera Safe, разработанный ЗАО НПО «Эврика» (Санкт-Петербург).

Решение качественно изменить работу КБ связано с необходимостью ускорить процесс проектирования, оперативно использовать базу накопленных разработок и получать необходимую информацию в рабочем формате.

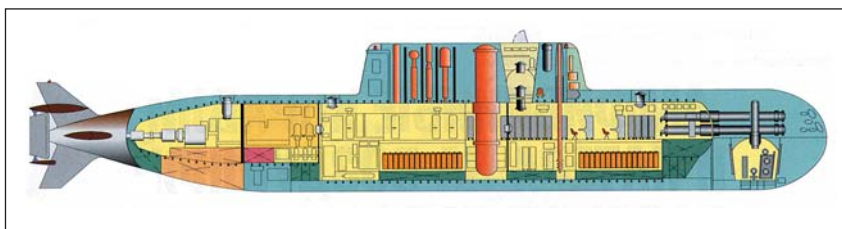
Аппаратно-программный комплекс Tera Safe состоит из DVD-чейнджера, используемого в качестве устройства для долгосрочного хранения архивных данных, и сервера, управляющего доступом к информации. Программная составляющая комплекса позволяет представить всю хранимую информацию в виде единого ресурса, обеспечивает обслуживание запросов пользователей, автоматический перенос информации по заданным администратором правилам, а также построение иерархической системы хранения. Специалисты компании «Эврика» успешно интегрировали комплекс Tera Safe в систему Documentum 4i, обеспечив ее пользователям доступ к архивным данным, возможность автоматизированного переноса информации из временного хранилища (жестких дисков сервера) на DVD-диски, а также возможность управления циклом проектных работ и движением документов. Сейчас в НПО «Аврора» работает комплекс с DVD-библиотекой Pioneer, рассчитанной на 620 дисков, что позволяет хранить до 2,5 ТБ данных. Управляет DVD-библиотекой двухпроцессорный сервер производства фирмы «Эврика». Ею также поставлена станция записи данных на DVD и две мощные графические станции для сотрудников архива.

Приоритетными направлениями деятельности компании «Эврика», основанной в 1990 г., являются разработка и создание комплексных информационных систем, корпоративных сетевых решений, производство серверов и рабочих станций с заданными характеристиками.

www.eureca.ru
www.avrorasystems.com

ОАО «ЯРОСЛАВСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

Получив в прошлом году заказы на постройку корпусов катеров для шведской и голландской компаний, ярославские судостроители успешно осваивают западные технологии формирования корпусов в сжатые сроки при минимуме рабочей документации. Чтобы не тратьте время и средства на сооружение стапельных кон-



Подводная лодка проекта П-750 для ближней зоны разработана СПМБМ «Малахит» на экспорт

дукторов, обычно используемых при серийной постройке, экспортные заказы изготавливаются каркасным методом, вверх килем. При этом закладной становится палубная секция, а к ней привариваются набор, переборки, обшивка. Вместо привычных детальных чертежей заказчик выдает

контракт с другим заказчиком на постройку еще двух аналогичных судов, но уже с выполнением всех монтажных работ по установке оборудования и приборов. Продолжаются работы на двух рыбоохранных судах, документацию по которым обеспечивает КБ «Восток»/ЦНИИТС. Заказ



Фрегат «Talwar», головной из трех кораблей для ВМС Индии, завершил программу государственных испытаний в военно-морской базе в Балтийске и 19 марта ошвартовался у причала ОАО «Балтийский завод» (www.bz.ru)

компьютерные «эскизы», рассчитывая на опыт и мастерство корпусников. Первый отправленный 7 октября 2001 г. в Швецию катер — портовый с трюмом и прочным стальным корпусом (длина 20 м, ширина 5,6 м, толщины обшивки 8—10 мм), рассчитанным на перевозку гусеничной и колесной техники. Голландские катера — лоцманские с корпусами из алюминий-магниевого сплава (15 x 4,8 м) или стали — строятся под наблюдением Lloyd's Register.

В списке продукции завода появились и яхты. В феврале 2002 г. построен корпус яхты (на базе скоростного катера) для ЗАО «Заречье» (Казань). Вскоре был подписан

706/398 должен быть передан Морским силам ФПС в этом году; на втором заказе 707/399 — последнем корабле на базе пр. 503 — идет формирование корпуса.

ОАО «ВЫБОРГСКИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ЗАВОД»

20 марта состоялась закладка судна-сборщика льяльных и сточных вод (пр. 21460, КБ «Восток»/ЦНИИТС) для ООО Торговый дом «Транснефть». Завод начал также работы по формированию еще трех корпусов траулеров



Постройка многоцелевой полупогружной платформы CS-50 для норвежского заказчика на акватории ОАО «Выборгский судостроительный завод» (www.vyborgshipyard.ru)

(68,8x13,8x6,5 м) для норвежских заказчиков: одного для Fitjar Mek. Verksted и двух для DOF Industri. Сроки поставки — август, октябрь и декабрь 2002 г. Таким образом, общее число заказанных за последние два года траулеров достигло

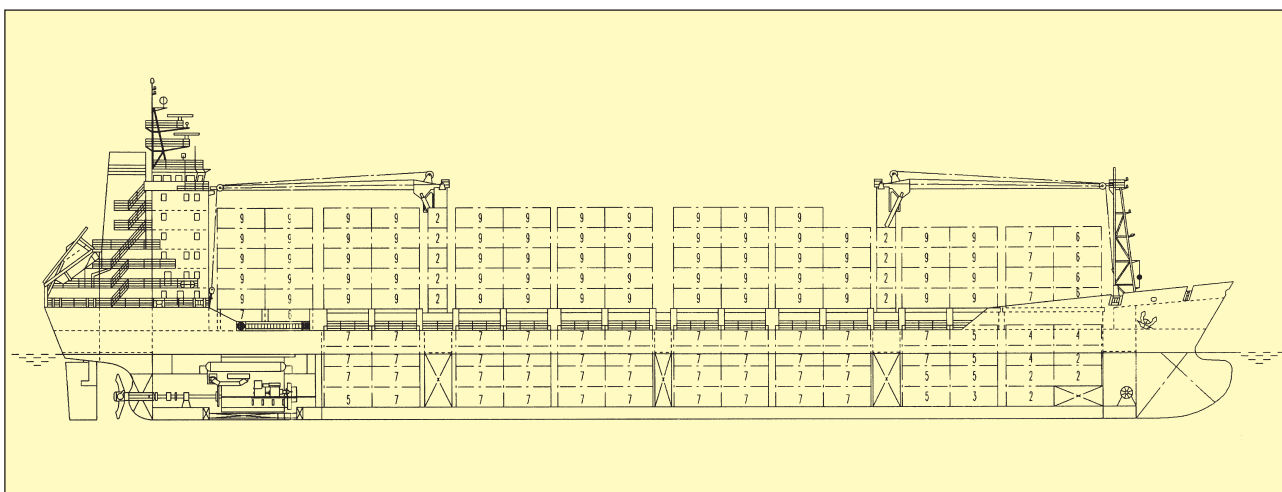
В соответствии с графиком строительства в конце марта начался монтаж последней секции палубы многоцелевой полупогружной платформы CS-50 для норвежского заказчика. При этом позиционирование понтонов, монтаж поперечных раскосов

ностью 300 т последней секции формирования корпуса завершится.

ФГУП «Северное ПКБ»

Параллельно с заказами для военно-морского флота, в том числе экспортными, Северное проектно-конструкторское бюро продолжает разрабатывать проекты перспективных гражданских судов, в числе которых контейнеровозы, рефрижераторные суда, сухогрузы, многоцелевые транспортные суда для Арктики и смешанного плавания, танкеры (в частности, с ВРК), танкеры-химовозы.

Одна из последних проработок — контейнеровоз на 1025 TEU. Его размеры 152,2/142x22,6x11,4 м, осадка 8,39 м, дедвейт 13 000 т. Главный двигатель мощностью 10 000 кВт при 127 об/мин обеспечит с помощью ВРШ скорость 18 уз. Предусмотрено носовое подруливающее устройство мощностью 500 кВт. Два крана грузоподъемностью по 40 т при вылете 28 м смогут обеспечить выполнение грузовых операций в портах, не приспособленных к обработке контейнеровозов. Судно может перевозить в трюмах 342 и на палубе 683



Проект контейнеровоза на 1025 TEU разработан конструкторами ФГУП «Северное ПКБ»

8 ед. Основой долгосрочных отношений является генеральная политика верфи, соблюдающей главные рыночные условия: конкурентоспособная цена, безупречное качество и поставка точно в срок.

производились с применением уникальных технологий, с допусками менее 10 мм при длине почти 40 м. Сборка платформы осуществлялась на плаву. С установкой с помощью плавкрана «Богатырь» грузоподъем-

стандартных 6-метровых контейнера, в том числе 100 — рефрижераторных. Размеры шести грузовых люков 12,5x18 м, одного — 12,5x10,35 м. Ведутся переговоры с потенциальными заказчиками. □

В подборке использованы информационные материалы, предоставленные редакции предприятиями и организациями, а также материалы газет «Корабел», «Адмиралтеец», «Судостроитель» и Интернета.

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ КОРПУСОВ СУДОВ

Г. В. Бойцов, докт. техн. наук, М. А. Кудрин, канд техн. наук (ФГУП
ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова) УДК 629.5.024.015.4

Перспективы дальнейшего совершенствования конструкций корпусов судов, повышение их надежности, а также необходимость продления срока службы построенных судов связаны с последовательным уточнением реальных условий работы конструкций и величин действующих на них гидродинамических нагрузок, выявлением и возможной реализацией имеющихся резервов прочности и работоспособности.

Так, для оценки усталостной долговечности корпусов скоростных контейнеровозов, эксплуатирующихся в условиях волнения различной балльности, необходимо иметь долговременные распределения суммарных процессов изменения волнового и динамического моментов (рис. 1), действующих на корпус. Поэтому для контейнеровозов актуальной является проблема учета влияния динамического момента на усталостную долговечность корпуса и отдельных его конструкций.

Повторяемость и значения волновых нагрузок существенно влияют на усталостную прочность конструктивных узлов корпуса. Оценка усталостной долговечности всего судна и его отдельных конструкций является крайне сложной комплексной задачей, так как при построении расчетной модели приходится сочетать вероятностный подход и детерминированную постановку задачи.

Необходимость расчетной регламентации требований к узлам судового корпуса, определяющим его усталостную прочность, в международном судостроении приводит к разработке ведущими классификационными обществами и внедрению в проектирование практических методик расчета усталостной прочности корпусных конструкций [1, 2].

Рассмотрим основные положения методики аналогичной направленности, обобщающей результаты исследований проблемы усталостной прочности корпусных конструкций гражданских судов, проводившиеся в ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова в течение последних 20 лет [3—8].

Основные преимущества разработанной методики по сравнению с известными зарубежными аналогами заключаются в следующем:

обеспечивается возможность достаточно полного учета условий эксплуатации рассматриваемых типов судов: разных маршрутов движения и различных грузовых состояний;

с помощью специальной программы на ПЭВМ осуществляется оперативное и достоверное определение всех необходимых параметров вероятностных распределений переменных нагрузок (волновых, динамических и их суммарных напряжений), действующих на различные районы и конструкции судна;

подробно проработана и использована на практике [3, 4] процедура экспериментально-расчетного метода определения параметров усталостной прочности узлов корпуса, обеспечивающая достоверную оценку фактических ресурсных характеристик рассматриваемых конструкций;

разработана процедура учета влияния высокочастотной составляющей волновых нагрузок от слеминга на усталостную долговечность конструктивных узлов;

сформулированы конкретные рекомендации о порядке выбора конструктивных узлов с повышенной вероятностью повреждения, подлежащих проверке по критерию усталостной прочности.

Эта методика в целом позволяет достаточно полно учитывать особенности всех стадий эксплуатации корпуса в течение всего срока службы судна, предъявляющего вполне определенные требования к ресурсу его корпусных конструкций.

На основе расчетного алгоритма, изложенного в данной работе, создана специальная программа «Руслан» для оценки общей и местной усталостной прочности узлов корпуса судна [6].

В соответствии с установившимся порядком определения усталостной долговечности нестационарно нагружаемых конструкций, принятым в международной инженерной практике [1, 2], методика расчета усталостной долговечности (прочности) корпусных конструкций основывается на известном правиле (гипотезе) линейного суммирования усталостных повреждений материала конструкций.

В соответствии с этим правилом общее расчетное выражение усталостной долговечности произвольного узла корпуса представляется в виде

$$T_{\Sigma} = [\sum_i (P_i / T_i)]^{-1}, \quad (1)$$

где T_{ij} — усталостная долговечность рассматриваемого конструктивного узла при не-

прерывной эксплуатации судна на i -м маршруте при неизменном j -м грузовом состоянии; P_{ij} — вероятности эксплуатации судна в указанных условиях, совокупность которых равна единице.

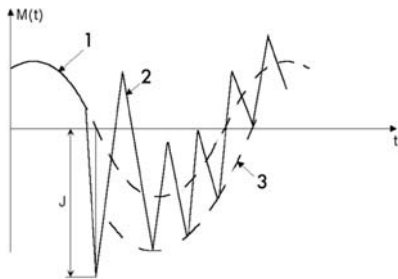


Рис. 1. Типовая схема суммирования динамического и волнового изгибающих моментов:
1 — волновой момент; 2 — динамический момент; 3 — огибающая суммарного процесса; J — импульс ударной нагрузки

Последовательная реализация правила линейного суммирования усталостных повреждений применительно к условиям эксплуатации судна на произвольном (i -м) маршруте в неизменном j -м грузовом состоянии с постоянным уровнем напряжений от статических весовых нагрузок позволяет считать, что число циклов нагружений, предшествующих усталостному повреждению любого рассматриваемого узла, равно

$$N_{ij} = \left[\int_0^{\infty} \frac{dP_{ij}(\sigma_a)}{N_y(\sigma_a; \sigma_{ci})} \right]^{-1}, \quad (2)$$

где $P_{ij}(\sigma_a)$ — долговременное распределение вероятности амплитуд (или размахов) номинальных значений переменных напряжений, действующих в рассматриваемом узле корпуса при эксплуатации судна в режиме ij ; $N_y(\sigma_a; \sigma_{ci})$ — число циклов нагружения узла до его повреждения с амплитудой (или размахом) напряжений σ_a и постоянными напряжениями σ_{ci} .

При расчетах усталостной долговечности долговременные распределения напряжений описываются законом Вейбулла

$$P(\sigma_a) = [-2,3 | \lg P | (\sigma_a / \sigma_{-p})^k],$$

где k, a — параметры указанного распределения, являющиеся функцией условий режима ij , вида переменной нагрузки, размерений судна

и ряда других факторов; σ_{-p} — амплитудное значение (или размах) напряжений σ_a характерной обеспеченности $P = 10^{-3}$.

Среди известных аналитических форм представления зависимости $N_y(\sigma_a; \sigma_c)$ — кривой усталости (рис. 2) — наибольшее распространение в расчетной судостроительной практике получила степенная аппроксимация вида

$$N_y(\sigma) = N_0 (\sigma_f / \sigma_a)^m, \quad (3)$$

где N_0 — число циклов нагружения N , отвечающих точке излома кривой усталости рассматриваемого узла, ориентировочно $N_0 \approx 5 \cdot 10^6$; σ_f — предел усталости конструктивного узла, соответствующий числу циклов N_0 ; m — показатель степени, принимаемый в диапазоне значений $m \approx 3 \dots 4$.

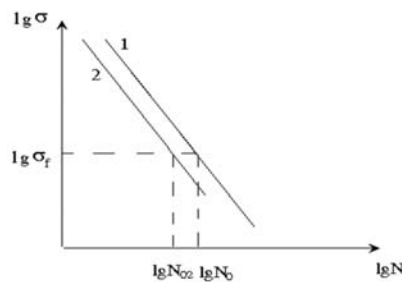


Рис. 2. Типовой вид кривой усталости узла при одночастотном (1) и двухчастотном (2) нагружении

Для учета влияния двухчастотного характера воздействия волновых нагрузок («низкочастотных» волновых и «высокочастотных» динамических напряжений) на характеристики усталостной прочности узлов корпуса выражение (3) представляется в виде

$$N_y(\sigma) = N_0 [(\sigma_f / \sigma_a)^m - 1 + (N_{02} / N_0)], \quad (4)$$

где N_{02} — долговечность при двухчастотном нагружении в циклах нижней частоты.

Снижение числа циклов при двухчастотном нагружении определяется на основании простейшей гипотезы огибающей низко- σ_{a1} и высокочастотных σ_{a2} нагрузок:

$$N_0 / N_{02} = (1 + \sigma_{a2} / \sigma_{a1})^m.$$

Оценка влияния долговременного распределения напряжений в

результате воздействия слеминга на усталостную прочность производится исходя из того, что скорость накопления усталостных повреждений материала пропорциональна амплитудам огибающих суммарных напряжений $(\sigma_{a1} + \sigma_{a2}) / \sigma_{a1}$ в степени m .

На основе изложенного алгоритма разработаны специальная программа на ПЭВМ и практическая методика, позволяющие оценить и уточнить влияние воздействия напряжений от слеминга на величину усталостной долговечности конструктивных узлов корпуса судна.

Искомые значения усталостной долговечности (1) непосредственно связаны с выражением (2) зависимостью

$$T_{ij} = t_{\sigma} N_{ij}, \quad (5)$$

где t_{σ} — средняя величина периода изменения циклических напряжений.

Выражение (5) преобразуется с учетом (2) и (4) в виде

$$T_{ij} = t_{\sigma} N_0 \varphi(x_{ij}, k, m, N_{02} / N_0),$$

где $\varphi()$ — табулированная функция значений, показанная на рис. 3.

Совокупность приведенных зависимостей позволяет получить условие обеспечения необходимой усталостной долговечности конструктивного узла:

$$T_{\Sigma} \geq k_T T_0,$$

где T_0 — полный расчетный срок эксплуатации судна в условиях волне-

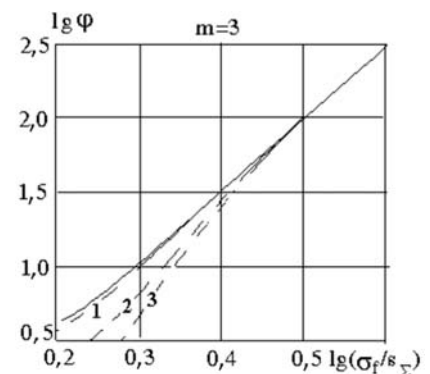


Рис. 3. Значения функции φ без учета (—) и с учетом (---) двухчастотности нагрузки:
1 — $N_{02} / N_0 = 0,9$; 2 — $N_{02} / N_0 = 0,7$; 3 — $N_{02} / N_0 = 0,5$; σ_f — предел усталости; s_{Σ} — стандарт ординат огибающей распределения суммарного процесса изменения волновых и динамических напряжений

ния; k_T — коэффициент запаса, учитывающий влияние статистической изменчивости характеристик усталостной прочности рассчитываемого узла и некоторых других, явно не учитываемых факторов.

В практических приложениях обычно удобнее использовать результаты решения обратной задачи — обеспечение необходимой усталостной прочности конструкций путем ограничения действующих в них напряжений, в первую очередь их переменных циклических составляющих, или выбора надлежащего оформления конструктивных узлов, при котором усталостная долговечность конструкций обеспечивается с необходимой гарантией. Из такого решения вытекает следующее условие обеспечения усталостной прочности:

$$\sigma_{\Sigma}^{\Sigma} \leq k_d \sigma_F(\sigma_c^{\Sigma}) \quad (6)$$

где σ_{Σ}^{Σ} — суммарное расчетное значение размахов (удвоенных амплитуд) переменных нормальных напряжений в проверяемой точке рассматриваемого элемента корпуса конструкции, в которой может возникнуть усталостное повреждение («горячая точка»); k_d — коэффициент допускаемых напряжений; $\sigma_F(\sigma_c^{\Sigma})$ — предел усталостной прочности рассматриваемого конструктивного узла в проверяемой расчетной («горячей») точке, определяемый с учетом влияния суммарной величины действующих в ней средних напряжений цикла σ_c^{Σ} от общих и местных статических весовых нагрузок, а также асимметричных циклов переменных нагрузок.

Условие (6) является ограничением уровня циклических напряжений, определяющим их допускаемые значения. Как видно, в отличие от обычного расчета прочности по допускаемым напряжениям, здесь эти напряжения определяются усталостной прочностью конструктивного узла. Она довольно слабо зависит от механических свойств стали и, в частности, ее предела текучести, с которым обычно связывают допускаемые напряжения при традиционных расчетах прочности. Существенным отличием условия (6) от традиционного критерия прочности по допускаемым напряжениям является также то, что оно регламентирует в явном виде только переменную составля-

ющую напряжений (их размах). Статистические (квазипостоянные во времени) напряжения оказывают сравнительно слабое влияние через величину $\sigma_F(\sigma_c^{\Sigma})$, что может быть сделано посредством специального поправочного коэффициента. Условие (6) может быть обобщено применительно к многокомпонентному нагружению конструкций от действия общих и местных нагрузок:

$$\sigma_{\Sigma}^{\Sigma} \leq \sigma_{\text{доп}}^{\Sigma} = k_3^{\Sigma} \cdot \sigma_F(\sigma_c^{\Sigma}) \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{доп}}^{\Sigma}$ — допускаемые номинальные размахи напряжений в узле; k_3^{Σ} — коэффициент, аналогичный соответствующему множителю в выражении (6), но в общем случае несколько отличающийся от него по величине и способу его получения.

Величина суммарных размахов переменных напряжений в условии (7) для каждого из режимов нагружения в общем случае при суммировании нескольких компонентов напряжений в рассматриваемых точках балок продольного набора перекрытий (в сечениях у их рассматриваемых узлов) определяется согласно следующему выражению (при $j \neq i$):

$$\sigma_{\Sigma}^{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sigma_i^2 + 2 \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \rho_{ij} \sigma_i \sigma_j} \quad (8)$$

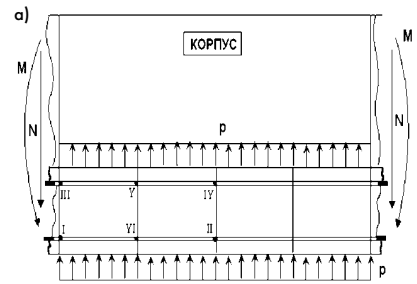
где σ_i — составляющие размахов переменных напряжений от общего продольного изгиба корпуса ($j = 1$), размахи переменных продольных напряжений в тех же точках продольного набора от изгиба перекрытий ($j = 2$) и размахи напряжений от собственного изгиба рассматриваемой продольной балки ($j = 3$); $\rho_{ij} \approx \pm 0,5$ — коэффициенты корреляции рассматриваемых составляющих напряжений, приведенные на рис. 4.

Напряжения σ_2 и σ_3 определяются путем расчета по специальной программе, созданной на основе метода конечных элементов, учитывающей особенности напряженного состояния конструкций в составе объемных отсеков корпуса [9].

Величина $\sigma_F(\sigma_c^{\Sigma})$ в выражениях (6) и (7) находится в соответствии с зависимостью

$$\sigma_F(\sigma_c^{\Sigma}) = \sigma_F^0 \cdot k_c(\sigma_c^{\Sigma}) \quad (13)$$

где σ_F^0 — предел усталостной прочности рассматриваемого конструктивно-



Знаки коэффициентов корреляции ρ_{ij} в точках суммирования напряжений

б)

		I			II				
		i	1	2	3	i	1	2	3
j	1	X	-	+	X	+	+		
	2	-	X	-	+	X	+		
	3	+	-	X	+	+	X		

		III			IV				
		i	1	2	3	i	1	2	3
j	1	X	+	-	X	-	-		
	2	+	X	-	-	X	+		
	3	-	-	X	-	-	+	X	

		V			VI				
		i	1	2	3	i	1	2	3
j	1	X	-	-	X	+	+		
	2	-	X	-	-	+	X	+	
	3	-	-	X	-	+	+	X	

Рис. 4. Схема перекрытия (а) и статистическое суммирование составляющих напряжений в днищевом продольном наборе (б): I, II, III, IV, V, VI — номера, соответствующие номерам расчетных точек, показанных на схеме перекрытия; M, N, p — действующие на корпус судна волновые изгибающие моменты, порезывающие силы и местные давления

го элемента (узла) в рассматриваемом поперечном сечении, определяемый при числе $N = 2 \cdot 10^6$ «отнулевых» циклов нагружения (минимальные нагрузки и напряжения цикла Q_{\min} и $\sigma_{\min} = 0$); $k_c(\sigma_c^{\Sigma})$ — коэффициент влияния суммарных величин средних нормальных напряжений.

Значения σ_F^0 , показанные на рис. 5, для различных типов узлов меняются в диапазоне от 50 до 130 МПа и могут определяться:

по данным, приведенным в [10], а также в базе данных программного комплекса «Руслан» [6] для типовых узлов корпуса;

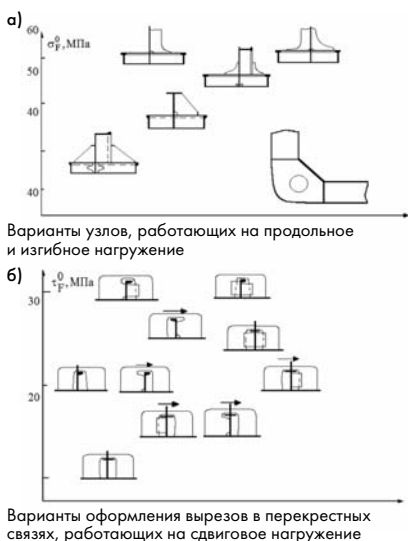


Рис. 5. Параметры усталостного ресурса типовых узлов судового корпуса при продольных, изгибных (а) и сдвиговых (б) отнулевых циклических нагрузениях:

σ_F^0 — расчетный предел усталости номинальных нормальных напряжений (удвоенная амплитуда — размах) при числе циклов нагружения $N = 2 \cdot 10^6$;
 τ_F^0 — аналогичный параметр сдвигающих касательных напряжений; \rightarrow — направление ближайшей опоры балки

на основе результатов непосредственных испытаний узлов; путем использования результатов расчетного анализа напряженно-состояния конструкции в районе рассматриваемой «горячей точки» при виде нагружения конструкции,

соответствующем переменному эксплуатационному.

В целом практическая проверка условия (7) сводится к суммированию различных составляющих нормальных напряжений аналогично традиционной схеме расчета по допускаемым напряжениям. Принципиальным отличием здесь в общем случае являются:

ослабление фактора непосредственного суммирования составляющих напряжений с учетом степени их статистической корреляции и пониженной роли статических напряжений в накоплении внутренних усталостных повреждений материала в зонах потенциальных очагов возникновения видимых повреждений;

возможность применения уточненных численных процедур компьютерного определения напряжений в этих зонах;

пониженная роль параметров статической прочности материала; непосредственная связь допускаемых напряжений с параметрами усталостной прочности конструктивных узлов, по которым в настоящее время накоплен довольно представительный объем данных.

Критерии типа (6) и (7) имеют все основания заменить традиционную условную процедуру проверочных расчетов прочности по допускаемым напряжениям.

Литература

1. Report on the Development of a Unified Procedure for Fatigue Design of Ship Structures. IACS Working Party on Strength of Ships. Ad Hoc Group on Fatigue. Final Report, February 1997.
2. Fatigue Assessment of Ship Structures, Det Norske Veritas, Classification notes, No. 30.7 January, 2001.
3. Бойцов Г. В. Кноринг С. Д. Прочность и работоспособность корпусных конструкций. Л.: Судостроение, 1972.
4. Бойцов Г. В. Палий О. М. Прочность и конструкция корпуса судов новых типов. Л.: Судостроение, 1979.
5. Бойцов Г. В. Возможные принципы построения требований к усталостной прочности корпусных конструкций//Вторая междунар. конф. по выставкам и морским интеллектуальным технологиям «Моринтех-97». СПб., 1997.
6. Новые принципы нормирования прочности корпусов судов и их реализация в программном пакете «Руслан»/А. В. Александров, Г. В. Бойцов, М. А. Евенко, М. А. Кудрин, В. М. Шапошников//НТС РМРС. 1999. № 22.
7. Бойцов Г. В., Кудрин М. А. Новые принципы нормирования прочности корпусов судов//Труды междунар. конференции «Проблемы прочности и эксплуатационной надежности судов». Владивосток, 1999.
8. Boitsov G. V., Kudrin M. A. Drawbacks of the Present System of Unified Requirements for Ship Hull Global Strength and Potential Ways to Rectify Them//Marine Technology. 2000. Vol. 37. No 4. October.
9. Анкудинов О. С., Сочинский С. В., Шишенин Е. А. Анализ напряженно-деформированного состояния грузовых отсеков транспортных судов в программном комплексе «Руслан»//Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. Вып. 11(295). СПб., 2001.
10. Нормы прочности морских судов. Регистр. СПб., 1992.

ВЛИЯНИЕ УПРУГОСТИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАВНИКОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Е. П. Носов, докт. техн. наук, В. А. Рыжов, докт. техн. наук (СПбГМТУ)

УДК 629.5.035.6.015.2

Среди многочисленных пропульсивных судовых систем особое место занимают движители с колеблющимися крыльевыми элементами. Являясь прототипом природного «механизма», они в процессе эксплуатации могут в широких пределах варьировать свои параметры и, тем самым, адаптироваться к различным условиям движения и нагрузки.

Накопленные в течение нескольких лет данные [1—5] о подобных движителях позволяют классифицировать их по ряду признаков и выделить особенности каждой из перечисленных ниже групп (таблица). Не останавливаясь на группе, относящейся

к преобразователям морского волнения, рассмотрим главные и вспомогательные движители, которые аналогичны по устройству, и различие их состоит только в выполняемых функциях.

Наибольший интерес представляет группа, совмещающая функции движителя и рулевых органов, получившая название плавниковый движительно-рулевой комплекс (ПДРК). Под ПДРК будем понимать совокупность привода и движителя. В свою очередь, движитель будет включать в себя стембель и плавник. Структурная схема ПДРК представлена на рис. 1.

К основным параметрам ПДРК относятся амплитуда A и частота ω колебаний плавника, угол сдвига фаз между колебаниями плавника и стембля φ , угловая амплитуда стембля β , геометрия плавника (форма в плане и форма профиля), массово-упругие характеристики плавника G . Параметры A , φ , β могут изменяться за счет управления приводом. Управление геометрией плавника и его упругостью должно осуществляться отдельным устройством.

Основным элементом ПДРК является плавник, геометрия и упругость которого в большой мере влияют на КПД ПДРК. Поскольку изменение геометрии крыла при работе движителя пока не нашло технической реализации, остановимся на жестких плавниках с упругой связью, упругих плавниках и плавниках с регулируемой упругостью.

Конструктивная схема плавника с упругой заделкой (связью) приведена на рис. 2. Плавник жестко скреп-

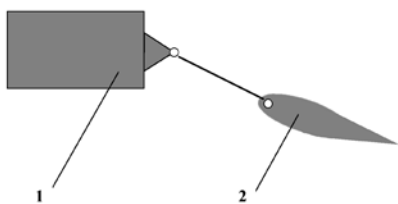


Рис. 1. Структурная схема ГДРК:
1 — привод; 2 — движитель

лен с осью вращения, установленной в подшипник, и, в свою очередь, жестко скреплен со стеблем. Стебель выполнен в виде упругой пластины с заделанным концом. Плавник может совершать упругие крутильные колебания относительно стебля. Колебания обеспечиваются двумя спиральными пружинами. Один конец пружины неподвижно связан с осью вращения, второй — со стеблем.

Следует различать упругий (пассивный) плавник и плавник с регулируемой упругостью. Пассивный плавник представляет собой монолитную конструкцию, выполненную из упругого материала — резины, полимера или другого эластика. При недостаточной жесткости и больших нагрузках плавники будут деформироваться, теряя свои гидродинамические качества и не смогут передать на корпус необходимый упор. КПД движителя при этом будет падать. В этом случае плавники, изготовленные из эластичных материалов, могут быть армированы металлической пластиной или проволокой. Возможные варианты такой конструкции представлены на рис. 3.

Для моделирования гидродинамических характеристик перечисленных технических устройств (жестких плавников, жестких плавников с упругими связями, упругих плавни-

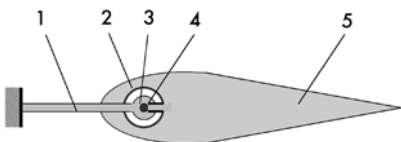


Рис. 2. Конструктивная схема плавника с упругой заделкой (связью):
1 — стебель; 2 — спиральные пружины; 3 — подшипник; 4 — ось вращения; 5 — плавник

ков) были разработаны соответствующие математические модели и их программные реализации, позволяющие проанализировать с расчетной точки зрения перспективность

Классификация пропульсивных систем с колеблющимися крыльевыми элементами

Назначение	Главный движитель	Вспомогательный движитель	Устройство преобразования энергии морского волнения
Выполняемые функции	<ul style="list-style-type: none"> • Движитель • Движитель + средство управления 		<ul style="list-style-type: none"> • Движитель + успокоитель качки
Управление крыльевыми элементами	<ul style="list-style-type: none"> • Активное • Пассивное 		<ul style="list-style-type: none"> • Активное • Пассивное • Жесткая заделка
Кинематика движения	<ul style="list-style-type: none"> • С постоянной амплитудой и углом сдвига фаз движения • С возможностью изменения амплитуд и угла сдвига фаз 		
Реверс	<ul style="list-style-type: none"> • Нереверсируемые • Реверсируемые 	<ul style="list-style-type: none"> • Реверсируемые • Реверсируемые 	<ul style="list-style-type: none"> • Нереверсируемые • Реверсируемые
Число крыльевых элементов		<ul style="list-style-type: none"> • Один • Два и более 	
Плоскость колебаний	<ul style="list-style-type: none"> • Горизонтальная • Вертикальная 		<ul style="list-style-type: none"> • Горизонтальная
Тип крыла	<ul style="list-style-type: none"> • Частично упругое • Упругое 	<ul style="list-style-type: none"> • Жесткое • Жесткое на упругих связях 	
Тип упругости	<ul style="list-style-type: none"> • Частично упругое • Упругое 		
Форма крыла в плане	<ul style="list-style-type: none"> • С постоянной упругостью • С регулируемой упругостью 		<ul style="list-style-type: none"> • Прямоугольная • Непрямоугольная
Геометрия крыла	<ul style="list-style-type: none"> • Прямоугольная • Непрямоугольная • Бионическая 		<ul style="list-style-type: none"> • Прямоугольная • Непрямоугольная
	<ul style="list-style-type: none"> • Фиксированная • Изменяющаяся 		

использования того или иного технического решения. Для расчета гидродинамических характеристик жесткого крыла и жесткого крыла на упругих связях использовалась нелинейная нестационарная теория крыла конечного размаха произвольной формы в плане, для упругого (частично упругого) крыла — нелинейная нестационарная теория крыла конечного размаха и линейная теория изгибных колебаний пластин [6, 7].

На рис. 4 приводятся сравнительные результаты расчетов коэффициента средней за период тяги эффективности движителя, выполнен-

ных для прямоугольного в плане плавника с удлинением $\lambda = 5$ и постоянным по размаху профилем NACA 0018. На графике представлены гидродинамические характеристики для одинаковых амплитуд поперечных колебаний плавника A , одинаковых угловых амплитуд колебаний стебля β для расположения оси вращения плавника на расстоянии четверти хорды от передней кромки, числа Струхала $St = 0,5$ и различных углов сдвига фаз φ . Расчеты позволяют сделать выводы, что жесткий плавник на упругих связях для определенной «резонансной» частоты (в довольно узком диапазоне) обеспечивает боль-

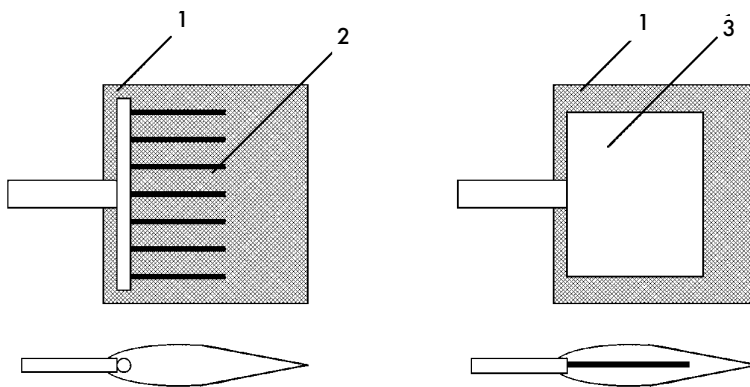


Рис. 3. Конструктивные схемы упругих плавников для ГДРК:
1 — плавник; 2 — проволоочный каркас; 3 — пластина

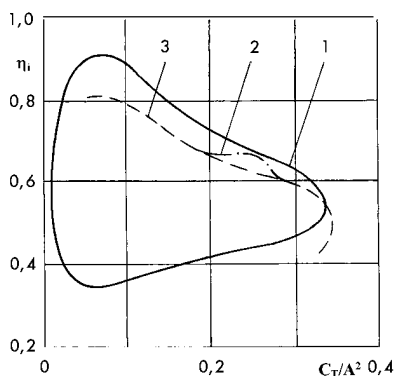


Рис. 4. Пропульсивные характеристики ПДРК с плавниками различных типов: 1 — полностью упругий плавник; 2 — жесткий плавник с упругими связями; 3 — полностью жесткий плавник (η_i — эффективность движителя, C_T/A^2 — коэффициент средней за период тяги)

шее значение КПД по сравнению с жестким крылом. КПД полностью упругого плавника при достижении практически той же тяги, но в более широком диапазоне частот колебаний (по сравнению с плавником на упругих связях) также превышает КПД жесткого крыла. Это говорит о том, что конструкции полностью упругого плавника являются перспективными, так как более эффективны с пропульсивной точки зрения, причем в довольно широком диапазоне частот колебаний.

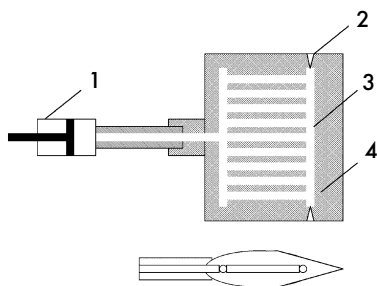


Рис. 5. Схема плавника с регулируемой упругостью: 1 — цилиндр с поршнем; 2 — невозвратный клапан; 3 — каналы; 4 — плавник

Исследования строения плавников гидробионтов показали, что при различных режимах плавания (разных нагрузках на плавник) жесткость плавников изменяется, т. е. они обладают управляемой упругостью [8].

На основании этого в Санкт-Петербурге государственном морском техническом университете разработан материал, получивший название «гидрокаучук», с помощью которого

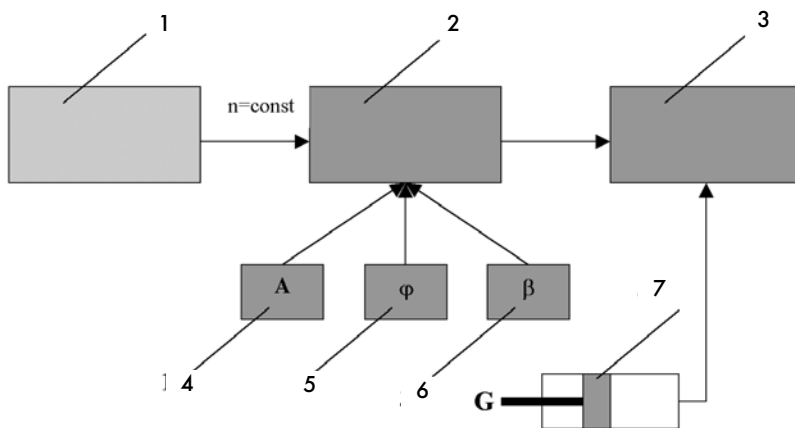


Рис. 6. Структурная схема ПДРК с плавником, имеющим регулируемую упругость: 1 — двигатель; 2 — привод; 3 — плавник; 4 — управление амплитудой плавника; 5 — управление углом сдвига фаз между колебаниями плавника и стебля; 6 — управление углом амплитудой стебля; 7 — управление массово-упругими характеристиками плавника

имитировался эффект регулирования упругости плавников. Этот материал может быть использован для изготовления плавников. На рис. 5 изображена схема плавника с регулируемой упругостью. Плавник представляет собой крыло, изготовленное из резины с каналами малого диаметра. Система каналов соединена с цилиндром, имеющим поршень со штоком, и заполнена жидкостью. Перемещение поршня вызывает изменение давления в системе и, следовательно, напряженное состояние резины вокруг каналов. В результате изменяется упругость плавника, что расширяет возможность использования явления резонанса для повышения эффективности ПДРК. В работах [8, 9] показано, что если ПДРК рассматривать как колебательную систему, описываемую дифференциальным уравнением

$$M \frac{d^2y}{dt^2} + R \frac{dy}{dt} + ky = F \sin \omega t,$$

то поведение системы определяется полным сопротивлением действующей возмущающей силы, которое состоит из трех частей:

$$X = \sqrt{R^2 + [\omega M - (k/\omega)]^2},$$

где R — активное сопротивление системы, вызванное трением (часть возмущающей силы, расходуемой на преодоление сил демпфирования); ωM — инерциальное сопротивление системы (часть возмущающей силы, расходуемой на измене-

ние скорости колебательного движения приведенной массы M системы); k/ω — упругое сопротивление системы (часть возмущающей силы, обладающей приведенным коэффициентом жесткости k).

Как видно из приведенного уравнения, настройка системы на резонанс возможна за счет изменения трех параметров: частоты ω , упругости k , приведенной массы системы M .

Варьирование присоединенной массы системы требует применения плавника с изменяющейся геометрией, и, как было сказано выше, такой способ технически трудно реализуем. Известно, что работа любого двигателя экономична на расчетном режиме, т. е. при заданном постоянном числе оборотов, поэтому выход на резонанс целесообразно осуществлять за счет изменения упругости плавника. Однако применение упругости плавника будет ограничено возможностями «гидрокаучука», т. е. прочностью каналов плавника.

Учитывая, что наступление резонанса легко фиксируется, настройка системы на резонанс также не должна представлять технических сложностей. Структурная схема подобной системы представлена на рис. 6. Управление рабочими параметрами ПДРК (A , ϕ , β) должно осуществляться посредством специальных устройств привода. Для настройки системы на резонанс путем регулирования упругости плавника необходимо воздействовать на шток

поршня, изменяя давление в системе каналов плавника. Наступление резонанса будет сопровождаться увеличением амплитуды и падением мощности, подводимой к приводу [10].

Таким образом, повышение КПД ПДРК может быть достигнуто путем введения в систему упругого элемента. Применение плавника с регулируемой упругостью позволит облегчить выход на резонанс при сохранении расчетного режима двигателя, что также должно привести к увеличению КПД ПДРК.

Литература

1. Rozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A., Kurapov A. L. Hydrodynamic Design of

Propulsion System Based on Oscillating Wings, INEC 94: Cost Effective Maritime Defence, London, 1994.

2. Pozhdestvensky K. V., Ryzhov V. A.

Hydrodynamic Design of Thrust Generators Based on Oscillating Wings. 20 Symposium on Naval Hydrodynamics. Santa-Barbara, 1994.

3. Першин С. В. Плавание и полет в природе // Итоги науки и техники. Сер. «Бионика. Биокбернетика. Биоинженерия». Т. 4. М.: Гос. комитет по науке и технике, 1979.

4. Носов Е. П., Рыжов В. А. Оценка основных характеристик двигателей для специализированных судов // Судостроение. 1999. № 3.

5. Носов Е. П., Рыжов В. А. Двигатели для высокоманевренных судов / Международная конф. по морским интеллектуальным технологиям МОРИНТЕХ-99. СПб., 1999.

6. Ryzhov V. A., Gordon P. V. Mathematical Model of an Elastic Flapping Wing Propulsor //

International Conference 300-th Anniversary of Russian Navy «Navy and Shipbuilding Nowadays», Section A, Design and Construction of Surface Ships and Submarines, Subsection A2, Hydrodynamics, 1996.

7. Рыжов В. А., Гордон П. В. Гидродинамика упругого крыла-двигателя. Нелинейная модель // Актуальные вопросы гидродинамики и проектирования судов. Труды ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 1997. № 7.

8. Першин С. В., Шаров Я. Ф., Носов Е. П. Гидробионт как адаптивная колебательная система // Бионика. 1973. Вып. 7.

9. Першин С. В., Соколов А. С., Томилин А. Г. О регулируемой специальными сосудистыми органами упругости плавников дельфина // Докл. АН СССР. Т. 190. 1970. № 3.

10. А. с. № 318483 [СССР]. Конструкция технического резинового изделия / Авт. изобр. Е. П. Носов, С. В. Першин. Оpubл. в БИ., 1971.

НОВЫЕ ЖУРНАЛЫ

В феврале в Санкт-Петербурге увидел свет пилотный номер нового журнала «Морская радиоэлектроника», учредителями которого стали ГУП Научно-техническое издательство «Судостроение» и ООО «Отраслевые журналы». Во вступительной статье главного редактора журнала И. Г. Захарова (1 ЦНИИ МО РФ) говорится: «В последние десятилетия на наших глазах разворачивается беспрецедентный по темпам процесс развития электронных информационных технологий. В результате внедрения радиоэлектронного оборудования практически во все образцы корабельного оружия, вооружения и технических средств боевые корабли приобрели новые качества по получению, обработке и передаче информации, обнаружению и уничтожению современных средств поражения, автоматизации процессов боевого и повседневного управления, эксплуатационной пригодности и живучести. Освоение новых технологий наряду с неоспоримыми преимуществами принесло и новые проблемы...». Помочь решить эти проблемы, рассматривая корабль и вооружение как единую систему, призван новый журнал.

«Флотэксперт» — специализированный журнал, который Санкт-Петербургское издательство «Балтийское Морепринт» начало издавать в этом году. Тематика журнала практически та же, что у его предшественника — бюллетеня

«Судовое снабжение и обслуживание». Среди рубрик журнала — безопасность мореплавания, новости судостроения, нормативные документы, новости судоходства, аварии и катастрофы. Значительный объем занимает реклама. В разделе «Судовое снабжение» (в № 1 он занимает восемь полос из 32) в табличной форме дается перечень судового оборудования, фирмы-поставщики и контактные телефоны, в справочном разделе — адреса фирм, телефоны, факсы, e-mail, web-site.

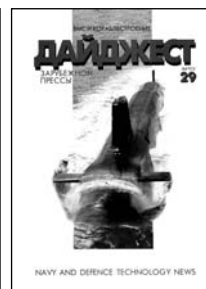
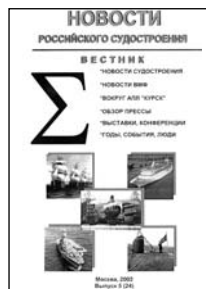
ЦНИИСП «Центр» (Москва) дважды в месяц выпускает вестник «Новости российского судостроения». Его первые номера появились в 2001 г., а в этом году он стал выходить регулярно. Каждый выпуск включает подборку актуальных материалов, опубликованных в средствах массовой информации и в Интернете, которые представляют интерес для работников судостроительной отрасли. Материалы распределяются по рубрикам: официальная хроника, новости судостроения и ВМФ, вокруг АПЛ «Курск» и др.

Очередной вышедший в 2001 г. научно-технический и рекламный сборник «Прогрессивные материалы и технологии», издаваемый ЦНИИ КМ «Прометей», посвящен деятельности института в 2000 г. Объемистый (186 стр.) сборник включает разнообразные итоговые материалы, распределенные по следующим разделам: научно-организационная и научно-техническая деятельность, работа с кадрами, социаль-

ное развитие, знаменательные события, коллеги и друзья «Прометей». В приложении дан список докладов, прочитанных специалистами «Прометей» на конференциях и семинарах, и опубликованных статей.

ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова продолжает издавать «Дайджест зарубежной прессы» (ВМС и кораблестроение). Очередной 29-й выпуск подготовлен по материалам зарубежных источников, включая издания 2001 г. Среди тематических разделов сборника — подводные лодки, надводные корабли, морское оружие, корабельные технические средства, морская радиоэлектроника, верфи, конверсия, утилизация и проблемы экологии, освоение океана и др.

Научно-производственный сборник «Вестник технологии судостроения» № 9, выпущенный ЦНИИТС, составлен из актуальных материалов по следующей тематике: экономика и организация производства, исследования и проекты, технологические процессы и оборудование, экология и безопасность труда. Этот номер стал последним, который подготовил В. Н. Антонов (11.09.1937—20.12.2001), проработавший в ЦНИИТС почти 20 лет ответственным редактором сборников «Технология судостроения» и затем «Вестник технологии судостроения». В следующем выпуске «Вестника» будет сделан акцент на результатах финансово-экономической и научно-технической деятельности института.



ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГИДРОДИНАМИКИ, УСТОЙЧИВОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК И РОЛЬ ЦАГИ В ЭТОМ ПРОЦЕССЕ

А. В. Жаринов, канд. техн. наук (ГУП ГосНИЦ ЦАГИ)

УДК 629.585.015.2

В 1943 г. в разгар Великой Отечественной войны командование Военно-Морского Флота обратилось в Министерство авиационной промышленности с просьбой привлечь ЦАГИ к решению задач гидродинамики, устойчивости и управляемости создаваемых подводных лодок (ПЛ). Через два года в письме заместителя Главкома ВМФ по кораблестроению говорилось: «Опыт второй мировой войны показал, что подводные скорости современных ПЛ с дизель-электрическими машинными установками не отвечают требованиям войны на море. Возросшая противолодочная оборона на морских коммуникациях заставила искать новые пути повышения ходовых качеств ПЛ. Вопрос резкого увеличения подводной скорости хода ПЛ является сейчас одним из самых жизненных вопросов подводного флота. Испытанные в Германии опытные ПЛ с парогазовыми турбинами показали подводную скорость до 24,5 уз, что почти в три раза превосходит максимальную скорость ПЛ с дизель-электрическими установками. Перед нашим отечественным подводным флотом и нашей промышленностью стоит задача быстрого освоения парогазовых установок для ПЛ, над чем ведется соответствующая работа. Одновременно крайне важно выработать наивыгоднейшие обводы корпуса скоростных ПЛ для достижения наибольших скоростей при наименьшей мощности двигателей. Проведение указанных изысканий и связанных с ними испытаний моделей возможно полноценно осуществить только в ЦАГИ, поскольку никакая другая научно-исследовательская организация в СССР не располагает необходимыми возможностями. Ввиду исключительной важности скорейшего разрешения проблемы больших скоростей подводных лодок для Военно-Морских Сил Союза ССР прошу Вашего решения о включении проблемы больших скоростей ПЛ в тематический план ЦАГИ. Все необходимые расходы могут быть приняты Военно-Морскими Силами».

Такое решение было принято и, начиная с 1945 г. и до настоящего времени, в планах ЦАГИ уделяется серьезное внимание проблемам Военно-Морского Флота и, в частности, решению вопроса создания перспективных образцов ПЛ.

К 40-м годам прошлого столетия ЦАГИ уже обладал необходимым научным потенциалом для выполнения поставленных задач

по созданию ПЛ с новыми качествами и прежде всего с увеличенной скоростью подводного хода благодаря опыту, приобретенному в 30-е годы в области дирижаблестроения, и формированию в ЦАГИ в качестве самостоятельного направления аэродинамики летательных аппаратов — аэродинамики и динамики полета аппаратов легче воздуха.

С 1945 г. без специальной подготовки в ЦАГИ были развернуты исследования гидродинамических характеристик ПЛ, начиная с уже находящихся в строю отечественных и до последних зарубежных (немецких), на основе испытаний их моделей в аэродинамических трубах. В теоретическом плане на базе этих данных в качестве первой и наиболее актуальной была решена задача управляемости горизонтальными рулями.

В этом же году в трудах ЦАГИ была опубликована работа «О потере динамической управляемости подводных лодок на малых скоростях хода», в которой впервые была изложена новая нелинейная теория управляемости при работе кормовыми горизонтальными рулями и представлены уточненный метод расчета инверсионной скорости и критерий управляемости в виде зависимости производной от угла траектории по углу перекаладки кормовых рулей от скорости продольного движения. Работа позволила проектантам ПЛ обеспечивать обоснованный выбор необходимой эффективности рулей, т. е. определять их геометрические параметры, расположение и мощность гидропривода. Предложенный подход и комплекс модельных испытаний позволили ЦАГИ выдать первые рекомендации по ПЛ XIV и XV серий, вскоре подтвержденные натурными испытаниями.

В работе «Применение теории управляемости воздушных кораблей для сравнительной оценки управляемости подводных лодок кормовыми и носовыми рулями», вышедшей в 1947 г. в трудах ЦАГИ, были приведены выводы о том, что учет нелинейности нормальной силы и продольного момента по углу атаки радикально отражается на оценке эффективности носовых рулей, при перекаладке которых также может существовать инверсионная скорость. Причем нормальная управляемость имеет место на скоростях ниже инверсионной.

Результаты экспериментальных исследований гидродинамических характеристик

и расчетов управляемости ряда отечественных и немецких ПЛ систематизированы в работе «Влияние некоторых конструктивных параметров подводных лодок на их управляемость при работе горизонтальными рулями».

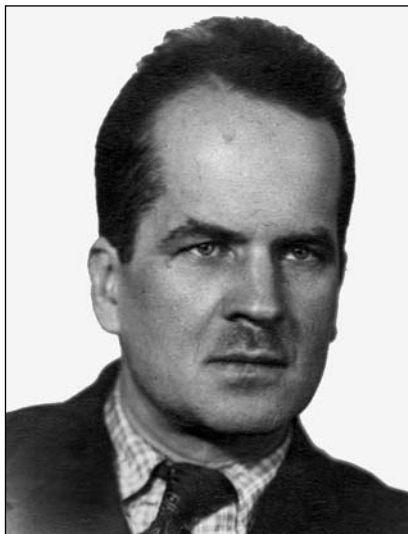
Начальник Главного управления кораблестроения адмирал Н. В. Исаченко писал: «Опубликованные в ЦАГИ работы представляют большой практический интерес для подводного кораблестроения. Авторами впервые предложены теоретические формулы для определения рациональной площади кормовых горизонтальных рулей при заданных величинах приближенного критерия маневренности и подсчета инверсионных скоростей. Полученные авторами формулы и сделанные выводы позволяют приближенно оценить влияние основных конструктивных параметров ПЛ на их управляемость, что очень важно при проектировании новых ПЛ. Отмечая большую практическую ценность представленных работ, прошу продолжить в ЦАГИ в 1947 г. работу над развитием теории управляемости ПЛ, особенно применительно к большим скоростям хода».

В 1945 г. в ЦКБ-18 (ныне ЦКБ МТ «Рубин») при самом активном и непосредственном участии представителей ЦАГИ по инициативе ВМФ была составлена первая программа исследований в области гидродинамики, устойчивости и управляемости ПЛ на десять лет. Надо отдать должное авторам программы, среди которых ведущую роль играли К. К. Федяевский и Л. В. Калачева, которые, несмотря на ограниченный объем знаний и практических представлений о предмете, правильно определили круг стоящих задач и расставили акценты на узловых проблемах. Поэтому даже сегодня эта программа достаточно современна. Называлась она «Управляемость 18» и включала, в частности, следующие направления:

- уточнения гидродинамических характеристик при поступательном движении и при вращении, получаемые в результате модельных испытаний в аэродинамической трубе;

- составление атласа гидродинамических характеристик отечественных и зарубежных ПЛ;

- изучение взаимодействия корпуса и рулей с учетом работающего гребного винта;



Руководитель работ по подводной тематике профессор К. К. Федяевский

- изучение уравнений динамического равновесия и уравнений движения, выявление параметров, характеризующих управляемость и устойчивость, и связь этих критериев с конструктивными особенностями;

- проведение наблюдений движения ПЛ в натуральных условиях и сопоставление результатов наблюдений с теоретическими и экспериментальными;

- установление относительной важности для ПЛ обеспечения динамического равновесия и диапазона скоростей, в котором должна достигаться требуемая интенсивность управляемости; увязка управляемости и устойчивости с тактико-техническим заданием.

План также предусматривал систематические испытания моделей в аэродинамических трубах ЦАГИ, проведение натурных маневренных испытаний при участии ЦАГИ и ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова и тесную связь проектных работ ЦКБ-18 с ЦАГИ. Указывалось, что модельным испытаниям должны подвергнуться кроме отечественных и немецкие ПЛ XXI, XXIII, XXVI серий. Результаты этих испытаний должны войти в альбом гидродинамических характеристик ПЛ вместе с чертежами их обводов.

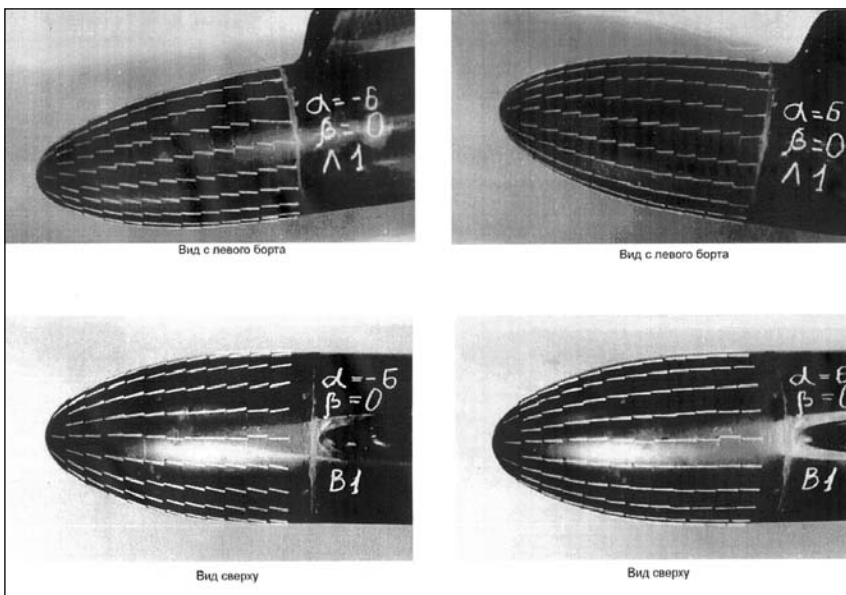
Вышеупомянутые документы, подкрепленные необходимым финансированием, явились основанием для широкой постановки в ЦАГИ исследований по гидродинамике и динамике движения ПЛ. Они проводились по уже сложившейся методологии, т. е. одновременно с мо-

дельными испытаниями по определению гидродинамических сил и моментов в функции углов атаки, дрейфа и углов перекаладки рулей велись подробные исследования особенностей физики обтекания различных форм корпуса и выступающих частей и, прежде всего, ограждения рубки и рулей с помощью визуализации обтекания, измерений распределения давления и параметров пограничного слоя. Одновременно выполнялись фундаментальные теоретические исследования с целью разработки методов расчета сил и моментов, действующих на составные элементы ПЛ со стороны окружающей жидкости. Так, впервые применительно к ПЛ была разработана и опубликована методика расчета присоединенных масс и присоединенных моментов инерции, подтвержденная результатами испытаний в гидроканале.

В 1947 г. профессор К. К. Федяевский сформулировал свою циркуляционно-отрывную теорию для расчета аэро-гидродинамических характеристик тел вращения, взяв за основу гипотезу, что поток идеальной жидкости, обтекающей изолированное тело при наличии угла атаки, рассматривается как сумма потенциального потока и потока, индуцируемого присоединенным вихрем и свободными вихрями, сходящими с тела. Получение простого инженерного метода расчета достигается заменой вихревой системы тела вращения П-образным вихрем, интенсивность которого определяется, исходя из одностраничного постулата Жуковского—Чаплыгина на пространственное обтекание. В отношении нормальной силы результаты расчета как для тел вращения, так и для тел с плохобтекаемой кормовой оконечностью показали хорошее совпадение с экспериментом.

Еще через год разработали и передали проектантам рекомендации по выбору профиля для рулей, существенно повышающего их эффективность, провели систематические испытания крыльев малого удлинения и составили методику определения на них центра давления. Все это опубликовано в трудах ЦАГИ (атлас гидродинамических характеристик рулей).

Естественно, что возникновение представления о ПЛ как о поступательно двигающейся динамической



Визуализация потока, обтекающего носовую оконечность подводной лодки в аэродинамической трубе ЦАГИ

системе вызвало необходимость оценки не только ее управляемости, но и устойчивости и определения параметров средств ее обеспечения.

В 1947 г. на основе анализа уравнений движения в вертикальной плоскости было получено выражение для критерия продольной динамической устойчивости и характеристической скорости ПЛ. Задачу решили методом малых возмущений, а исследование корней характеристического уравнения выполнили оригинальным геометрическим методом. В результате получили соотношение опрокидывающей силы и сил демпфирования, необходимое для обеспечения динамической устойчивости по продольной угловой скорости.

Результат проведенных исследований — ПЛ должна обладать лишь динамической устойчивостью. Причем определенный ее «запас» может быть допущен только по продольной угловой скорости для повышения безопасности маневрирования в вертикальной плоскости при ручном управлении, так как даже незначительная ошибка рулевого при высокой скорости подводного движения и относительно небольшой предельной глубине погружения легко может привести к трагическим последствиям. По угловой скорости рыскания «запас» динамической устойчивости должен быть минимальным, ибо, в противном случае, с помощью традиционно вертикального руля радиус

установившейся циркуляции намного превосходил бы требуемый для нормальной эксплуатации (например, при плавании в узкостях или при швартовке).

Несколько позже в совместном решении специалистов ЦАГИ, КБ и НИВК (1 ЦНИИ МО) установили нижние пределы значения критерия динамической устойчивости как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях, которые используются в практической работе и в настоящее время. Включение в перечень характеристик ПЛ параметров динамической устойчивости с необходимостью обеспечения ее определенной степени остро поставило задачу определения так называемых вращательных производных, или зависимостей гидродинамических сил и моментов от угловых скоростей.

Надо сказать, что и до настоящего времени надежность определения ряда этих гидродинамических характеристик вызывает вопросы, а в 40-е годы прошлого века, учитывая отсутствие в то время в СССР ротативной установки и недостаточное освоение других экспериментальных методов, возникли существенные трудности, усугубляемые тем, что пониженная степень (например, по сравнению с летательными аппаратами) динамической устойчивости требует определения вращательных производных с повышенной точностью.

Для разработки методики определения вращательных производ-

ных для удлиненных слабонесущих тел, к которым относятся ПЛ, в аэродинамических трубах ЦАГИ были выполнены многочисленные исследования на старых и вновь созданных установках малых свободных и вынужденных колебаний и теоретически проанализирован известный, но редко используемый метод искривленных моделей. И с определенными приближениями решение нашли, после чего категория этих гидродинамических характеристик вплоть до введения в эксплуатацию в ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова ротативной установки и даже позже определялась для создаваемых ПЛ с учетом представлений о достоинствах и органических недостатках этих методов.

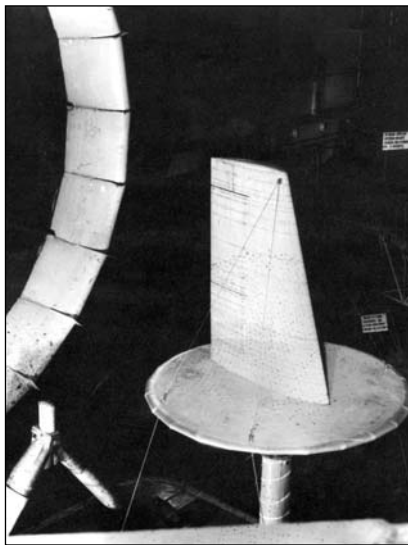
В 1949 г. была опубликована работа с изложением методики определения элементов плоской установившейся циркуляции с учетом существенной нелинейности боковой силы и момента дрейфа и их производных от угловой скорости рыскания от угла дрейфа на основе испытаний в аэродинамической трубе серии искривленных моделей. В ней впервые показано для ПЛ наличие «перекрестных» производных и их роль в формировании балансирующих параметров на циркуляции с одержанием постоянной глубины погружения. Важный раздел работы — способ определения установившихся углов крена.

В указанный период одновременно с работами ЦАГИ по устойчивости и управлению движением в полностью погруженном состоянии на основе модельных испытаний в гидроканале были развернуты теоретические и экспериментальные исследования характеристик, определяющих параметры ходкости. Анализировались характеристики сопротивления при движении в безграничной жидкости и при наличии свободной поверхности, при волнении и без него. Большое внимание уделялось влиянию на сопротивление ограждения рубки и проницаемости корпуса, разрабатывались рекомендации по форме и расположению шпигатов. В этом направлении получен ряд основополагающих результатов, не теряющих своей ценности. Много исследований было посвящено изучению взаимного влияния гребных винтов, корпуса и кормовых рулей.

Таким образом, к середине 50-х годов благодаря усилиям ЦАГИ были созданы научная база и база данных, методология проведения экспериментов в аэродинамических трубах, подготовлены кадры специалистов в институте, в конструкторских бюро и в НИВК, осуществлявшем руководство и наблюдение, что позволило в необходимом объеме обеспечить сопровождение строительства отечественного подводного флота нового поколения.

В 1956 г. в ЦАГИ под руководством заместителей министра авиационной и судостроительной промышленности и начальника Главного управления кораблестроения ВМФ было проведено совещание специалистов с подведением итогов работы в области развития гидродинамики, устойчивости и управляемости ПЛ за прошедшие десять лет с основным докладом профессора К. К. Федяевского. В докладе и решении совещания, в частности, говорилось о том, что за период с 1945 г. проведено большое количество основополагающих исследований в линейной постановке. Имеющиеся натурные данные в целом подтвердили основные положения, вытекающие из линейной теории, а именно: существование и порядок величин инверсионной скорости при работе кормовыми и носовыми рулями, характер переходных режимов при «слабых» маневрах и другие характеристики. Следует считать, что возможности линейной теории исчерпаны. Для исследования управляемости ПЛ при «сильных» маневрах в вертикальной плоскости, в особенности при наличии остаточной плавучести, а также при исследовании подводной циркуляции линейная теория не может дать надежных результатов. Однако отсутствие ротативной установки для определения нелинейных зависимостей гидродинамических сил и моментов от угловых скоростей и самоходных моделей для контроля модельных испытаний в аэродинамических трубах задерживает развитие нелинейной теории. (Здесь надо заметить, что, если ротативная установка, хоть и не скоро, но была построена, то самоходные модели в нашей стране, в отличие от США, так и не были включены в цикл исследований динамики ПЛ.)

Совещание посчитало необходимым в последующий период в качестве основных направлений опре-



Стабилизатор подводной лодки в натурной аэродинамической трубе Т-104

делить следующие: изыскание новых форм корпуса ПЛ; исследование пространственного движения при одновременной работе вертикальными и горизонтальными рулями с учетом сложных вращательных производных; разработку методики определения статического и динамического крена ПЛ с новыми формами корпуса и выступающих частей; исследование процесса погружения и всплытия без хода и на ходу, включая аварийное всплытие с больших глубин; исследование движения при волнении и подо льдом, при реверсе и на заднем ходу; исследование в обеспечение создания средств автоматического управления; разработку методов расчета управляемости на ранних стадиях проектирования; систематическое проведение на головных ПЛ испытаний на управляемость и проведение специальных натурных маневренных испытаний для определения гидродинамических характеристик.

Можно утверждать, что в последующие годы исследования по гидродинамике и динамике ПЛ проводились в соответствии с решениями этого совещания.

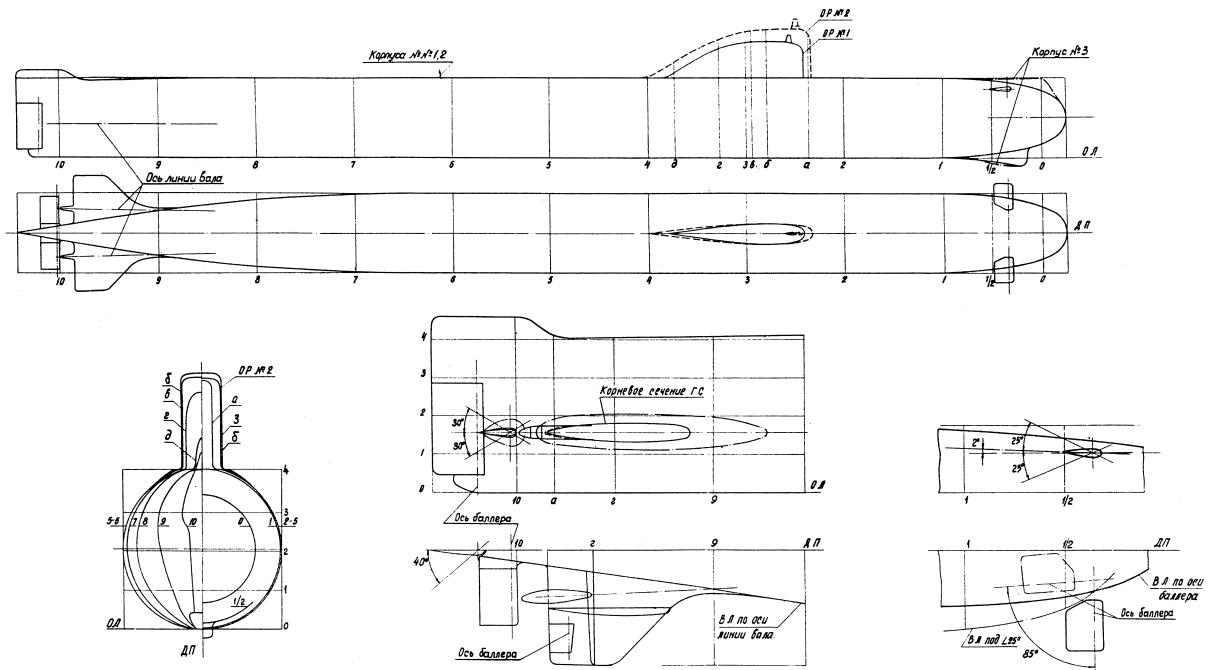
На совещании, кроме вышеуказанного, было обращено внимание на недопустимо медленные темпы строительства в ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова экспериментальной базы, необходимой для развития подводного кораблестроения и, главным образом, аэродинамической трубы и кругового бассейна.

Здесь впервые произошло официальное разделение между исследованиями, проводимыми в ЦАГИ и ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова. В ЦАГИ остались проблемы гидродинамики, устойчивости и управляемости при движении ПЛ в полностью погруженном состоянии, в ЦНИИ — движение вблизи свободной поверхности и вопросы ходкости.

В связи с появлением нового оружия и новой энергетики был радикально расширен круг задач, поставленных перед ПЛ, в результате чего увеличилась номенклатура их классов и типов. Кроме торпедных ПЛ начали проектирование кораблей с крылатыми и баллистическими ракетами и кораблей с атомными энергетическими установками.

Работы по созданию первой атомной ПЛ пр. 627 начались в 1952 г. В ЦАГИ сопровождение проектирования велось с его начала, т. е. с предэскизной стадии, и продолжалась на этапах эскизного, технического и даже рабочего проекта. Столь серьезное внимание этому кораблю уделялось из-за новых повышенных тактических характеристик и, прежде всего, скорости подводного хода не менее 25 уз.

Были проведены исследования, направленные на тщательную отработку сигарообразной формы корпуса с оживальной носовой оконечностью, обводов обтекаемого ограждения рубки и новой компоновки кормовой конечности. Много внимания уделялось выбору профиля, формы в плане и размеров горизонтальных стабилизаторов и кормовых рулей, включая малые, и их взаимному расположению с учетом работы гребных винтов, а также носовых рулей с отклоняющимися закрылками. Для обеспечения устойчивости движения в горизонтальной плоскости нашли оригинальное решение — с помощью установки «гребешка» на верхней части ахтерштевня. На заключительной стадии впервые провели испытания крупномасштабной модели этой лодки в большой (натурной) аэродинамической трубе ЦАГИ Т-104 для подтверждения ранее определенных гидродинамических характеристик и прямого измерения сил на ограждении рубки и стабилизаторах и шарнирных моментов на баллерах носовых, кормовых и вертикального рулей. Натурные маневренные испытания этой ПЛ полностью



Теоретический чертеж модели атомной подводной лодки I поколения для определения гидродинамических характеристик в аэродинамической трубе ЦАГИ

подтвердили разработанные на стадии проектирования рекомендации.

В этот период велись также исследования гидродинамики и динамики по многочисленным конкретным проектам, например, в 1956 г. — по пр. 627, 629, 639, 641, 645, П-627А, а в 1957 г. — по пр. 629, 645, 649, 651, 653, 658 и П-627А. Причем в соответствии с практикой проектирования в те годы формирование внешнего облика и выбор геометрических параметров органов управления выполнялись и на эскизной, и на технической стадии проектирования, а в ряде случаев и на рабочей. Аэродинамические трубы отделения № 4 работали в 2—3 смены, были заметно расширены инженерно-технический состав и модельные мастерские, жестко контролировались графики работ.

Несмотря на напряженность прикладных работ, не ослабевало внимание к проведению исследований, носящих более общий характер. На основе систематических модельных испытаний изучались гидродинамические характеристики ПЛ с новой архитектурой — корпусом в виде чистого тела вращения с удлинением порядка 6—8 и крестообразным кормовым оперением с уменьшением его эффективного плеча, т. е. аналогов ПЛ США «Albacore» и

«Skipjack». При этом требовалось найти оптимальную геометрию стабилизаторов, их профиль и форму в плане, форму перехода к корпусу, оптимальное соотношение подвижной и неподвижной частей, т. е. размеры больших и малых горизонтальных рулей, соотношение размеров верхнего и нижнего вертикальных стабилизаторов и рулей. Большое внимание уделялось обводам и размерам ограждения рубки, вносящего основной вклад в формирование креновых параметров, которые при новой архитектуре и высоких скоростях движения могли достигать весьма больших значений и приводить к аварийным ситуациям. Таким образом был создан задел для строительства ПЛ второго поколения.

В 60-е годы наиболее крупным событием в развитии динамики ПЛ следует прежде всего считать выход в трудах ЦАГИ монографии, подводящей итоги многолетних исследований по составлению полной системы нелинейных уравнений пространственного движения без использования принципа суперпозиции с физическим обоснованием структуры правых частей уравнений и с изложением методологии определения всех коэффициентов, а их более 80. Благодаря тому, что в этот период появились электронно-вы-

числительные машины, возникли условия, позволившие перевести процесс создания новых образцов ПЛ на несравненно более высокий уровень. Все модельные эксперименты и расчеты параметров движения стали укладываться в стройную систему, которая позволила проектанту на основе анализа переходных процессов и установившихся режимов свободного и управляемого движения принимать оптимальные решения при формировании внешней архитектуры и параметров органов стабилизации и управления.

В 1959 г. было, наконец, закончено строительство аэродинамической трубы в ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, и стало поступать экспериментальное измерительное оборудование, осваиваться методика проведения модельных экспериментов. В 1968 г. начала работу ротативная установка, что позволило ЦАГИ постепенно сокращать объем работ по сопровождению конкретного проектирования и сосредоточить свои усилия на решении задач принципиального характера, оставив за собой, как говорили представители ВМФ, роль «палаты мер и весов». В ЦАГИ практически полностью прекратились работы по заказам ЦКБ МТ «Рубин». Остались исследования, но в значительно более широком

плане и большем объеме по сопровождению проектов ПЛ, создаваемых в СПМБМ «Малахит» (пр. 671, 671РТ, 671РТМ, 705, 705Б, 683, 685, 686, 688, 693, 885, 958, 971).

Несколько ранее выполнили работы по ПЛ пр. 661 в двух вариантах — одновальном и двухвальном. Для последнего, который и был принят, основное внимание уделялось отработке новой компоновки кормовой оконечности и оперения. Интересен тот факт, что главный конструктор этого корабля Н. Н. Исанин приезжал в ЦАГИ и непосредственно в аэродинамической трубе К. К. Федяевский с помощью визуализации процесса обтекания убедительно показал ему упущения в компоновочном решении и предложил более оптимальное, которое в дальнейшем и было принято.

В 1968 г. в трудах ЦАГИ выпускается атлас характеристик потенциального обтекания тел вращения с их аналитическим представлением, а через год выходит из печати единственный в своем роде атлас геометрических и гидродинамических характеристик кораблей, созданных совместно с СПМБМ «Малахит».

После того, как в ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова начала работать необходимая экспериментальная база, возникающие задачи по гидродинамике, устойчивости и управляемости ПЛ стали решаться совместно с ЦАГИ либо по согласованному плану с использованием экспериментальной базы этих двух институтов. Так были проведены комплексные исследования движения ПЛ с большими углами атаки с выявлением до этого не известной категории боковых сил, исследования по



Подводная лодка-лаборатория пр. 1710

уточнению влияния геометрических параметров и числа Рейнольдса на эффективность комбинации стабилизатор — руль с испытаниями крупномасштабных моделей в натурной аэродинамической трубе.

В рамках темы «Океан» провели комплекс исследований по созданию ПЛ-лаборатории пр. 1710 (ЦАГИ в течение многих лет активно поддерживал создание этой ПЛ). Выполненный в ЦАГИ тщательный выбор обводов корпуса позволил достичь небывалой до этого времени по плавности эпюры продольного распределения давления. Была подробно проработана новая компоновка горизонтальных стабилизаторов с предкрылками, позволяющими при совместной работе с рулями заметно повысить эффективность управляемости в вертикальной плоскости. Применительно к этой ПЛ провели модельные исследования по определению возможности снижения сопротивления с помощью отсоса пограничного слоя, а также по измерению поля скоростей в кормовой части при работающем гребном винте.

На рубеже 80-х годов ЦАГИ участвовал в совместной работе по сопоставлению модельных и натуральных гидродинамических характеристик с проведением натуральных маневренных испытаний и разработкой

методологии определения характеристик частотными методами и с использованием современных методов идентификации. Работа, в частности, подтвердила, что используемые лабораторные методы определения компонентов гидродинамических сил и моментов, действующих на ПЛ при ее пространственном движении в эксплуатационных режимах, достаточно надежны. Вместе с тем следует продолжить совершенствование методов определения (уточнения) ряда вращательных производных и моментов крена. Остались «за кадром» и режимы движения на заднем ходу.

Результаты работ в области гидродинамики, устойчивости и управляемости ПЛ опубликованы в свыше 60 трудах ЦАГИ. Вот имена ведущих ученых: К. К. Федяевский, В. В. Крамер, Н. Н. Фомина, Е. К. Бучинская, И. Б. Федорова, Д. В. Якушевич, И. С. Римман, А. И. Тихонов, Л. А. Маслов, Р. А. Засолов, А. В. Жаринов и др.

В заключение следует отметить, что и в настоящее сложное время в стране продолжают научно-исследовательские работы, направленные на совершенствование основных гидроакустических характеристик перспективных подводных лодок, проводятся они и в ЦАГИ. Однако, к сожалению, происходит это в значительно меньшем объеме.

ОТ «SEAWOLF» К «VIRGINIA»

(Развитие многоцелевых подводных лодок ВМС США после окончания «холодной войны»)

А. М. Антонов (ФГУП СПМБМ «Малахит»)

УДК 623.827.2(73)

Анализ направленности развития кораблей основных классов зарубежных ВМС всегда представлял особый интерес, поскольку кроме оценки боевых качеств и возможных

приемов боевого применения сил вероятным противником позволял как бы со стороны оценить развитие собственного флота, адекватность его сил и средств возможному

противоборству с противником. Особую актуальность такой анализ имеет в современных условиях, когда идет поиск рациональных путей развития (а по существу создания) ВМФ России в новой военно-политической и экономической ситуации. Именно с этих позиций оценивается в статье направленность современного развития многоцелевых подводных лодок ВМС США.

К концу «холодной войны» ВМС США завершили строительство самой многочисленной серии многоцелевых атомных подводных лодок



Атомная подводная лодка «Seawolf» на стапеле



«Seawolf» на полном ходу в надводном положении

(АПЛ) типа «Los Angeles» (SSN 688). Всего в период с 1976 по 1996 г. в состав ВМС вошли 62 АПЛ этого типа нескольких модификаций, на которых были реализованы следующие модернизационные мероприятия:

- снижался уровень подводного шума и повышалась скрытность АПЛ;
- наращивались ударные возможности за счет оснащения АПЛ 12 заборными вертикальными пусковыми установками (ВПУ) типа Mk 45 для крылатых ракет типа «Томагавк» (начиная с 32-й АПЛ серии);

- совершенствовалось радиоэлектронное вооружение (в частности, были внедрены несколько модификаций гидроакустического комплекса AN/BQQ-5, системы управления стрельбой и др.), которое в конечном итоге было интегрировано в единую систему боевого управления AN/BSY-1 (начиная с 40-й АПЛ серии).

В 1989 г. ВМС США приступили к строительству АПЛ нового поколения типа «Seawolf» (SSN 21). Амбициозность этой программы подчеркивалась тем, что была изменена даже традиционная система обозначения — вместо порядкового номера АПЛ новый индекс «SSN 21» означал создание «многоцелевой подводной лодки 21-го века». Первоначально предусматривалось строительство серии из 29 АПЛ. От предшествующих АПЛ типа «Los

Angeles» лодки нового поколения должно было отличать:

- существенное повышение скрытности (снижение уровня шумности на 10—17 дБ, т. е. в 3—7 раз по сравнению с АПЛ усовершенствованной модификации SSN 688I [1]) и увеличение поисковой (тактической) скорости хода до 20 уз¹;

- оснащение более совершенной интегрированной системой боевого управления AN/BSY-2 с развитой гидроакустической подсистемой (в состав которой, в частности, входят: основная носовая сферическая антенна увеличенного в 1,6 раза диаметра — с 4,57 м до 7,32 м; специализированная крупногабаритная антенна тракта гидролокации; две буксируемых антенны ТВ-16 и ТВ-29; три пары широкоапертурных антенн станции AN/BQG-5 тракта целеуказания торпедному оружию, устанавливаемых вдоль корпуса и выступающих за его обводы);

- изменение структуры ударного вооружения за счет отказа от размещения ВПУ, увеличения количества торпедных аппаратов с 4 до 8 калибром 660 (762) мм, боекомплекта — с 26 до 50 ед.;

- увеличение испытательной (предельной) глубины погружения с 450 до 600 м [1, 2];

- увеличение скорости полного хода до 35 уз (по данным справочника «Jane's Fighting Ships» [2]) — до

39 уз) против 32—33 уз у АПЛ типа «Los Angeles»² [1];

- способность вести боевые действия в арктических районах с постоянным ледовым покровом.

Направленность совершенствования боевых качеств АПЛ типа «Seawolf» в основном являлась традиционной для многоцелевых подводных лодок ВМС США и носила эволюционный характер. По оценке работы [3] боевая эффективность АПЛ типа «Seawolf» должна была возрасти по сравнению с головной АПЛ типа «Los Angeles» (SSN 688) в 4,07 раза, по сравнению с АПЛ усовершенствованной модификации SSN 688I — в 2,75 раза.

Столь высокие боевые качества были необходимы АПЛ для успешного ведения боевых действий против ВМФ Советского Союза «на передовых рубежах», в том числе, в ближней операционной зоне советского флота, где он мог обеспечить господство своих боевых сил и средств. На АПЛ типа «Seawolf» возлагались прежде всего задачи борьбы с силами флота противника — стратегическими и многоцелевыми подводными лодками, боевыми надводными кораблями. При благоприятных условиях они могли наносить удары крылатыми ракетами «Томагавк» по наземным объектам. Однако из-за отказа от размещения вертикальных пусковых установок АПЛ типа «Seawolf» уступали в мощи ракет-

¹ По мнению автора, данные цифры не вполне соответствуют действительности. Нет сомнения, что акустические характеристики АПЛ типа «Seawolf» действительно должны были улучшиться, но реальный уровень их изменения вряд ли достигает декларируемых значений.

² В публикуемых за рубежом данных скорости полного хода подводных лодок ВМС США, как правило, завышаются, а по мощности главной энергетической установки приводятся неоднозначные данные. По оценке автора, скорость полного хода АПЛ типа «Seawolf» не превышает 32—33 уз при мощности ГЭУ 45 000 л. с. или 35—36 уз при мощности 60 000 л. с.; скорость полного подводного хода АПЛ типа «Los Angeles» составляет 30—31 уз.

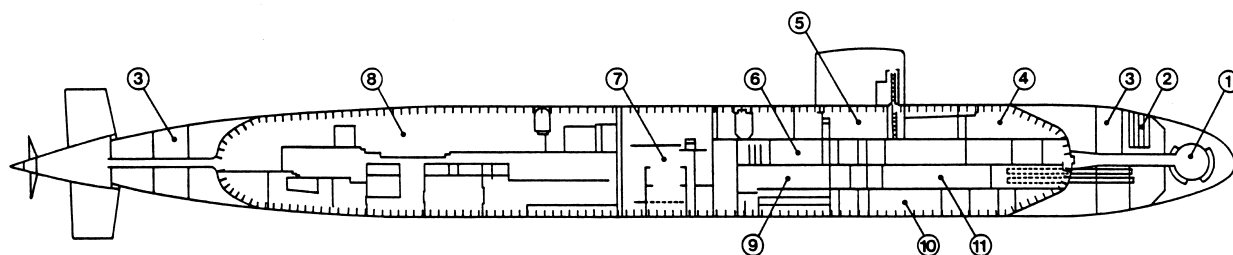


Схема атомной подводной лодки типа усовершенствованный «Los Angeles»:

1 — сферическая капсула антенны гидроакустического комплекса; 2 — ячейка вертикальных пусковых установок Mk45; 3 — цистерны главного балласта; 4 — рубка гидроакустики; 5 — главный командный пункт; 6 — столовая экипажа; 7 — реакторный отсек; 8 — отсек энергетической установки; 9 — вспомогательные механизмы; 10 — аккумуляторная яма; 11 — выгородка торпедного оружия

ного залпа АПЛ типа «Los Angeles» не менее чем в 1,5–2 раза.

Особенности торпедно-ракетного вооружения АПЛ типа «Seawolf», вероятно, обусловлены ориентацией, главным образом, на борьбу с одиночными кораблями или небольшими корабельными группами противника. При этом мощное гидроакустическое вооружение должно было обеспечить упреждающее обнаружение противника. Можно предположить, что увеличение калибра торпедных аппаратов (660 мм в казенной части и 762 мм в передней части) имело целью обеспечить скрытное выполнение первого залпа телеуправляемыми торпедами методом самовыхода¹ или с использованием турбонасосной силовой установки в режиме малозумного выстрела. В случае уклонения противника от первого удара или его отражения средствами самообороны увеличенное количество торпедных аппаратов позволяло АПЛ типа «Seawolf» вести подводную дуэль со взаимным обменом ударами.

Вызывающий удивление отказ от размещения на АПЛ типа «Seawolf» вертикальных пусковых установок для крылатых ракет может быть объяснен ожиданием жесткого противодействия при попытке занять стартовую глубину и выполнить залп, а также ориентацией преимущественно на борьбу с подводными лодками и отдельными надводными кораблями, а не на нанесение мощных ударов по береговым объектам, прикрываемым средствами ПВО.

Таким образом, «АПЛ 21-го века» должна была стать лодкой-бойцом, которая предназначена для

взламывания обороны советского флота, уничтожения его боевых кораблей и стратегических ракетносцев. Успешное решение этих задач АПЛ типа «Seawolf» создавало в районах, непосредственно прилегающих к территории СССР, благоприятные оперативные условия для использования группировок надводных кораблей (авианосных соединений, оперативных ракетных групп), которые обладают большей, чем подводные лодки, ударной мощностью², но имеют меньшую боевую устойчивость.

Однако еще до вступления в строй головной АПЛ «Seawolf» произошел развал Советского Союза. Экономику России поразил глубокий системный кризис, экономический потенциал страны стал катастрофически сокращаться. Прямо зависящая от состояния экономики военная мощь государства стала таять на глазах. В этих условиях Россия оказалась не способна продолжать глобальное соперничество с США и блоком НАТО.

В изменившейся военно-политической обстановке США пришли к выводу о возможности сокращения состава и объемов финансирования своих вооруженных сил. ВМС объявили, что в новых условиях строящиеся АПЛ типа «Seawolf» уже не соответствуют их потребностям и финансовым возможностям. Решено было свернуть программу серийного строительства и ограничиться достройкой двух заложенных АПЛ — «Seawolf» (SSN 21) и «Connecticut» (SSN 22). Впоследствии для сохранения непрерывности производственного цикла верфи Electric Boat (г. Гротон, шт. Кон-

нектикут) и во избежание нарушения кооперации предприятий и утраты технологий подводного кораблестроения было принято решение построить и третью АПЛ, которая получила название «Jimmy Carter» (SSN 23). В настоящее время ее строительство идет по измененному проекту. В средней части корпуса врезается секция (длиной около 20–25 м) с оборудованием и устройствами, предназначенными для решения разведывательных задач и выполнения специальных операций [4]. Ввод в строй этой АПЛ намечен на 2004 г. [5].

Таким образом, АПЛ «Seawolf» стали не столько первыми кораблями 21-го века, сколько последними кораблями «холодной войны». ВМС США достаточно резко изменили вектор развития своего подводного флота, развернув в 1994 г. программу создания новой многоцелевой подводной лодки, которая сначала именовалась «Centurion» («Центурион»), а затем New SSN или New Attack Submarine («Новая многоцелевая АПЛ»). Строительство головной АПЛ нового типа, получившей название «Virginia» (SSN 774), было начато в 1999 г.

Приступая к созданию этой АПЛ, ВМС существенно изменили требования к боевым качествам и тактико-техническим элементам новой подводной лодки. В частности, было признано целесообразным:

не проводить дальнейшего снижения уровня акустического поля и сохранить акустическую скрытность АПЛ на достигнутом уровне (т. е. на уровне АПЛ типа «Seawolf»);

восстановить структуру торпедно-ракетного вооружения, принятую

¹ В печати сообщалось, что принятый диаметр торпедных аппаратов обеспечит в будущем возможность выпуска из них автономных подводных аппаратов различного назначения. Однако информация о создании подводных аппаратов с соответствующими массогабаритными характеристиками и об оснащении ими АПЛ типа «Seawolf» не публиковалась.

² Например, крейсера ВМС США типа «Ticonderoga» могут нести до 122 ракет, а эсминцы типа «Arleigh Burke» — до 90 ракет различных типов, которые используются из ВПУ типа Mk 41.

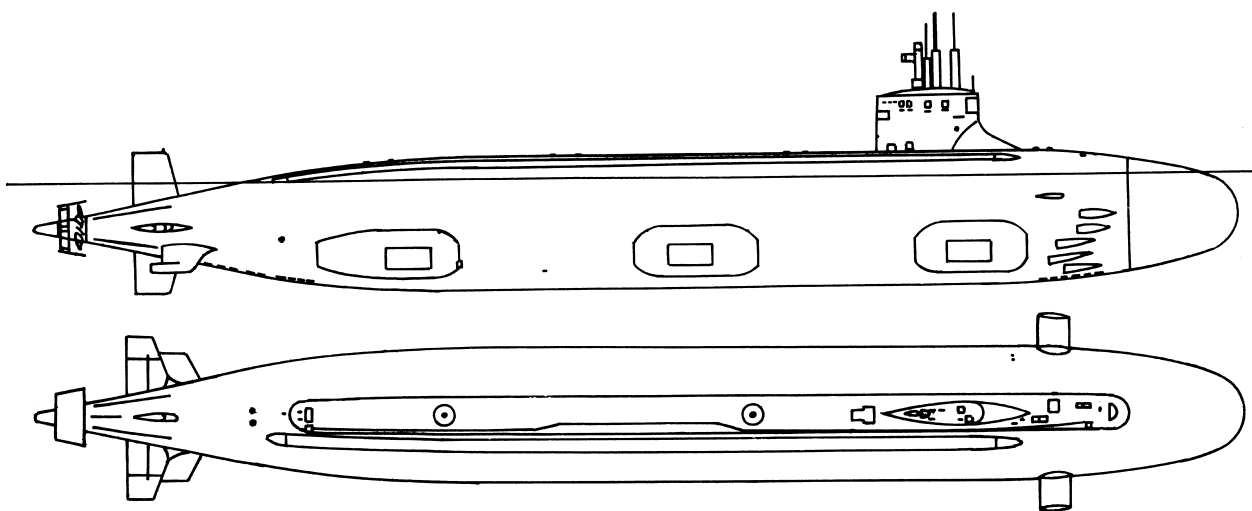


Схема атомной подводной лодки «Seawolf»

на АПЛ типа «Los Angeles» — 12 забортных ВПУ для крылатых ракет, 4 торпедных аппарата калибра 533 мм с боекомплектom 26 ед.;

изначально приспособить новую АПЛ к ведению специальных операций за счет размещения групп командос SEAL в переоборудуемом модуле торпедного помещения, оснащения АПЛ девятиместной шлюзовой камерой, обеспечения приема и транспортировки на палубе АПЛ специальных контейнеров с вооружением DDS и средств доставки типа ASDS (ранее подобные задачи возлагались на АПЛ, выслужившие половину срока службы и частично утратившие боевую эффективность в решении ударных боевых задач);

создать интегрированную систему боевого управления по типу AN/BSY-2, обладающую меньшей стоимостью за счет использования разработанных коммерческих (общепромышленных) комплектующих и операционных систем (технология «COTS» — в буквальном переводе «готовые коммерческие технологии с полки»);

обеспечить способность АПЛ действовать в прибрежных мелководных районах, использовать там свои средства освещения обстановки и вооружение;

сократить глубину погружения АПЛ до 490 м;

оснастить АПЛ новой энергетической установкой типа S9G меньшей мощности (40 000 л. с.) и ограничить скорость полного хода 34 уз¹.

По своему проектно-конструкторскому облику АПЛ типа «Virginia» стала близка к АПЛ типа «Los Angeles», но сохранила часть технических решений, впервые реализованных на АПЛ типа «Seawolf» — движитель типа pump-jet, выступающие за обводы широкоапертурные антенны на корпусе, носовой отсекатель ограждения рубки.

В качестве основных причин перехода к АПЛ нового типа указывались чрезмерная дороговизна АПЛ типа «Seawolf» и необходимость снижения стоимости многоцелевых АПЛ в условиях общего сокращения ассигнований на закупку военной техники — принцип «доступности по стоимости». Ожидалось, что стоимость новой АПЛ будет снижена примерно на 20% по сравнению с АПЛ типа «Seawolf». Считалось, что эта цель будет достигнута, главным образом, путем уменьшения водоизмещения новой АПЛ примерно на 15—20%, а также за счет использования коммерческих технологий (прежде всего, для радиоэлектронного вооружения) и

оборудования общепромышленного назначения.

Подчеркнем, что именно экономический аспект доминировал в публичном обосновании причин отказа от строительства серии АПЛ типа «Seawolf» и перехода к созданию АПЛ типа «Virginia». США впервые в истории атомного подводного кораблестроения создавали прецедент сокращения водоизмещения и стоимости АПЛ при сохранении достаточно высоких боевых качеств. Такой поворот в развитии АПЛ, естественно, не мог не вызвать интерес у моряков и кораблестроителей других стран. Аналогичные подходы к созданию новых кораблей стали активно обсуждаться и в нашей стране, где проблема стоимости кораблей по понятным причинам носит чрезвычайно острый характер².

Учитывая актуальность проблемы, попробуем установить объективную картину того, как отразился переход от АПЛ типа «Seawolf» к АПЛ типа «Virginia» на затратах ВМС США по созданию многоцелевых АПЛ. Для этого выполним анализ данных по стоимости этих АПЛ (табл. 1).

Некоторые расхождения данных могут быть объяснены использованием различных методик расчета

¹ По оценке автора, скорость хода АПЛ типа «Virginia» составит 32—33 уз при мощности 40 000 л. с. или около 34 уз при мощности 45 000 л. с. (обычно мощный ряд АЭУ американских подводных лодок кратен 15 000 л. с.).

² Например, начальник 1 ЦНИИ Минобороны РФ (военного кораблестроения) контр-адмирал И. Г. Захаров в статье «Современные тенденции развития боевых кораблей» («Военный Парад», сентябрь-октябрь 1996 г.) применительно к отечественным АПЛ пишет: «Важным обстоятельством в развитии многоцелевых ПЛ станет, как представляется, снижение стоимости их создания при сохранении достигнутых тактико-технических характеристик... Достаточно сложной, но, видимо, необходимой задачей станет сохранение ранее достигнутых боевых возможностей многоцелевых лодок при снижении их водоизмещения до 5000—6000 тонн». Очевидна полная идентичность принципиального подхода — сокращение стоимости и водоизмещения (в 1,35—1,6 раза по сравнению с АПЛ типа «Барс» или в 1,6—1,9 раза по сравнению с АПЛ типа «Северодвинск» [7]) при сохранении уровня боевых качеств.

стоимости, учета затрат на выполнение комплекса НИОКР по разработке АПЛ, их вооружения и оборудования (с выделением в самостоятельную статью или с отнесением на стоимость серии АПЛ), различным временем выполнения оценок и, соответственно, различными этапами разработки АПЛ типа «Virginia».

Из таблицы видно, что средняя стоимость АПЛ типа «Seawolf» составляет около 2,5 млрд дол., а средняя стоимость АПЛ типа «Virginia», действительно, может быть ниже ее на 13,5—21% (около 1,95—2,1 млрд дол.). Однако это справедливо только в тех случаях, когда не учитываются затраты на разработку проекта АПЛ, новых комплексов вооружения, комплектующего оборудования, технических средств и т. д. При отнесении стоимости комплекса НИОКР на цену АПЛ, как, вероятно, поступило Главное бюджетно-контрольное управление США [8], средняя стоимость первых четырех АПЛ типа «Virginia» даже несколько превышает среднюю стоимость АПЛ типа «Seawolf».

В тех случаях, когда стоимость НИОКР выделяется в самостоятельную статью затрат, их величина, по данным Независимой комиссии [7], достигает 4,68 млрд дол. Аналогичные данные приводятся в [10], где указывается, что стоимость разработки АПЛ составит 3,7 млрд дол., а системы боевого управления около 1 млрд дол. Таким образом, затраты на комплекс НИОКР по созданию АПЛ типа «Virginia», эквивалентны стоимости постройки двух АПЛ типа «Seawolf» и практически «съедают» экономию от первых 10 или 15 АПЛ типа «Virginia» (при сокращении стоимости АПЛ на 21 и 13,5% соответственно). То есть реальная экономия затрат на разработку и постройку многоцелевых АПЛ может быть получена только начиная с 11-й или 16-й АПЛ типа «Virginia». Исходя из того, что в настоящее время ВМС США ежегодно заказывают по одной АПЛ типа «Virginia», ожидать экономии затрат от перехода к строительству многоцелевых АПЛ нового типа в ближайшем десятилетии не приходится.

Более того, содержание в составе ВМС двух типов АПЛ («Seawolf» и «Virginia») сопряжено с дополнительным увеличением эксплуатационных затрат (материально-

Таблица 1

Стоимость АПЛ типов «Seawolf» и «Virginia», млрд дол.

Источник информации	Показатель	«Seawolf» (SSN 21)	«Virginia» (SSN 774)
Материалы «Независимой комиссии по анализу характеристик «New SSN» (май 1994) [7]	Комплекс НИОКР	7,089	4,681
	1-я АПЛ	2,676	2,237
	2-я АПЛ	2,192	1,843
	3-я АПЛ	2,499	1,746
	Средняя цена АПЛ	2,456	1,942
Доклад Конгрессу США Главного бюджетно-контрольного управления (декабрь 1996 г.) [8]	Относительная цена	100%	79%
	1-я АПЛ	—	3,272
	2-я АПЛ	—	2,543
	3-я АПЛ	—	2,093
	4-я АПЛ	—	2,112
Контрактные данные из USNI Proceedings [9]	Средняя цена АПЛ	2,456	2,505
	Относительная цена	100%	102%
	Первые 4 АПЛ	—	по 2,6
	5-я АПЛ и последующие	—	по 1,65
	Средняя цена АПЛ	2,456	2,125 (для 8 АПЛ)
	Относительная цена	100%	86,5%

техническое обеспечение, подготовка личного состава, ремонт и т. д.). Нельзя также забывать, что в определенном смысле оказались неэффективно израсходованными 7 млрд дол. на комплекс НИОКР по созданию АПЛ типа «Seawolf» [7], которые не дали отдачу в виде изначально намеченной серии кораблей. Таким образом, при комплексном учете затрат «экономичность» АПЛ типа «Virginia» становится весьма сомнительной.

По мере продвижения проекта «доступность по стоимости» АПЛ типа «Virginia» становится все более иллюзорной. В 2000 г. появились оценки аналитической Службы исследований Конгресса США [11], в которых стоимость серийных АПЛ типа «Virginia» принимается уже на уровне 2 млрд дол., а не 1,65 млрд дол., как считалось в 1998 г. [9]. Таким образом, при практически равной стоимости головных АПЛ «Seawolf» (SSN 21) и «Virginia» (SSN 774) — по 2,5—2,6 млрд дол., становятся близкими по цене и серийные лодки — около 2,0—2,2 млрд дол. Это означает, что переход от АПЛ типа «Seawolf» к АПЛ типа «Virginia» даже без учета стоимости НИОКР в действительности не ведет к сокращению номинальной стоимости многоцелевых АПЛ ВМС США.

Возможно, что экономическая версия перехода к АПЛ типа «Virginia» изначально предназначалась лишь для публичного продвижения через Конгресс США нового проекта, требовавшего значитель-

ных государственных ассигнований, а также «на экспорт». Но нельзя исключать и искреннего заблуждения административного аппарата ВМС в том, что корабль меньшего водоизмещения всегда должен обладать меньшей стоимостью. К сожалению, даже проектанты-профессионалы часто упускают из виду, что в соотношении «водоизмещение—стоимость» действуют еще два фактора — уровень боевых качеств корабля и уровень применяемых технологий. Поэтому прямолинейное использование принципа «чем меньше, тем дешевле» попросту некорректно. Это имеет следующее объяснение.

В действительности водоизмещение и стоимость любого корабля — это отражение соответственно материальных и финансовых затрат на реализацию заданных боевых и эксплуатационных качеств. В общем случае величина водоизмещения пропорциональна уровню качеств корабля и обратно пропорциональна уровню применяемых технологий, которые определяют общепроектные решения корабля и массогабаритные характеристики применяемых комплексов оружия, вооружения, технических средств и оборудования:

$$D \sim [ТЭ]/[УТ],$$

где D — нормальное (надводное) водоизмещение корабля; $[ТЭ]$ — уровень тактико-технических элементов корабля; $[УТ]$ — уровень технологий, применяемых в проекте корабля.



«Seawolf» перед выходом в море

Наращивание боевых и эксплуатационных качеств корабля, которые выражаются через его тактико-технические элементы, ведет к увеличению водоизмещения, а повышение уровня используемых технологий, наоборот, к его сокращению. Отсюда, например, понятно, что происходивший в ходе эволюции рост водоизмещения АПЛ был обусловлен ростом их боевых качеств при оставании уровня используемых технологий. Так, например, увеличение дальности обнаружения малозумных целей сопровождалось значительным увеличением размеров и массы гидроакустических антенн, ростом объема аппаратной части.

Стоимость же корабля пропорциональна не только его водоизмещению (то есть массе и размерам корабля), но и уровню используемых технологий, причем, как показывает опыт, в степени с показателем больше единицы:

$$C \sim [D] \cdot [Y]^n,$$

где C — стоимость корабля; $n > 1$ — показатель степени, отражающий нелинейность зависимости стоимости корабля от уровня реализуемых в проекте технологий.

Применение более совершенных технологий, как правило, ведет

к росту стоимости корабля. Наглядным примером тому является сопоставление стоимости отечественных АПЛ пр. 671 и 705, создававшихся примерно в один период. За счет реализации принципиально новых технологий удалось сократить водоизмещение АПЛ пр. 705 примерно в 1,5 раза по сравнению с АПЛ пр. 671. Однако ее стоимость оказалась существенно выше, чем у АПЛ проекта 671: для головных АПЛ — в 2 раза, для серийных — в 3 раза.

Таким образом, очевидно, что сокращение водоизмещения в общем случае неадекватно сокращению стоимости корабля. Использование такой зависимости корректно и допустимо только при сопоставлении кораблей с близкими уровнями боевых качеств и реализуемых технологий (например, при создании модификации или при модернизации корабля). Однако, как показывает опыт разных стран, принцип «чем меньше, тем дешевле» оказывается очень живучим, несмотря на отмеченные особенности взаимосвязи «стоимость—водоизмещение», внутреннюю противоречивость соотношения «боевая эффективность \Leftrightarrow стоимость» и, наконец, на исторический опыт¹. Это объясняется тем, что, с одной стороны, он соответствует естественному желанию фло-

та, как заказчика, получить эффективный корабль за возможно меньшие деньги, а с другой стороны, этот принцип активно эксплуатируется определенными финансово-промышленными группами всякий раз, когда открывается перспектива получения новых контрактов и возникает необходимость обойти конкурента, работающего «по правилам». В этом отношении пропаганда возможности создания малого и дешевого, но при этом высокоэффективного корабля есть не что иное, как использование «черного пиара» в недобросовестной конкурентной борьбе. Преодолеть искушение поддаться иллюзии о возможности создания такого корабля можно только благодаря здравому смыслу и осознанию неизбежной ответственности за принимаемые решения. Технику обмануть невозможно.

Вероятно, реальная ситуация с «сокращением затрат» при переходе к АПЛ типа «Virginia» становится очевидной уже не только для специалистов, но и для «подводного общества» США². В результате в последнее время направленность публикаций об АПЛ типа «Virginia» изменилась и упоминания о ее «дешевизне» появляются все реже. Более того, перед ВМС начинают вставать новые проблемы — поддержание достаточной численности многоцелевых АПЛ в составе флота и необходимость увеличения ассигнований на их строительство. Их корни кроются в резком сворачивании программы строительства АПЛ типа «Seawolf», приводящем к шестилетнему перерыву (с 1998 по 2004 гг.) в пополнении ВМС многоцелевыми АПЛ. Учитывая естественное выбытие из состава флота АПЛ типа «Los Angeles», командование ВМС прогнозирует возможность сокращения после 2015 г. численности многоцелевых АПЛ ниже минимально допустимого уровня в 55 кораблей. Для преодоления «кризиса выпелов» требуется увеличить темп строительства АПЛ типа «Virginia» с одной АПЛ в год, как запланировано в настоящее время, до двух—трех. В соответствующей пропорции

¹ Например, как отметили в своем докладе на международном симпозиуме «Warship '99» в Лондоне технический директор фирмы Marconi Astute Class Ltd П. Таскер и менеджер проекта АПЛ «Astute» Н. Уиллкокс, аналогичную проблему пришлось преодолевать разработчикам новой британской АПЛ «Astute».

² Submarine community — принятое в США наименование неформального сообщества людей, связанных в прошлом и настоящем с созданием и эксплуатацией подводных лодок. Объединяет общественные организации, в среде которых формируется общественное мнение о подводном флоте США.

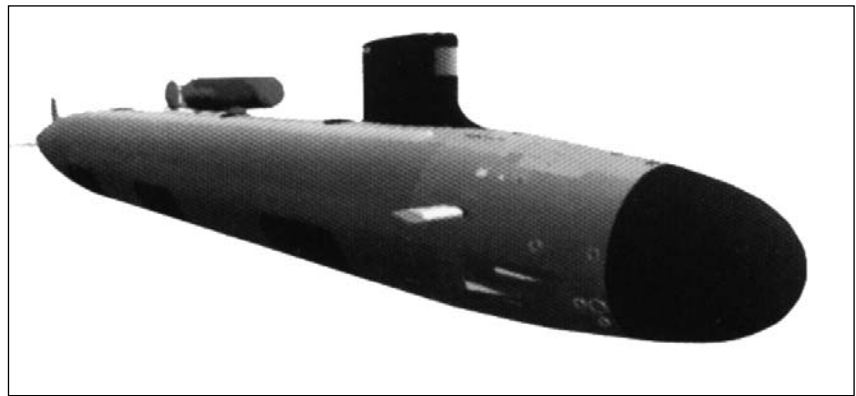
должны быть увеличены и ассигнования на строительство новых АПЛ. Исходя из шестилетнего технологического цикла постройки АПЛ типа «Virginia», США стоят перед необходимостью начать не позже 2006 г. наращивание ассигнований против предусмотренных действующими долгосрочными планами [11].

Несмотря на изначальную проблематичность достижения экономического эффекта в сокращении совокупных затрат при переходе к АПЛ типа «Virginia», нельзя не отметить, что ВМС США предприняли вполне рациональные меры по сокращению стоимости новой многоцелевой АПЛ за счет ограничения или даже снижения требований к ее боевым качествам. В частности, ВМС сочли возможным: не проводить дальнейшее наращивание скрытности АПЛ, что являлось неотъемлемым элементом эволюции подводных лодок в течение последних 40 лет, когда снижение шумности происходило не только от одного типа ПЛ к другому, но и в ходе серийного строительства от корабля к кораблю; сократить потенциал гидроакустического комплекса — основного средства подводного наблюдения ПЛ; сократить совокупный боекомплект ракетного и торпедного вооружения; уменьшить скорость полного подводного хода и глубину погружения АПЛ.

Почему же стало возможным такое изменение боевых качеств и направленности развития многоцелевых АПЛ ВМС США?

Ответ на этот вопрос очевиден. Изменились условия боевого применения — должны меняться и сами подводные лодки. С окончанием «холодной войны» США лишились соизмеримого по военной мощи вероятного противника. В обозримой перспективе США будут сталкиваться с противниками, которые существенно уступают им по боевым возможностям своих вооруженных сил и по доступным экономическим ресурсам. Именно это изменение ситуации позволило США приступить к количественному сокращению своих вооруженных сил и изменить требования к качественному уровню боевой техники.

В 1997 г. ВМС США приняли решение о сокращении численно-



Проектный вид атомной подводной лодки нового поколения «Virginia»

сти многоцелевых АПЛ с 78 до 55 ед. Еще раньше ВМС США стало очевидно, что боевая мощь «Seawolf» уже неадекватна возможному противодействию со стороны противника. Именно это и послужило реальной причиной изменения военно-технической политики США в подводном кораблестроении и развертывания работ по программе New SSN.

Требования к боевым качествам АПЛ типа «Virginia» во многом определяются характером потенциальных военных конфликтов ближайшего будущего и задачами, которые в них будут возложены на многоцелевые АПЛ. США переносят центр тяжести с подготовки к широкомасштабным ядерным войнам к локальным войнам нового типа, которые в теории военного искусства относятся к войнам 6-го поколения [13]¹. Победа в них достигается массированным применением высокоточного оружия, которое парализует экономику и управление вооруженными силами противника. Удары наносятся с больших дистанций («бесконтактно»), исключая возможность поражения носителей. Подобные боевые операции были успешно проведены США против Ирака (1990—1991 гг., 1998 г.), Югославии (1999 г.), афганских талибов (2001—2002 гг.).

В войнах 6-го поколения ВМС отводится весьма важная роль. Соединения боевых кораблей первыми приходят в район будущих боевых действий, блокируют противника с моря, оказывают на него силовое и морально-политическое давление. С началом активной фазы боевой операции корабли ВМС совместно с авиацией наносят по противнику

«обезоруживающие» удары высокоточным оружием. После подавления системы ПВО удары приобретают массированный характер за счет привлечения авианосной и армейской авиации и наносятся до полной дезорганизации сопротивления противника.

При действиях против относительно слабого противника основное боевое свойство подводных лодок — боевая устойчивость — востребуется не в полной мере. Но важнейшим принципом использования вооруженных сил США в боевых операциях является минимизация собственных потерь, к которым весьма чувствительно общественное мнение страны. Поэтому значительные усилия затрачиваются на создание благоприятного оперативного режима в районе боевых действий, и в этом важнейшую роль играют многоцелевые подводные лодки. Являясь авангардом корабельной группировки, они заблаговременно проводят разведку обстановки и, при необходимости, могут выполнить «зачистку» будущего района маневрирования ударной группировки надводных кораблей от сил противника. После прихода основной ударной группировки многоцелевые АПЛ обеспечивают ее передовое охранение, применение высокоточного оружия, проведение специальных и десантных операций. Таким образом, на такие лодки возлагаются функции обеспечения действий основной ударной группировки, ядро которой составляют надводные корабли — авианосцы, корабли классов «крейсер» и «эсминец» с большим боекомплексом крылатых ракет.

¹ Войнами 1-го поколения считаются войны древности, в которых применялось в основном холодное оружие. Войны 2-го поколения — войны средних веков с применением гладкоствольного огнестрельного оружия. 1-я мировая война с расширяющимся применением военной техники стала войной 3-го поколения, а 2-я мировая — войной 4-го поколения. Войны с широкомасштабным применением ядерного оружия относятся к войнам 5-го поколения.

Таблица 2

Основные тактико-технические элементы ПЛ ВМС США [2]

Наименование	АПЛ типа «Los Angeles» (SSN 688)	АПЛ типа «Seawolf» (SSN 21)	АПЛ типа «Virginia» (SSN 774)
Водоизмещение, т:			
надводное	6082	8060	—
подводное	6927	9142	7800
Главные размерения, м:			
длина корпуса	110,0	107,6	114,9
ширина корпуса	10,1	12,9	10,4
осадка	9,9	10,9	9,3
Скорость полного подводного хода, уз	32	39	34
Вооружение:			
торпедные аппараты (калибр, мм)	4(533)	8(660/762)	4(533)
боекомплект	26	50	26
ВПУ	12	—	12
Глубина погружения, м	450	594	488
Численность экипажа, чел.	133	134	134

Для выполнения возложенных на них задач в локальных вооруженных конфликтах АПЛ типа «Virginia» имеют следующие проектные особенности:

ориентация на действия в прибрежных водах, в том числе, на мелководье (очевидно, что при этом большая глубина погружения и высокая скорость являются излишними);

оснащение средствами радиоэлектронной разведки (AN/WLQ-4(V), AN/BLQ-10); исследуется возможность использования с подводных лодок беспилотных летательных аппаратов для тактической разведки побережья противника;

принятие состава ракетного и торпедного вооружения, позволяющего успешно бороться с легкими надводными кораблями противника классов «корвет» и «эсминец» включительно, с подводными лодками, а, при необходимости, наносить удары и по береговым целям; в перспективе ставится задача поражать подвижные наземные цели (например, передвижные комплексы противовоздушной обороны и противокорабельных ракет береговой обороны) малогабаритными баллистическими ракетами типа АтасМС (Army Tactical Missile System) с дальностью стрельбы до 300 км;

предполагается оснащение АПЛ подводными аппаратами, предназначенными для поиска и уничтожения минных заграждений противника, препятствующих действиям надводных кораблей и проведению десантных операций;

обеспечивается возможность скрытно доставлять и высаживать

подразделения сил специального назначения, на которые возлагаются функции осуществления целеуказания и наведения крылатых ракет и авиации, ведения диверсионно-разведывательных действий, инженерной разведки районов высадки десанта.

Таким образом, АПЛ типа «Virginia» в отличие от АПЛ типа «Seawolf» не предназначены для взламывания обороны противника и борьбы с его превосходящими силами. Они будут действовать против относительно слабого противника, решая задачи обеспечения действий основных ударных сил. Вместе с тем, они должны обладать такими новыми качествами, как способность действовать в прибрежных надводных районах с особыми условиями работы гидроакустических средств и систем самонаведения оружия, в районах с высокой минной опасностью, а также быть способными участвовать в операциях специальных сил. Таким образом, АПЛ типа «Virginia» — это корабль, соответствующий специфическим условиям боевого применения ВМС США в период после окончания «холодной войны» (табл. 2).

В целом же можно сделать вывод о том, что переход от АПЛ типа «Seawolf» к АПЛ типа «Virginia» не следует оценивать как регресс в развитии боевых качеств многоцелевых АПЛ. Это шаг к созданию корабля, предназначенного для боевого применения в новых специфических условиях. При этом предполагается, что использование новых АПЛ будет происходить в операциях с качественным и

количественным превосходством вооруженных сил США.

Проведенный анализ приводит к заключению, что АПЛ типа «Virginia» по своим качествам является кораблем, отвечающим специфическим особенностям боевого применения ВМС США. Для остальных стран, в том числе стран блока НАТО, не обладающих индивидуальным превосходством над вероятным противником и ориентированных на боевое применение, главным образом, в составе национальных флотов, данный тип многоцелевой АПЛ не является приемлемым. Поэтому, например, тенденции развития АПЛ Великобритании (АПЛ типа «Astute»), Франции (АПЛ типа «Barracuda») отличаются от рассмотренных и несут характер эволюционного наращивания боевых качеств, которое сопровождается ростом их водоизмещения. Общая для всех стран проблема сокращения стоимости высокотехнологичных и наукоемких образцов вооружения, каковыми являются современные АПЛ, решается другими методами и ориентируется не столько на сокращение стоимости постройки, сколько на уменьшение (или ограничение роста) стоимости всего жизненного цикла корабля.

Литература

1. Александров Ю. И., Гусев А. Н. Боевые корабли мира на рубеже XX—XXI веков. Часть 1. Подводные лодки. Справочник. СПб.: Галера Принт, 2000.
2. Jane's Fighting Ships, 2001—2002.
3. Carlson C. P. How Many SSNs Do We Need? //USNI Proceedings. 1993. Vol. 119. No 7.
4. Davis John P. USS Jimmy Carter (SSN 23) Expanding Future SSN Missions. Undersea Warfare, Fall, 1999.
5. Jane's Navy International, January/February, 2000.
6. Антонов А. М. Многоцелевые подводные лодки на пороге XXI века //Гангут. 1998. Вып. 14.
7. New Attack Submarine (NSSN). Independent Characteristics Review «Speed, Signature, Payload, Combat Systems, and Cost Trade-off». May, 1994.
8. «New Attack Submarine. Program Status». United State General Accounting Office. National Security and International Affairs Division. Report to Congressional Committees. 3 December, 1996.
9. USNI Proceedings. 1998. Vol. 124. No 12.
10. Defense Week. 1997. Vol. 18. No 19.
11. Donnelly John New Submarine Goal Could Add \$75 Billion //Defense Week. 14 February 2000.
12. Antonov A. M., Barantsev V. I., Dronov B. F., Kuteinikov A. V. 40 Years of Nuclear Submarines Development — a View of a Designer //Warship'96 International Symposium The Royal Institution of Naval Architects, London, 1996.
13. Слипченко В. Войны будущего. М., 1999.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГРЕБНОГО ВИНТА В НЕОДНОРОДНОМ ПОТОКЕ

С. Б. Старцев, канд. техн. наук (ФГУП ЦНИИ
им. академика А. Н. Крылова)

УДК 623.827:621.039.58

Теоретические расчеты переменных усилий и моментов на крыльевых конструкциях при их работе в неоднородном потоке жидкости, как правило, основаны на вихревых моделях с использованием присоединенных и свободных вихрей. Хорошо зарекомендовавшие себя и наиболее широко применяемые на практике вихревые модели крыльев при прямолинейном движении в жидкости [1] дают основание для аналогичной разработки вихревых моделей при движении крыльевых элементов по криволинейной траектории. В большей степени это относится к лопастям гребных винтов (ГВ).

Известно, что модели расчетов гидродинамических характеристик (ГДХ) гребных винтов на базе вихревой теории еще далеки от совершенства. Так, вихревая модель крыла, движущегося по изогнутой траектории, подробно рассмотрена в работе [2]. Однако использование полученных зависимостей имеет ограничения вследствие положенного в основу модели предположения о малости размеров крыла по сравнению с радиусом кривизны траектории его перемещения. Различные виды допущений, схематизированных упрощений приняты при разработке других известных вихревых моделей, но задача создания относительно строгой модели расчета ГДХ крыла при его криволинейном движении до конца не решена.

На базе проведенных исследований разработано компьютерное моделирование крыла с произвольно расположенной осью вращения, при этом относительные размеры крыла и параметры траектории его перемещения не имели ограничений.

При построении вихревой схемы крыла его поверхность разбивается на n -е количество панелей с размещением на каждой из них трехкомпонентного присоединенного вихря и контрольной точки (рис. 1). Поперечные вихри являются прямолинейными, поэтому вызванные ими скорости вычисляются по общеизвестной зависимости Био-Савара [1].

Основные различия вихревых схем при прямолинейном и криволинейном движениях крыла заключаются в структуре панельного разбиения несущей поверхности и в геометрии присоединенных и свободных вихрей.

Схему разбиения поверхности лопасти на панели целесообразно выбирать с учетом

формы ее наружных обводов и влияния фактора неучтенных площадей, которые при разбиении «выпадают» из общей площади. Лопасть ГВ с достаточно сложной формой поверхности практически невозможно разбить на панели с учетом всей ее площади, поэтому при выборе количества панелей (по размаху и по хорде) необходимо стремиться к максимально учтенной площади.

Радиальное разбиение поверхности лопасти относительно ее центра вращения выполняется равноотстоящими дугами с радиусами закругления, сохраняющими равенство ширины всех полос. Лучами, проведенными из центра вращения лопасти, ее поверхность разбивается на определенное количество панелей. Каждая панель заменяется присоединенным вихрем, состоящим из поперечного прямолинейного и двух свободных геликоидальных вихрей, которые имеют постоянную погирь, определяемую шагом гребного винта и расстоянием от точки их «зарождения» до оси вращения лопасти. Суммарная скорость, вызванная трехкомпонентным вихрем, равна сумме вызванных скоростей от всех его составляющих.

Задача построения вихревой модели лопасти ГВ сводится к выводу выражения для определения скорости, вызванной геликоидальным вихрем, в произвольной точке на поверхности лопасти. Для этого необходимо рассмотреть одиночный дугообразный вихрь с произвольными геометрическими параметрами и вывести искомую зависимость. Схема относительного расположения вихря и точки расчета вызванной им скорости показаны на рис. 2.

Для расчетов можно применить зависимость Био-Савара [1], если произвести разбиение геликоидального вихря на множество элементарных прямолинейных отрезков и вычислить искомое значение скорости в виде суммы скоростей, вызываемых составляющими вихрями-отрезками:

$$V_d = \sum_1^N V_{\text{при}i}, \quad (1)$$

где V_d — скорость, вызванная геликоидальным вихрем, м/с; $V_{\text{при}i}$ — скорость, вызванная i -м прямолинейным вихрем, м/с; N — общее количество компонентных прямоли-

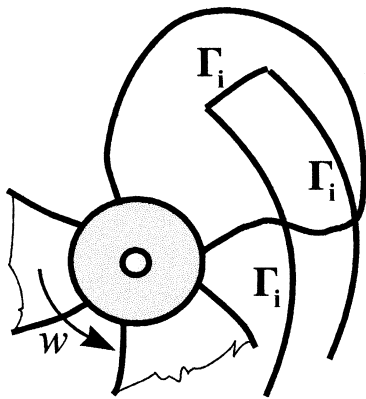


Рис. 1. Схема расположения трехкомпонентного геликоидального вихря с циркуляцией Γ_i на поверхности лопасти гребного винта

нейных отрезков геликоидального вихря.

Для вывода искомой зависимости необходимо выполнить ряд геометрических построений (см. рис. 2): 1) центр погиби вихревого шнура (точка С) соединить с началом вихря (точка А); 2) разбить дугу вихря на прямолинейные отрезки — приняв за начало разбиения отрезок АС, из точки С провести лучи, пересекающие ось вихря через рационально выбранный постоянный угол $\Delta\varphi$; 3) соединить контрольную точку М с концами всех прямолинейных вихрей и провести перпендикуляры к их осям.

При выполнении этих построений приняты следующие обозначения: R_i — расстояние от точки М до i -й точки (левый конец прямолинейного вихря); r — радиус погиби вихря; p — длина прямолинейных вихрей, в совокупности составляющих

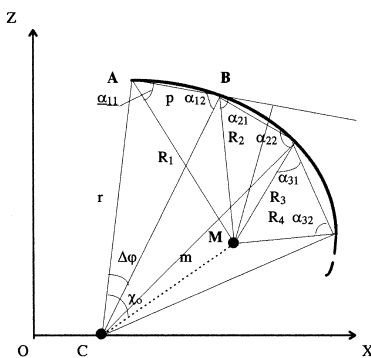


Рис. 2. Схема разбиения дугообразного вихря на конечные элементы:
 (•) А — начало дугообразного вихря;
 (•) С — центр погиби оси вихря;
 (•) М — точка определения вызванной скорости

дугообразный вихрь; α_{ij} — угол между осью i -го прямолинейного вихря и отрезками, соединяющими его концы с контрольной точкой ($j = 1$ — левый отрезок; $j = 2$ — правый отрезок); χ_0 — угол, определяющий положение контрольной точки по отношению к началу дуги вихря (точка А) и ее центра кривизны (точка С), $\chi_0 = \angle ACM$; m — расстояние от центра кривизны вихря до контрольной точки $m = CM$; h_i — длина перпендикуляра из точки М до оси i -го вихря.

При соединении точек пересечения проведенных лучей с осью вихря получается множество прямолинейных отрезков, в совокупности составляющих ломаную линию, аппроксимирующую рассматриваемый вихрь. Так как угол $\Delta\varphi = \text{const}$, все отрезки, на которые разбита дуга, равны между собой.

Рассматривая треугольник АВС, можно записать

$$p = 2r \sin(0,5\Delta\varphi) = \text{const}; \quad (2)$$

$$\chi_i = -\chi_0 + \Delta\varphi(i-1); \quad (3)$$

$$R_i = \sqrt{r^2 - 2rm \cos\chi_i + m^2}. \quad (4)$$

Величина нормали от контрольной точки М к i -му вихрю равна:

$$h_i = R_i \sin(\alpha_{i1}). \quad (5)$$

Значения косинусов углов, определяющих положение контрольной точки М по отношению к i -му вихрю, определяются зависимостями

$$\cos\alpha_{i1} = \frac{p^2 + R_i^2 - R_{i+1}^2}{2pR_i}; \quad (6)$$

$$\cos\alpha_{i2} = \frac{p^2 + R_{i+1}^2 - R_i^2}{2pR_{i+1}}.$$

Значение скорости, вызванной дугообразным вихрем в точке М, определяется в виде суммы

$$V_{Y_M} = -\frac{\Gamma_B}{4\pi} \sum_{i=1}^N \frac{1}{h_i} (\cos\alpha_{i1} + \cos\alpha_{i2}). \quad (7)$$

Разница квадратов близлежащих радиусов равна:

$$R_i^2 - R_{i+1}^2 = 4rm \sin[0,5(\chi_i + \chi_{i+1})] \cdot \sin[0,5(\chi_i - \chi_{i+1})]. \quad (8)$$

После подстановки всех промежуточных величин (2÷6, 8) в (7) получается окончательное выражение для определения скорости, вызванной дугообразным вихрем в контрольной точке М с произвольными координатами (x_M, y_M, z_M):

$$V_{Y_M} = \frac{V_\infty B_{cp} \bar{\Gamma}_B}{2\pi} k_s.$$

$$\cdot \sum_{i=1}^N \left\{ \frac{r \sin^2(0,5\Delta\varphi) + 0,5m(\cos\chi_{i+1} - \cos\chi_i)}{[r \sin^2(0,5\Delta\varphi) + 0,5m(\cos\chi_{i+1} - \cos\chi_i)] R_i} + \frac{1}{\sqrt{r^2 - 2rm \cos\chi_{i+1} + m^2}} \right\}, \quad (9)$$

где V_∞ — средняя скорость набегающего потока, м/с; B_{cp} — средняя хорда лопасти, м; $\bar{\Gamma}_B$ — безразмерная циркуляция вихря, $\bar{\Gamma}_B = \Gamma_B / (V_\infty B_{cp})$; k_s — коэффициент влияния шага геликоидального вихря на величину вызванной им скорости.

С помощью выражения (9) при известном значении интенсивности циркуляции геликоидального вихря Γ_B можно определить вызванную им скорость в любой точке поверхности лопасти ГВ. При расчетах величину радиального разбиения дуг-вихрей на отрезки $\Delta\varphi$ целесообразно принимать в виде константы.

Было проанализировано влияние величины $\Delta\varphi$ на погрешность получаемых результатов, и для обеспечения относительно высокой точности расчетов значение $\Delta\varphi$ в разработанной программе для ПЭВМ принято равным 3° .

Определение вызванной скорости в i -й точке поверхности лопасти, имеющей произвольную ориентацию в плоскости ее вращения, позволяет вычислить суммарную вызванную скорость от всех вихрей модели и перейти к системе алгебраических уравнений, аналогичной для модели крыла при поступательном движении. Количество уравнений соответствует числу панелей на поверхности лопасти согласно схеме ее разбиения.

Для лопасти ГВ, на основе удовлетворения условию непротекания жидкости в контрольных точках, можно записать систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} F_{i1} \bar{\Gamma}_1 + \dots + F_{in} \bar{\Gamma}_n &= -4\pi(R_i/R_{cp}) \sin\alpha_i; \\ F_{n1} \bar{\Gamma}_1 + \dots + F_{nn} \bar{\Gamma}_n &= -4\pi(R_n/R_{cp}) \sin\alpha_n \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где $\bar{\Gamma}_i$ — безразмерная интенсивность циркуляции i -го вихря; F_{ij} — коэффициенты влияния на $\bar{\Gamma}_i$ геометрического расположения j -го вихря по отношению к i -й расчетной точке; R_i — радиус траектории перемещения i -й контрольной точки, м; α_i — угол атаки i -й панели, рад; R_{cp} — средний радиус ($R_{cp} = 0,5[D_{ст} + L_n]$, здесь $D_{ст}$ — диаметр ступицы, м; L_n — средний размах лопасти, м).

Решение системы уравнений (10) позволяет определить все величины $\bar{\Gamma}_i$, а следовательно, и моментно-силовые нагрузки на лопасти ГВ при ее вращении относительно произвольно выбранного полюса с заданным постоянным значением угловой скорости.

Примеры расчета ГДХ крыльев конечного размаха с различными геометрическими характеристиками при вращательном движении по разработанной методике приведены в работе [3].

Выводы. 1. На базе компьютерного моделирования разработан метод расчета моментно-силовых нагрузок ГВ, работающего в неоднородном потоке, позволяющий определять ГДХ лопастей при произвольных искажениях поля скоростей набегающего потока.

2. На основе разработанного метода создана программа расчета на ПЭВМ стационарных и нестационарных моментно-силовых нагрузок на лопастях конечного размаха про-

извольной формы в плане при натекании неоднородного потока.

3. Применение разработанной компьютерной технологии расчета ГДХ крыльев при вращательной траектории их перемещения обеспечит выбор оптимальных геометрических параметров лопастей ГВ для повышения их эффективности и определения требуемых характеристик прочности при эксплуатации.

Литература

1. Белоцерковский С. М., Скрипач Б. К., Табачников В. Г. Крыло в нестационарном потоке газа. М.: Наука, 1971.
2. Аэродинамика/Под ред. В. Ф. Дюрэнда. Оборонгиз, 1939. Т. 1, 2.
3. Старцев С. Б. Исследование нестационарных гидроаэродинамических характеристик крыла конечного размаха при взаимодействии с неоднородным потоком. Дисс. на соискание уч. ст. канд. техн. наук, 1995.

УСТАЛОСТНАЯ ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЛОПАСТЕЙ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ТЕПЛОХОДОВ ТИПА «МАРШАЛ БУДЕННЫЙ»

А. В. Файвисович, докт. техн. наук (НГМА)

УДК 629.037

Надежность любой конструкции определяется способностью ее элементов сопротивляться процессу разрушения, часто являющегося результатом суммарного воздействия переменных нагрузок и поверхностно-активной окружающей среды. В полной мере это относится и к лопастям гребных винтов (ГВ). Кажущаяся бездефектной лопасть в действительности может содержать трещиноподобные дефекты, которые ускоряют процесс образования усталостных трещин. Следует особо отметить, что традиционные методы расчета лопастей ГВ на циклическую прочность не учитывают существование этих дефектов, не рассматривается и стадия роста трещин.

В то же время прогнозирование кинетики разрушения лопасти позволит решать такие задачи, как: нормирование размеров дефектов с учетом их местоположения в лопасти; определение остаточного ресурса лопасти с исходными дефектами; расчетное обоснование продолжительности межосмотрового периода; разработка оптимальных технологий ремонта лопасти ГВ и другие.

Учитывая специфические условия работы ГВ и геометрию самой лопасти, можно заключить, что наибольший практический интерес при

прогнозировании остаточного ресурса представляют поверхностные повреждения. Этому дефекту в данной статье и уделяется основное внимание. В основу положены результаты исследований лопастей ГВ теплоходов (т/х) серий «Маршал Буденный», «Борис Бутoma» и «Крым», выполненных кафедрой технической механики Новороссийской государственной морской академии по договору с Новороссийским морским пароходством [1].

Анализ напряженного состояния лопасти ГВ [2] показывает: на нагнетающей поверхности лопасти возникают растягивающие напряжения, а на засасывающей — сжимающие; распределение напряжений, как вдоль хорды, так и по радиусу лопасти, неравномерное: их значение увеличивается по мере приближения к оси и уменьшения радиуса сечения; амплитудная составляющая напряжений σ_a в любой точке лопасти не превышает $0,25 \sigma_m$ (σ_m — среднее значение циклических напряжений); относительно предела текучести $\sigma_{0,2}$ значения указанных выше составляющих цикла напряжений находятся в пределах $\sigma_m < 0,25 \sigma_{0,2}$ и $\sigma_a < 0,06 \sigma_{0,2}$; увеличение волнения поверхности моря до 8 баллов ведет к росту напряжений в пределах 15%.

Коррозионно-усталостная прочность материала зависит от характера распределения по лопасти основных параметров циклических напряжений: амплитудной составляющей σ_a и коэффициента асимметрии R . Изменение этих параметров вдоль хорд сечений лопасти ГВ т/х «Маршал Буденный», соответствующих относительным радиусам \bar{r} для нагнетающей поверхности, приведено на рис. 1, 2.

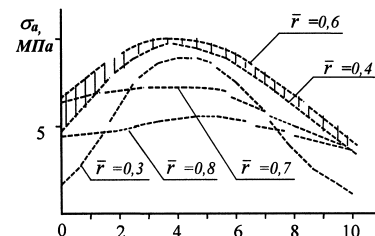


Рис. 1. Распределение напряжений σ_a вдоль хорд сечений

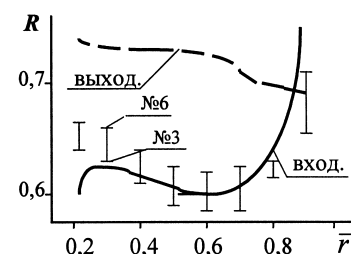


Рис. 2. Изменение величины R на нагнетающей поверхности лопасти

Анализ приведенных данных позволяет сделать следующие выводы: распределение величины σ_a по сечению весьма неоднородно, ее значение возрастает по мере при-

ближения к оси лопасти; с увеличением относительного радиуса r , распределение σ_a становится более однородным; наибольшие значения $\sigma_a \approx 10$ МПа приходятся на среднюю часть лопасти, соответствующую $r = 0,4 \dots 0,6$; наиболее высокие значения $R = 0,76 \dots 0,80$ имеют место у выходящей кромки лопасти; для наиболее нагруженной центральной части лопасти $R = 0,58 \dots 0,66$.

Для оценки усталостной прочности лопасти были проведены испытания ее конструкционного материала

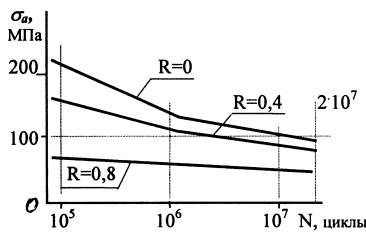


Рис. 3. Коррозионно-усталостные кривые

ла — бронзового сплава марки Бр. А7Мц14ЖЗН2. Образцы с корсетной рабочей частью испытывались на циклическое растяжение при частоте 17 Гц в интервале значений коэффициента асимметрии цикла $R = 0 \dots 0,8$ в искусственной морской воде соленостью 35‰. Значение условного предела выносливости устанавливалось на базе $2 \cdot 10^7$ циклов. Усталостные кривые приведены на рис. 3. Линейная интерполяция коэффициентов уравнений регрессии позволяет получить уравнение кривой выносливости для $R = 0,6$

$$N = 6,31 \cdot 10^{28} \cdot \sigma_a^{-12,3} \quad (1)$$

Экстраполируя зависимость (1) на $N = 10^9$ циклов (примерное число циклов нагружения лопасти ГВ за весь проектный период эксплуатации — 20 лет), получим амплитудное значение условного предела выносливости $\sigma_a = 40$ МПа. Это значение в 4 раза больше расчетной величины σ_a на наиболее нагруженных точках нагнетающей поверхности, что подчеркивает невозможность разрушения «бездефектной» лопасти ГВ только от действия циклической нагрузки и морской воды. Этот вывод, по-видимому, останется без изменения, даже если учесть влияние остаточных напряжений, масштабного фактора, некоторого отличия структуры и механических свойств материала лопасти и

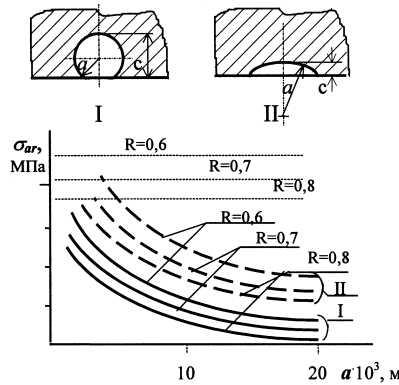


Рис. 4. Влияние типа дефектов (I и II) и размеров на усталостную прочность лопасти

образца и т. д. Наиболее существенная причина возможного разрушения лопасти — наличие в ней различного рода дефектов, возникших как при изготовлении, так и во время эксплуатации гребного винта. Эти дефекты, являясь концентраторами напряжений, способны существенно изменить локальное напряженное состояние лопасти.

Расчетный пример влияния характерных дефектов лопасти ГВ на ее усталостную прочность в интервале значений $R = 0,6 \dots 0,8$ приведен на рис. 4. Были рассмотрены два типа дефекта: первый возникает в процессе изготовления лопасти или ее ремонта (литье, сварка); второй — в период эксплуатации (поверхностные дефекты механического, электрохимического или иного происхождения).

Оба типа дефектов рассматривались в расчете как трещиноподобные. Считали, что амплитудное значение предела выносливости $\sigma_{ar} \approx 0,5 \Delta\sigma_{th}$ ($\Delta\sigma_{th}$ — пороговый размах напряжений):

$$\Delta\sigma_{th} = \Delta K_{th} / [f(a) \cdot a^{1/2}] \quad (2)$$

где $f(a)$ — поправочный коэффициент, учитывающий форму трещины, положение точки на ее фронте и другие факторы; для первого типа $f(a) = 1,616$ ($c/a = 1,35$), для второго типа $f(a) = 1,731$ ($c/a = 0,60$) [3]; ΔK_{th} — пороговый размах коэффициента интенсивности напряжений.

На рис. 4 видно, что оба типа дефектов заметно снижают предел выносливости материала относительно аналогичных значений, полученных при испытании «бездефект-

ных» гладких образцов. Наиболее опасен дефект первого типа, способный снизить предел выносливости материала в 5 раз. В этом случае значения предела выносливости материала и амплитудной составляющей действующих на лопасть ГВ напряжений практически совпадают. При оценке условий зарождения трещины от дефекта следует учесть также наличие остаточных напряжений, коррозионных процессов, влияние масштабного и временного факторов и т. д. Совокупностью воздействия всех перечисленных факторов можно объяснить зарождение трещины в лопасти даже при относительно небольших значениях переменных напряжений.

Приведенный выше анализ распределения циклических напряжений в лопасти свидетельствует о высокой вероятности возникновения в ней трещины. Вероятность зарождения трещины и последующего ее роста увеличивается при наличии в ней трещиноподобных дефектов. Это подтверждается фактами разрушения лопастей ГВ, в том числе рассматриваемой серии судов (разрушение лопастей ГВ т/х «Маршал Рокоссовский»). Поэтому представляется целесообразным нормировать допускаемые размеры возможных дефектов.

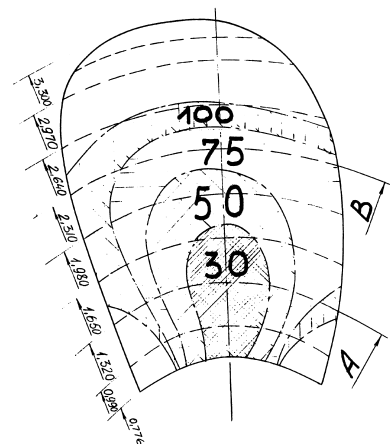


Рис. 5. Геометрия опасных зон на нагнетающей поверхности лопасти

Результаты этой работы приведены на рис. 5, где показаны зоны лопасти ГВ судов серии «Маршал Буденный» с указанием соответствующих допускаемых размеров поверхностных трещиноподобных дефектов. Здесь же приведены области А и В, соответствующие различным уровням ответственности.

Для проведения данного расчета были получены кинетические диаграммы коррозионно-усталостного разрушения и параметры трещиностойкости конструкционного материала лопасти ГВ в морской воде при различных значениях асимметрии цикла нагружения. Исследована кинетика развития поверхностной трещины и определено уравнение, связывающее параметр устойчивой формы трещины с ее характерным размером (глубиной).

Принято, что трещину (дефект) можно считать безопасной, если во всех ее трех точках A, B, C выполняется условие

$$\Delta K_{A,B,C} < \Delta K_{th} \quad (3)$$

где $\Delta K_{A,B,C}$ — размах коэффициента интенсивности напряжений (КИН) в характерных точках фронта поверхностной трещины: A, C — на поверхности, B — в глубине материала; ΔK_{th} — пороговый размах коэффициента интенсивности напряжений.

Расчет проведен по программе, алгоритм которой представлен на рис. 6. В начале расчета (блок 1) вводятся механические характеристики сплава, определяющие его трещиностойкость, и коэффициент запаса k (коэффициент погрешности), характеризующий уровень доверия к экспериментально установленным величинам, напряженно-деформированное состояние (НДС) лопасти и выбранной модели трещины. Примерная оценка величины k может быть сделана на основе формулы (2), куда входят экспериментально устанавливаемая величина ΔK_{th} и значение размаха напряжений $\Delta\sigma$, определенное расчетным путем. Допуская в обоих случаях возможную ошибку в 20%, получаем величину $k = 2,25$. В блоке 2 производится счи-

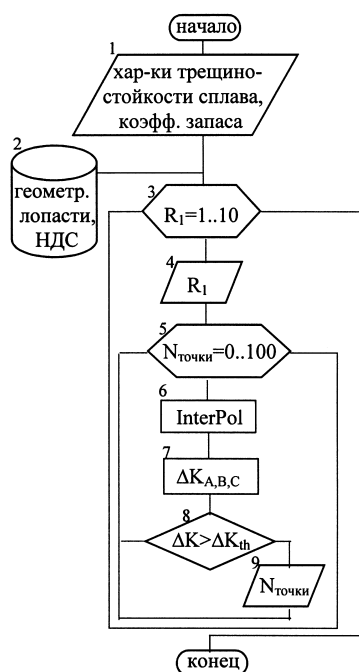


Рис. 6. Алгоритм расчета трещиностойкости лопасти

тывание базы данных геометрии и НДС лопасти. Основной расчет осуществляется в двух встроенных друг в друга циклах (блоки 3 и 5). Наиболее быстро меняется переменная внутреннего цикла (блок 5), когда происходит переход от одной точки хорды сечения лопасти к другой (хорда делится на 100 отрезков). Для каждой точки проводится линейная интерполяция НДС (блок 6) и определяются значения размаха ΔK в точках A, B и C (блок 7), расположенных на концах полуосей эллипса. Критерием роста трещины является выполнение условия, заключенного в блоке 8.

В случае выполнения условия (3) осуществлялся вывод информации о номере точки, соответствующей расположению центра поверхностного трещиноподобного дефекта и значе-

ния скоростей характерных точек A, B и C . Описанная процедура расчета выполнялась для 101 точки хорды сечения, после чего весь внутренний цикл менял внешнюю переменную R_1 , и рассчитывалось следующее сечение лопасти ГВ. Результатом всего расчета была информация о порядковых номерах точек выбранных сечений лопасти и соответствующих значениях скоростей концов полуосей A, B и C полуэллиптической трещины.

Анализ результатов расчета допустимых размеров трещиноподобных поверхностных дефектов (см. рис. 5) позволяет сделать ряд выводов.

1. Геометрия опасных зон существенно отличается от расположения областей A и B , приведенных в регламентирующих документах.

2. Наиболее опасный участок приходится на центральные области нагнетающей поверхности прикорневых и средних сечений лопасти с относительным радиусом $r < 0,6$. Размер этого участка значительно больше зоны A , обозначенной в регламентирующих документах.

3. Рассчитанные размеры допустимых трещиноподобных дефектов в наиболее опасной зоне лопасти сопоставимы с размерами дефектов, которые могут возникнуть при ее изготовлении или ремонте.

4. Представляется возможным нормировать размеры дефектов с учетом их расположения в лопасти.

Литература

1. Прогнозирование долговечности гребных винтов при наличии в них трещин. Технический отчет по договору 136. Новороссийск: НВИМУ, 1990.
2. Анализ напряженного состояния лопастей гребных винтов крупнотоннажных судов/Ю. А. Волков, Н. Ю. Завадовский, А. В. Прокопенко, А. В. Файвисович//Проблемы прочности. 1990. № 11.
3. Механика разрушения/Под ред. В. В. Панасюка. Киев: Наук. думка, 1988. Т. 2.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ СУСПЕНЗИЙ В СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛАХ

С. П. Колпаков, канд. техн. наук (ВМИИ)

УДК 621.431.74:658.5

Повышение эффективности использования органического топлива — актуальная задача общей проблемы экологической безопасности и энергосбережения в современных условиях. Наиболее остро стоит вопрос

экономичного использования топлива (мазута и дизельного топлива) для судовых паровых котлов.

Одним из альтернативных методов уменьшения расхода традиционного топлива может стать сжигание

топливных суспензий. Метод основан на частичном замещении более дорогого вида топлива менее дорогим и обеспечении при этом возможности управления топочным процессом в паровом котле (ПК).

Техническая сторона решаемой задачи заключается в выборе (или создании нового) устройства приготовления топливных суспензий; анализе совместимости данного устройства с топливной системой ПК; текущей оценке и прогнозировании последствий использования нерас-

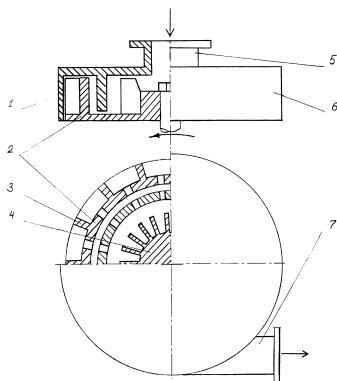


Рис. 1. Принципиальное устройство смесителя-диспергатора РПСД-1,5:

1 — статор; 2 — ротор; 3 — лопасть ротора; 4 — крыльчатка; 5 — фланец подвода обрабатываемой среды; 6 — корпус; 7 — фланец отвода ВТС

четного вида топлива на надежность элементов ПК.

Топливная суспензия состоит из жидкой (горючей или негорючей) дисперсионной среды, в которой равномерно распределены частицы твердого топлива — дисперсной фазы. В качестве горючей дисперсионной среды может быть использован мазут, дизельное топливо; в качестве негорючей — вода. Твердое топливо — это специально подготовленные каменный или бурый уголь, кокс, горючие сланцы, торф, отходы древесины, целлюлозы, а также другие промышленные и бытовые отходы, обладающие относительно высокой теплотой сгорания.

Первые публикации о «коллоидном топливе» стали появляться в Великобритании, Германии, США и Японии, начиная с 1932 г. В 1933 г. шотландский инженер Дэнлоп сделал доклад о топливных суспензиях, где использовались в качестве дисперсной фазы угольные частицы, а дисперсионной среды — масло и нефть. В выводах отмечалась стабильность суспензий и возможность применения их как обычного жидкого топлива. Известно, что в 40-х годах XX века в нашей стране успешно проводились работы по сжиганию в мартеновских печах углемазутных суспензий, содержащих до 30—40% каменного угля. Исследовалась возможность перекачки углемазутных суспензий, в результате чего были получены гидравлические характеристики трубопроводов, насосов и арматуры при различной температуре [1].

Тогда же отмечалась перспективность использования топливных

суспензий в энергетических установках кораблей и судов, имеющих паровые котлы. В 1940 г. проводились опытные сжигания топливных суспензий в ПК на линкоре «Марат».

Выполнялись также работы по сжиганию водоугольных суспензий, получаемых при гидравлическом способе добычи угля. Содержание воды в таких суспензиях достигало 40—55%. Непосредственное сжигание водоугольных суспензий в ПК позволяло обходиться без специальных сушильных и пылеприготовительных цехов. К сожалению, работы не нашли в то время промышленного применения. К 60-м годам, в связи с резким ростом добычи нефти и природного газа в нашей стране, работы в области использования суспензий не выходили за рамки лабораторий. Исследования показали, что применение топливных суспензий дает возможность сократить расход жидкого топлива. В то же время сохраняются преимущества, присущие жидкому топливу: текучесть, простое регулирование подачи в топку, удобное хранение и эффективное сжигание.

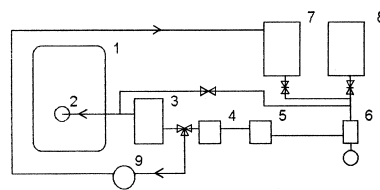


Рис. 2. Принципиальная схема подключения РПСД-1,5 к топливной системе ПК КВВА-7, 5/28:

1 — ПК; 2 — форсунка; 3 — пульт управления горением; 4 — топливный фильтр; 5 — подогреватель топлива; 6 — топливный насос; 7 — цистерна для приготовления ВТС; 8 — топливная цистерна (мазут); 9 — смеситель-диспергатор

В настоящее время в США, Японии, Китае, ЮАР проводятся НИОКР по приготовлению, транспортировке и сжиганию суспензий. В университете штата Пенсильвания (США) осуществлялось опытное сжигание водоугольных суспензий в водотрубном ПК, предназначенном для сжигания газа и мазута [2]. Для приготовления суспензии использовалась угольная пыль с размерами фракций $99,5\% < 200 \text{ мкм}$ и содержанием серы менее 3%. Концентрация угольной пыли соответствовала более чем 50%-й производительности ПК на мазуте. В течение 1000 ч

было сожжено 1000 т суспензии для определения эксплуатационных характеристик, эрозии, коррозии и загрязнения поверхностей нагрева ПК. Исследования подтвердили возможность перевода ПК такого типа с мазута на суспензию без каких-либо конструктивных переделок ПК.

В Японии построен первый завод (200 км от Токио) по производству угольной суспензии в смеси с топочным мазутом. В 1988 г. ввели в эксплуатацию другой завод — по выпуску водоугольных суспензий, представляющих собой смесь измельченного угля, воды и диспергирующих добавок (пластификатора) в количестве 0,4—1% по массе при концентрации угля 60—75%. Отмечается безопасность топлива (исключается опасность самовозгорания и взрыва), возможность перекачки по трубопроводам и сжигание без дополнительной подготовки. По мнению японских специалистов, топливные суспензии найдут широкое применение как в большой, так и малой энергетике [3].

В настоящее время удорожание мазута, связанное с удаленностью нефтедобывающих районов и усложнением способов добычи, сопровождается также ухудшением его качества (прежде всего, это определяется высоким содержанием серы в нефти — 2—3% и более). Очевидно, что даже частичное замещение мазута менее ценным видом топлива может обеспечить определенный экономический эффект. Экономическая эффективность, кроме того, может быть повышена путем улучшения показателей экологичности работы ПК и возможности утилизации отдельных видов отходов.

Важной предпосылкой применения топливных суспензий в качестве топлива для ПК является возможность использования единственного постоянно восполняемого нетрадиционного вида топлива — промышленных и бытовых отходов, а также нефтесодержащих вод.

Экспериментальные исследования некоторых физических свойств и горения топливных суспензий в ПК были проведены на кафедре паросиловых установок ВМИИ с привлечением специалистов по газовому анализу НПО ЦКТИ. Водотопливные суспензии (ВТС) готовились на основе флотского мазута Ф-5 с добавлением до 5% твердой фракции

(угольного порошка, сажи или графита) и до 15% воды [4].

Исследование специалистами проблемной лаборатории теплофизики ВМИИ стойкости (стабильности) ВТС дало удовлетворительные результаты. До 30 сут ВТС сохраняли однородность по структуре, твердая фракция и вода распределялись равномерно по объему мазута. В нижней части проб отслоения воды не наблюдалось.

Экспериментальные исследования кинематической вязкости ВТС в зависимости от содержания твердой фракции, воды и температуры позволили получить номограммы для определения температуры подогрева ВТС, подаваемых к форсункам ПК, вывести формулы расчета кинематической вязкости ВТС в зависимости от содержания твердой фракции, воды и температуры.

Эксперимент по сжиганию ВТС проводился на ПК марки КВВА 7,5/28 в лаборатории паровых котлов ВМИИ. Методика проведения эксперимента обеспечивала возможность сопоставления параметров работы ПК на обычном мазуте и ВТС, приготовленной на основе этого мазута.

Для приготовления ВТС использовали роторно-пульсационный смеситель-диспергатор (РПСД-1,5), принцип действия которого основан на интенсификации массообмена в обрабатываемой смеси путем создания поля мелкомасштабных пульсаций скоростей и давлений. Смеситель-диспергатор (рис. 1) состоит из двух полых коаксиально расположенных цилиндров, один из которых неподвижен — статор, а другой вращается от электропривода — ротор. В цилиндрах ротора и статора вдоль образующих выполнены прорезы, на роторе расположены лопасти и крыльчатка. Ротор и статор смонтированы в корпусе, имеющем патрубки ввода и вывода обрабатываемой среды.

Обрабатываемая среда поступает через патрубок во внутреннюю полость смесителя-диспергатора, последовательно проходит через прорезы цилиндров ротора и статора в радиальном направлении, подвергаясь воздействию поля мелкомасштабных пульсаций давления за счет пульсаций среды в прорезах ротора и статора и в зазоре между ними. Одновременно с этим обеспечивает



Рис. 3. Общий вид РПСД-1,5 при работе:
1 — магистраль подвода обрабатываемой среды; 2 — дюритовый шланг для отвода ВТС

ся дополнительное диспергирование твердой фракции за счет высоких напряжений сдвига.

Технические характеристики РПСД-1,5

Производительность, м ³ /ч	до 1,5
Давление на выходе, МПа	0,16
Габариты (с фланцами, без электродвигателя), мм	300 x 200
Масса без электродвигателя, кг	30
Частота пульсаций, кГц	0,6–1,2
Мощность электродвигателя, кВт	7
Частота вращения вала ротора, мин ⁻¹	2900

Подключение смесителя-диспергатора осуществляется параллельно штатной топливной системе

содержание кислорода, коэффициент избытка воздуха и температуру уходящих газов.

Измерения проводились с дискретностью 2 мин, продолжительность работы на каждом режиме — до 40 мин. Результаты, полученные в ходе эксперимента, а также при проведении тепловых расчетов, приведены в таблице.

Увеличение КПД котла на 0,8–1,2% при содержании воды от 3 до 8% объясняется прежде всего уменьшением коэффициента избытка воздуха при горении ВТС. Результаты анализа уходящих газов показывают уменьшение коэффициента избытка воздуха в условиях эксперимента до 10% по сравнению со сжиганием обычного мазута.

При содержании воды более 12–15% рост КПД котла прекращается, что связано с увеличением расхода тепла на испарение воды.

Содержание графита (сажи или угольного порошка) в ВТС заметно увеличивает светимость пламени, что улучшает условия передачи тепла излучением. Кроме того, перегретый пар, образующийся при испарении воды, вступает в реакцию с

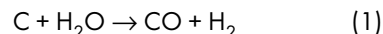
Основные результаты проведенных экспериментов

Показатель	Мазут Ф-5	Мазут—92%, вода—5%, тв. фр.—3%	Мазут—87%, вода—10%, тв. фр.—3%	Мазут—82%, вода—15%, тв. фр.—3%
КПД ПК, %:				
эксперимент	77,24	78,15	77,80	77,23
расчет	77,30	78,53	78,03	77,51
Изменение КПД, %:				
эксперимент	—	+0,91	+0,56	—0,01
расчет	—	+1,23	+0,73	+0,21
Концентрация, %:				
O ₂	9,920	9,030	8,910	9,110
CO ₂	8,330	9,410	9,180	9,230
NO	0,027	0,023	0,021	0,019
CO	0,037	0,024	0,020	0,017
SO ₂	0,0118	0,0114	0,0109	0,0104

ПК и не вносит в нее никаких конструктивных изменений (рис. 2, 3). Материальные затраты при этом минимальны.

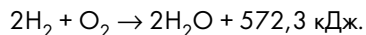
В состав измерительного комплекса, кроме штатного лабораторного оборудования, дополнительно включен газоанализатор марки testo 33. Он позволяет в реальном времени получить информацию о содержании в уходящих дымовых газах оксидов азота (NO, NO₂), углерода (CO, CO₂), серы SO₂, а также

частицами твердой фракции. При этом образуются горючие газы: водород и монооксид углерода:



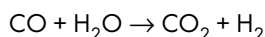
Данная реакция, как известно, используется в промышленности для получения генераторного паровоздушного газа. Условия протекания реакции в технологическом процессе практически полностью соответствуют условиям топочного процес-

са в ПК. Горение полученных компонентов протекает следующим образом:



Таким образом, теоретически при сжигании 1 г графита в составе ВТС выделяется до 47,4 кДж теплоты (без учета затрат тепла на образование CO и H₂ по реакции (1)).

Избыточное количество водяных паров обеспечивает течение так называемой реакции конверсии монооксида углерода, что существенно уменьшает его эмиссию и повышает экологические характеристики котла:



Повышение эффективности использования топлива при сжигании ВТС объясняется также повышением коэффициента теплопроводности продуктов сгорания. Сравним коэффициенты теплопроводности продуктов сгорания обычного мазута (содержание паров воды 10—11%) и продуктов сгорания ВТС (содержание

паров воды 19—20%). В интервале температур от 500 до 1000 °С коэффициент теплопроводности продуктов сгорания ВТС увеличивается соответственно до 7,54% (при 500 °С) и до 13,73% (при 1000 °С).

Кроме того, интенсификация теплообмена между продуктами сгорания ВТС и конвективными поверхностями нагрева ПК может быть частично обоснована влиянием твердой фракции на деформацию (утонение) ламинарного подслоя, который объективно существует на «дне» турбулентного пограничного слоя у омываемых поверхностей нагрева. Это влияние более существенно при небольших числах Re (ПК с вентиляторным дутьем, где Re = 800...2850 во всем диапазоне нагрузок по топливу). При больших Re влияние незначительно.

Влияние двух последних факторов приводит к тому, что при сжигании ВТС поверхности ПК значительно меньше загрязняются продуктами недожога топлива, сохраняют относительно чистую, гладкую поверхность.

Результаты газового анализа продуктов сгорания ВТС показывают (см. таблицу) существенное уменьше-

ние выбросов монооксида углерода (более чем в 2 раза), а также уменьшение выбросов оксидов азота на 20—25% при содержании воды в ВТС до 15%. Содержание SO₂ уменьшается пропорционально замещенному в ВТС мазуту.

В заключение следует отметить, что ВТС следует рассматривать как один из перспективных альтернативных видов топлива.

Сжигание ВТС с целью повышения экономичности целесообразно проводить в ПК малой мощности, где коэффициент избытка воздуха поддерживается не менее 1,2—1,3. Для всех ПК метод сжигания ВТС может быть рекомендован с точки зрения повышения экологических показателей, а также решения проблемы обезвреживания отходов.

Литература

1. Кустов В. Ф. Топливные суспензии. М.—Л.: АН СССР, 1942.
2. Demonstration of coal/water-mixture (CWM) combustion//Power. 1991. No 10.
3. Нехороший И. Х. Использование мазутоугольных и водоугольных суспензий в энергетике Японии//Теплоэнергетика. 1991. № 8.
4. Колпаков С. П. Использование нетрадиционных топлив в паровых котлах//Нетрадиционная энергетика. Научно-технический сборник. СПб.—Пушкин: ВМИИ, 2000.

ОБРАЩЕНИЕ ЛИЧНОГО СОСТАВА КРОНШТАДТСКОГО ВОЕННОГО ГАРНИЗОНА

К ВETERANAM И ЛИЧНОМУ СОСТАВУ ВМФ, МОРЯКАМ ВСЕХ ВЕДОМСТВ, РУКОВОДИТЕЛЯМ, РАБОЧИМ И СЛУЖАЩИМ ПРЕДПРИЯТИЙ, УЧРЕЖДЕНИЙ И ОРГАНИЗАЦИЙ

Из распоряжения Администрации Санкт-Петербурга № 979-ра от 11 октября 2001 г.: «В связи с предложением Санкт-петербургского общественного культурно-просветительского фонда «Тайны века», в целях увековечения памяти всех погибших моряков... установить в 2003 г. в Кронштадте, в районе форта Константин памятник «Всем погибшим морякам»».

18 мая 2004 г. Кронштадту исполнится 300 лет. Созданный Петром Великим как форпост на подступах к столице, Кронштадт на протяжении веков выполняет свой долг перед Отечеством, чем снискал любовь и уважение всей России. Неоценима роль неприступного города-крепости во времена войн и морских сражений. Он положил начало кругосветным плаваниям и свершению ряда географических открытий, стал родиной радио и многих других изобретений. Здесь проходили службу и вели научную деятельность выдающиеся флотоводы и мореплаватели. Это город-памятник, колыбель российского флота и русских морских традиций.

В Кронштадте бережно относятся к людям, посвятившим свою жизнь морской службе. Именно поэтому в 2003 г. на кронштадтской земле будет сооружен памятник «Всем погибшим морякам». Мы, личный состав кораблей и частей Кронштадтского гарнизона, считаем долгом ныне живущего поколения увековечить в едином монументе память о

всех моряках, погибших и пропавших без вести в боях, сражениях, различных катастрофах и происшествиях. У памятника будут воздвигаться морские почести и проходить поминальные молебны, приниматься воинская присяга. Это будет способствовать воспитанию патриотических чувств у молодежи. Надеемся, что день открытия памятника в последующем объявят Днем памяти погибших моряков.

Около века назад по инициативе моряков, нашедшей свое отражение в воззвании командира Кронштадтского порта вице-адмирала Н. И. Казнакова, был организован всенародный сбор средств на строительство Морского собора. Ежегодно, в течение пятнадцати лет, каждый моряк жертвовал на строительство храма определенную долю денежного содержания. И хотя в пожертвованиях принимали участие граждане, независимо от чина и места жительства, большая часть средств была собрана военно-морским флотом. Это позволило в непродолжительное для России время построить в Кронштадте храм.

Мы обращаемся к ветеранам и личному составу ВМФ, морякам всех ведомств, кораблестроителям, ученым, депутатам, руководителям, рабочим и служащим СМИ, предприятий, учреждений и организаций всех форм собственности с призывом принять стольное участие в деле национального значения — сооружении памятника «Всем погибшим морякам».

Надеемся, что наше обращение найдет отклик и поддержку как у моряков, родственников и друзей погибших, так и у всех людей, которым не безразличны честь и слава России.

Целевые пожертвования могут аккумулироваться на отдельном расчетном счете международного фонда «300 лет Кронштадту — возрождение святынь», имеющего положительный опыт создания мемориала защитников Отечества на Якорной площади Кронштадта.

Имена всех, кто откликнется на наше обращение, будут занесены в посвященную созданию памятника книгу и переданы на постоянное хранение в Центральный военно-морской музей.

Адрес и реквизиты международного фонда «300 лет Кронштадту — возрождение святынь»: 197760, Санкт-Петербург, Кронштадт, пр. Ленина, 36. Т/ф: (812) 236-55-61. E-mail: 300km@gov.spb.ru ИНН 7818009920.

Для финансирования работ, связанных с изготовлением и установкой памятника принимаются целевые пожертвования на отдельный расчетный счет 40703810421000010694 (российские рубли) в ОАО «Банк «Санкт-Петербург»», Сестрорецкий филиал, отделение «Кронштадтское». БИК 04403079. К/счет 30101810900000000790. Транзитный валютный счет 40703978021000200694 (EVRO). □

ОПЫТ РАБОТЫ СО СТАНДАРТОМ STEP

А. Н. Суслов, докт. техн. наук; О. В. Одегова, канд. техн. наук;
Е. А. Головки (СПбГМТУ)

УДК 681.5:658.512.2:629.5

Немаловажным фактором для заключения контракта купли—продажи судов и судового комплектующего оборудования является предоставление покупателю технической документации в электронном виде, установленном стандартами CALS. Наличие системы логической поддержки связано с желанием покупателя сократить «затраты на владение», которые для наукоемкого изделия равны или превышают затраты на его закупку.

В обеспечении непрерывной поддержки жизненного цикла изделий судостроения задействованы как проектант и предприятие-изготовитель, так и эксплуатирующие, ремонтные и транспортные организации. Предприятие-изготовитель не может непосредственно воздействовать на все аспекты жизненного цикла судна. Поэтому имеет смысл говорить о степени CALS-готовности конструкторско-технологической информационной подсистемы предприятия, которую можно определить как способность оперативно обеспечить все задействованные подразделения и сторонние организации достоверной информацией об изделии и ресурсах, необходимых для поддержания его в работоспособном состоянии на любой момент времени. Таким образом, вся необходимая информация об изделии должна непосредственно присутствовать в электронной информационной системе предприятия или вызываться автоматически на основе другой имеющейся в системе информации.

Для успешного внедрения подобных технологий в отечественное судостроение необходимо решить вопросы устранения коммуникационных барьеров между предприятиями, участвующими в обеспечении жизненного цикла объектов морской техники, путем создания единого информационного пространства, предполагающего хранение информации в электронном виде и выступающего как единый источник данных для всех участников жизненного цикла объекта с учетом их прав доступа.

Решением Российского агентства по судостроению утверждена «Концепция внедрения CALS-технологий в российском судостроении». Принят основной пилотный проект, определен состав его исполнителей, за ОАО «Балтийский завод» закреплены функции координатора работ. К работам по пилотному проекту привлечен ряд государственных, военно-морских, научных и отраслевых организаций. На Балтийском заводе разработана

электронная информационная модель корабля пр. 11356, включающая в себя элементы проектного, строительного и эксплуатационного этапов жизненного цикла. В НИИ ЛОТ разработаны принципы создания электронных каталогов, совместно с ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова создано программное обеспечение, реализующее вариант электронно-информационной системы. В рамках поставки судостроительной фирмой «Алмаз» инозаказчику десантного корабля на воздушной подушке типа «Зубр» осуществлен проект полномасштабной каталогизации. В СПбГМТУ проводятся эксперименты по работе с программным обеспечением STEP-стандарта и распределенными базами данных, программным и аппаратным обеспечением защиты электронной информации.

В настоящее время разработаны международные стандарты и программы по созданию электронных моделей промышленных изделий. Специфика каждого типа изделия требует собственного протокола описания и обмена данными об объекте. Анализ показывает, что для окончательной доводки базовых протоколов обмена данными по судну (AP 215 — Ship arrangement; AP 216 — Ship moulded forms; AP 217 — Ship piping, AP 218 — Ship structures) потребуется еще несколько лет и объединенные усилия международных организаций, связанных с судостроением и судоходством. Задача структуризации данных по судну огромна, она должна решаться поэтапно при обязательном участии России в этом процессе.

Большинство современных общеинженерных систем автоматизированного проектирования (Unigraphics, CADDs, Euclid, ProEngineer и др.) поддерживает работу с данными в формате STEP. Что касается специализированных САПР, используемых в судостроении, то пока системы Tribon и Foran не поддерживают STEP непосредственно, хотя и имеется возможность такого преобразования через IGES-формат. Catia позволяет работать со STEP-форматом и дает возможность создания CAD/CAM/CAE среды с интегрированными в нее элементами управления предприятием.

За рубежом разработан ряд программных продуктов, обеспечивающих преобразование данных из различных форматов в STEP, что создает объективные предпосылки для построения интегрированных информационных систем и позволит преобразовы-

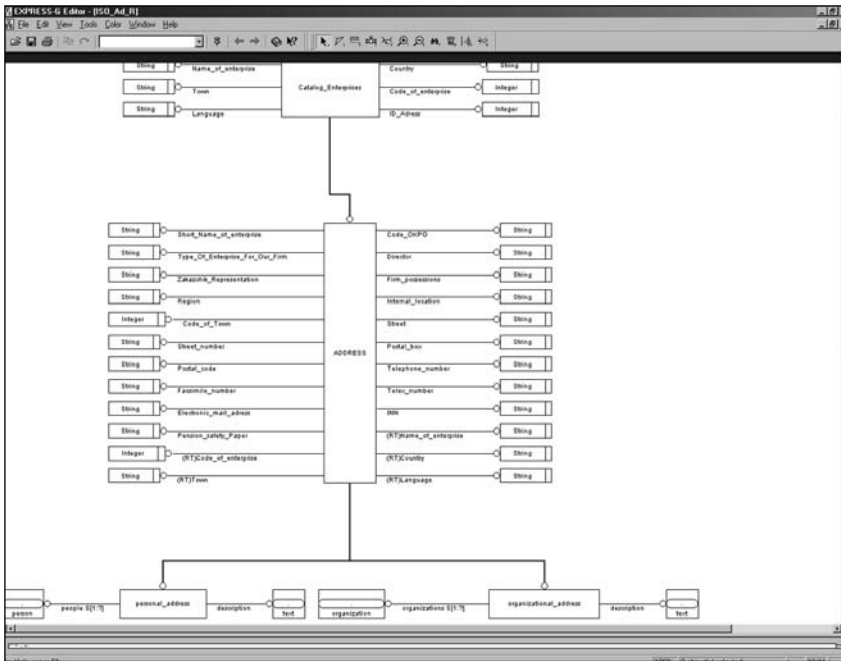


Рис. 1. Фрагмент структурной схемы для сущности «Адрес»

вать данные, накопленные на российских судостроительных предприятиях, в формат STEP.

Как известно, все STEP-данные можно описать на языке Express, который является одним из разделов стандарта. Поскольку схема является самым верхним уровнем информационной модели, работу над ее составлением логично начинать с построения схемы, описывающей структуру информации об объекте (описание элементов и логических связей между ними). Удобным аппаратом составления структурной схемы является расширение языка (Express-G), которое реализует правила изображения структуры в графическом виде.

Программное обеспечение для автоматизированного изображения структурных данных включено в состав инструментария программиста ST-Developer — средства проверки описания структуры изделия в STEP-формате, преобразования схемы из текстового описания в графическую форму, просмотра и редактирования графических схем описания структуры изделия, преобразования графической информации из различных форматов в STEP и др. В ST-Developer включены также библиотеки для разработки программных продуктов на C++, с помощью которых можно создавать программные модули работы с базами данных, используя структуры представления.

На рис. 1 приведен фрагмент структурной схемы для сущности «Адрес», используемой в стандартных протоколах обмена AP 203, AP 214, составленной с помощью Express-G-editor.

Рис. 2. Фрагмент формы для занесения данных по сущности «Адрес»

После компиляции структуры, описанной на языке Express-G, возможна ее трансформация в различные формы: классы C++ или определения SQL. Далее следует решать задачу автоматического наполнения созданной структуры данными из хранилища конструкторской информации. На рис. 2 приводится возможный вид формы для занесения

в хранилище данных по STEP-сущности «Адрес».

Сопряжение с хранилищем, в качестве которого может выступать распределенная база данных, может быть реализовано и с помощью обменного файла, соответствующего требованиям стандарта ИСО 10303. В синтаксис структуры обмена может быть преобразована любая Express-схема.

Обменный файл STEP — это некий транспортный формат, в котором можно передавать данные между различными системами, — геометрические модели, состав изделия и всю остальную информацию. Таким образом, технология использования STEP-формата теоретически позволяет увязать многообразие систем CAD/CAM, имеющих на судостроительных предприятиях, в единое «проектное пространство».

Любая информационная система также может содержать и электронную систему отображения, предназначенную для визуализации проектных и конструкторских данных и обеспечения интерактивного взаимодействия с пользователем. Удобное средство визуализации графиче-

ческой информации, увязанной со структурой изделия, представляет собой ST-Viewer, с помощью которого можно просматривать графические файлы, подготовленные в любой системе автоматизированного проектирования и конвертированные в STEP. Таким образом, если предприятие не занимается разработкой геометрии изделия,

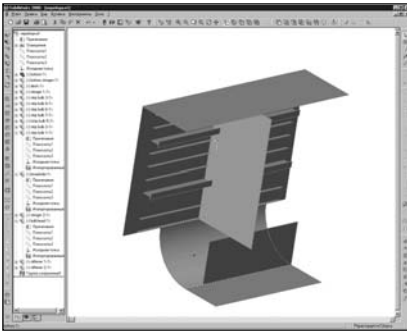


Рис. 3. Фрагмент конструкции в SolidWorks

то ему для просмотра изображения объекта хранения нет необходимости иметь CAD/CAM системы, в которых эти объекты были созданы. ST-Viewer допускает также виртуальную «сборку» и «разборку» изделия, рассмотрение трехмерной модели под разными углами и с разных точек зрения. На рис. 3 изображен фрагмент конструкции в формате STEP, на рис. 4 — этапы его виртуальной «разборки» с использованием ST-Viewer.

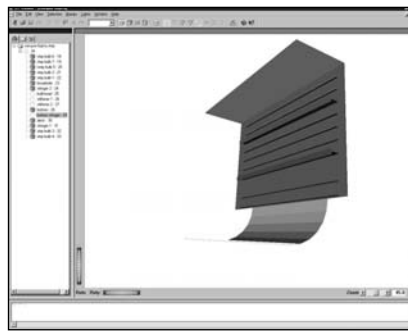


Рис. 4. Виртуальная «разборка» конструкции в ST-Viewer

Учитывая разработки, кратко охарактеризованные в статье, а также состояние дел в области международных и российских стандартов по CALS, можно сделать вывод о том, что первоочередной задачей, которая может быть успешно решена в настоящее время, является обеспечение интегрированной логической поддержки изделий морской техники. Реально существующая необходимость такой поддержки показывает, в свою очередь, важность отработки схемы

информационного взаимодействия между предприятиями, участвующими в жизненном цикле изделия.

Для этой цели предлагается создать отраслевой центр, который будет не только координировать работы между предприятиями судостроения, но и осуществлять взаимосвязь с работой общегосударственных организаций в области CALS. При создании такого центра должен учитываться существующий опыт и потенциал будущих работ.

ОПТИМАЛЬНАЯ АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫХ РАБОТ. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ

Г. В. Герман, канд. техн. наук, (СПбГМТУ)

УДК 621.31.049:629.5

Необходимость учета внутрисистемных и межсистемных связей задач планирования. Определение системных требований к технологии электромонтажных работ (ЭМР), гибкой к изменяющимся условиям производства, и ее модельное представление (элементов, параметров, показателей, связей, ограничений, включая системы внешнего окружения) [1] позволяют представить модель планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР. В состав системной задачи планирования должны входить модели учета параметров и показателей технологии ЭМР, всех ее составляющих различного уровня деления на объекты работ (ОР), модели учета связей между элементами и подсистемами различного уровня, связей технологии ЭМР с системами внешнего окружения, модели учета ограничений внешних (более высокого уровня, включая внешнее окружение) и внутренних, вариации технологических схем работ (обусловленных или неза-

висимых), а также целевая функция планирования и оптимизации альтернативной технологии ЭМР, взаимосвязанная на всех этапах временного планирования работ.

Основная целевая функция — минимальная продолжительность ЭМР (непревышение продолжительности) в заданной технологической схеме строительства судна при установленных затратах живого труда ($T_{ЭМР}$), обеспечении качества работ ($K_{ЭМР} \geq K^*$) за согласованную договорную цену ($C_{ЭМР} = C^*$) в условиях конкретного электромонтажного предприятия.

Основные параметры технологии для ОР различного уровня, различных видов и подвидов работ включают в себя трудоемкость T_{ij} , стоимость C_{ij} , продолжительность t_{ij} , сроки начала и окончания работ $t_{ij}^{нач}$, $t_{ij}^{ок}$, материалоемкость M_{ij} , энергоемкость $Э_{ij}$.

Основными показателями являются продолжительность ЭМР на суд-

не $\tau_{ЭМР}$, трудоемкость ЭМР $T_{ЭМР}$, стоимость работ по договору (договорная цена $C_{ЭМР}$), готовность ЭМР на конец временного этапа $Гот_i$ (%), продвижение ЭМР P_i (%), потребная численность электромонтажников $N_{числ}^{потр}$.

Ограничения систем внешнего окружения — значения технологической трудоемкости и технологической готовности ЭМР в объектах работ по видам и подвидам; укрупненная технологическая схема строительства; разбивка на укрупненные ОР; сроки сдачи укрупненных ОР под ЭМР; сроки начала швартовых и ходовых испытаний; срок сдачи судна заказчику; технологическая обитаемость ОР.

К факторам технологической готовности ЭМР в укрупненных ОР и другим факторам и внутрипроизводственным ограничениям относятся: программа строительства судов; техническое оснащение электромонтажного производства; организация и специализация бригад электромонтажного предприятия (производства); наличие свободной численности электромонтажников ($N_{числ}^{св}$).

Вариационные схемы работ в укрупненных и детальном планах — это технологическая схема строительства, технологическая последовательность стапельных работ в составе укрупненных технологических рай-

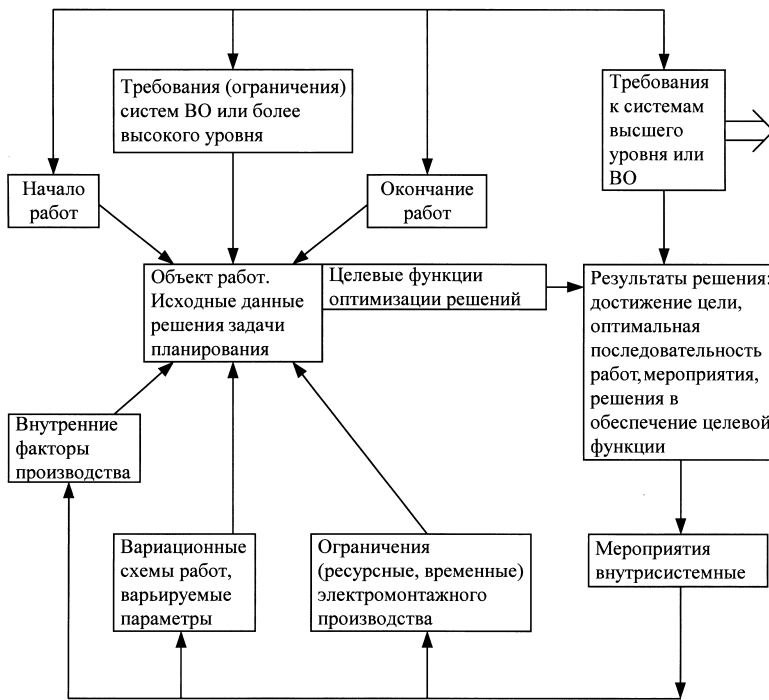


Рис. 1. Типовая схема задачи планирования альтернативной технологии ЭМР (ВО — внешнее окружение)

онов монтажа, соответствующих строительным районам, блокам и целому корпусу судна, состав работ и технологическая последовательность этапов регулировочно-сдаточных работ, вариационные схемы работ в деталях ОР — электромонтажных районах (ЭР) (стапельных, достроечных) в границах укрупненных ОР, в том числе технологически обусловленных и (или) независимых, автономных и комплексных.

Кроме того, в состав системной задачи входят мероприятия по обеспечению технологичности судового электрооборудования (ЭОС) при проектировании, выполнении ЭМР на судне и в целом по программе ЭМР электромонтажного предприятия, а также иные целевые функции в деталях ОР: не превышение (сокращение) продолжительности; сокращение фронта работ; сокращение (ограничение) потребной численности электромонтажников с учетом рангов работ.

По результатам решения оптимизационных задач могут быть выявлены резервы (превышение) времени работ, путей сетевых графиков, загрузки специализированных бригад работами на судне, в целом по всей программе строительства, экономия (перерасход) материальных, энергетических, денежных ресурсов,

сокращение (увеличение) затрат живого труда на выполнение работ.

Системными требованиями предусмотрены постановка и решение задач планирования технологии ЭМР «сверху донизу». Решение задач и учет результатов планирования технологии ЭМР «снизу доверху» необходимы для своевременной корректировки технологических планов и решений систем более высокого уровня и (или) систем внешнего окружения.

Анализ существующих методов решения задач планирования оптимальной технологии ЭМР. Разработка предложений. Методы сетевого и календарного планирования [2] используются для адекватного отражения сложных технологических схем работ, в том числе электромонтажных, определяют множество методов постановки и решения задач оптимального планирования: выравнивание трудовых ресурсов; обеспечение их заданного использования. Оптимальное решение таких задач достигается за счет вариации продолжительности работ подкритических путей сетевого графа [3, 4].

Минимизация продолжительности комплекса работ выполняется за счет вариации их последовательности с учетом технологической обусловленности и ограничений. Такая

задача решается на основе теории упорядочивания («теории расписаний») методом «ветвей и границ» [5].

Названные подходы широко используются в практике постановки и решения задач планирования оптимальных технологических схем работ [2, 5], однако не содержат рекомендаций системного подхода, не учитывают необходимости многоуровневого, многошагового процесса планирования технологии ЭМР, динамики условий выполнения работ, множества вариационных схем и т. д.

Анализ показывает, что учет динамики производства целесообразно выполнять с использованием стохастической модели сетевого планирования [1].

Сетевые модели (детерминированная и стохастическая), календарный план, предложенные для отражения технологии ЭМР на судне [1], должны быть дополнены различного рода возмущениями (факторами производства) и ограничениями. Требование типизации и унификации методов решения задач планирования оптимальной технологии ЭМР может быть учтено как экономически целесообразное, поскольку способствует сокращению затрат на решение указанных задач.

Если используется метод сетевого планирования и управления разработками для решения задач оперативного управления ходом работ, то необходимо принять во внимание следующие особенности ЭМР:

рассматривается ли этот процесс для объектов, которые обусловлены технологически. Тогда появление фронта работ связано со 100%-м (или иным) окончанием предыдущих работ;

рассматривается ли этот процесс применительно к однотипным видам (подвидам) работ для конкурирующих ОР (технологических комплектов, бригадокомплектов, подкомплектов), составляющих множество однотипных работ, которые могут рассматриваться в различной очередности их выполнения. Тогда следует говорить о границах продолжительности всей совокупности работ, определяемых в рамках системы более высокой иерархии, или о сокращении продолжительности этих работ.

Второе направление решения оптимизационных задач может быть реализовано на основе задач дина-

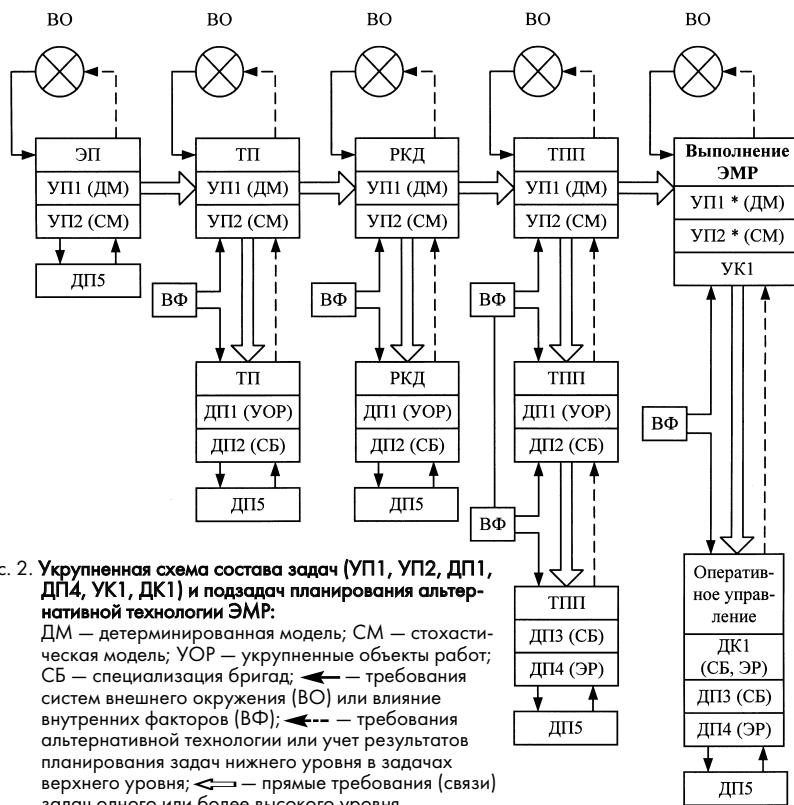


Рис. 2. Укрупненная схема состава задач (УП1, УП2, ДП1, ДП4, УК1, ДК1) и подзадач планирования альтернативной технологии ЭМР:
 ДМ — детерминированная модель; СМ — стохастическая модель; УОР — укрупненные объекты работ; СБ — специализация бригад; ← — требования систем внешнего окружения (ВО) или влияние внутренних факторов (ВФ); ←--- — требования альтернативной технологии или учет результатов планирования задач нижнего уровня в задачах верхнего уровня; ↔ — прямые требования (связи) задач одного или более высокого уровня

Выбор метода решения определяется его соответствием задаче планирования, а также возможностью учета внешних и внутренних факторов производства, вариационных схем работ, ограничений, наличием необходимой информации на различных шагах (этапах) принятия плановых решений, детализацией решений и может быть осуществлен с использованием разработанных методов, алгоритмов, математических моделей решения задач планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР для любых этапов проектирования и технологической подготовки производства.

Выбор и обоснование методов решения задач-компонент планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР. Различия состава объектов работ (укрупненных, детальных), состава задач планирования и корректировки технологических схем ЭМР, а также требование типизации определяют необходимость рассмотрения типовой схемы планирования задач-компонент альтернативной технологии (рис. 1).

В соответствии с результатами анализа предлагается рассматривать следующие задачи планирования ЭМР (таблица):

- 1) на судне в целом, включая укрупненные виды работ;
- 2) в укрупненных ОР по укрупненным видам ЭМР (монтаж кабеля, электрооборудования, регулировочно-сдаточные), а также подвидам ЭМР;

мического программирования [4] в многошаговой схеме оперативного планирования работ в однотипных ЭР, не увязанных в технологически обусловленную схему работ.

Стратегии (варианты набора ЭР) могут изменяться в зависимости от динамических факторов производства, учитывать нарастание и спад фронта работ как ограничения системы более высокого порядка, а также имеющуюся свободную численность электромонтажников, случайные отклонения от ранее спланированной последовательности работ и т. д. На основе использования метода динамического программирования может решаться задача оптимальной разбивки на ОР, ЭР по территориальному и (или) схемному принципам для однотипных работ или задача оптимальной разбивки судна на укрупненные ОР по требованию электромонтажного производства. Однако последнее предложение противоречит естественному ходу планирования решений, когда требованиям электромонтажа (примерно 20% трудоемкости строительства судна) будет подчинено остальное судостроительное производство (до 80% объемов работ).

Решение задачи упорядочивания — это согласование потребнос-

тей системы более высокого уровня (судна в целом) с возможностями (временными и ресурсными) системы более низкого уровня (исполнителя конкретных работ). Это может быть задача согласования сроков выполнения работ определенного объема в пределах, заданных системой высшего уровня, при одновременном ограничении всех видов ресурсов исполнителя.

Состав задач укрупненного (УП) и детального (ДП) планирования альтернативной технологии ЭМР		
Условное обозначение	Наименование задачи	Этапы решения
УП1	Задача оптимального укрупненного планирования альтернативной технологии ЭМР на основе детерминированной модели	ЭП; ТП; РКД; ТПП; ЭМР
УП2	Задача оптимального укрупненного планирования альтернативной технологии ЭМР на основе стохастической модели	ЭП; ТП; РКД; ТПП; ЭМР
ДП1	Детальное планирование и оптимизация работ в укрупненных ОР по укрупненным видам работ (выбор оптимальной схемы работ в ОР)	ТП; РКД; ТПП
ДП2	Детальное планирование и оптимизация работ в укрупненных ОР с учетом специализации бригад	ТП; РКД; ТПП
ДП3	Детальное планирование и оптимизация разбивки работ по бригадам	ТПП; ЭМР
ДП4	Детальное планирование и оптимизация технологической схемы работ в ЭР	ТПП; ЭМР
УК1 ДК1	Задачи укрупненной (УК) и детальной (ДК) корректировки технологии ЭМР	ЭМР
ДП5	Задача динамической вариации критического пути (ДВКП)	Для всех этапов

Примечания: ЭП — эскизный проект; ТП — технический проект; — разработка рабочей конструкторской документации; ТПП — техническая подготовка производства.

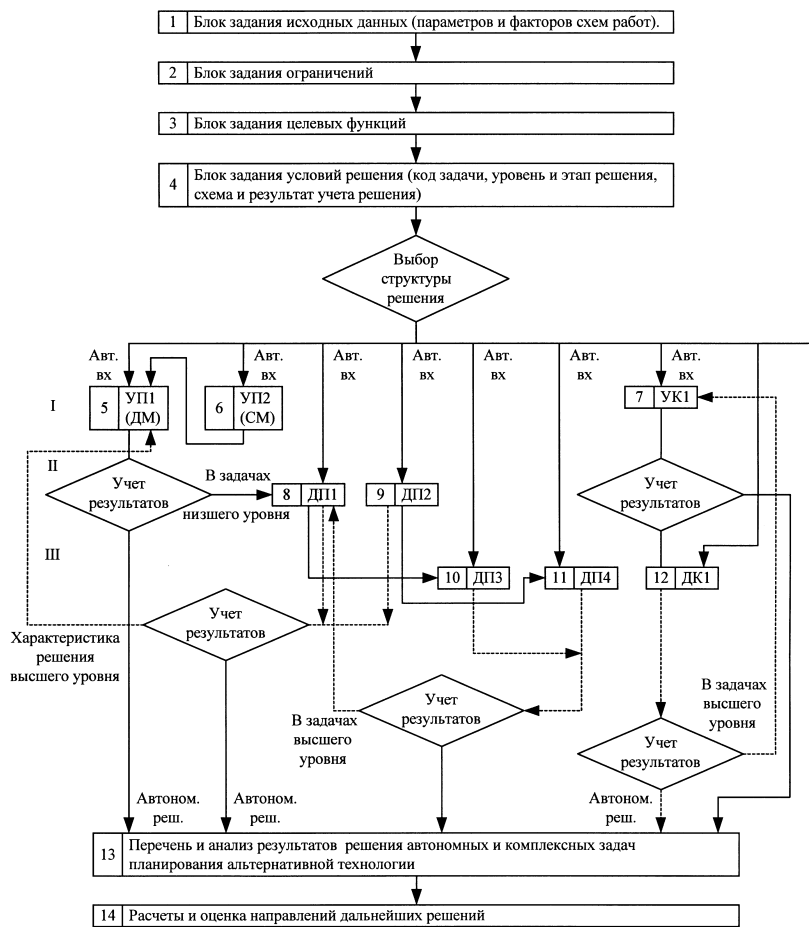


Рис. 3. Типовая блок-схема задачи планирования альтернативной технологии ЭМР

3) в укрупненных ОР с учетом специализации бригад электромонтажного производства (загрузка в целом и по бригадам);

4) в детальных ОР (ЭР), в том числе с учетом специализации бригад.

Требования (ограничения) сроков начала, окончания, продолжительности работ определяются для задач первого уровня планирования системами внешнего окружения, для задач второго и третьего уровня планирования — результатами решения задач более высокого уровня. Факторы технологической готовности к началу ЭМР определяются системами внешнего окружения и (или) внутренними (электромонтажного производства), а степень их детализации — уровнем задач планирования и известностью информации о них. Вариационные схемы работ зависят от уровня задач планирования. Ресурсные ограничения (денежные, трудовые, материальные, энергетические) могут быть определены системами внешнего окружения, бо-

лее высокого уровня и внутренними факторами электромонтажного производства в зависимости от уровня задач планирования.

Исходные данные решения задачи планирования — значения технологической трудоемкости и стоимости работ — могут быть найдены на основе использования регрессионных линейных и нелинейных зависимостей от определяющих конструктивно-технологических параметров судов и ЭОС [6, 7].

Результаты решения содержат сведения по обобщающим показателям планирования ($G_{от, i}$, %; p_i , %), оптимальные вариационные схемы работ, а также технические обоснованные и экономически целесообразные направления (решения, операции), обеспечивающие достижение оптимального значения целевой функции. Задачи планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР выбираются и обосновываются в соответствии с моделями альтернативной технологии и относятся к классу вариационных [1].

Методы постановки и решения таких задач определены теорией исследования операций [3, 4], теорией расписаний [5].

Выбор методов постановки и решения задач оптимального планирования определяется целевой функцией планирования, необходимостью учета внутрисистемных и внешних факторов производства, наличием ограничений, степенью детализации решений, взаимосвязями параметров и показателей моделей альтернативной технологии ЭМР, а также адекватностью модели, отражающей исследуемый процесс.

Типовая блок-схема решения задачи планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР. Предлагается типовая блок-схема, которая содержит основу решения задач планирования и корректировки оптимальной альтернативной технологии ЭМР; обеспечивает возможность варьирования составом задач, диапазонами, объемами, детальностью решений; позволяет многократно использовать типовые блоки, типизировать программное обеспечение и т. д. (рис. 2).

Основным методом решения задач укрупненного планирования принят метод выравнивания ресурсов, использующий резервы времени путей и работ, решаемый с учетом ограничений систем внешнего окружения и внутренних возможностей исполнителя (УП1, ДП1, ДП2, ДП4, УК1), для детальных задач оптимального планирования альтернативной технологии (ДП3, ДП4, ДК1) рекомендуются методы динамического программирования, целочисленного планирования с учетом ограничений, определяемых системами планирования альтернативной технологии ЭМР более высокого уровня, а также численного состава, специализации и загрузки бригад электромонтажного предприятия, факторов технологической готовности работ в детальных ОР, технологической обитаемости. Типовая блок-схема задачи планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР (рис. 3), разработанные алгоритмы, математическое и программное обеспечение позволяют решать задачи планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР на всех шагах и уровнях принятия решений, прогнозировать будущие не-

известные условия выполнения работ, а также динамику электромонтажного производства.

Методология решения задач оптимального планирования альтернативной технологии ЭМР разработана и предлагается для планирования и управления сложными технологическими процессами, распределенными во времени и пространстве (например, при строительстве и ремонте су-

дов) при значительной доле ручного труда, единичном и мелкосерийном способе производства.

Литература

1. Герман Г. В. Технология ЭМР, гибкая к изменяющимся условиям производства // Судостроение. 2001. № 1.
2. Шифрин Б. Л. Планирование работы электромонтажного предприятия в новых условиях. Л.: Судостроение, 1972.
3. Таха Х. Введение в исследование операций. М.: Мир, 1985.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972.

Советское радио, 1972.

5. Конвей Р. и др. Теория расписаний. М.: Наука, 1975.

6. Адашев В. С. Методика разработки плана электромонтажника при модульно-агрегатном методе постройки судов // ВНТО им. академika А. Н. Крылова. Материалы по обмену опытом. Вып. 521. СПб.: Судостроение, 1992.

7. Герман Г. В. Разработка и реализация при проектировании требований монтажной технологичности комплексов электрооборудования судов. Автореф. дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук. Л., 1988.

ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОРАБЕЛЬНЫХ СПЕЦИАЛИСТОВ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

В. В. Кобзев, докт. техн. наук (ВМИИ), А. В. Нефедович, канд. техн. наук (1 ЦНИИ МО РФ)

УДК 658.310.11:656.61.08

Как показывают многочисленные исследования, свыше 70% аварийных ситуаций связаны с «человеческим фактором», что объясняется целым рядом причин, важнейшая из которых — недостаточная профессиональная подготовка корабельных специалистов [1]. Если ограничиться происшествиями технического характера, относящимися к авариям боевых и технических средств (БТС), то применительно к такому виду аварий разработан методический аппарат их эргономического анализа.

В состав факторов для анализа аварий БТС на кораблях целесообразно включить следующие: профессиональную подготовленность операторов к решению противаварийных задач; сложность алгоритма решения задачи; психофизиологические и психологические особенности личности специалистов; приспособленность рабочего места и его элементов к выполнению оператором противаварийных задач (ПАЗ); соответствие содержания и формы предписанных оператору действий в эксплуатационных документах алгоритму фактической деятельности корабельных специалистов.

Поскольку при расследовании происшествий с БТС должна быть проведена оценка каждого из этих факторов и его влияния на качество деятельности личного состава, уточним показатели качества деятельности — безошибочность и время выполнения действий. При изучении ошибок в операторской деятельности ошибочным следует считать всякое допустимое специалистом во время вахты и обусловленное любыми причинами непра-

вильное (несоответствующее предписанным требованиям, наставлениям и инструкциям по эксплуатации и т. п.) действие или невыполнение требуемого действия независимо от последствий.

При эргономической экспертизе образцов вооружения и техники (а следовательно, и при анализе аварийных ситуаций) в соответствии с руководящими документами качества деятельности специалистов рекомендовано оценивать вероятность совершения ошибки, причиной которой могут являться рассмотренные выше факторы. Значимость последствий от ошибок операторов может быть различной, поэтому их можно подразделить на критические ошибки — события, которые приводят к полному функциональному отказу оборудования, системы или их поломке, а также небезопасны для людей, эксплуатирующих это оборудование; и существенные ошибки — события, которые вызывают временный (неустойчивый) отказ в функционировании оборудования, системы или снижение его пригодности к использованию по прямому назначению.

Рассмотрев конструктивно-технические характеристики и технологические схемы функционирования БТС с учетом все более широкого внедрения на флоте профессионального психофизиологического отбора корабельных специалистов, можно утверждать, что критическая ошибка в деятельности оператора — это практически маловероятное событие. Все предпосылки к таким ошибкам должны быть исключены в процессе создания и испытаний БТС, а

также подбора экипажа. Однако опыт эксплуатации кораблей показывает, что такие ошибки все же не исключаются, но необходимости в их количественном нормировании нет, так как достаточно самого факта такой ошибки. Поэтому нормирование показателя безошибочности для оценки качества деятельности операторов предлагается проводить по уровню существенных ошибок. Конкретный диапазон значений величины вероятности ошибки ($P_{ош}$) для вынесения решения о причине происшествия должен быть обоснован.

Рассмотрим влияние на качество деятельности только факторов профессиональной подготовленности и алгоритмической сложности ПАЗ. Под профессиональной подготовленностью специалистов к решению ПАЗ обычно понимают усвоенную оператором совокупность знаний, умений и навыков, необходимых для быстрого обнаружения отклонений параметров функционирования систем управления (СУ) и технических средств от спецификационных норм, оценки критичности этих отклонений, а также для правильного принятия решения и его реализации при выполнении первичных и последующих действий по предотвращению происшествия. Для определения профессиональной подготовленности к решению ПАЗ, как и в целом к операторской деятельности (решению задач управления), желательно количественно оценить тот интегральный комплекс знаний, умений, навыков, который формируется для этих целей в процессе обучения. В связи с этим большинство специалистов [2] предлагает в качестве количественной характеристики обученности операторов использовать многомерный интегральный показатель. Применительно к ПАЗ показатель предлагается оценивать по шкале баллов, которые определяются на основе тестовых контрольных заданий, разработанных на базе перечня необходимых знаний, умений и навыков для борьбы за живучесть технических средств корабля. Перечень кон-

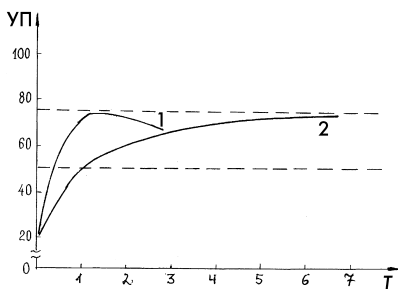


Рис. 1. Зависимость уровня подготовленности операторов УП (баллы) от срока службы в должности T (лет):
1 — при подготовке операторов в УЦ;
2 — при подготовке операторов на кораблях

трольных задач был получен в результате профессиографического исследования деятельности операторов на тренажерах учебного центра и кораблях. Определено понятие уровня подготовленности корабельных специалистов и выделены составляющие этого интегрального свойства.

Для каждой составляющей разработаны тестовые задания. Количественная характеристика уровня подготовленности определяется по 100-балльной шкале путем суммирования баллов за правильно (безошибочно и своевременно) выполненные задания с учетом их значимости и последующего сопоставления суммарной величины с максимально возможным значением уровня подготовленности (100 баллов). Предлагается, что предложенная 100-балльная шкала является более чувствительной и в связи с этим более точно отражает знания специалистов по сравнению с традиционной 5-балльной шкалой. Исследования выявили также зависимость уровня подготовленности от особенностей прохождения службы корабельными специалистами. Установлено, что на профессиональный уровень оказывают влияние опыт службы по специальности и система обучения. Опыт службы определяется прежде всего сроком (временем) службы на корабле, находящемся в 1-й линии. Система подготовки корабельных специалистов может быть нескольких видов, отличающихся количеством и содержанием этапов подготовки. Так, корабельный специалист может сразу после назначения на должность направляться на корабль, где осуществляется его подготовка одновременно к исполнению общекорабельных обязанностей по должности и обязанностей по специальности. Часто бывает, что основное (профильное) обучение корабельного специалиста осуществляется в одном из учебных центров (УЦ) в течение

года, а последующее — со сдачей экзаменов на допуск к самостоятельному управлению техническими средствами корабля — на флоте. Для указанных видов выявлена достоверная связь между уровнем подготовленности корабельных специалистов и их сроком службы в должности на корабле (рис. 1).

Для прямой количественной оценки уровня профессиональной подготовленности предлагается использовать интегральный критерий, определяемый с помощью контрольных тестовых заданий. Наличие зависимости уровня знаний и умений от продолжительности службы корабельных специалистов и системы подготовки позволяет использовать эти характеристики в качестве косвенных показателей уровня подготовленности, причем знание вида системы подготовки особенно важно в первые четыре года службы.

При анализе причин аварий кораблей и судов отмечается, что наиболее частой и значимой причиной является низкий уровень профессиональной подготовленности корабельных специалистов. Однако работ, в которых бы рассматривались количественные закономерности существующей связи между успешностью деятельности специалистов в аварийной ситуации и уровнем их профессиональной подготовленности, недостаточно. В связи с этим проведены исследования, направленные на установление количественных зависимостей показателей качества деятельности по управлению БИТС корабля от подготовленности операторов.

Известно, что качество деятельности операторов в теории надежности оценивается с помощью критериев безошибочности и времени решения оперативных задач, в частности ПАЗ, в общем случае с учетом интенсивности их поступления и значимости. В результате экспериментальных исследований выявлено, что для операторов атомных энергетических установок (АЭУ) кораблей, которые имеют высокий уровень подготовленности (более 75 баллов), время распознавания ситуации и принятия решения к действиям по ПАЗ ограничено 20–25 с, что соизмеримо с временем срабатывания аварийной защиты; для операторов с низким уровнем подготовки характерна более выраженная вариабельность данного показателя. Однако значимых различий (исключая явные аномалии) между группами не обнаружено.

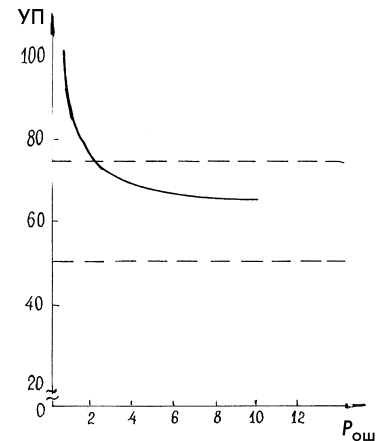


Рис. 2. Зависимость качества деятельности операторов при решении ПАЗ от уровня подготовленности УП (баллы):
 $P_{ош}$ — предельная вероятность ошибки, %

Таким образом, можно предположить, что для специалистов по управлению АЭУ безошибочность является более адекватным критерием для определения качества деятельности в аварийной ситуации, чем время. Это подтверждается результатами исследований. Так, экспериментально изучался характер и число действий операторов с различным уровнем подготовленности в реальных алгоритмах решения ПАЗ, при этом оценивалось как качественное, так и количественное значение отклонений реального алгоритма от предписанного. Установлено, что у специалистов с высоким уровнем подготовленности практически не возникает существенных отклонений, в то время как для операторов с низким уровнем подготовленности характерен данный вид отклонений. Количественные отличия реальных алгоритмов от предписанных оценивались по графам Холла. Было выявлено, что отклонений у операторов с уровнем подготовленности выше 78 баллов приблизительно в 3 раза меньше, чем у операторов с уровнем подготовленности около 65 баллов. В аварийных ситуациях и хорошо, и недостаточно подготовленные операторы отклоняются от предписанного алгоритма и стремятся выполнить его сообразно ситуации. Деятельность оператора в этих условиях носит творческий характер, который не отвергает, а наоборот, предполагает хорошую подготовку оператора по объекту, системам управления и происходящим в них процессам.

Для разработки методических приемов оценки качества деятельности (управления) оператора от уровня его подготовленности необходимо

Таблица 1

Количественная характеристика типовых алгоритмов деятельности операторов АЭУ при решении противоаварийных задач

Тип аварийной ситуации	Параметры алгоритмов противоаварийных задач							
	N_{τ}	$(N_{\alpha} + N_{\lambda})_{\tau}$	$N_{\varepsilon\tau}$	V	Z	L	ΔI	H
Срабатывание аварийной защиты II рода по ложному сигналу, вызванному отказом в средствах отображения информации	48	26	22	0,310	2,17	2,00	0,03	0,378
Заклинка дроссельных клапанов КПС, стержневой автоматического регулирования или аварийной защиты; отказ в органах управления	18	9	9	0,136	1,80	2,33	0,23	0,280
Выход из строя регулятора давления пара ГТЗА, «качение» регулятора скорости СУ ГТЗА; случаи частичного отказа автоматики управления	37	23	14	0,228	1,82	1,58	0,07	0,313
Действительное срабатывание аварийной защиты I рода по сигналу «соль», авария в объекте управления	70	36	34	0,289	2,60	2,14	0	0,516
Падение давления и уровня (течь) теплоносителя I контура; авария в объекте управления	77	48	29	0,345	2,00	2,78	0,092	0,584

Условные обозначения: N_{τ} — число разных действий и логических условий по полному алгоритму; $(N_{\alpha} + N_{\lambda})_{\tau}$ — число разных афферентных элементов и логических условий в типовом алгоритме; $N_{\varepsilon\tau}$ — число разных эфферентных элементов в типовом алгоритме; V — динамическая интенсивность работы оператора; Z — показатель стереотипности алгоритма; L — показатель логической сложности алгоритма; ΔI — показатель неравномерности распределения логических условий; H — обобщенный показатель сложности алгоритма; КПС — конденсатно-питательная система; ГТЗА — главный турбозубчатый агрегат.

было экспериментально проверить, сохраняется ли зависимость качества управления от уровня подготовленности операторов для задач с различающимися показателями алгоритмической сложности, а также задач с дефицитом и без дефицита времени. Алгоритмическая сложность ПАЗ определялась с помощью метода, предложенного Г. М. Зараковским [3]. По результатам этой оценки выбрали два класса задач различной сложности и примерно с одинаковой динамической интенсивностью. Сравнение результатов их решения у двух групп операторов, отличавшихся уровнем подготовленности, показало, что общее количество ошибок в группе операторов с низким уровнем подготовленности больше как при решении сложных задач, так и задач с низкими значениями показателя сложности. Установлено также, что ошибочность действий со значимыми последствиями примерно в 2—3 раза больше у слабо подготовленных операторов в алгоритмически сложных задачах. В то же время у подготовленных операторов такого различия в количестве критических ошибок при решении задач с различной алгоритмической сложностью не выявлено.

Кроме сложности задач важной ситуационной характеристикой является временной дефицит. В аварийных условиях, как отмечалось ранее, опытный оператор обычно реагирует на аварийный сигнал с некоторой задержкой, которая чуть больше 10 с, но не превышает 20 с. Второй важный методический вопрос связан с видом ошибок. Известно, что операторы допускают пропуски действий, а также нарушение последовательности действий. Го-

раздо реже встречаются лишние действия. Анализ результатов исследований, направленных на выявление различий в видах ошибок, совершаемых операторами в зависимости от их уровня подготовленности, показал, что для рассматриваемых групп операторов получены различия по всем видам ошибок, но более выраженное различие установлено при сравнении количества пропущенных действий, в том числе с критическими последствиями.

На основании именно этих исследований установлена количественная зависимость вероятности возникновения существенных ошибок от уровня подготовленности операторов на специально отобранной контрольной выборке задач, которая в графической форме представлена на рис. 1.

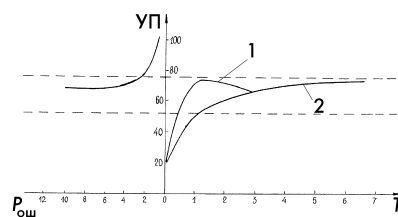


Рис. 3. Номограмма для определения уровня профессиональной подготовленности: 1, 2 — при подготовке операторов в УЦ и на корабле

Выявление существенной ошибки в работе оператора является еще недостаточным условием для формирования вывода о роли профессиональной подготовленности в возникновении происшествий. Для этого необходимо знать количественное выражение вероятности возникновения существенных ошибок, которое определяется графической зависимостью, приведенной на рис. 2.

Оценка производится с помощью методики тестовых контрольных задач различной алгоритмической сложности. Результаты тестового контроля, выраженные в условных баллах, позволяют, используя зависимость качества деятельности операторов от уровня их подготовленности (см. рис. 2), определить вероятность ошибочных действий специалистов в аварийных ситуациях. Объединив данные, представленные на рис. 1 и 2, получаем номограмму (рис. 3), с помощью которой можно определить уровень профессиональной подготовленности операторов в шкале вероятности ошибочных действий.

Обратимся теперь к фактору алгоритмической сложности выполнения ПАЗ. Его действие рассматривается на фоне профподготовленности. Алгоритмическая сложность ПАЗ — это характеристика, отражающая степень сложности операций восприятия информации, идентификации состояний систем управления и технических средств, принятия решений, а также реализации принятых решений при отказах БИТС. Выполнение каждой из указанных операций зависит в значительной степени от организационной модели и приспособленности средств отображения информации (СОИ) и органов управления (ОУ) к использованию оператором при решении противоаварийных задач. На практике же, однако, трудно бывает выделить в алгоритме отдельные операции, особенно афферентного и логического типа. Поэтому предлагается сложность задачи определять не сложностью выполнения отдельных операций, а поставить её в зависимость от тяжести последствий отказов, происшедших в корабельных комплексах

Таблица 2

Вероятность ошибки оператора ($P_{\text{ош}}$, %) из-за алгоритмической сложности решения задачи при соответствующем уровне его подготовки						
Класс сложности	Уровень подготовленности оператора					
	II поколение СУ			III поколение СУ		
	отличный	хороший	удовлетворительный	отличный	хороший	удовлетворительный
1-й класс	1,5	1,5	2,5	1,5	1,5	15,0
2-й класс	1,5	2,5	4,0	1,5	4,0	10,0
3-й класс	1,5	4,0	10,0	1,5	6,5	15,0
4-й класс	1,5	6,5	10,0	1,5	6,5	15,0

при авариях, а также от степени автоматизации управления локализацией отказавшего оборудования [4].

Отказы БИТС при происшествиях технического характера с кораблями и судами вызывают необходимость перестройки алгоритмов деятельности операторов, видоизменяя в качественном и количественном соотношении афферентные (сенсорные) и эфферентные (моторные) составляющие, а также логические условия. Иллюстрацией такой перестройки могут служить полученные на основе экспериментов данные табл. 1. Однако, как отмечено выше, представленные в таблице расчетные показатели алгоритмической сложности задач не могут быть использованы в конкретной практике эргономического анализа аварийных ситуаций.

Для описания фактора сложности задач управления в литературе [2] кроме указанных в табл. 1 расчетных (количественных) показателей предлагается использовать ряд качественных, таких как уровень эвристичности деятельности, субъективная оценка самим оператором сложности задачи (в баллах) и др. Но и эти показатели не пригодны при исследовании вины личного состава в аварийной ситуации с БИТС корабля, так как они в противовес расчетным основаны на субъективном мнении оператора.

Для измерения алгоритмической сложности ПАЗ предложена комплексная ранговая шкала, устанавливающая классы задач в порядке возрастания сложности в зависимости от наличия конкретного вида отказов оборудования. Такой подход аккумулирует в себе учет как количественных характеристик отказавших БИТС, так и потери качества управления из-за отказа. При этом необходимо иметь в виду изменения степени автоматизации управления БИТС на кораблях от поколения к поколению. Так, если с использованием информационных моделей

(ИМ) СУ второго поколения задачи управления переключением работы ТС с одного режима на другой при безотказном функционировании аппаратуры СУ и самих технических средств для оператора не представляли сложности, то даже для хорошо подготовленного оператора СУ третьего поколения эти задачи отнесены к первому классу сложности. Эргономическое обоснование данного факта состоит в том, что в СУ второго поколения с более низкой степенью автоматизации алгоритмы деятельности оператора состоят, как правило, из простых комплексов операций типа «стимул—реакция» с самоконтролем, тогда как в комплексных системах управления (КСУ) третьего поколения осуществлено режимное управление БИТС, при котором алгоритмы деятельности оператора существенно редуцированы за счет минимизации количества эфферентных составляющих при практически неизменном количестве других. В результате на одну моторную операцию в спецификационном режиме приходится целый ряд сенсорных операций и логических условий. Иными словами, в КСУ ТС третьего поколения даже в нормальных режимах (при безотказном функционировании СУ и ТС) сложность выполнения задач управления повысилась из-за несоответствия автоматизации функций оператора по восприятию, идентификации, оценке информации и подготовке к принятию решения, с одной стороны, и реализации принятого решения, с другой. На увеличение сложности задач безусловно повлияли также усложнение самого оборудования и многорежимность его использования.

Для СУ второго поколения: противоаварийные задачи, связанные с отказом в канале измерения или управления СУ (1-й канал), регуляторов и переходом на ручное управление (2-й канал); ТС и приводящие к срабатыванию АЗ второго ро-

да (3-й класс); ТС и приводящие к срабатыванию АЗ первого рода (4-й класс).

Для КСУ третьего поколения: противоаварийные задачи, связанные с переводом ТС из одного режима в другой при безотказном функционировании (1-й класс); с отказами СУ в каналах измерения и управления (2-й класс); с аварийным отключением отказавших ТС или их групп (3-й класс); с отказом СУ и ТС одновременно (4-й класс).

Несмотря на то, что принятая шкала является грубой, она, как показало ее использование при оценке фактора сложности задач в стендовых испытаниях, достаточна для планирования и проведения эргономической экспертизы, хорошо согласуется с большинством рассмотренных выше показателей алгоритмической сложности. Принадлежность фактически выполнявшихся личным составом ПАЗ к одному из классов сложности по табл. 2 и 3 устанавливается применительно к каждому оператору и отдельно для следующих возможных этапов развития происшествия; устранение отдельных отказов; борьба за живучесть СУ и ТС; борьба за живучесть корабля. Такая дифференциация необходима с целью вскрытия связей в деятельности между операторами. После определения для каждого оператора класса сложности ПАЗ, выполнявшихся ими при аварийной ситуации технического характера с БИТС корабля, производится оценка данного фактора (алгоритмической сложности задачи) по вероятности его влияния на успешность решения задачи, т. е. определяется вероятность совершения оператором ошибки из-за алгоритмической сложности ПАЗ. При этом учитывается уровень подготовленности личного состава, установленный ранее. Оценка производится в соответствии с данными табл. 2. По полученным значениям $P_{\text{ош}}$ в дальнейшем высказывается суждение о значимости данного фактора как возможной причины аварии или наоборот.

Литература

1. Кобзев В. В. «Интеллектуальный» тренажер на борту судна//Судостроение. 1994. № 4.
2. Педагогические основы подготовки личного состава подводных лодок/Под ред. Н. Г. Антонова. Обнинск, УЦ ВМФ, 1998.
3. Зараковский Г. М. Психофизиологический анализ трудовой деятельности. М.: Наука, 1966.
4. Кобзев В. В., Нефедович А. В. Влияние фактора алгоритмической сложности выполнения противоаварийной задачи на успешность деятельности операторов//Проблемы психологии и эргономики. 2001. Часть II. № 2.

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ТРУБ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ РОССИИ

В. Д. Петров, канд. техн. наук, **С. С. Ушков**, докт. техн. наук
(ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»)

УДК 621.774:669.295.5

Высокая коррозионно-механическая прочность титановых сплавов во многих агрессивных средах, в частности, в морской воде и воде высоких параметров (до температур ≈ 350 °С), в сочетании с рядом положительных свойств, выгодно отличающих их от других конструкционных материалов, предопределила их применение в качестве материала трубных систем различного назначения для судовых систем и атомной энергетики.

Начиная с 60-х годов XX века проведен огромный комплекс работ, направленных на разработку технологии изготовления высококачественных титановых труб различного назначения. Разработки осуществлялись ЦНИИ КМ «Прометей» совместно с Всесоюзным научно-исследовательским трубным институтом (ВНИТИ, Днепропетровск, Украина), в основном на Никопольском южнотрубном заводе (НПТЗ, Украина) и в меньшей степени на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) и Челябинском трубопрокатном заводе (ЧТПЗ).

В Советском Союзе основным поставщиком высококачественных горячекатаных и холоднодеформированных титановых труб широкого сортамента для судовых систем и оборудования атомной энергетики являлся НПТЗ. На его долю приходилось более 90% всех изготавливаемых в стране труб; производственные мощности — 150 т горячекатаных и 350 т холоднокатаных труб в год. Часть труб мелкого сортамента, таких как 6х1,5; 8х1,5 и 10х1,5 мм производил Трубный опытно-экспериментальный завод (ТОЭЗ, Днепропетровск). Трубы поставлялись по единой для обоих заводов технической документации.

Холоднодеформированные трубы диаметром 90—130 мм выпускались ПНТЗ.

ЧТПЗ поставлял трубы диаметром свыше 350 мм, которые в основном использовались как заготовки для производства баллонов высокого давления. На заводе также была разработана технология изготовления тонкостенных труб большого диаметра и оформлены технические условия на их по-

ставку. Однако выпускались они в малых объемах.

Калькодержателем всех технических условий на изготовление титановых труб являлся и до сих пор является ВНИТИ. Следует отметить, что в СССР титановые трубы производились также в Верхнесалдинском металлургическом производственном объединении (ВСМПО), но по сравнению с трубами НПТЗ они были более низкого качества и поставлялись в основном для авиационной промышленности и ряда других областей народного хозяйства; в судостроении и атомной энергетике они не использовались.

Данные о предприятиях—поставщиках труб из титановых сплавов в СССР, представленные в таблице, свидетельствуют о том, что основное производство высококачественных титановых труб было сосредоточено на Украине. Поставку заготовок для труб осуществляло ВСМПО.

В связи с распадом СССР возникли трудности в получении титановых труб для изготовления и ремонта судовых систем, оборудования для атомной энергетики, что связано, прежде всего, со снижением объемов производства, отсутствием оборотных средств у предприятий, высокими ставками кредитования, требованием 100%-й предоплаты заказов, нарушением экономических связей, высокими ценами на трубы производства НПТЗ, обусловленными таможенной политикой и конъюнктурными интересами поставщика-монополиста трубных заготовок.

В этих условиях российские предприятия-изготовители труб оказались не готовы к производству высококачественных труб широкого сортамента. Технологическая документация на поставку титановых труб, как уже отмечалось, осталась на Украине, поэтому российские предприятия не имеют права ее использовать для производства труб. Существующие ГОСТы, ТУ на поставку труб для авиации, иностранные стандарты не отвечают требованиям по качеству, предъявляемым к трубам, используемым в судостроительной промышленности. Отсутст-

Специализация производителей титановых труб в СССР				
Производитель	Сортамент труб		Марка сплава	Технические условия
	Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм		
Никопольский южнотрубный завод	Горячедеформированные 83—325		ПТ 1М ПТ 7М	ТУ 14-3-821—79
	Холоднодеформированные 5—89		ПТ 1М ПТ 7М	ТУ 14-3-820—79
	Особотонкостенные 6—80		ПТ 7М	ПТ 1М ТУ 14-3-843—79
	Трубы со спиральными ребрами 13,8		ПТ 7М	ТУ 14-3-1819—91
	Трубы капиллярные 3,0—5,0		ПТ 1М	ТУ 14-3-161—73
Челябинский трубопрокатный завод*	Горячедеформированные 377—480		Спл. 14	ТУ 14-3-551—76 ТУ 14-3-1218—83
	Холоднодеформированные 110—273		ПТ 1М ПТ 7М	ТУ 14-3-1119—82
Первоуральский новотрубный завод*	Холоднодеформированные 90—130		ПТ 1М ПТ 7М	ТУ 14-3-1027—81
ПОСТАВЩИК ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК В СССР				
Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение	Заготовки трубные: кованные и передельные горячекатаные труб для НППЗ Литые для ЧТПЗ		ПТ 1М ПТ 7М Спл. 14	ТУ 1-5-132—78 ТУ 1-805-200—90 ТУ 1-5-083—79

* Производство из передельных труб НППЗ.

вует или недостаточен также опыт изготовления труб из титановых сплавов; нет и технологии производства высококачественных титановых труб применительно к российским предприятиям.

В связи с перестройкой в стране произошел резкий спад объемов производства труб, оборудование разуккомплектовывалось, и его техническое состояние не поддерживалось в надлежащем виде. Увеличилось количество случаев нарушения технологических операций при изготовлении труб. Частично утратился опыт производства, снизилась требовательность при контроле готовых труб и, как следствие, появились тенденции к снижению их качества. Если добавить к этому, что предприятия, специализирующиеся на выпуске труб, не имели или имели недостаточный опыт изготовления титановых труб, то становится ясно, что организация производства высококачественных титановых труб стала весьма сложной задачей. Более того, отсутствие на ряде предприятий технологического оборудования, необходимого для специфического производства высококачественных титановых труб, а также резкое сокращение объемов их потребления не стимулировало заводы на освоение данной продукции.

К середине 2000 г. намечалось оживление в ряде областей промыш-

ленности, в том числе в судостроении. Возросли потребности в титановых трубах. Процесс развития кораблестроения стал прогнозируемым.

Наметился рост потребления титановых труб и в других отраслях промышленности, в частности, в атомной энергетике в связи с заменой выработавшего ресурс оборудования из нержавеющей и медно-никелевых сплавов на оборудование из сплавов титана. Особенно резкий рост потребности намечается в сварных трубах. По имеющимся данным, к 2010 г. подлежат реконструкции не менее четырех турбоустановок мощностью 500 МВт, не менее двух турбоустановок мощностью 417 МВт на отечественных АЭС; имеются также предложения по реконструкции и строительству зарубежных АЭС. Реконструкции с заменой труб только в России подлежат не менее 16 конденсаторов. Для установок РБМК для изготовления одного конденсатора необходимо 13 000 шт. труб длиной 9,8 м, а для ВВР — 26 000 шт. длиной 14,5 м. Таким образом, потребность в сварных титановых трубах может составить 500—700 т в год, что отечественная промышленность в настоящий момент обеспечить не может.

По имеющимся данным, годовая потребность в холоднодеформируемых (х/д) и горячедеформируемых

(г/д) титановых трубах составит: в 2005 г. — 350 и 150 т; 2010 г. — 400 и 200 т; в 2015 г. — 450 и 250 т.

Проблема организации производства титановых труб, как бесшовных горячекатаных и холоднодеформированных, так и сварных прямошовных является актуальной и требует незамедлительного решения. В противном случае обеспечить титановыми трубами производство, строительство судовых систем и изготовление оборудования атомной энергетики будет невозможно.

Решение проблемы организации производства высококачественных титановых труб на предприятиях Российской Федерации (в техническом плане), по нашему мнению, определяют:

1. Создание нормативно-технической документации на производство титановых труб для судовых систем и оборудования атомной энергетики. Номенклатура применяемых титановых труб достаточно обширна как по сортаменту, так и по способу производства. Это прежде всего:

- бесшовные горячедеформированные трубы диаметром свыше 350 мм, служащие заготовками для систем высокого давления, и диаметром до 325 мм, толстостенные для особо нагруженных судовых систем;
- бесшовные холоднодеформированные трубы: широкого ассортимента для различных судовых систем и атомной энергетики; особо тонкостенные трубы различного назначения, в частности, для изготовления конденсаторов, сифонов, теплообменников и др.
- бесшовные трубы малых размеров и со спиральными ребрами специального назначения;
- сварные трубы для теплообменного оборудования атомных энергетических установок и судовых систем.

На поставку указанных выше труб должны быть разработаны единые для всех российских предприятий ТУ.

2. Выбор наиболее перспективных поставщиков титановых труб. Среди предприятий России, имеющих принципиальную возможность изготавливать титановые трубы, можно назвать следующие:

• ОАО «Челябинский трубо-прокатный завод» имеет опыт изготовления горячедеформированных труб диаметром 377—480 мм с толщиной стенки от 16 до 65 мм. Техническая документация на поставку таких труб имеется. Целесообразно организовать на предприятии производство титановых труб диаметром свыше 90 мм. Имеются технические возможности выпуска труб диаметром 90—130 мм и 273—325 мм с толщиной стенки от 6 до 30 мм. Необходимо разработать техническую документацию на поставку. Имеется техническая документация на поставку х/д труб диаметром 110—273 мм с толщиной стенки от 1,5 до 10 мм. Из-за длительного отсутствия заказов на поставку тонкостенных труб большого диаметра опыт их изготовления утрачен. Есть опыт изготовления х/д труб диаметром 90—250 мм с толщиной стенки от 6 до 15 мм. Однако качественная техническая документация на поставку отсутствует.

Для организации производства титановых труб необходимо разработать комплекс технической документации на поставку титановых труб и доукомплектовать трубопрокатные цехи дополнительным (необходимым для производства высококачественных труб) технологическим оборудованием, в частности, электропечами сопротивления для термообработки труб, вакуумными печами отжига и дегазации, установками для определения содержания водорода, ультразвуковыми дефектоскопами контроля стенки труб и т. д.

• ОАО «Первоуральский новотрубный завод» — Уралтрубосталь — имеет техническую и технологическую документацию на поставку х/д труб диаметром 90—130 мм с толщиной стенки 3,5—6,0 мм, однако из-за отсутствия в последние 10 лет заказов опыт изготовления труб высокого качества утерян. Имеющееся на предприятии технологическое оборудование позволяет производить х/д титановые трубы диаметром 6—90 мм, особо тонкостенные, капиллярные и г/д диаметром 60—219 мм с толщиной стенки от 6 до 14 мм. Таким образом, предприятие имеет возможность изготавливать титановые трубы широкого сорта-

мента. Для организации их производства требуется разработка технологии изготовления титановых труб и выпуск технологической документации на поставку. Возможно, потребуется ремонт и доукомплектование технологического оборудования, утраченного в период перестройки.

• ОАО «Синарский трубный завод» имеет технологическое оборудование для производства г/д титановых труб (прессованных) диаметром 83—152 мм. Техническая и технологическая документация на поставку отсутствует. Имеется опыт изготовления х/д труб диаметром 10—60 мм. Требуется юридическое оформление технической документации на поставку. Завод может рассматриваться как один из потенциальных поставщиков титановых х/д труб ограниченного сортамента.

• ОАО «Чепецкий механический завод» специализируется на производстве циркониевых труб, имеет небольшой опыт изготовления х/д труб из титановых сплавов. Обладает принципиальной возможностью изготавливать х/д трубы диаметром 6—80 мм, в том числе особотонкостенные и ребристые. Необходимо разработать технологию производства титановых труб, технологическую документацию на поставку и доукомплектовать оборудование предприятия вакуумной печью отжига, установками специального травления труб и закрутки ребер на трубах.

• ОАО «Волжский завод» специализируется на производстве прессованных труб. Опыта изготовления титановых труб не имеет. Требуется разработка технологии производства труб, выпуск технологической документации на поставку. Преимуществом перед трубными заводами, рассмотренными ранее, не имеет.

• ОАО «Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение» имеет опыт изготовления х/д (в том числе тонкостенных) труб диаметром 8—60 мм. Однако производственные мощности не позволяют производить более 50 т труб в год. Требуется оформление технологической документации на поставку и доукомплектование цеха технологическим оборудованием, таким как станы холодной про-

катки ХПТ 90 и 120, электропечи для вакуумного обжига труб, правильная машина для правки труб диаметром 40—50 мм, установки для закрутки ребер на трубах и специального травления труб. Имеет преимущество перед другими заводами в ценовом аспекте. ВСМПО — единственное предприятие по производству высококачественных сварных и тонкостенных титановых труб диаметром 10—114 мм. Его выпуск в настоящее время составляет свыше 100 т в год. Однако при существующем росте потребности в сварных титановых трубах требуется расширение их производства.

3. Обеспеченность производства титановых труб. Вопрос обеспечения производства титановых труб сырьем (трубной заготовкой) в настоящий момент можно считать в определенной мере решенным. Мощности ВСМПО в полной мере могут обеспечить потребности предприятий-поставщиков труб в трубных заготовках. Однако, учитывая ценовую политику монопольного поставщика (ВСМПО), целесообразно организовать производство трубных заготовок в ОАО «ВИЛС» и ОАО «СМЗ» с тем, чтобы создать здоровую конкуренцию между производителями. Такие возможности имеются. Производственные мощности по выплавке титановых слитков составляют 5000 т в год на каждом из предприятий. Учитывая, что объемы производства труб в доперестроечное время составляли 400—450 т в год, имеющихся мощностей вполне достаточно для удовлетворения потребностей сегодняшнего дня.

Таким образом, в России есть все возможности для успешного освоения производства высококачественных труб для судостроения, атомной энергетики и других отраслей промышленности. Техническое решение данной проблемы может и должен обеспечить ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» — головная металлургическая организация, имеющая более чем сорокалетний опыт работы в данном направлении и обладающая высококвалифицированными научно-техническими кадрами. При соответствующем финансировании проблема может быть решена в кратчайшие сроки.

ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОСТЕННЫХ СВАРНЫХ ТИТАНОВЫХ ТРУБ ПОВЫШЕННОГО КАЧЕСТВА ДЛЯ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СУДОВ И АЭС

С. С. Ушков, докт. техн. наук, Н. В. Суворов, канд. техн. наук,
А. С. Кудрявцев, канд. техн. наук, Э. А. Карасев, Ю. А. Титов
(ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей»), А. М. Дмитриенко,
В. Ф. Кузнецов (ОАО ВСМПО)

УДК 621.774.21-034.295:629.5

Опыт применения титана в кораблестроении и атомном ледокольном флоте показал, что титан, обладающий высокой коррозионной стойкостью, является перспективным материалом для трубопроводов различных судовых систем, работающих в контакте с морской водой, а также для теплообменного оборудования и других аналогичных агрегатов, применяемых в судостроении и атомной энергетике.

Благоприятное сочетание низкого коэффициента термического расширения и низкого модуля упругости, по сравнению с традиционно используемыми для этого оборудования материалами, способствует тому, что термические напряжения, возникающие при перепаде температур в стенках труб теплообменников или холодильников, у титана в 2—3 раза меньше, чем у сталей.

Опыт эксплуатации оборудования с трубными системами из титановых сплавов показывает, что такое оборудование обладает высокой надежностью и долговечностью, увеличивая ресурс его эксплуатации более чем в 3—5 раз по отношению к традиционно применяемым сплавам на основе меди и нержавеющей сталей [1]. Это обстоятельство определяет необходимость более широкого применения в энергетике труб из титановых сплавов, в частности марок ВТ1-0, ПТ-1М, ПТ-7М, обладающих благоприятным сочетанием механических, технологических и теплофизических свойств.

До настоящего времени производство титановых труб в России было ориентировано в основном на изготовление бесшовных труб, в то время как мировая практика, наряду с бесшовными, развивает производство и сварных прямошовных труб из титана и его сплавов. Это направление развивается наиболее быстрыми тем-

пами при значительном ежегодном приросте объемов производства, что обусловлено быстрым внедрением нового трубосварочного оборудования, создаваемого на основе последних достижений науки и техники, что обеспечивает высокое качество сварных труб и более низкую их стоимость.

В связи с этим и с учетом тенденций развития мирового рынка ОАО «Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение» (ВСМПО) с целью реконструкции и освоения новых производств и видов продукции приобрело и освоило трубосварочный стан фирмы «Опперман 10-40» для производства сварных тонкостенных титановых труб, которые впервые осваивались в отечественной практике [2, 3].

Освоение производства сварных тонкостенных прямошовных титановых труб и их качество

Основным поставщиком сварных титановых труб в России является ВСМПО, выпускающее по ГОСТ 24890 трубы диаметром 25—102 мм с толщиной стенки 1,5—2,5 мм. Такие трубы в основном применяются для

проката (штрипса) на трубоэлектросварочных линиях стана методом автоматической дуговой сварки вольфрамовым электродом в среде инертного газа (аргона) с термообработкой и поставляют по ТУ 1825-489-07510017—98, в которых учтены технические требования к сварным трубам и перспективы их использования в судовой и атомной энергетике (требования Российского Морского Регистра Судостроения и Госатомнадзора РФ). Сортамент труб согласно ТУ и предельные отклонения размеров приведены в табл. 1.

Трубы изготавливаются из сплавов марок ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0 (ГОСТ 19807), марки 1 и марки 2 (ASTMB265) максимальной длиной до 24 м.

Эффективность принятой в ВСМПО технологии изготовления и методов контроля качества сварных труб в части обеспечения технических требований, установленных ТУ, оценивали по результатам испытаний при изготовлении опытно-промышленных партий труб. Основные технические требования, определяющие качество сварных труб по ТУ 1825-489-07510017—98, сопоставляли с техническими требованиями на бесшовные катаные трубы, изготавливаемые из сплава марки ВТ1-0 по ОСТ 1 90050, и на сварные трубы из того же сплава, поставляемые по ГОСТ 24890. Кроме того, для сравнения использовали требования на сварные трубы, изготавливаемые из сплава марки Grade 2 по американскому стандарту ASTM B338.

На стадии освоения трубосварочного стана отрабатывались основные параметры изготовления сварных труб разных типоразмеров данного сортамента. В результате были разработаны технологические параметры: рабочие режимы сварочной дуги и скорость сварки труб в зависимости от их диаметра и толщины стенки, которые регламентируются технологической инструкцией по производству сварных труб ТИ-СП-127-СВ—2000. По разработанным параметрам были изготовлены партии сварных титановых труб из сплава марки ВТ1-0, отобраны образцы и проведены их испытания по химическому составу, стандартным механическим свойствам, на технологическую пластичность: сплющивание, раздачу, а также гидротиспыта-

Наружный диаметр (предельные отклонения), мм	Толщина стенки (предельные отклонения), мм
10,1—25,0 (± 0,10)	0,50—0,65 (± 0,08)
25,1—38,0 (± 0,13)	0,66—1,00 (± 0,08)
38,1—40,0 (± 0,15)	1,51—1,80 (± 0,15)

трубопроводов и систем общего назначения. Для теплообменного оборудования ВСМПО на базе трубосварочного стана фирмы «Опперман» приступило к освоению производства тонкостенных сварных титановых труб. Их изготавливают из плоского

Таблица 2

Результаты испытаний сварных титановых труб и требования к ним по нормативной документации													
Типоразмер труб	№ партии	Химический состав слитка, %, не более							Механические свойства				
		Al	C	Fe	O ₂	N ₂	H ₂	Σ _{пр.}	t, °C	σ _в , МПа	σ ₀₂ , МПа	δ ₅ , %	
15,87x0,89	5163	—	0,004	0,031	0,123	0,006	0,003	0,174	20	462	368	30,0	
	5164	—	0,004	0,023	0,140	0,006	0,002	0,070		461	362	30,0	
19,05x0,80*	0248	0,01	0,008	0,17	0,124	0,018	0,003	0,135	20	493	399	23,5	
									100	388	321	45,9	
									150	339	284	53,2	
									200	305	254	55,0	
19,05x1,0	1985	0,03	0,004	0,047	0,138	0,007	0,002	0,059	20	461	—	34,4	
		0,03	0,004	0,046	0,116	0,007	0,001	0,055		465	—	34,8	
22,22x0,71	2337	—	0,006	0,040	0,106	0,007	0,003	0,080	20	434	334	38	
		5387	—	0,008	0,042	0,114	0,009	0,004		0,082	441	354	39,2
31,75x0,6**	0247	0,08	0,006	0,043	0,124	0,012	0,003	0,110	20	474	378	38,0	
38,1x0,89	5177	—	0,007	0,025	0,127	0,006	0,002	0,072	20	508	364	37,0	
	2263	—	0,007	0,038	0,132	0,006	0,002	0,083		478	354	43,8	
ГОСТ 19807	0,7	0,07	0,25	0,20	0,04	0,010	0,30						
TU1825-489-07510017 He > 0,1		0,07	0,25	0,15	0,04	0,010	0,030	20	392	245	20		
ASTM D338 Grade2	0,1	0,08	0,30	0,25	0,03	0,015	0,040	20	345	275	20		
OCT1.90050									20	294	—	15	
ГОСТ 22897									20	343—568	245	24	
Трубы бесшовные									150	≥ 216	147	—	

* Содержание O₂ и H₂ в сварном шве составляет 0,102 и 0,0062; H₂ в основном металле — 0,0046.

** Содержание O₂ и H₂ в сварном шве — 0,12 и 0,0062; H₂ в основном металле — 0,0055.

ния, токовихревой контроль в линии стана и 100%-й УЗК готовых труб.

Качество сварных титановых труб оценивали по результатам сдачных испытаний в объеме требований ТУ1825-489-07510017—98 в диапазоне практически полного сортамента. Результаты испытаний приведены в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 видно, что металл труб имеет низкое содержание примесей, а ТУ1825-489-07510017—98 по сравнению с ASTM B338 более жестко ограничивают содержание кислорода, водорода и железа в сплаве. Так, содержание в сварном соединении (шве) водорода выше на 0,0016%, чем в основном металле, но остается менее 0,007% (при допустимом по ТУ — 0,010%), а содержание кислорода в шве остается на уровне основного металла. Полученные данные указывают на качественную подготовку кромок штрипса под сварку и надежную защиту сварного шва при сварке и термообработке.

Результаты испытаний и гарантируемые нормативно-технической документацией механические свойства сплава (см. табл. 2) показывают, что требования ТУ к механическим свойствам превышают аналогичные требования OCT1.90050 для холоднодеформированных труб и близки к требованиям ASTM B338 для сварных труб.

Анализ полученных данных показывает, что фактические значения относительного удлинения сварных труб изменяются в пределах 30,0—43,8% при среднем уровне значений 34,9%, что как минимум в 1,5 раза превышает требования ТУ. Таким образом, запас по величине пластических характеристик на сварных трубах разного сортамента достаточно высок.

Оценку технологической пластичности сварных труб проводили по результатам испытаний на сплющивание и раздачу, допустимые минимальные величины которых опре-

стенок без видимых деформационных дефектов по сварному шву и основному металлу (рис. 1). При раздаче до 36—39% трещин и надрывов на образцах труб не выявлено, но при этом образцы теряли устойчивость (рис. 2).

Испытания трубных образцов на прочность проводили методом нагружения труб (давление 17 МПа в течение 15 с) и гидравлическим внутренним давлением с целью определения разрушающих значений и оценки коэффициента прочности для сварного продольного шва. Давле-

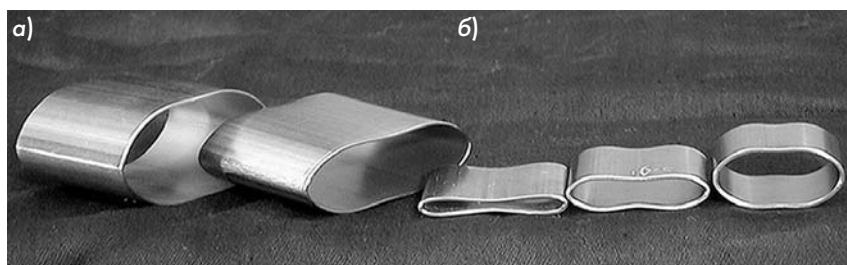


Рис. 1. Образцы после испытаний на сплющивание:

а — нагрузка под углом 90° к сварному шву, сплющивание до 0,5 D_н и 0,3 D_н; б — нагрузка на сварной шов, сплющивание до 0,5 D_н и 0,3 D_н и до соприкосновения

делены ТУ1825-489-07510017. Результаты испытаний приведены в табл. 3, из которой следует, что трубы обладают высокой технологической пластичностью, удовлетворяющей требованиям ТУ.

Трубы выдержали испытания на сплющивание до соприкосновения

ние ступенчато увеличивали с шагом от 1 до 5 МПа вплоть до разрушения образца. При каждом уровне давления образец выдерживали в течение 10 мин с осмотром наружной поверхности. При этом экспериментальные значения разрушающего давления трубных образцов

Таблица 3

Результаты испытаний сварных труб				
Вид испытаний, технические требования	Размеры образцов, мм	Технологические параметры	Кол-во образцов, расположение сварного шва, град.	
			90	0
Сплющивание по ГОСТ 8695	Кольцевой Ø 19,5x0,8 L = 20	Величина сплющивания 0,5 D _н 0,3 D _н До соприкосновения	2	2
			5	3
			4	2*
	Кольцевой Ø 31,75x0,6 L = 32	0,5 D _н 0,3 D _н До соприкосновения	2	2
5			3	
4	2			
	ТУ 1825-489-07510017	0,33 D _н		
	ОСТ1.90050	По согласованию		
Раздача по ГОСТ 8694 Угол конусности оправки 30°	Кольцевой Ø 19,05x0,8 L = 40	Величина раздачи, % 10 20-21 32-39	4	
			5	
			3*	
	Кольцевой Ø 31,75x0,6 L = 60	10 20 28-30	4	
5				
3**				
	ТУ 1825-489-07510017	12		
	ОСТ1.90050	10		

* Допустимые дефекты по основному металлу после сплющивания.

** Потеря устойчивости.

сопоставляли с расчетными значениями, которые определяли по формуле: $P = 2\varphi_w \sigma_b S / (D - S)$. При расчете по этой формуле коэффициент прочности продольного сварного шва φ_w принимали равным 1,0, а предел прочности — на уровне наибольшего его значения по ТУ, т. е. 540 МПа. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Сопоставление расчетного и экспериментального давления разрушения для двух типоразмеров труб показывает, что сварные трубы обладают прочностью, близкой к расчетной прочности основного металла. Это подтверждает высокое качество сварных труб и позволяет принять коэффициент прочности сварного соединения близким к 1,0 по условиям его статической прочности.

Сварные трубы прошли также неразрушающие методы контроля в соответствии с ТУ: 100%-й контроль качества сварного шва и основного металла методами токовихревого контроля (ТВК) в линии стана и ультразвукового контроля (УЗК) при сдаче готовых труб. Результаты контроля, как показала практика, позволяют отбраковать сварные трубы, не отвечающие требованиям ТУ.

По комплексу исследованных свойств и характеристик сварные

трубы из сплава марки ВТ1-0, изготовленные по штатной технологии ВСМПО, соответствуют требованиям ТУ 1825-489-07510017 на поставку сварных труб повышенного качества.

Повышенное качество сварных тонкостенных труб достигается технологическим процессом их изготовления. Общая схема производства сварных титановых труб состоит из трех основных технологических



Рис. 2. Образцы после испытания на раздачу

стадий: выплавка слитков данного сплава, изготовление исходной заготовки в виде ленты (штрипса) и непосредственного изготовления труб на трубосварочном стане. Каждая из указанных стадий процесса получения сварных труб имеет свое значение

в обеспечении формирования конечного качества готовых труб.

Выплавка слитков. С металлургической точки зрения необходимо обеспечить в слитке низкое и однородное распределение примесей внедрения (азот, кислород, углерод, водород) и замещения (алюминий, железо, кремний), чтобы обеспечить высокую пластичность металла в конечных полуфабрикатах. В связи с этим при шихтовке слитков для сварных тонкостенных труб предусматривается использование титановой губки высокого качества, содержание алюминия в сплаве снижено и не должно превышать 0,1% (вместо 0,7 по ГОСТ 19807) при регламентированном содержании кислорода. Химический состав слитков является сдаточным для всех видов полуфабрикатов. На полуфабрикатах дополнительно определяются только содержанием водорода.

Снижение в сплаве ВТ1-0 содержания примесей и алюминия для сварных труб необходимо не только для обеспечения высокой пластичности металла, но и для повышения теплопроводности. Теплопроводность титана может быть увеличена снижением содержания алюминия на 1,5%, добавкой ниобия (2—3%), чистотой нелегированного титана при использовании титановой губки высокого качества — на 8—10%, но самое заметное увеличение за счет формирования благоприятной текстуры — до 30%. Поэтому на стадии получения слитка для изготовления штрипса обеспечивается низкое содержание примесей и алюминия.

Изготовление штрипса. Разработанный технологический процесс изготовления штрипса состоит из многостадийной холодной прокатки с промежуточными рекристаллизационными отжигами. Поскольку гексагональная решетка α -фазы отличается от кубических решеток значительной асимметрией, следствием этого для титановых сплавов характерно формирование различного рода преимущественных кристаллографических ориентировок (текстур), придающих анизотропию свойств реальным поликристаллическим полуфабрикатам [4, 5]. Это приводит к образованию текстуры в штрипсе из сплава марки ВТ1-0, которая характеризуется как текстура отклоненно-го базиса. Ось «с» кристаллической

решетки отклонена от плоскости штрипса примерно на 30–40° [6]. Для такого типа текстуры характерно более высокое значение характеристик теплопроводности металла, и это приводит к повышению коэффициента теплопередачи через стенку трубы, так как расположение оси «с» близко к радиальному, что важно для теплообменного оборудования.

Производство сварных труб. На стадии производства сварных труб на новом трубосварочном стане основными отличительными особенностями являются: применение лазерного контроля заданной геометрии сварных труб и стыковки кромок штрипса, удаление грата (напыва сварного шва) с одновременным упрочнением шва за счет его деформирования на дорне, непрерывный контроль качества шва в линии стана токовихревым методом, полная компьютеризация технологического процесса производства труб, ультразвуковой контроль 100% труб вне линии стана. Сварные тонкостенные трубы, получаемые на стане «Опперман», превосходят бесшовные по точности геометрии, разнотолщинности, качеству поверхности, что обеспечивает их более равномерную теплопередачу, что существенно для теплообменного оборудования.

Все вышеуказанные стадии процесса получения сварных труб обеспечивают их повышенное качество, отвечающее ТУ1825-489-07510017.

Производство сварных тонкостенных титановых труб было разработано ВСМПО с участием ЦНИИ КМ «Прометей» в части аттестации их изготовления, разработки требований к качеству и контролю готовой продукции с учетом требований, принятых и одобренных к применению Госатомнадзором и Российским Морским Регистром Судоходства.

Применение сварных титановых труб. Освоение производства новых типоразмеров сварных титановых труб расширяет области применения титана для судового теплообмен-

Таблица 4

Расчетные и экспериментальные величины разрушающего давления трубных образцов		
Типоразмеры труб, мм	Давление разрушения, МПа	
	расчетное	экспериментальное
19,05 x 0,8	47,3	51
31,75 x 0,6	20,8	21

ного оборудования (масловодоохладители судовых дизелей, охладители систем гидравлики, вспомогательных котлов, теплоиспарительных установок, подогреватели морской воды для хозяйственных нужд и др.), а также атомных и тепловых электростанций.

Накопленный опыт изготовления сварных титановых труб на базе отработанной технологии составил более 400 т (около 2 млн. пог. м. при средней массе 1 пог. м 0,240 кг).

Сварные титановые трубы уже нашли широкое применение в энергетике. «Ленинградский металлический завод» изготовил конденсатор для ТЭС «Альхольма» в Финляндии. В качестве теплообменных поверхностей аппарата применили сварные тонкостенные трубки размером Ø 19,05x0,8x12000 мм из титанового сплава марки BT1-0. Конструктивно конденсатор состоит из 4 параллельно расположенных блоков длиной 12 м с общим количеством трубок 21520 шт. [7].

ОАО «Балтийский завод» изготавливает теплообменник для хранения отработанного ядерного топлива (ХОЯТ) из сварных трубок Ø 19,05x1,0x12500 мм для Ленинградской АЭС.

ВСМПО изготовило партии труб Ø 22x0,7 мм массой более 300 т по контракту с одной из фирм Индии.

Заключение. По комплексу исследованных свойств и характеристик сварные тонкостенные трубы, изготовленные из сплава марки BT1-0, предназначено для труб теплообменного оборудования, по отработанной технологии ВСМПО соответст-

вуют требованиям, заложенным в технические условия на их поставку ТУ1825-489-07510017. При этом требования ТУ в целом превышают аналогичные требования, оговоренные в стандартах на бесшовные трубы (ОСТ1.90050) и сварные трубы (ГОСТ 24890) и соответствуют требованиям ASTM B338.

Применение титана и его сплавов позволяет создавать высокопрочные конструкции облегченного типа. Трубопроводы и теплообменное оборудование из титана дают экономию по массе до 45% и более, увеличивают надежность и ресурс его эксплуатации в 3–5 раз по сравнению с традиционными материалами.

Применение сварных тонкостенных титановых труб в судостроении сдерживается как недостаточной информированностью и определенным консерватизмом конструкторов, так и ограниченным спросом на морские суда на внутреннем рынке. Следует обратить внимание проектантов, заказчиков судов и судостроительных заводов на эффективность применения указанных труб, обеспечивающих повышенный ресурс и надежность при эксплуатации судов. Это будет способствовать возрождению российского флота.

Литература

1. Техничко-экономические аспекты применения титановых сплавов в судовых системах морской воды / С. С. Ушков, А. С. Кудрявцев, Э. Ф. Кирилин, Э. Ф. Карасев // Вопросы материаловедения. 1999. № 3(20).
2. Тетюхин В. В. Акционерное общество «Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение» сегодня // Титан. 1996. № 1(9).
3. Гришечкин А. И. Основные направления реконструкции и развития титанового производства ВСМПО // Титан. 1996. № 1(9).
4. Горьнин И. В., Чечулин Б. Б. Титан в машиностроении. М.: Машиностроение. 1990.
5. Процессы текстуробразования в сплаве титана при термической обработке / Р. А. Адамеску, А. С. Кудрявцев, Е. В. Чудаков и др. // Цветные металлы. 1989. № 5.
6. Упругая анизотропия и текстура прокатки гексагональных металлов / А. А. Брюханов, В. С. Иванов, И. А. Мороз, З. А. Брюханова // Цветные металлы. 1976. № 3.
7. Никитин В. Б., Степанов В. И. Изготовление теплообменного аппарата с использованием титановых сплавов // Сварочное производство. 2001. № 5.

РАН И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

При отделении экономики Российской Академии наук (РАН) создан и начал работать Научный совет по экономическим проблемам интеллектуальной собственности. В состав совета помимо известных академиков - экономистов (Д. С. Львов, В. Л. Макаров, Н. Я. Петраков) вошли академик Б. В. Бункин, ректор Государственного университета управления член-корреспондент РАН А. Г. Поршнева, известные специалисты в области экономики интеллектуальной собственности и практикующие юристы. Уже на первом заседании совета 18 июля 2001 г. были заслушаны два содержательных доклада «О правах государства на результаты интеллектуальной деятельности» (В. А. Рубанов) и о порядке инвентаризации интеллектуальной собственности (Г. И. Микерин). На этом же заседании утверждены план работы, структура и направления деятельности совета. Таких направлений пять: 1) анализ государственной политики в сфере интеллектуальной собственности и разработка собственных рекомендаций; 2) координация научных исследований; 3) упорядочение специальной терминологии; 4) совершенствование учебных программ и методологии; 5) экономические аспекты борьбы с пиратством. Более подробную информацию о совете можно найти в Интернете по адресам www.cemi.rssi.ru, www.appraiser.ru □

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТДЕЛ

НА РАСШИРЕННОМ ЗАСЕДАНИИ КОЛЛЕГИИ РОССУДОСТРОЕНИЯ



Расширенная коллегия Российского агентства по судостроению, состоявшаяся 22 февраля 2002 г. в Москве, была посвящена итогам работы судостроительной промышленности в 2001 г. и задачам на 2002 г.

С докладом выступил генеральный директор Россудостроения В. Я. Поспелов.

Деятельность Россудостроения в отчетный период была направлена на выполнение указов Президента РФ и постановлений Правительства РФ, определивших основы политики в области морской деятельности, в том числе положений «Морской доктрины Российской Федерации на период до 2020 года», утвержденной Президентом России 27 июля 2001 г.

Особую важность для деятельности Россудостроения имеет постановление Правительства РФ от 1 сентября 2001 г. о создании «Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации», решения которой будут направлены на конкретизацию задач, стоящих перед отраслями, ответственными за обеспечение национальных интересов России в Мировом океане.

Оценивая результаты деятельности отрасли в 2001 г., следует отметить, что объем работ, выполненный предприятиями и организациями, по сравнению с предыдущим годом несколько возрос и составил (в сопоставимых ценах) 101,2%.

Объем гражданского судостроения вырос на 21,9%.

Основным направлением деятельности Россудостроения в 2001 г. было обеспечение выполнения заданий государственного оборонного заказа. В целом, по запланированным объемам и номенклатуре он выполнен.

Россудостроение в 2001 г. на основе предложений предприятий и научных организаций судостроительной промышленности принимало активное участие в отработке проекта государственной программы вооружения на 2001—2010 гг. и формировании государственного оборонного заказа на 2002 г.

Важнейшим вопросом при реализации гособоронзаказа является отсутствие нормативной базы по ценообразованию на спецпродукцию, отвечающей современным условиям. Эти проблемы рассматривались в январе на коллегии и в первом полугодии выносятся на заседание государственной комиссии.

В 2001 г. обеспечена утилизация нескольких АПЛ. Кроме того, предприятиями отрасли сформирован ряд реакторных блоков утилизируемых АПЛ. Выполнены сопутствующие работы и обеспечена выгрузка силами ВМФ облученного ядерного топлива из более чем десятка АПЛ. Освоена технология переработки жидких и твердых радиоактивных отходов на новых комплексах.

В 2002 г. будет завершено строительство береговых комплексов выгрузки из реакторов АПЛ облученного ядерного топлива с площадками его временного хранения. Все это поз-



волит увеличить темпы утилизации АПЛ в последующие годы.

Важное значение для отрасли имеет развитие внешнеэкономической деятельности и военно-технического сотрудничества (ВТС) с другими государствами. Значительная часть загрузки мощностей судостроения приходится на изготовление и поставку конкурентоспособной экспортной продукции, а также на оказание иностранным государствам технического содействия и услуг в строительстве кораблей и создании радиоэлектронных средств. Развитие ВТС связано со сложными переговорными процессами, существенно зависит от конъюнктуры мирового рынка. На 2002 г. и последующие годы отрасль в этом плане имеет неплохие перспективы.

В 2001 г. Россудостроением продолжалась работа по сохранению и расширению кооперационных связей, в том числе и со странами СНГ.

В соответствии с соглашением между Россудостроением и Государственным комитетом промышленной политики Украины о сотрудничестве в области судостроения работает постоянная рабочая группа. Аналогичная работа по подготовке межправительственного соглашения проводится и с республикой Казахстан.

Укрепление межгосударственных отношений между странами СНГ несомненно способствует усилению кооперационных связей и, в целом, гарантированному обеспечению выполнения гособоронзаказа.

В 2001 г. продолжился рост инвестиций в судостроительную промышленность. Задачи в этой сфере для Россудостроения определяются заданиями гособоронзаказа на 2002 г. и программными мероприятиями феде-

ральных целевых программ в объемах бюджетного финансирования, утвержденных федеральным законом о федеральном бюджете на 2002 г.

В истекшем году построены и переданы заказчикам суда и плавсредства различного назначения. Вот некоторые из них:

- ОАО «Завод "Красное Сормово"» — сухогруз пр. 19610, сухогруз пр. 17310;

- ФГУП «Адмиралтейские верфи» — танкер ледового класса пр. 20070;

- ОАО «Волгоградский судостроительный завод» — танкер пр. 00201Л, насосная станция пр. 04411, корпус сухогруза;

- ФГУП ПО «Севмашпредприятие» — 17 корпусов буксиров различных проектов для инозаказчика, два понтона для фирмы «Маммут»;

- ОАО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции» — четыре сейнера пр. 1338К, три судна пр. 1338П;

- ОАО «Свирская судовой верфь» — два плавучих причала пр. 824М;

- ОАО ПСЗ «Янтарь» — четыре корпуса различных судов;

- ФГУП МП «Звездочка» — морозильный траулер пр. 50010, два корпуса судна для инозаказчика;

- ОАО «Ярославский судостроительный завод» — рыбоохранное судно пр. 503/РОС.

По данным предприятий в 2002 г. предстоит достройка и сдача целого ряда судов:

- сухогруза пр. 19610 (ОАО «Завод "Красное Сормово"»);

- двух танкеров пр. 20071 (ФГУП «Адмиралтейские верфи»);

- лесовоза-пакетовоза пр. 17340 (ОАО «Амурский судостроительный завод»);





- двух пассажирских теплоходов на воздушной каверне пр. 14200, двух катеров пр. 14172 (ГУП «Зеленодольский завод имени А. М. Горького»);

- пяти малых рыболовецких сейнеров пр. 1338К (ОАО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции»);

- нефтерудовоза пр. 15790Т (ОАО «Завод "Кама"»);

- многоцелевого сухогруза пр. 27397 (ОАО ПСЗ «Янтарь»);

- трех танкеров «река—море» пр. 00201Л (ОАО «Волгоградский судостроительный завод»);

- траулера пр. 1328 (ОАО «Сосновский судостроительный завод»).

Российская Федерация обладает самым большим в мире морским шельфом, содержащим огромные запасы нефтегазовых ресурсов. Поскольку разведанные мировые запасы углеводородов на континенте предположительно будут исчерпаны в ближайшие 50 лет, освоение морского шельфа является весьма важной и актуальной задачей. Вместе с тем, работы по созданию морских платформ и оборудования на морском шельфе России имеют особое значение для сохранения научно-технического и производственного потенциала российского судостроения. Данные вопросы были подробно обсуждены на НТС Россудостроения в 2001 г. Агентство совместно с другими федеральными структурами должно защищать интересы российских производителей при создании морской техники для освоения шельфа. Реализация принятых решений позволит активизировать работу в этом направлении.

Основные итоги деятельности научных организаций отрасли в 2001 г.

показывают, что абсолютное большинство НИИ и КБ укрепили свое финансово-экономическое положение, сохранили научно-технический потенциал и основной кадровый состав. Несколько выросла численность научных работников. В отрасли трудятся шесть академиков Российской Академии наук, 203 доктора и 1337 кандидатов наук. В научных организациях работают 13 аспирантов и образованы четыре совета по защите докторских диссертаций по закрытой тематике. Однако следует отметить, что 76% докторов и 54% кандидатов наук имеют возраст свыше 60 лет.

Главными задачами отраслевой науки были и остаются создание новых кораблей и судов, сложной морской техники для освоения морских месторождений, разработка и внедрение новых двойных технологий и материалов.

Реализация государственной научно-технической политики в сфере гражданского судостроения осуществлялась Россудостроением, главным образом, посредством выполнения научными и проектными организациями судостроительной промышленности комплекса НИОКР, предусмотренного федеральной целевой программой «Российские верфи». В выполнении программы участвовали ведущие научно-исследовательские институты: ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, ЦНИИ КМ «Прометей», ЦНИИИТС и ряд других.

Одним из важных итогов работы отрасли по программе «Российские верфи» явилось признание нашей судостроительной науки, занимающей во многом лидирующее положение в мире. Это выразилось в постоянно растущем числе заказов на проведе-



ние НИОКР в обеспечение создания транспортных судов традиционных и новых типов, средств для освоения шельфа и кораблей различных классов. Научные центры отрасли выполнили за годы работы в рамках данной программы около 500 научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по зарубежным контрактам для заказчиков из самых различных стран, включая Китай и Индию, что позволило заработать ок. 150 млн дол.

Важное место в деятельности Россудостроения в 2001 г. занимали вопросы реформирования судостроительной промышленности. В развитие утвержденной Россудостроением концепции реформирования отрасли с участием ведущих научных организаций разработана и одобрена 1 июня 2001 г. коллегией Россудостроения программа «Реформирование и развитие судостроительной промышленности на период до 2010 года».

В соответствии с федеральной целевой программой в отрасли должен быть создан ряд системообразующих интегрированных структур, в которые войдут более 50 предприятий и организаций.

В 2001 г. созданы (или проходят в настоящее время регистрацию) восемь интегрированных структур в форме ОАО и ассоциаций, которые должны стать основой для предусмотренных программой концернов (холдингов). Помимо создания указанных интегрированных структур Россудостроением проводится работа по образованию структур, не вошедших в федеральную целевую программу.

Большое значение в продвижении продукции предприятий отрасли на внутреннем и международном рынках имеет целенаправленная работа по

организации и проведению выставок. В 2001 г. утверждена «Концепция развития выставочно-ярмарочной деятельности в Россудостроении», разработан и утвержден «Порядок участия предприятий отрасли в международных, зарубежных и отечественных выставках», а также постоянно действующий оргкомитет по организации и проведению выставок. В 2001 г. были организованы отраслевые разделы на 27 отечественных, международных и зарубежных выставках.

Всего в выставках приняло участие 76 предприятий отрасли.

Вместе с тем, необходимо ускорить открытие постоянно действующей выставки продукции гражданского и двойного назначения предприятий Россудостроения. Уже сейчас, в рамках подготовки этой экспозиции проявлен огромный интерес к разработкам судостроителей со стороны правительства Москвы, Гильдии московских промышленников, представительств зарубежных фирм и других заинтересованных лиц, подписан ряд договоров на поставку оборудования, подготовлены проекты соглашений о внешнеэкономическом сотрудничестве с Венгрией и странами ближнего зарубежья.

В соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 марта 2001 г. № 294-р во время празднования 300-летия Санкт-Петербурга в городе состоится Международный военно-морской салон. Это будет первая в России выставка, наиболее полно представляющая весь спектр военно-морской техники, технологий и услуг, предлагаемых российскими предприятиями для реализации на рынке военно-морской техники и оружия. Участие предприятий отрасли в этом салоне — хорошая возможность заявить





о своих достижениях на международном рынке, продемонстрировать наиболее привлекательные для инозаказчиков образцы вооружения и техники. Поэтому работа по подготовке к проведению салона должна стать приоритетной как для руководителей предприятий, так и аппарата Россудостроения.

В 2001 г. Россудостроение приступило к практической деятельности по лицензированию.

С 1 января 2002 г. вступил в силу новый федеральный закон «Об охране окружающей среды». Для обеспечения выполнения требований этого закона предприятиям необходимо ежегодно разрабатывать организационно-технические мероприятия, направленные на предотвращение сверхнормативных сбросов и выбросов токсичных отходов в окружающую среду.

Важное место в деятельности Россудостроения занимают вопросы сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. На всех предприятиях отрасли организована и действует система охраны труда, соответствующие службы укомплектованы грамотными специалистами.

Несмотря на долгий кризисный период, судостроение сумело сохранить основной костяк высококвалифицированных специалистов, ученых, руководителей. В последние два года на предприятия и в КБ пошла молодежь. Но в целом проблему старения кадров переломить не удалось — предпенсионный и пенсионный возраст у 35% работников. В отрасли молодежи есть у кого учиться и перенимать опыт — десять Героев России и Соцтруда, 294 лауреата Ленинской и Государственной премий, 743 работника имеют почетные звания.

В 2001 г. за успешные показатели в работе 170 человек были награждены орденами и медалями, 100 работникам присвоены почетные звания, 10 человек отмечены благодарностью Президента Российской Федерации и Почетными грамотами Правительства РФ. В прошлом году заключены контракты с 49 руково-



дителями федеральных государственных предприятий и проведены конкурсы на замещение руководителей четырех предприятий.

Закончена работа по аттестации руководителей государственных унитарных предприятий, по итогам которой за несоблюдение условий контракта освобождены от занимаемых должностей три директора.

Продолжается работа по выдаче руководителям «Сертификатов на право управления предприятиями и организациями, осуществляющими разработку и производство вооружения, военной техники...» (выдано 18 сертификатов).

Штат Российского агентства по судостроению составляет 120 чел. На 1 января 2002 г. работало 102 человека, из них 50 — женщин; 80 чел. имеют высшее образование, из них 23 — по два и более. В Агентстве работают один доктор и пять кандидатов наук. Вместе с тем нерешенным остается вопрос закрепления кадров. Так, в 2001 г. принято на работу 25 чел. и уволено столько же (в основном, в связи с выходом на пенсию), из них восемь — начальников отделов. Поэтому и здесь одна из главных проблем — это омоложение и закрепление кадров.

В 2001 г. Россудостроение активно участвовало в работе по совершенствованию законодательной базы. Его представители участвовали в заседаниях Комиссии Государственной Думы по рассмотрению расходов федерального бюджета 2002 г. на обеспечение обороны и безопасности РФ, в заседании постоянно действующего Экспертного Совета при Комитете Совета Федерации по вопросам безопасности и обороны.

Проводилась работа по организации взаимодействия с органами государственной власти субъектов РФ, на территории которых расположены предприятия и организации судостроительной отрасли. С этой целью в Агентстве создана специальная комиссия по подготовке и реализации



соглашений между Россудостроением и субъектами Российской Федерации. В настоящее время с правительствами Москвы, Московской и Нижегородской областей такие соглашения уже подписаны. С восемью субъектами РФ соглашения будут подписаны в ближайшее время.

Организовано взаимодействие центрального аппарата Агентства с полномочными представителями Президента РФ в федеральных округах.

Основные задачи Судостроения на 2002 г. вытекают из необходимости реализации упомянутых в начале основополагающих документов, а также утвержденной распоряжением Правительства РФ «Программы социально-экономического развития Российской Федерации на среднесрочную перспективу (2002—2004 годы)». Это, в частности, сопряжение ресурсов государственного оборонного заказа, возможностей военно-технического сотрудничества, использования двойных технологий и диверсификации; сокращение ресурсоемкости оборонно-промышленного комплекса с одновременным повышением его эффективности; эффективное использование потенциала оборонно-промышленного комплекса для развития гражданских секторов экономики.

Основные мероприятия по плану работы Агентства в этом направлении 2002 г. — обеспечение безусловного выполнения заданий гособоронзаказа, дальнейшее расширение военно-технического сотрудничества; увеличение объема гражданского судостроения; активизация работы по реформированию предприятий судостроительной промышленности.

В прениях по докладу выступили Д. Г. Пашаев, В. В. Рукша, О. Б. Шуляковский, М. М. Боровик, И. Д. Спасский, В. Б. Юхнин, В. М. Пашин, И. В. Горынин, В. А. Радченко, В. С. Никитин.

По результатам работы расширенной коллегии Судостроения принято соответствующее решение.

Пресс-служба Судостроения
Фото О. Е. Гуляева

ОПЕРАЦИЯ ПО ПОДЪЕМУ АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ «КУРСК»

12 августа 2000 г. в Баренцевом море во время проведения учений Северного флота на атомной подводной лодке (АПЛ) «Курск»¹ (К-141) проекта «Антей» (рис. 1)



Рис. 1. АПЛ «Курск» проекта «Антей»

произошла катастрофа, в результате которой весь ее экипаж погиб.

АПЛ «Курск» затонула в результате внутреннего взрыва боезапаса торпедного оружия и была обнаружена 13 августа западнее мыса Териберка, в 108 милях от выхода из Кольского залива на глубине 115–116 м в точке с координатами 69°37'00'' северной широты и 37°34'25'' восточной долготы.

Затонувшая АПЛ с 13 по 19 августа была обследована при проведении спасательной операции обитаемыми подводными аппаратами Северного флота и 20–21 августа водолазами-глубоководниками с норвежского судна «Seaway Eagle».

Более детальное обследование АПЛ было продолжено в конце сентября глубоководными обитаемыми аппаратами «Мир-1» и «Мир-2» научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш», а также в октябре – ноябре необитаемыми подводными аппаратами и водолазами норвежской компании Halliburton AS с судна «Regalia».

По указанию Президента России В. В. Путина для расследования

причин гибели АПЛ «Курск» 14 августа была создана правительственная комиссия во главе с заместителем председателя Правительства РФ И. И. Клебановым.

Организация «подготовительных работ по обеспечению эвакуации тел погибших моряков с атомной подводной лодки «Курск» и ее подъему» Правительством Российской Федерации была возложена на ЦКБ МТ «Рубин» как на предприятие, имеющее высококвалифицированные

инженерно-технические кадры, которым детально известны характерные особенности конструкции АПЛ и которые владеют необходимыми знаниями современных способов и технологий судоподъема. При этом было поручено проведение переговоров (при необходимости) о выполнении судоподъемных работ с иностранными фирмами.

Общее руководство разработкой проекта подъема АПЛ осуществлял генеральный конструктор и начальник ЦКБ МТ «Рубин» академик РАН И. Д. Спасский.

Для координации работ по проекту и оперативного решения всех возникавших в ходе работ технических и организационных вопросов в ЦКБ МТ «Рубин» под руководством генерального конструктора АПЛ «Курск» И. Л. Баранова была создана рабочая группа конструкторов, в состав которой вошли также специалисты ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, 1 ЦНИИ МО РФ и 40 ГосНИИ МО РФ.

В процессе разработки технического проекта подъема АПЛ «Курск» ЦКБ МТ «Рубин» с участием ЦНИИ им.



Рис. 2. Пресс-конференция в мае 2001 г. после подписания контракта на подъем АПЛ «Курск» с компанией Mattoef. Слева направо: И. Д. Спасский — генеральный конструктор и начальник ЦКБ МТ «Рубин»; И. И. Клебанов — вице-премьер Правительства РФ, председатель правительственной комиссии по АПЛ «Курск»; В. И. Куроедов — Главнокомандующий ВМФ

¹Описание АПЛ «Курск» проекта «Антей» и ее основные технические характеристики приведены в журнале «Судостроение». 2000. № 6.

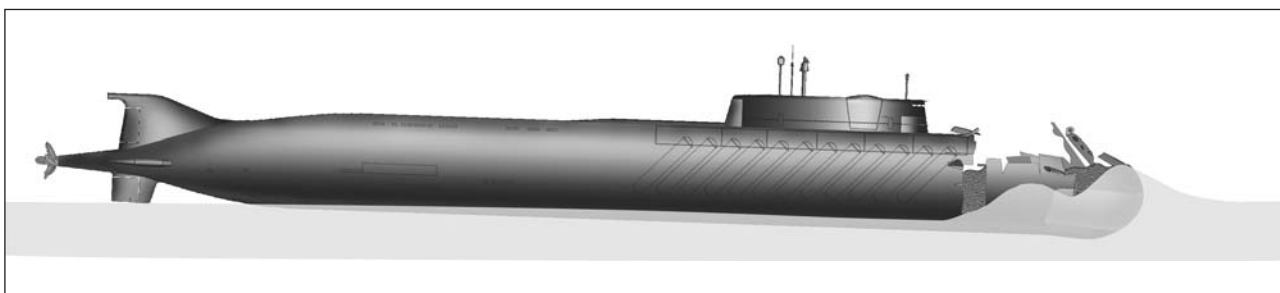


Рис. 3. Положение АПЛ «Курск» на грунте и основные повреждения ее корпусных конструкций. Дифферент — 2° на нос, крен — 1,5° на левый борт

академика А. Н. Крылова, 1 ЦНИИ МО РФ и 40 ГосНИИ МО РФ рассмотрело до 10 вариантов подъема затонувшей подводной лодки.

Одновременно было проанализировано более 500 технических предложений по подъему АПЛ «Курск», поступивших в адрес ЦКБ МТ «Рубин» от предприятий и частных лиц, а также от многих зарубежных фирм и компаний.

Однако ни один из рассмотренных вариантов не обеспечивал возможность подъема подводной лодки в 2001 г. Подавляющее большинство предложений отечественных и зарубежных предприятий и учреждений, авторских коллективов и частных лиц энтузиастов было неприемлемо в связи с тем, что у их авторов отсутствовала необходимая информация по проектным особенностям подводной лодки, ее фактическому состоянию после аварии и условиям проведения операции.

Учитывая крайне сжатые сроки проведения операции, отсутствие отечественных морских технологических средств для подъема с глубины более 100 м такого крупногабаритного объекта большого водоизмещения, как АПЛ «Курск», ее подъем мог быть осуществлен только с помощью существующего оборудования зарубежных компаний.

Поэтому российской стороной были проведены переговоры с несколькими иностранными фирмами, в результате которых была выбрана голландская компания Mammoet Transport Antilles N.V., руководство которой выразило готовность и подтвердило возможность выполнить операцию подъема АПЛ «Курск» в 2001 г. с использованием собственных технических средств (рис.2).

Разрушение прочного корпуса первого и носовой части второго отсеков (рис. 3), потеря общей прочности корпусных конструкций в носовой части АПЛ не позволяли поднять под-

водную лодку целиком. В связи с этим ЦКБ МТ «Рубин» было принято решение об отделении разрушенного первого отсека АПЛ.

Эту операцию выполнили с помощью оборудования голландской компании Smit International (партнера компании Mammoet) по исходным данным и при техническом сопровождении ЦКБ МТ «Рубин».

Разрезка корпусных конструкций в районе 15—16 шп. осуществлялась за счет возвратно-поступательного движения режущего троса (рис. 4). Тянущие усилия на режущий трос передавались ходовым тросом через систему поворотных и направляющих блоков от установленных на вакуумных якорях гидравлических цилиндров.

процесс отрезки выполнялся сверху вниз при полном дистанционном управлении.

Для отрезки первого отсека АПЛ «Курск» компания Smit Engineering разработала специальный вариант конструктивного исполнения режущего троса (рис. 5). Он состоял из толстостенных втулок диаметром ок. 80 мм, нанизанных на стальной трос общей длиной ок. 32 м. Втулки имели абразивное напыление карбида вольфрама. На концах трос завершался муфтами, с помощью которых режущий трос соединялся со стальными ходовыми тросами вакуумных якорей. Масса режущего троса составляла ок. 2 т.

Подобная операция по разрезке под водой на глубине более 100 м

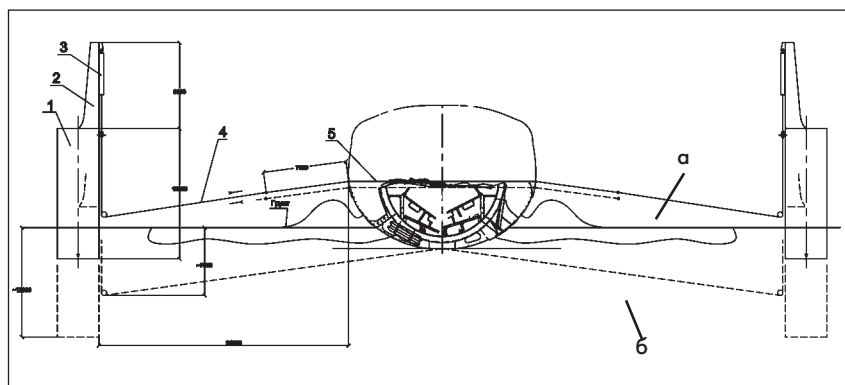


Рис. 4. Схема компоновки оборудования, использовавшегося при отделении первого отсека АПЛ перед началом отрезки (а) и при ее завершении (б):

1 — вакуумный якорь; 2 — гидравлический цилиндр; 3 — направляющий ролик; 4 — ходовой трос; 5 — режущий трос

Вакуумные якоря устанавливались побортно в районе первого отсека на расстоянии ок. 30 м от условной диаметральной плоскости подводной лодки и вдавливались в грунт под воздействием вакуумного присоса. В конце операции по отрезке отсека глубина проникновения в грунт вакуумных якорей достигала 8—9 м. За счет углубления якорей создавался необходимый упор режущего троса.

Режущий трос укладывался поверх завала носовой части АПЛ, и

крупногабаритных корпусных конструкций из сверхпрочных сталей осуществлялась впервые в истории подводных технологий.

Отсутствие опыта резания объемных, насыщенных оборудованием корпусных конструкций под водой, необходимость создания нового режущего инструмента, доработка этого инструмента и оборудования в процессе подготовки и выполнения самой операции задержали ее начало и увеличили продолжительность. Ра-

боты по отделению первого отсека АПЛ продолжались на неделю дольше, чем это было предусмотрено проектом. Однако даже после их завершения не было полной уверенности в отделении первого отсека от основного корпуса АПЛ в районе ее кила. Поэтому была предусмотрена возможность выполнения специальных технических и технологических мероприятий окончательного отделения первого отсека АПЛ. Выполнять их не потребовалось, так как килевая часть корпуса АПЛ была разрушена взрывом чуть носовее линии реза.

Выбор способа приложения подъемных усилий к поднимаемой подводной лодке занял в проекте особое место.

Традиционно подъемные усилия при подъеме затонувших судов создавались с помощью так называемых «полотенцев», облегающих корпус, или захватов, подводимых под доковый киль и передающих на него подъемные усилия. Эти способы были подробно исследованы и отклонены по следующим причинам.

Полотенца не могли быть применены для подъема из-за недопустимости приложения сил обжатия к наружному корпусу АПЛ в районах реакторного отсека и размещения контейнеров с боевыми крылатыми ракетами в междубортном пространстве. Суммарная протяженность этих районов составляла ок. 70 м, поэтому установка полотенец на оставшихся 50 м кормовой части АПЛ не позволяла обеспечить ее подъем.

Приложение подъемных усилий захватами к доковому килу позволяло распределить нагрузку по подъему равномерно по всей оставшейся длине АПЛ, однако для этого необходимо было размыть грунт вокруг подводной лодки, что неизбежно привело бы к неуправляемому изменению положения АПЛ на дне по крену и дифференту.

В условиях отсутствия достаточной информации о состоянии оборудования внутри отсеков АПЛ, возможное изменение ее положения на дне более 5° по дифференту и 3° по крену специалисты ЦКБ МТ «Рубин» сочли недопустимым.

Поэтому в проекте был принят способ подъема затонувшей подводной лодки, при котором большие



Рис. 5. Режущий трос во время предварительных испытаний

подъемные усилия прикладывались к верхней части прочного корпуса АПЛ.

Максимально возможное расчетное значение веса конструкций АПЛ «Курск» без первого отсека составляло ок. 9500 тс при длине оставшегося корпуса подводной лодки ок. 120—125 м. Положение ее центра тяжести по длине при отсутствии достоверных данных о состоянии подводной лодки после катастрофы было определено специалистами ЦКБ МТ «Рубин» с точностью ок. 1,5 м.

В результате инженерных расчетов прочности корпусных конструкций подводной лодки и подъемной оснастки, математического моделирования динамического взаимодействия судоподъемных технических средств с подводной лодкой в процессе отрыва ее от грунта, подъема и транспортировки к доку в условиях штормового Баренцева моря было определено местоположение подъемных точек по длине и ширине корпуса АПЛ.

Положение точек подъема и их количество должны были обеспечивать безопасный отрыв АПЛ от грунта и ее подъем без крена и дифферента. Решение этой непростой технической задачи осложнялось также неизвестностью точной величины и места приложения силы присоса днища АПЛ к грунту¹.

Тем не менее эта задача была успешно решена в стенах ЦКБ МТ «Рубин». Подъемный вес затонувшей подводной лодки с учетом преодоления силы ее сцепления с грунтом был принят равным 12 500 тс. Эта величина определяла требования к созда-

ваемой подъемной системе, поэтому была принята в проекте с учетом максимально возможных значений всех ее составляющих.

Общий замысел операции подъема и транспортировки АПЛ, который в итоге реализовали, был следующим (рис. 6, 7).

Необходимые подъемные усилия создавались установленными на подъемно-транспортной барже 3 тросовыми гидравлическими домкратами 5, с помощью которых осуществлялся отрыв АПЛ от грунта и ее плавный управляемый подъем к поверхности моря.

На период транспортировки АПЛ была прижата дополнительным усилием ок. 2500 тс к установленным на днище баржи специальным седлам 11, имевшим форму теоретических обводов надстройки АПЛ. Для «утопления» в корпусе баржи ограждения выдвигных устройств в ее днище был сформирован специальный рецесс 10, при этом поднятые выдвигные устройства АПЛ бы-

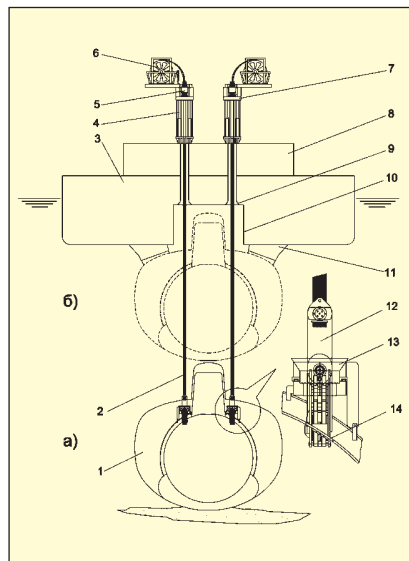


Рис. 6. Схема подъема АПЛ на этапах отрыва от грунта (а) и транспортировки (б):

1 — АПЛ «Курск»; 2 — пучок из 54 стрендов; 3 — баржа «Giant 4»; 4 — компенсатор вертикальных перемещений; 5 — тросовый гидравлический домкрат; 6 — катушка для стрендов; 7 — подвижная платформа; 8 — фундамент для компенсаторов вертикальных перемещений; 9 — клюзовая труба в барже для прохода стрендов; 10 — рецесс под ограждение выдвигных устройств АПЛ; 11 — седло; 12 — зацеп; 13 — направляющая корзина; 14 — отверстие в прочном корпусе АПЛ

¹ Величина силы сцепления АПЛ с грунтом, согласно исследованиям и расчетам, выполненным специализированными российскими и зарубежными институтами на основе образцов грунта из района гибели подводной лодки, была принята приблизительно 3000 тс.

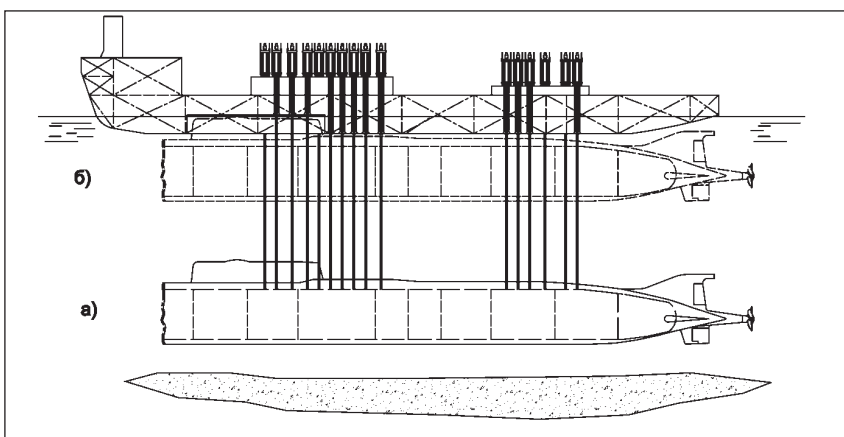


Рис. 7. Схема подъема АПЛ после отрыва от грунта (а) и при транспортировке (б)

ли отрезаны до начала ее подъема. Дополнительное усилие прижатия создавалось теми же гидравлическими домкратами, которые использовались при подъеме.

На корпус АПЛ 1 подъемные усилия от тросовых гидравлических домкратов 5 передавались через стренды 2 (пучок стальных тросов особой конструкции) с помощью специально разработанных для этой операции зацепов 12. Зацепы фиксировались в отверстиях 14, предварительно вырезанных между двумя шпангоутами в верхней части прочного корпуса АПЛ.

Для приложения усилий к корпусу АПЛ, требующихся для отрыва от грунта, подъема и транспортировки в поджатом к седлам 11 днища баржи состоянии расчетом, выполненным ЦКБ МТ «Рубин», была определена необходимость 26 подъемных точек.

Такой способ подъема, выполненный впервые в истории судоподъемных работ, мог быть осуществлен благодаря высокой несущей способности прочного корпуса АПЛ.

Для обеспечения всех этапов предусмотренных проектом работ потребовалось создание и привлечение целого комплекса судоподъемных и морских плавучих технических средств как голландской компании Матмоет и ее подрядчиков, так и Северного флота (СФ) ВМФ России.

В этот комплекс вошли баржа «Giant 4» (Smit International)¹ с установленной на ней подъемной грузонесущей системой (Матмоет), баржа «Carrier» с оборудованием для отрезки первого отсека (Smit International), водолазное судно «Mayo»

(DSND), суда-буксировщики: морские буксиры, работавшие по контракту с компанией Smit Maritime Contractors BV (Smit Wijs, «Атрек» и Navila Charmer), и рейдовые буксиры СФ; понтоны дополнительной плавучести (Матмоет), специально изготовленные на ПО «Севмаш» для операции докования; плавучий док ПД-50 (СФ), плавучие краны «Палтус» и 7500 (СФ), спасательный буксир «Алтай» (СФ), понтоны ССП-80 и ССП-200 (СФ).

Кроме того, подъемную операцию обеспечивали корабли охраны, гидрометеорологической службы, радиационного контроля, авиация, вспомогательные суда и плавсредства СФ ВМФ России.

Основным морским техническим средством, с помощью которого был осуществлен подъем АПЛ «Курск», была баржа «Giant 4» (рис.8), специально переоборудованная для этой цели на верфи Shipdock Amsterdam.

Баржа «Giant 4» представляет собой несамоходное судно (1977 г. постройки) длиной 140 м, шириной 36 м, водоизмещением порожнем 5400 т. Дедвейт баржи достигает 24 000 т.

При переоборудовании баржи на ней была установлена специальная созданная для подъема, транспортировки к месту докования и постановки в док АПЛ «Курск» подъемная грузонесущая система, состоящая из 26 автономных дистанционно управляемых подъемных блоков.

Для обеспечения функционирования и обслуживания грузонесущей системы на барже была созда-

на особая инфраструктура (мастерские, складские помещения, жилье для 52 членов команды, камбуз, столовая, кают-компания, санитарно-технические узлы — все на достаточно высоком техническом и комфортабельном уровне).

Места установки подъемных блоков на палубе баржи «Giant 4» были расположены в соответствии с принятыми в проекте координатами крепления грузонесущих связей (ГНС) к отверстиям в корпусе АПЛ. Возможность задания для каждого подъемного блока своей расчетной нагрузки обеспечивала требуемое распределение нагрузки на корпус АПЛ для осуществления безопасного отрыва ее от грунта и подъема без кренов и дифферентов.

Расчетная нагрузка при использовании всех 26 ГНС по условиям прочности корпуса АПЛ составляла 450 тс для точек, расположенных в третьем отсеке АПЛ, и 630 тс для всех остальных ГНС.

Принятые в проекте запасы прочности элементов подъемной системы, баржи и корпуса АПЛ обеспечивали ее подъем на любых 24 ГНС в случае невозможности использования двух связей вследствие выхода из строя подъемного блока или незавершения по какой-либо причине зацепа в отверстие в прочном корпусе АПЛ. Максимальные расчетные нагрузки при этом составляли 560 тс и 760 тс соответственно.

В состав каждого из 26 автономных дистанционно управляемых блоков подъемной грузонесущей системы, входили:

- гидравлический тросовый домкрат шагового типа с собственным силовым блоком и системой управления;

- ГНС, предназначенная для передачи подъемных (тяговых) усилий домкрата на корпус АПЛ при подъеме и транспортировке, а также для опускания АПЛ на доковый набор при доковой операции;

- компенсатор вертикальных перемещений положения домкрата с газовой (азотной) системой компенсации динамических колебаний баржи на волнении;

- системы управления домкратами и компенсаторами;

- технические средства для обеспечения заведения зацепа в вы-

¹Здесь и далее в скобках указан владелец плавучего средства.



Рис. 8. Баржа «Giant 4» с подъемной грузонесущей системой во время работ над АПЛ

рез прочного корпуса на АПЛ (направляющие корзина, кольцо, стренды, малые домкраты).

Гидравлические тросовые домкраты SSL 830 типа LI-011 грузоподъемностью 900 т изготовила голландская компания Hydrosprex.

Домкрат в составе подъемного блока располагался на подвижной платформе, опирающейся на пневматический компенсатор вертикальных перемещений. Собственный для каждого домкрата автономный силовой гидравлический блок с дизельным приводом устанавливался на приваренных к палубе баржи фунда-

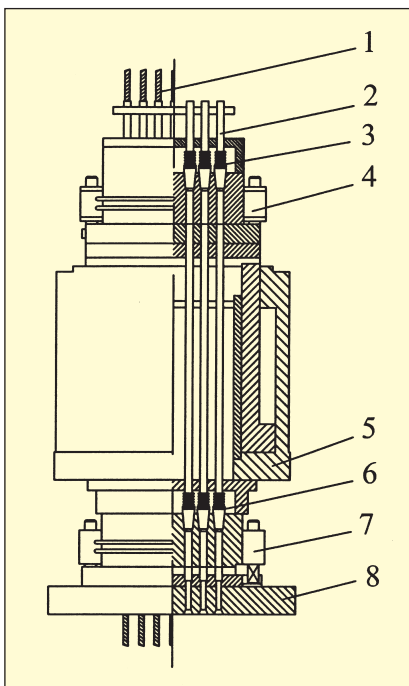


Рис. 9. Поперечное сечение гидравлического тросового домкрата:

1 — стренд; 2 — направляющая труба стренда; 3 — верхняя цапга; 4 — верхний анкер; 5 — гидравлический цилиндр; 6 — нижняя цапга; 7 — нижний анкер; 8 — плита основания

ментных балках компенсатора вертикальных перемещений подъемного блока.

Конструктивно (рис. 9) домкрат представлял собой один неподвижный и один подвижный анкерные блоки, способные попеременно захватывать и отпускать канговыми зажимами пучок из 54 стальных канатов особой конструкции (стрендов).

Подъемный стренд SB-ER-3M-3 (рис. 10) с рабочей нагрузкой 14 тс (разрывная нагрузка 39 тс), представлял собой цельный неразрезной стальной канат диаметром 18 мм, состоящий из семижильных прядей. Каждая прядь состояла из одного центрального и шести навитых вокруг него прутков диаметром 7 мм. На одну ГНС приходилось по 54 одиночных стренда, которые образовывали пучок. Рабочая длина пучка стрендов достигала примерно 130 м.

В исходном положении каждый пучок стрендов был намотан на специальную катушку диаметром ок. 3 м (см. рис. 6, поз. 6), которая вместе со своим приводным блоком была расположена выше гидравлического тросового домкрата на той же подвижной платформе подъемного блока. Катушка представляла собой набор из 55 объединенных общей осью перфорированных дисков, на которые и наматывались стренды.

Зацепы (рис. 11) для подъема АПЛ «Курск» были специально разработаны и изготовлены подрядчиком компании Mammoet голландской компанией Huisman Itrec в соответствии с требованиями к проектированию и изготовлению, разработанными ЦКБ МТ «Рубин».

Прочностные испытания зацепа совместно с испытаниями несущей

способности имитатора прочного корпуса АПЛ были проведены в июле на специальном стенде ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова.

Конструктивно каждый зацеп состоял из двух лап 4, разводящихся с помощью двух гидроцилиндров раздвижного механизма 5, и двух стопорных планок для фиксации лап в рабочем положении. На лапах зацепа были установлены сминающиеся под нагрузкой стальные перфорированные накладки 3. Эти накладки обеспечивали более равномерную передачу усилий на корпус подводной лодки и на лапы зацепа за счет отслеживания при их сминании формы корпуса АПЛ и поглощения различных концентраторов (конструктивных неровностей с внутренней стороны прочного корпуса АПЛ).

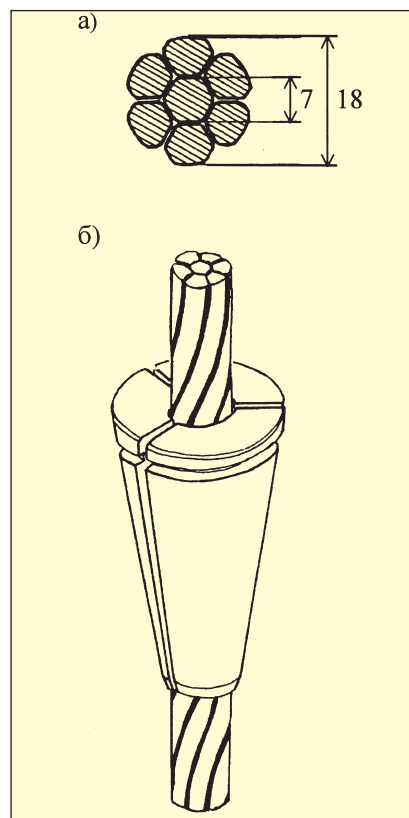


Рис. 10. Сечение стренда (а) и внешний вид охватывающей его цапги (б)

С пучком стрендов 1 зацеп соединялся через анкерный блок 2.

Пневматические компенсаторы вертикальных перемещений были разработаны и изготовлены подрядчиком компании Mammoet голландской компанией Hydrosprex и обеспечивали сохранение постоянной длины грузонесущей связи между АПЛ и тросовым домкратом

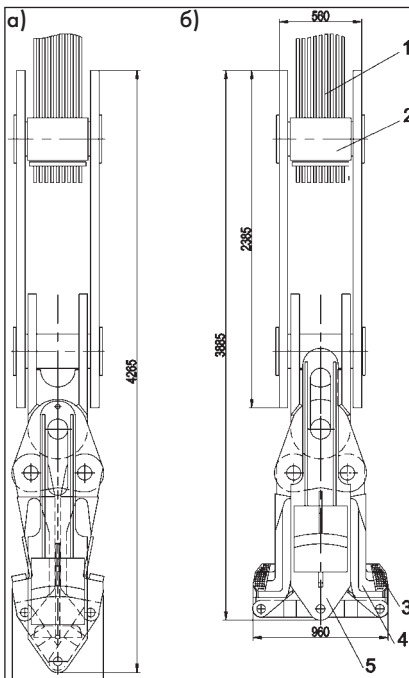


Рис. 11. Зацеп со сведенными (а) и разведенными (б) лапами:

1 — пучок стрендов; 2 — анкерный блок; 3 — перфорированная накладка; 4 — лапа; 5 — раздвижной механизм

на барже «Giant 4» и, соответственно, уменьшение возникавших динамических нагрузок в подъемном оборудовании за счет компенсации взаимных вертикальных перемещений баржи и АПЛ при их качке на волнении.

Каждый компенсатор вертикальных перемещений состоял из четырех цилиндров независимого действия, на которые опиралась подвижная платформа с установленными на ней гидравлическим тросовым домкратом, катушкой для стрендов и четырех малых домкратов для направляющих стрендов.

Все 26 подъемных блоков были объединены автоматизированной системой управления (разработка немецкой компании IgH) для обеспечения синхронизации работ по подъему АПЛ. Системы управления тросовыми домкратами и компенсаторами позволяли обеспечивать для каждой ГНС конкретную заданную расчетную нагрузку.

Пост системы управления подъемом был расположен на подъемно-транспортной барже «Giant 4» в установленном на ее полубаке отдельном контейнере.

Принятый способ управления подъемной системой, при котором помимо автоматического управле-



Рис. 12. Рабочее совещание на борту водолазного судна «Мауо» перед началом операции по отрыву АПЛ «Курск» от грунта. Справа налево: И. Д. Спасский — генеральный конструктор и начальник ЦКБ МТ «Рубин»; Франс ван Сеймерен — президент компании Mammoet — исполнителя работ по подъему АПЛ «Курск»; Нико Баус — президент компании Smit International (партнер компании Mammoet по операции подъема АПЛ «Курск»)

ния часть манипуляций предусматривалась вручную операторами непосредственно у подъемных блоков, позволил избежать чрезмерной автоматизации.

Все морские подготовительные работы, подъем, транспортировка, заведение понтонов дополнительной плавучести и постановка АПЛ в док проводились при техническом сопровождении специалистами ЦКБ МТ «Рубин» и непосредственном их участии в решении всех возникавших при этом технических и организационных вопросов.



Рис. 13. Начало транспортировки баржи «Giant 4» с АПЛ в Кольский залив

Этап морских подготовительных работ по подъему АПЛ начался 15 июля, когда к месту работ прибыло водолазное судно «Мауо», и продолжался до 7 октября. На этом эта-

пе были выполнены обследование и радиационный мониторинг АПЛ и близлежащего района; размыв грунта в районе линии реза первого отсека АПЛ; отрезка этого отсека и поднятых выдвигающих устройств АПЛ; установка подъемной оснастки на корпусе АПЛ.

Отверстия (диаметром 720 мм) в прочном корпусе АПЛ были выполнены с помощью гидроабразивной резки в июле—августе. Расчистка междубортного пространства от оборудования и конструкций, мешающих монтажу подъемной оснастки, а также зон внутри прочного корпуса в районе вырезов, необходимых для заведения зацепа и плотного прилегания его лап к прочному корпусу АПЛ, производилась водолазами экзотермической резкой электродами BROCO и гидравлическим инструментом. В связи с большим объемом подводно-технических работ расчистка последних двух отверстий в восьмом отсеке АПЛ была завершена только к 30 сентября.

26 сентября к месту работ подошла баржа «Giant 4», которая была установлена над АПЛ «Курск» и удерживалась в заданном положении с помощью специально установленных для нее восьми якорей.

Операция по заведению всех 26 зацепов в вырезанные в корпусе АПЛ отверстия заняла неделю, с 1 по 7 октября. Технологический цикл



Рис. 14. Баржа с прижатой к ее днищу АПЛ и подведенными понтонами дополнительной плавучести в Кольском заливе



Рис. 15. Заведение системы «баржа—АПЛ—понтон» в док ПД-50

монтажа подъемной оснастки на корпусе АПЛ для каждой ГНС осуществлялся следующим образом (см. рис.6).

В установленную водолазами над каждым отверстием 14 направляющую корзину 13 с баржи «Giant 4» на четырех стрендах опускалось направляющее кольцо. После фиксации водолазами кольца в корзине четырьмя стопорами на барже, включалась в работу система компенсации вертикальных перемещений данной подъемной точки за счет одновременного зажима четырех направляющих стрендов малыми домкратами и активации двух из четырех цилиндров компенсатора вертикальных перемещений 4. При этом подвижная платформа 7 подъемного блока выводилась в среднее положение, а в направляющих стрендах создавалось суммарное натяжение ок. 60 тс.

Затем по двум из этих направляющих стрендов (пропущенным через вертикальные трубки по бокам зацепа) в отверстие в прочном корпусе АПЛ с баржи опускался зацеп 12, при этом направляющие стренды ис-

ключали его свободное вращение вокруг своей оси при опускании, и соответственно, перекручивание пучка стрендов 2.

После заведения зацепа в отверстие и разведения его лап с помощью гидравлического привода он занимал рабочее положение. Для предотвращения обратного сведения лап зацепа водолазом устанавливались две специальные стопорные планки. Затем на барже активировались два других цилиндра компенсатора вертикальных перемещений данного подъемного блока, и создавалась контрольная нагрузка в ГНС 100—150 тс.

Демонтаж направляющих стрендов, которые выбирались наверх на баржу с помощью специальной технологической оснастки, был произведен после окончания монтажа подъемной оснастки всех 26 ГНС (эта операция завершалась уже в ходе самого подъема АПЛ).

Перед началом операции было проведено оперативное совещание (рис. 12). В ночь с 7 на 8 октября около 4 ч утра АПЛ «Курск» была

оторвана от грунта. Операция прошла удачно: для этого в подъемной системе потребовалось создать суммарную нагрузку менее 9000 тс, так как вес конструкций АПЛ оказался близким к своему минимальному расчетному значению — ок. 8400 тс, а сила сцепления АПЛ с грунтом — значительно меньше принятой в проекте. Это было вызвано наличием под днищем АПЛ тонкого слоя песка, покрывающего в данном районе Баренцева моря вязкий суглинок, образцы которого брались за основу при определении сил сцепления АПЛ с грунтом, как определяющего возможные наиболее тяжелые условия отрыва от него АПЛ. Отрывное сопротивление АПЛ от грунта было также уменьшено за счет предусмотренной проектом выдержки подъемной системы под суммарной нагрузкой 3—4 тыс. тс в течение 20 ч непосредственно перед подъемом АПЛ, а также применения специальной технологии отрыва при «ювелирной» работе операторов системы управления подъемом.

Поднятую до глубины ок. 50 м АПЛ осмотрели с помощью необи-



Рис. 16. Всплытие дока ПД-50 вместе с АПЛ «Курск». Слева видно ограждение выдвижных устройств, справа — верхняя часть корпуса лодки с технологическими вырезами, выполненными при подводно-технических работах



Рис. 17. Генеральный конструктор АПЛ «Курск» И. Л. Баранов (слева) и заместитель командующего Северным флотом А. А. Смоляков на борту баржи «Giant 4» перед операцией докования

таемого подводного аппарата, после чего подъем продолжили, при этом баржу «Giant 4» сняли с якорей, и началась одновременная ее транспортировка в сторону Мурманска (рис. 13) со скоростью ок. 1 уз. Управляемый подъем АПЛ к поверхности с момента отрыва от грунта продолжался ок. 14 ч, затем буксировку приостановили и провели операцию стыковки баржи с АПЛ. После заведения на носовой торец АПЛ защитной сетки буксировку баржи «Giant 4» с поджатой к ее днищу АПЛ «Курск» продолжали со скоростью ок. 4 уз.

Замеры фактических значений подъемных усилий и пространственного положения АПЛ в процессе ее отрыва от грунта и подъема, которые фиксировались специальной аппаратурой, подтвердили высокую точность инженерно-технических расчетов, выполненных в ЦКБ МТ «Рубин» и ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова при разработке проекта.

Подъем и транспортировка АПЛ «Курск» выполнялись при благоприятных погодных условиях: волнении моря при подъеме 2 балла, при транспортировке до 3 баллов; силе ветра до 10 м/с. Проектом обеспечивалось безопасное проведение операции подъема при волнении до 3 баллов и транспортировки при волнении до 5 баллов.

Обеспечение работ по подъему АПЛ «Курск» осуществлялось специально созданной по приказу Главнокомандующего ВМФ из сил и средств Северного флота Экспедицией особого назначения (ЭОН). Командиром ЭОН был назначен начальник штаба Северного флота вице-адмирал М. В. Моцак.

В состав ЭОН входило ок. 3000 человек, 12 боевых кораблей, 16 судов обеспечения, 8 вертолетов. Боевое дежурство по охране района при осуществлении подъема АПЛ нес крейсер «Петр Великий».

В период завершающей части морских подготовительных работ и непосредственно при проведении операции подъема АПЛ «Курск» генеральный конструктор и начальник ЦКБ МТ «Рубин» академик РАН И. Д. Спасский и заместитель Главнокомандующего ВМФ вице-адмирал М. К. Барсков руководили подъемом с борта водолазного судна «Маю».

На место проведения операции докования баржа «Giant 4» с АПЛ прибыла вечером 10 октября.

Поскольку осадка системы баржа—АПЛ превышала 22 м, ее заведение в плавучий док ПД-50 обеспечивалось за счет использования двух спроектированных голландской компанией Smit Engineering и изготовленных в ПО «Севмаш» понтонов дополнительной плавучести.

В период с 11 по 20 октября была проведена операция заведения понтонов дополнительной плавучести «Gop» и «Mag» под баржу «Giant 4» (рис. 14) и всплытия баржи с АПЛ «Курск» на этих понтонах. Для придания понтонам «Gop» и «Mag» дополнительной плавучести и продольной остойчивости дополнительно использовались понтоны ССП-80 и ССП-200. Установка ССП-80 и ССП-200 была произведена с участием сил и средств Северного флота. Понтоны «Gop» и «Mag» поочередно в притопленном состоянии заводились с бортов под днище баржи. Затем при откачке воды из внутренних объемов они

приобрели дополнительную положительную плавучесть, за счет которой приподняли баржу вместе с АПЛ.

После всплытия системы баржа—АПЛ—понтон потребовалась разгрузка баржи (демонтаж части оборудования в корме) и поддифферентовка системы для обеспечения необходимой для заведения в док осадки 14 м. Данная операция также была выполнена при участии сил и средств Северного флота.

21 октября Северным флотом была произведена операция докования системы баржа—АПЛ—понтон в плавучий док ПД-50 на СРЗ-82 в поселке Росляково Мурманской области (рис. 15).

22 октября АПЛ «Курск» установили на доковый набор, баржа «Giant 4» на понтонах всплыла, после этого удалили зацепы из корпуса АПЛ.

23 октября систему баржа «Giant 4» — понтоны вывели из дока ПД-50, который начал всплытие вместе с АПЛ «Курск» (рис. 16), закончившееся 25 октября в 18 ч. На этом операция по подъему АПЛ «Курск» была завершена.

С момента выхода баржи «Giant 4» в море 21 сентября из Киркинесса в район гибели АПЛ «Курск» и до постановки ее в док на борту баржи непрерывно находился генеральный конструктор проекта И. Л. Баранов (рис. 17) в качестве полномочного представителя заказчика (ЦКБ МТ «Рубин»), осуществлявшего постоянное наблюдение и техническое сопровождение всех подготовительных работ, подъема, транспортировки и постановки АПЛ в док.

Всего за 5 мес с момента подписания контракта с компанией Matmooet голландской и российской сторонами — многонациональным разноязычным коллективом участников проекта — была выполнена уникальная, чрезвычайно сложная, масштабная и достаточно эмоционально-напряженная работа как по разработке проекта подъема, так и по осуществлению подготовительных работ и самой операции подъема, транспортировки и постановки в док АПЛ «Курск».

И. Л. Баранов, канд. техн. наук, генеральный конструктор проекта, С. А. Шмелев, зам. главного конструктора проекта (ФГУП ЦКБ МТ «Рубин»)

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА СУДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ВЕРФЯХ ЗАПАДНОЙ ЕВРОПЫ

В конце января 2002 г. делегация специалистов — членов рабочей группы Россудоостроения по внедрению CALS-технологий в составе Л. М. Клячко — первого заместителя генерального директора Россудоостроения, Е. В. Игошина — заместителя генерального директора — главного конструктора ОАО «Балтийский завод», А. М. Карпеко — главного конструктора по САПР ФГУП «Северное ПКБ» и В. А. Велигжанина — первого заместителя директора ФГУП ЦНИИ «Центр» по приглашению фирмы IBM (США) посетила верфи Meyer Werft в Папенбурге (ФРГ) и CMN (Construction Mecaniques de Normandie) в Шербуре (Франция). Помимо верфей делегация побывала в центральной компании Dassault Systemes в Париже с целью изучения опыта внедрения информационных технологий на судостроительных предприятиях Западной Европы. В состав российской делегации также входили К. П. Борисенко — ректор Санкт-Петербургского государственного морского технического университета и А. В. Липис — генеральный директор информационно-технологического центра «Мебиус» (Санкт-Петербург) — бизнес-партнера фирмы IBM.

За два с половиной года существования Россудоостроения в отечественном судостроении после долгих лет кризиса наметился существенный рост объемов производства. Необходимость сохранения и укрепления наметившихся положительных тенденций, повышения конкурентоспособности продукции российского судостроения на мировом и отечественном рынках требует поиска путей сокращения продолжительности производственного цикла, улучшения качества проектирования и постройки судов, снижения эксплуатационных затрат.

Один из ключевых вопросов в этом направлении — развитие технологий информационной поддержки изделий (ИПИ-технологий), реализу-

ющих стратегию эффективного применения современных методов проектирования, подготовки производства и информационной поддержки эксплуатации и утилизации, базирующихся на использовании новейших средств электронного проектирования и моделирования изделий и производственных процессов при строительстве и эксплуатации судов и кораблей.

В настоящее время в Россудоостроении создан и эффективно работает Отраслевой совет по внедрению ИПИ-технологий, образована рабочая группа по реализации пилотных проектов, подготовлены документы по созданию Отраслевого центра по внедрению ИПИ-технологий. В результате совместных уси-

лий специалистов агентства и предприятий отрасли разработана и утверждена отраслевая Концепция развития CALS-технологий, подготовлен проект программы их внедрения в российском судостроении. И, что особенно важно, утвержден пилотный проект по CALS-технологии, и специалисты приступили к его реализации.

На сегодняшний день в организациях и на предприятиях отрасли используются различные системы автоматизации. Широко применяются современные специализированные CAD/CAM системы — Foran (SenerMar, Испания), Tribon (Tribon Solutions AB, Швеция), «Ритм-Судно» (ЦНИИТС, Россия). Практически все предприятия используют графическую систему AutoCAD (AutoDesk, США) и различного рода приложения на ее базе.

Из числа универсальных, так называемых «тяжелых» систем, в отечественном судостроении наиболее полно представлены продукты фирмы Parametric Technology (PTC, США) — система Pro/Engineer и др. Кроме того, имеется незначительное количество рабочих мест с универсальными CAD/CAM системами CATIA, EDS Unigraphics, Euclid, Solid Works. Некоторые предприятия продолжают собственные разработки в части автоматизации задач проектирования и технологической подготовки производства.

- От строительства океанских лайнеров до спортивных яхт, катеров и лодок;
- От ремонта до поставки судового оборудования;
- От деятельности портов до судоходных компаний

Вы найдете в ежегодном информационном каталоге
"Судоостроение и водный транспорт в России"
 и на www.ship.internord.ru

Тел. (812)318-9244, (812)312-3791



В классе систем ERP/MRP используются Baan, SAP/R3, Symix, Oracle Application, а в классе PDM — Windchill, Microsoft Project, Time Line, Artemis Project, Prestige, Primavera Project Planner, Cresta Project Management и др.

Вместе с тем, дальнейшее развитие информационных технологий в отечественном судостроении, необходимость унификации проектных решений и обеспечения интенсивно происходящих в настоящее время процессов интеграции усилий проектантов кораблей и судов, заводостроителей, разработчиков и изготовителей корабельного и судового комплектующего оборудования требуют серьезного внимания к проблеме выбора базовых CAD/CAM систем.

На мировом рынке ИПИ-систем в настоящее время существует ряд фирм-конкурентов, пытающихся активно внедряться в судостроение. Это PTC, Unigraphics Solutions (UGS), Structural Dynamics Research Corporation, IBM и др.

Одним из лидеров в этом ряду является фирма Dassault Systemes (Франция) — разработчик системы CATIA. Поэтому было принято решение ознакомиться с состоянием развития этой системы непосредственно в центральной компании в Париже, а также с практическими результатами внедрения системы CATIA, возникающими проблемами и возможностями на ведущих верфях Европы — Meyer Werft и CMN. Выбор данных верфей определялся и тем, что Meyer Werft специализируется на гражданской продукции — в основном круизных лайнерах, а CMN — на военной (корветы и др.).

В целях выработки корректной инвестиционной политики при внедрении информационных технологий оценка рассматриваемого программного продукта должна производиться с учетом следующих основных критериев: надежность инвестиций на долгосрочный период, определяемая позицией предполагаемого партнера на мировом рынке, обеспечением стратегического партнерства на долгосрочный период, глубиной

предлагаемого продукта и широтой его приложений; интеграция 3D-системы, функциональная полнота системы, возможность параллельного проектирования; степень охвата системой всей технологической цепочки — от дизайна изделия до управления производством; открытость интерфейса, возможность его развития и включения пользовательских приложений.

Система CATIA Solutions. Фирма Dassault Systemes традиционно доминирует на рынке CAD систем для авиастроения и автомобилестроения, но постоянно расширяет сферу своего влияния, в том числе путем поглощения других фирм. Так, в 1997 г. она приобрела Solid Works. Ведущий исследователь рынка CAD/CAM систем фирма Datatech прогнозирует, что объем продаж Dassault Systemes может достичь почти 50% этого рынка.

Dassault Systemes является стратегическим партнером IBM. Последняя предоставляет для распространения продуктов Dassault Systemes свою крупнейшую в мире дистрибуторскую сеть, осуществляет поддержку программного обеспечения и аппаратных средств.

Система CATIA Solutions фирмы Dassault Systemes получила широкое распространение и на судостроительных предприятиях, причем как в военном, так и гражданском судостроении. Среди использующих эту систему можно отметить Newport Shipbuilding, Electric Boat Corporation (США), Xenix (Австралия), Indian

Navy (Индия), Blohm+Voss, HDW, TSNW (Германия), CMN (Франция) — в области военного кораблестроения; Delta Marine (Финляндия), Alstom Marine (Франция), Meyer Werft (Германия), NKK, IHI (Япония), Wenchong (Китай) — в области гражданского судостроения.

Привлекательность системы для судостроителей объясняется постоянным расширением функций и задач, отражающих специфику судостроительного производства и проектирования.

В настоящее время подготовлена пятая версия CATIA V5, которая включает 177 дополнительных задач в области судостроения. Обращает внимание тот факт, что эти работы осуществляются при поддержке правительства США (которое выделяет 425 млн дол.) и направлены на реализацию проекта DDX (бывший DD21). В планах компании выпуск в ближайшее время следующих версий (115 и 33 модуля) с доведением общего количества задач до 522.

Следует также отметить такие последние разработки, как программы ENOVIA, реализующая функции PDM системы, и DELMIA, обеспечивающая имитационное моделирование на основе цифровой модели изделия.

Внедрение CATIA Solutions на верфи Meyer Werft. Эта верфь — одна из старейших в Европе — основана в 1795 г. Вильмом Майером и сегодня продолжает оставаться частным предприятием, которым руководит с 1975 г. продолжатель династии Бернард Майер.

В настоящее время на верфи трудятся около 2000 чел., средний возраст — 35 лет. Основную продукцию составляют океанские круизные лайнеры, автомобильные и пассажирские паромы, суда типа го-го и танкеры. Сейчас в доке заканчивается постройка круизного лайнера валовой вместимостью 91 000 рег. т. К 2005 г. планируется строить суда до 150 000 рег. т. Дальнейшее увеличение лимитируется узким выходом по реке Эмс в Северное море.

Внедрение ИПИ-технологий на верфи ведется на

**КОМПЛЕКСНОЕ
ОСНАЩЕНИЕ
КАМБУЗНЫМ
ОБОРУДОВАНИЕМ
КОРАБЛЕЙ И СУДОВ**



**СЕВЕР
ТРЕЙД**

- поставка и монтаж
- пуско-наладочные работы
- техническое обслуживание
- береговое обслуживание

Санкт-Петербург, Б.Морская 18
тел./факс (812) 311-8166, 311-8147, 311-4200
Москва, ВВЦ (совхозный въезд), ДЦ СП Технопарк, оф. 33
тел./факс (095) 234-5012, 234-5013

базе системы CATIA Solutions. Работы в этом направлении начались в 1989 г. Стратегическое партнерство с Dassault Systemes осуществляется с 1994 г. В настоящее время используется CATIA V4 (четвертая версия); 220 рабочих мест обеспечивают весь процесс проектирования и подготовки строительства судна. Автоматизированные рабочие места распределены по четырем основным подразделениям — продажа и дизайн, корпусное проектирование, проектирование помещений, инженерное подразделение. Первое из них осуществляет проектирование общего расположения и первичный дизайн (с использованием системы NAPA), разрабатывает спецификации. В корпусном подразделении выполняются основные проектные расчеты, в том числе прочностные с помощью системы ANSYS. Инженерное подразделение осуществляет прокладку труб, размещение оборудования, электротрасс и т. п.

Специалистами Meyer Werft совместно с центром IBM Shipbuilding в Гамбурге разработано около 20 специальных судостроительных приложений, которые должны войти в новую версию CATIA.

Существующая система позволяет при проектировании судовых систем осуществлять интеграцию 2D и 3D проектирования, получать необходимые данные о трубах и изоляции, выпускать отчеты, включая изометрические данные, сборочные чертежи, рабочие схемы со спецификациями. На основе последних планируются закупки. Осуществляются также весовые расчеты, производится расчет трудоемкости (план работ, типы работ), формируются данные для гибочных машин с ЧПУ (передача этих данных к машинам осуществляется с помощью PIPFAB-SYSTEM фирмы CARETRONIC).

CATIA используется на всех этапах проектирования, включая машиностроительную часть.

По мнению специалистов верфи внедрение системы CATIA позволило сохранить позиции на рынке судостроения за счет реализации ее основных преимуществ: автоматически корректируемая объектно-ориентированная 3D модель, доступная для всех приложений; возможность сквозного проектирования; повышение качества конструирования; повышение качества и достоверности



Судостроительная верфь Meyer Werft

передаваемой в производство информации; автоматический раскрой металла; автоматическая генерация спецификаций; создание предпосылок для совершенствования планирования производства; возможность электронного моделирования процессов формирования блоков.

В ближайших планах Meyer Werft — переход на CATIA V5 и внедрение продукта ENOVIA, реализующего функции PDM системы. Это позволит, по мнению руководства верфи, реализовать на предприятии PLM систему поддержки жизненного цикла изготовления изделия, увязав в одно целое проектирование, управление технологическими процессами, планирование и контроль производства, управление финансовыми потоками и персоналом.

Внедрение CATIA Solutions на верфи CMN. Предприятие было создано в 1912 г. и первоначально занималась авиастроением. Последние 50 лет — это судостроительная верфь, построившая более 350 судов, в том числе 285 военных кораблей для ВМС Франции, а также на экспорт. Среди них — корветы типа «Vigilante», BR 75, BR 70 и катера-перехватчики. Гражданская продукция — паромы и яхты, в том числе из композитных материалов. В настоящее время создаются корветы на основе stealth-технологий.

На верфи работают 540 чел. Внедрение систем для автоматизации задач проектирования началось в 1984 г. Спустя 10 лет внедрили CATIA V3. В настоящее время (с ию-

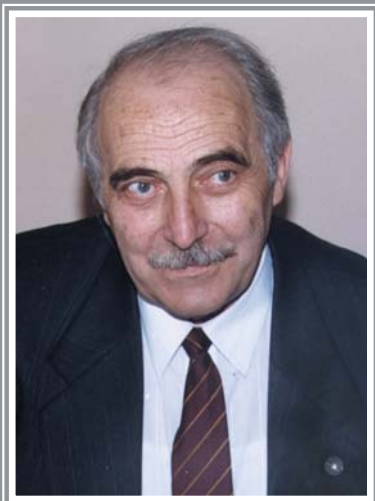
ня 2000 г.) установлен полный комплект CATIA-SHD (Ship Hull Design).

Всего на верфи более 40 автоматизированных рабочих мест, на которых выполняются проектирование и техническая подготовка производства, в том числе (кроме собственно рабочих мест CATIA-SHD): AutoCAD — четыре рабочих места; RIMBAUD — система для передачи исходных данных на машины для разметки и плазменной резки листов и трубогибочные установки — два рабочих места; CIRCE-система для проведения гидродинамических расчетов и оптимизации обводов корпуса — приобретено две лицензии.

По оценкам специалистов CMN, внедрение CATIA-SHD позволило: сократить время создания электронной модели корабля на 35—40%; существенно уменьшить продолжительность подготовительных работ; значительно сократить время и повысить качество работ при постройке корабля за счет отработки всех элементов проекта на этапе электронного моделирования.

Таким образом, практические результаты внедрения системы CATIA показывают ее высокую эффективность. В целях обеспечения использования положительного зарубежного опыта на российских предприятиях достигнута договоренность о проведении в апреле в Санкт-Петербурге соответствующего семинара с участием представителей Dassault Systemes и IBM.

Л. М. Клячко, канд. техн. наук



ГЕОРГИЮ ГЕНАРИЕВИЧУ МАРТИРОСОВУ 70 ЛЕТ

4 апреля 2002 г. исполнилось 70 лет Георгию Генариевичу Мартиросову — генеральному директору ГУП НПО «Винт».

Г. Г. Мартиросов родился в 1932 г. в Баку. Окончив в 1955 г. кораблестроительный факультет ЛКИ, он всю свою трудовую деятельность посвятил отечественному судостроению, проработав в НПО «Винт» более 45 лет, в том числе 37 лет в должности главного инженера, генерального директора и главного конструктора отрасли. При непосредственном участии Георгия Генариевича в нашей стране произошло становление особой техники судового машиностроения — гребных винтов регулируемого шага (ВРШ), движительно-рулевых колонок, водометных движителей, специальных движителей

для глубоководной техники и подводных лодок. Практически весь атомный флот России, в том числе и подводный, оснащен гребными винтами, конструкторская документация на которые разрабатывалась под руководством Г. Г. Мартиросова. Гребные винты атомных ледоколов, достигших Северного полюса, уникальные ВРШ для атомного лихтеровоза ледового плавания «Севморпуть» далеко опередили разработки ведущих движителестроительных фирм.

Г. Г. Мартиросов принимал личное участие в отработке и сдаче на кораблях и судах изделий, разработанных НПО «Винт», в организации производства судовых движителей на заводах отрасли, в развитии их специализации. Георгий Генариевич — один из инициаторов внедрения сквозной системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки и производства гребных винтов и лопастей. Сегодня эта система успешно функционирует на предприятиях. Значительная часть изобретений, созданных Г. Г. Мартиросовым в соавторстве с учеными и инженерами ряда предприятий отрасли, носит прорывной характер. Их внедрение позволило создать движители для ВМФ, обладающие кардинально улучшенными специальными характеристиками, заложило основу работ по экологии в области движителестроения и гидроэнергетики.

Считая обеспечение экологической безопасности важнейшей проблемой человечества, Г. Г. Мартиросов инициировал и возглавил работы по созданию экологически безопасной техники по специализации предприятия. На базе использования конверсионных технологий был создан ряд экологически безопасных конструкций судовых движителей и движительно-рулевых комплексов, в которых исключены системы смазки на масле, являющихся потенциальным источником загрязнения акваторий. Этот опыт активно переносится в область гидроэнергетики. В 1996—2001 г. НПО «Винт» разработало и поставило гидротурбинные узлы, обеспечивающие экологическую безопасность на крупнейших гидроэлектростанциях Волжского каскада и на ряде зарубежных ГЭС. Разработки в области экологической безопасности оценены не только в России. За последние несколько лет на международных салонах-выставках изобретений в Брюсселе и Женеве эти работы, выполненные под руководством и при непосредственном участии Г. Г. Мартиросова, отмечены 14 золотыми и серебряными медалями.

Георгий Генариевич ведет большую научную работу, он автор более 100 печатных трудов (в том числе в журнале «Судостроение») и изобретений. Свой богатый опыт он передает молодым специалистам, успешно сочетая основную деятельность с преподавательской работой в Московском государственном автомобильно-дорожном институте, являясь профессором и заведующим филиала кафедры «Тягачи и амфибийные машины» при НПО «Винт». Г. Г. Мартиросов — лауреат премии Совета Министров СССР (1974 г.) и Государственной премии РФ в области науки и техники (1998 г.), заслуженный машиностроитель РФ, награжден орденом Дружбы народов и медалями СССР и РФ, а за заслуги в области создания экологически безопасного оборудования — рыцарским крестом ордена Св. Иоанна Иерусалимского «Мальтийский орден» (2000 г.) и бельгийским орденом «Merite de L'invention» (2001 г.).

Коллектив НПО «Винт», редакция журнала «Судостроение», все кораблестроители желают юбиляру крепкого здоровья, счастья и новых творческих успехов на благо России!

ESAB – мировая сварка!

ESAB - мировой лидер по производству оборудования для всех видов сварки и резки металлов, крупнейший производитель сварочных материалов и технологий.

Концерн **ESAB** поддерживает легендарное шведское качество оборудования и материалов.

ESAB – незаменимый поставщик и партнер предприятий всех отраслей промышленности, имеющий 40-летний опыт работы в России.



ESAB производит и поставляет:

- сварочные электроды, проволоки и флюсы;
- аппараты для ручной, полуавтоматической и автоматической сварки;
- установки для орбитальной сварки неповоротных стыков труб;
- установки для автоматического раскроя листа методами газовой, плазменной и лазерной резки;
- линии для производства электродов;
- средства защиты сварщика и окружающей среды.

В Санкт-Петербурге производственная компания ЗАО "ЕСАБ-СВЭЛ" выпускает электроды российских и шведских марок на оборудовании, из материалов, по технологиям и стандартам качества ЭСАБ.

ООО "ЭСАБ"

119048, Москва, ул. Усачева, 33/2, стр. 6
тел. +7 095 937 95 81, факс +7 095 937 95 80 E-mail: esab@esab.ru

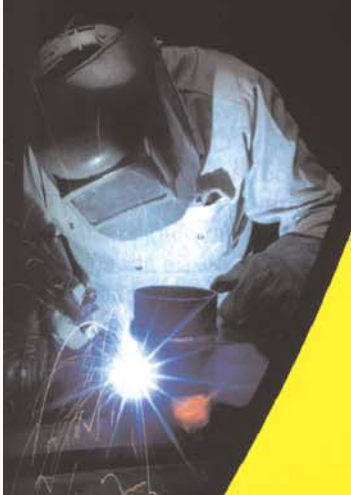
Филиал ООО "ЭСАБ"

197101, Санкт-Петербург, ул. Дивенская, 3
тел. +7 812 325 66 88 факс +7 812 325 37 66 E-mail: spb.sales@esab.se

Представительство ООО "ЭСАБ"

620014, г. Екатеринбург, ул. Антона Валека, 15, оф. 511
тел./факс +7 3432 65 83 82 E-mail: esab@bcforum.ru

www.esab.com www.esab.ru



ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ

ПОРТОВЫЕ И РЕЙДОВЫЕ ЛЕДОКОЛЫ РОССИИ В 1890—1918 гг.

В. Г. Андриенко

Повсеместно наименования первых ледоколов были говорящими: у немцев «эйсбрехер» (eisbrecher), у шведов «исбритарен» (isbrytare), у датчан «брюдерен» (bryderen), у норвежцев «исбьерн» (isbjorn), у американцев «ice-breaker». В нашей стране впервые слово «ледокол» для наименования судна было использовано в 1866 г., когда инженер Эйлер применил приспособленную канонерскую лодку «Опыт» для ломки льда между Кронштадтом и Ораниенбаумом. Перед первым рейсом судно освятили и назвали «Опыт-Ледокол» (до этого в России ледоколом именовался рабочий, ломавший лед для бытовых нужд). Достаточно долго наряду с термином

ны. Повсеместно предпринимались более или менее удачные попытки борьбы со льдом с помощью различных паровых судов. В зависимости от особенностей акваторий лед дробили колесами пароходов, таранили форштевнями буксиров, паромов и даже броненосцев. Применяли разные изобретения для колки льда — от паровых дисковых пил до установки наделок или особых понтонов на носу корабля. В нашей стране, например, особенно удачной считается деятельность предпринимателя М. О. Бритнева, небольшие буксирно-пассажирские суда которого поддерживали в зимнее время сообщение в ледовом канале между Ораниенбаумом и Кронштадтом. Первый из



Первое ледокольное судно Кронштадтского порта «Старшина» (слева) встречает на Неве ледокол «Ермак»

«ледокол» бытовал и другой — «ледорез» (ледорезный пароход).

С середины XIX в. все острее становилась потребность в расширении временных рамок навигации в портах, расположенных на замерзающих в зимний период морских бассейнах и в устьях рек Германии, Дании, Швеции, Норвегии, Голландии и на севере американского континента — в США и Канаде. Стародедовские способы пропиливания канала во льду (вручную, с помощью взрывчатки, ледовых саней и т. п.) для ввода и вывода судов были дороги и не эффектив-

этих буксиров назывался «Пайлот». Форштевни бритневских пароходов были срезаны под острым (примерно 20°) углом к горизонтали, что позволяло судам всходить на лед и проламывать его тяжестью корпуса.

Первые паровые винтовые суда, специально построенные для борьбы со льдом, появились в Германии. В 1871 г. в Гамбурге по проекту инженера Ф. Штейнгауза был построен ледокол «Eisbrecher I» (водоизмещение 570 т, мощность 600 л. с.). Форма его корпуса в плане напоминала рыбу с тупой головой и заостренным

хвостом. В диаметральной плоскости носовая часть корпуса имела тупое «ложкообразное» очертание, миделевое сечение было близким к полукруговому. В течение последующих 20 лет созданный Штейнгаузом «гамбургский тип» ледокола являлся основным для подобных судов, строившихся для различных замерзающих портов Северной Европы. В этот период было построено 10 ледоколов водоизмещением 600—800 т с паровыми машинами мощностью 600—1200 л. с. и около 30 более мелких, большей частью речных. К концу XIX века этот флот пополнился четырьмя портовыми ледоколами мощностью не более 2500—3000 л. с., а до начала 20-х годов XX века еще тремя подобными судами; несколько старых ледоколов подверглись модернизации [1].

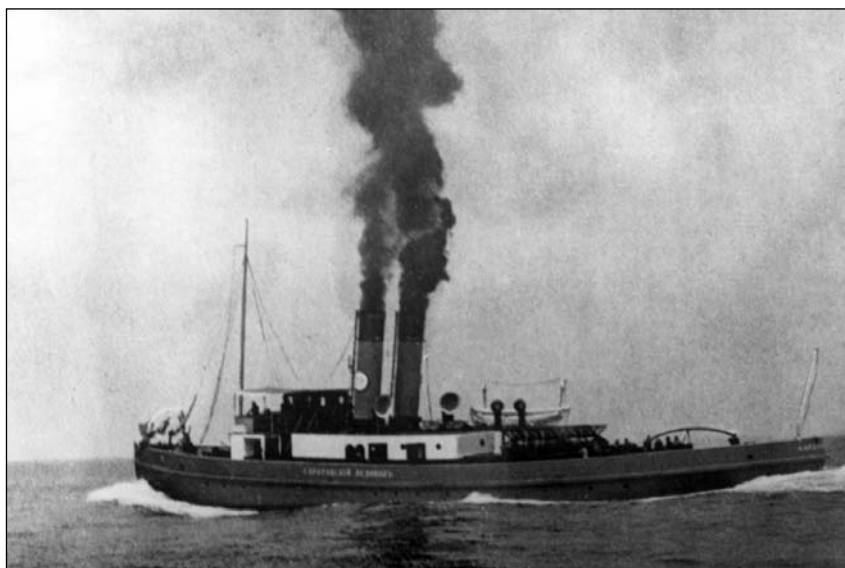
В Америке за эти полвека было построено всего несколько портовых ледоколов (точнее ледокольных буксиров). Большее распространение там получили суда ледового плавания различного назначения. Так, на Великих озерах с 80-х годов XIX в. через проливы на ледокольных паромах перевозили железнодорожные составы. В конце века на этих паромах для более эффективного продвижения в набивных льдах впервые применили носовой винт. В первые десятилетия XX века канадцы использовали для зимнего почтово-пассажирского сообщения в заливе Святого Лаврентия так называемые «ледорезы» — ледокольные пароходы с острыми (яхтенными) обводами корпуса (в данном случае речь идет не о синониме понятия «ледокол», а о типе судов ледового плавания).

В России ледоколы появились спустя почти 20 лет после начала использования их в Европе. Ничего удивительного и предосудительного в этом нет. Идеи борьбы со льдом с помощью специальных паровых судов в стране высказывались сразу же после появления первых пароходов. В 60-х годах XIX века некоторые идеи даже реализовывались («Опыт-Ледокол» Эйлера или буксирные пароходы Бритнева). В 1874 г. для Кронштадтского порта был построен небольшой ледокольный «Пожарный баркас № 2» — будущий «Старшина» (мощность 140 л. с.). В 80-х

годах в Риге и Ревеле применялись подобные британским или германским ледокольные буксирные пароходы с различной формой носовой оконечности [2]. Однако отечественные приморские торговые порты на Балтике, Черном и Азовском морях, эти важнейшие пункты внешней торговли и каботаж, начали интенсивно развиваться только со второй половины XIX столетия. Замена парусного торгового флота паровым и постоянное увеличение размеров и осадки морских пароходов требовали глубоких подходов к портам, защищенных от волнения портовых акваторий с набережными, доступными для непосредственного причаливания к ним пароходов. Существовавшие порты перестали отвечать своему назначению.

Только в конце 70-х — начале 80-х годов XIX века начались крупные строительные и дноуглубительные работы для основательной реконструкции основных российских портов. В 1883 г. в Министерстве путей сообщения (МПС) была выработана общая 10-летняя программа выполнения наиболее неотложных работ для приведения портов в соответствие с требованиями торговли и судоходства. В том же году программа была одобрена императором Александром III. Намеченные работы касались устройства и (или) улучшения десяти портов Балтийского, Черноморско-Азовского бассейнов (Ревельского, Рижского, Виндавского, Либавского, Одесского, Николаевского, Мариупольского, Таганрогского, Новороссийского и Батумского). На эти работы государством выделялись огромные суммы — до 40 млн руб. [3].

Таким образом, специальные суда для продления навигации могли понадобиться только в тех портах, создание которых можно было считать законченным, а значительно возросший грузооборот этих портов вынуждал «озаботиться» обеспечением их ледоколами. На Черном море в последнем десятилетии XIX века имелось два реконструированных порта — Одесса и Николаев. Последний являлся также военно-морской базой Черноморского флота и основным судостроительным центром для этого флота. По-



«Саратовский ледокол», обслуживавший Саратовскую железнодорожную переправу, был первым ледоколом на Волге

этому после углубления фарватера на реке Бук и открытия Очаковско-го канала в Днепровско-Бугском лимане (1887 г.) появились предложения об обеспечении Николаева собственным «ледокольным снарядом».

Именно для обслуживания этого порта Комиссией по устройству коммерческих портов МПС был заказан «сильный ледорезный пароход «Ледокол»» («Ледокол 1»)* мощностью 780 л. с. Его построили в 1890 г. в Швеции. С февраля следующего года он приступил к работе. Опыт оказался удачным, и буквально с того же года коммерсанты и моряки заговорили о ледоколе для Одессы и втором подобном судне на Буге. С 1898 г. в Днепровско-Бугском лимане начал работать ледокол «Гайдамак» (1200 л. с.), а в 1899 г. в Одессе — «Ледокол 3» (2000 л. с.). В 1897 г. в устье Дона появился еще один первенец «Ледокол Донских Гирл» (500 л. с.).

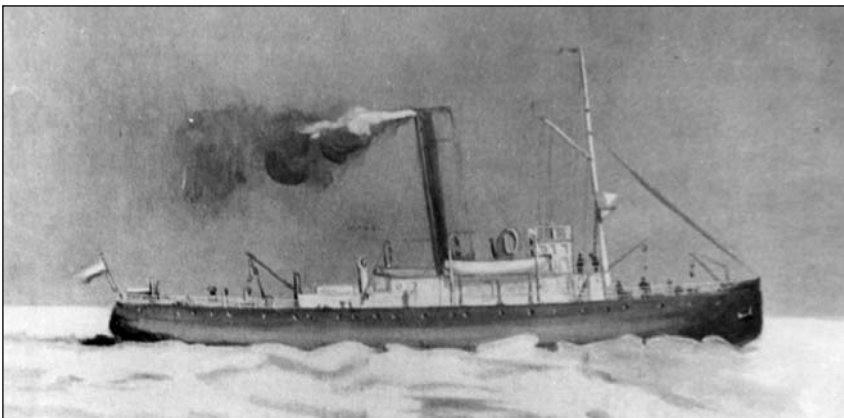
Необходимы были ледоколы и для замерзающих российских портов Балтики. Прежде всего это относится к Либаве (Лиепая). Здесь одновременно со значительным расширением деятельности торгового порта, считавшегося незамерзающим и являющегося в зимнее время фактически аванпортом закрытого почти на пять месяцев льдом Петербургского порта, велось строительство крупнейшей российской военно-морской базы — порта Императора Алексан-

дра III. Во избежание разных случайностей — появления в суровые зимы льда в самом порту и на подходах к нему (в канале и на рейде) — в МПС решили заказать особый ледорез-ледокол. Так в Либаве появилась «Ледокол 2» (700 л. с.), построенный в 1895 г. в Норвегии. Одновременно Ревельский биржевой комитет заказал в Германии для Ревеля «Штадт Ревель» («Stadt Reval») мощностью уже 1600 л. с.

Финский порт Гангэ еще в 1890 г. обзавелся ледоколом «Муртайя» (1200 л. с.), в 1898—1899 гг. для обслуживания Гельсингфорса и Або построили «Аванс» (1350 л. с.) и «Сампо» (2500 л. с.). «Сампо» на Балтике был первым портовым ледоколом так называемого «американского типа» (кроме винта в корме он имел еще и носовой винт).

На Дальнем Востоке имелся единственный крупный российский порт — Владивосток, подходы к которому и акваторию зимой покрывали льды. Этот порт, в то время только военный, крайне нуждался в ледоколе. После решения Морского министерства (1887 г.) о зимовке части кораблей отряда Тихого океана во Владивостоке, сразу возникла проблема их плавания во льдах бухты Золотой Рог и пролива Босфор Восточный; то же касалось и пароходов Добровольного флота, рейсы которых приходилось планировать, исключая зимний период или рис-

* В связи с встречающимися в документах различиями в написании названий портовых «номерных» ледоколов в этой и последующих статьях автором приняты наиболее употребляемые их наименования: «Ледокол 1», «... 2», «... 3», «Ледокол IV», «Ледокол № 5», «Ледокол № 6», «... № 9».



Проектный вид ледокола для Одесского торгового порта (будущий «Льдокол 3»). С рисунка судостроительной фирмы Армстронга, Витворта и К^о

куя разгрузкой судов на припай. После ледокольных работ в этом порту портового судна «Силач» в зимний период 1893—1896 гг. Морское министерство вынуждено было заказать в Дании ледокол «Надежный» (2500 л. с.), который с 1898 г. обеспечивал круглогодичную навигацию во Владивостокском порту и на подходах к нему [4].

В 1895—1900 гг. на озере Байкал создается паромная переправа, осуществлявшая свою деятельность с помощью построенных в Англии ледокола-парома «Байкал» и ледокольного грузопассажирского судна «Ангара» [5]. На Волге в 1896 г. вступает в строй Саратовская паромная переправа, обслуживаемая «Саратовским ледоколом». В 1899 г. на Балтику приходит гигантский по тем временам ледокол «Ермак», построенный уже не для отдельного порта или рейда, а для сопровождения караванов в Северном Ледовитом океане от Ново-Земельских проливов до устья Енисея, в зимнее время он должен был обеспечивать продление навигации на Балтике.

Наконец, в самом начале XX века появились два небольших ледокола для очередных «улучшенных» портов: «Владимир» (700 л. с.) в 1902 г. для Виндавы (ныне Вентспилс) и «Льдокол IV» (1200 л. с.) в 1905 г. для Мариуполя. Это были первые ледоколы, построенные в России в 1890—1905 гг. В этот короткий, по историческим меркам, промежуток времени один за другим появились девять портовых ледоколов (мощностью свыше 500 л. с. каждый); финские порты обслуживали еще три. Одновременно было построено несколько ледокольных буксиров, ко-

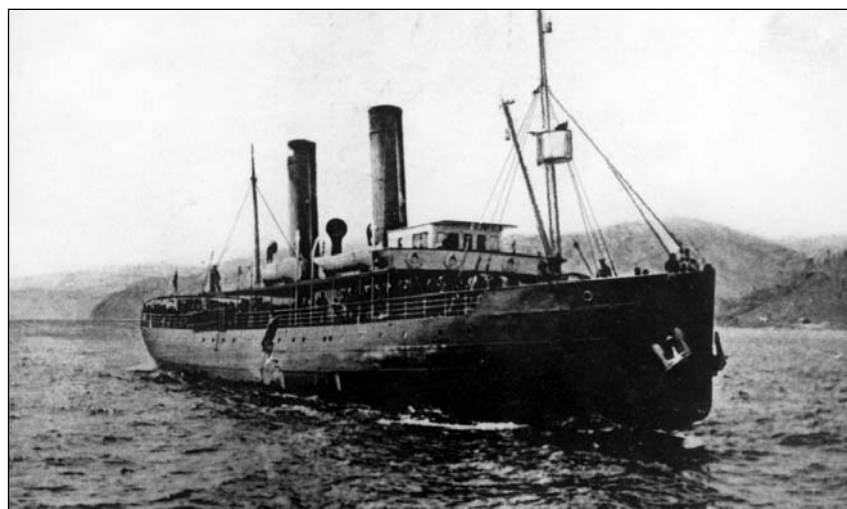
торые тогда именовали «ледоколами» или «ледорезами», например, портовое судно «Удалый» Либавского военного порта и буксир «Идумея» (по 400 л. с.) управления работ Рижского порта, портовое судно «Скатуден» (300 л. с.) Свеаборского порта. Кроме того, оба заинтересованных в использовании ледокольных судов ведомства — МПС и морское — оснастили почти все свои порты и военно-морские базы (военные порты) небольшими «ледорезными пароходами» (200—250 л. с.), строившимися по типовым спецификациям первых из подобных судов «Удалец» и «Молодец».

К 1905 г. большинство замерзающих портов страны было обеспече-

кретными программами развития ее портов и военно-морского флота. На основе накопленного опыта применения ледокольных судов торговые моряки и специалисты отдела торговых портов МТиП (Министерство торговли и промышленности) с 1908—1909 гг. приступили к планомерному проведению ледокольных работ в портах Балтики и Черноморско-Азовского бассейна.

События русско-японской войны 1904—1905 гг. и первой русской революции 1905 г. остановили дальнейшее развитие ледокольного флота на целое десятилетие. Очередное его пополнение началось после составления и начала реализации новых программ строительства и реконструкции портов и воссоздания российского военного морского флота.

Учрежденное в 1905 г. МТиП, в состав которого вошел отдел торговых портов, вновь подняло вопрос о коренном переустройстве и улучшении 16 главных российских торговых портов: Одессы, Санкт-Петербурга, Риги, Ревеля, Либавы, Николаева, Херсона, Мариуполя, Ростова, Новороссийска, Поти, Батума, Астрахани и Баку, а также Архангельска и Владивостока. По новой программе портостроительства (1911—1912 гг.) общая стоимость работ по устройству, расширению и



Грузопассажирский ледокольный пароход (ледокол) «Ангара» на озере Байкал

но ледоколами и ледокольными буксирами. Такой прогресс в создании собственного ледокольного флота за столь короткое время не был случайностью, он напрямую связан с развитием экономики России, кон-

углублению портов, распределенных на две очереди в порядке выполнения, составляла около 220 млн руб. [6]. Программа впервые в истории России предусматривала планомерное строительство ледо-



«Ледокол IV» работал на Азовском море

колов для проведения ежегодных ледокольных работ на всех морских бассейнах, где имелись замерзающие торговые порты. Всего предполагалось построить 14 судов. В 1914 г. на эту программу было отпущено 6,5 млн руб. Для каждого из портов, как и в начале создания ледокольного флота страны, предполагалось строить «свой» ледокол или ледокол определенного типа, но с особенностями, оговариваемыми инженерами порта, для которого заказывалось это судно.

Что же касается терминологии, то специалисты отдела портов МТиП в этот период подразделяли имеющиеся ледоколы на морские («Ермак», «Ледокол 3», «Гайдамак», «Ледокол IV»); рейдовые большого размера («Владимир», «Ледокол 1» и «Ледокол 2») и суда ледокольного типа (ледокольные или ледорезные буксиры типа «Удалец» — «Горгия», «Фанагория», «Лебедин», «Орешек», «Либава», «Рига», «Пантикапея», «Ногайск» и «Кабардинка»). Фактически все эти ледоколы, кроме «Ермака», можно было смело считать портовыми.

В Морском министерстве в 1908 г. заказали для Либавы и Ревеля два однотипных ледокола «Силач» и «Геркулес», вошедших в строй в 1911—1912 гг. как портовые суда; а в большой судостроительной программе 1912 г. предусмотрели постройку еще двух ледоколов (так называемых «ревельских»), на этот раз для сугубо конкретной цели — сопровождения легких сил флота (главным образом эскадренных минонос-

цев) во льдах Ревельского рейда и Финского залива. Эти суда, корпуса которых успели во время войны построить на заводе Беккера, вошли в строй ледокольного флота СССР через много лет после закладки: «Торос» в 1930 г., а «Малыгин» (бывший «Войма») только в 1945 г. Перед первой мировой войной моряки купили еще один портовый ледокол — «Трувор» (бывший «Слейпнер», работавший с 1897 г. в порту Копенгагена). Этот ледокол должен был обслуживать строительство и деятельность создаваемой на Балтике морской крепости Петра Великого. В помощь ему было куплено и построено еще несколько ледокольных буксиров.



Один из «номерных» портовых ледоколов Белого моря, построенных в 1916—1917 гг.

Строительство большого числа ледоколов военными моряками не планировалось, так как в случае войны все имевшиеся на морских бассейнах гражданские ледокольные суда должны были по мобилизации (согласно закону о военно-судовой повинности) войти в состав флота, что и произошло во время первой мировой войны 1914—1918 гг. Кстати, только в 1916 г. в новой классификации кораблей появились ледоколы, подразделенные на морские (класс 18-й), портовые и крепостные (класс 19-й). Эта классификация отражала не столько область применения тех или иных ледоколов, сколько подчиненность их определенным структурам Морского ведомства.

Война внесла существенные коррективы в первоначальные планы использования и строительства ледоколов. На Балтике и на Черном море это вылилось прежде всего в отмену ежегодных ледокольных работ в портах для продления навигации. Ледоколы участвовали в обеспечении плавания военных кораблей во время конкретных операций (например, при тралении фарватеров или выходе кораблей на позиции).

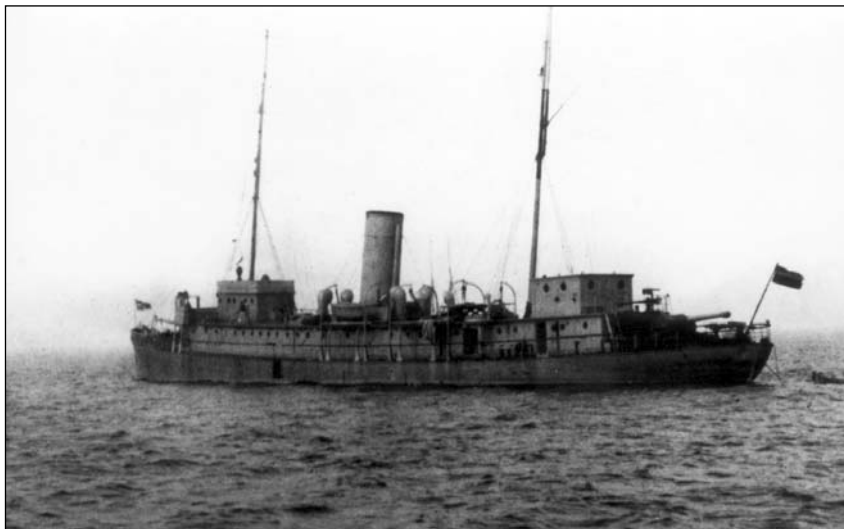
Довоенные программы пополнения ледокольного флота трансформировались в планы создания такого флота для Архангельска, превратившегося с начала войны в важнейший внешнеторговый порт России. Поскольку до начала войны там не было ни одного ледокола (имелся лишь ледокольный буксир «Лебедин»), то с августа 1914 г. отдел торговых портов МТиП с помощью Морского министерства начал спешно закупать за границей ледокольные суда для продления навигации в Белом море до 9—10 мес. Зимой 1914/15 г. на Белом море и на фарватере Северной Двины работал бывший канадский ледорез «Эрл Грей» (впоследствии «Канада», «Федор Литке»); в 1915 г. — начале 1916 г. появились небольшие ледоколы — канадский «Горн» (впоследствии «Соломбала»), норвежский «Мильнер» и еще один канадский ледорез «Минто» (будущий «Иван Сусанин»), а кроме того, семь ледокольных пароходов, два из которых даже пришлось использовать для ледокольной проводки в Белом море и на Северной Двине («Линтос», переименованный в «Садко» и «Брюс» — «Малыгин»); в Англии

строился по довоенной ледакольной программе ледаколов «Илья Муромец». Дальнейшее увеличение грузооборота северных портов и создание там военно-морских сил России потребовали развития Беломорской ледакольной флотилии. Возможности приобретения готовых судов были к этому времени исчерпаны.

По расчетам специалистов, для проводки судов зимой по Белому морю требовалось не менее четырех «больших» ледаколов и столько же для обеспечения ввода и вывода транспортов через бар Северной Двины. Для работы на реке и обслуживания портовых районов Архангельска были необходимы еще 5—6 портовых. Считалось, что в качестве больших ледаколов можно использовать «Канаду», «Илью Муромца», «Минто» и отчасти «Брюс». Под определение портовых (или рейдовых) ледаколов подходили «Горн» и «Мильнер».

Эти предварительные расчеты вылились в программу постройки ледаколов для Севера, поданную в Совет Министров России в конце 1915 г., который утвердил эту «ледакольную программу», добавив еще два больших ледакола для Морского министерства. На ее реализацию государство последовательно выделило более 18,3 млн руб., из которых 4,2 млн предназначались на постройку военных ледаколов (в том числе третьего для Владивостокского порта).

Портовикам (отделу портов МТИП) удалось заказать восемь ледаколов. Три морских («больших») считались ледаколами типа «Царь Федор Михайлович». Речь идет об известном балтийском ледаколе «Волынец», который еще и сегодня (в начале XXI в.) находится на плаву как эстонский ледакол-музей «Суур Тыйл» в Таллине. Созданный германскими корабелями завода «Вулкан» в Штеттине, он летом 1914 г. пришел в Петербург и в первую же зиму прекрасно показал себя во льдах, оправдав надежды инженеров отдела портов, разработавших технические условия для его заказа. По ледакольной программе 1912 г. «Федор Михайлович» предназначался специально для работы в Финском заливе. По конструкции и типу он представлял собой развитие финских ледаколов типа «Сампо» и «Тармо», но больших размеров и большей мощности паро-



Вспомогательный крейсер «Лейтенант Дрейер», бывший портовый (вспомогательный) ледакол «Иван Сусанин», до 1915 г. канадский ледорез «Минто»

вых машин. Если финский прототип имел по одному носовому и одному кормовому винту и соответственно две паровые машины, то у «Федора Михайловича» было три машины и три винта (один носовой и два кормовых). Новый ледакол был снабжен бортовыми балластными цистернами, позволявшими раскачивать судно во льдах.

Ледаколы военной поры несколько отличались от прототипа. Два из них строились по одному проекту на верфи Свана—Гундера в Ньюкастле; проект был разработан фирмой еще в 1912 г. Третий ледакол заказали верфи Армстронга по индивидуальному проекту той же фирмы. Только этот последний и являлся «усиленным типом» «Федора Михайловича» («Волынца»), превосходя его по размерам и мощности машин. Ледаколы Свана—Гундера получили наименования «Козьма Минин» и «Князь Пожарский», армстронговский — «Александр Невский». Заказ на пять однотипных портовых ледаколов для ускорения постройки распределили на трех заводах в двух городах Англии. По традиции новые ледаколы вместо наименований получили номера.

Военные моряки заказали ледакол типа «Ермак» с общей мощностью трех машин 10 000 л. с., названный «Святогором», а в Канаде купили строившийся там мощный ледакол, получивший наименование «Микула Селянинович».

В итоге в «ледакольную флотилию» Севера поступило 16 ледаколов нескольких типов: пять морских

(«Святогор», «Микула», «Минин», «Пожарский» и ледорез «Канада»); четыре вспомогательных («Минто» — будущий «Иван Сусанин», «Илья Муромец» и два ледакольных парохода «Садко» и «Малыгин»); семь портовых («Мильнер», «Горн» и пять номерных: «Ледакол 5» — «Ледакол 9»).

Владивостокский порт в годы первой мировой войны, как и Архангельский, превратился в перевалочный пункт грузов стран Антанты. Соответственно его ледакольные силы пришлось тоже увеличить. В 1916 г. сюда пришел построенный в Англии по довоенной программе рейдовый (вспомогательный) ледакол «Добрыня Никитич», а в 1915—1917 гг. из Шанхая (Китай) прибыли три построенных там портовых ледакола. Два из них (типа «Владимир») мощностью по 1200—1300 л. с. — «Казак Поярков», «Казак Хабаров» — и третий «усиленный» — «Байкал» (2200 л. с.). Кроме того, в порту до 1917 г. работали два небольших китайских ледакольных судна, нанятых для обеспечения зимних навигаций в первый год войны.

На Балтике «ледакольная флотилия» пополнилась за годы войны несколькими судами, купленными за границей в 1913—1914 г. («Трувор» и ледакольные буксиры для крепости Петра Великого), и включенным в состав ВМФ финских ледаколов. Кроме того, был достроен портовый ледакол МТИП «Александр Перфильев» («Вимс»).

Первые российские ледаколы не являлись полными копиями своих иностранных предшественников,

но в той или иной мере развивали первоначальные типы европейских ледоколов. Далее отечественные инженеры создают более совершенные специальные суда, отличающиеся по форме корпуса и ряду других особенностей (мощности силовой установки, расположению винтов и т. д.) [7—10].

Внимательно проанализировав примененное на ледокольных паромах на Великих озерах новое расположение винтов (один в носу и один в корме — так называемый «американский тип» ледокола), русские специалисты сначала использовали новинку на пароме-ледоколе «Байкал», а затем применили ее и на «чистых» ледоколах. Первыми ледоколами «американского типа» (с носовым винтом) стали финский «Сампо» и российский «Ермак», однако его плавание в Северном Ледовитом океане показало, что носовой винт не подходит для ломки арктического льда, и носовая часть «Ермака» была переделана. Появился тип арктического ледокола, одновременно морского и линейного, для проводки караванов судов в тяжелых льдах.

А вот «Сампо» стал этапом в развитии портового (рейдового) типа ледокола на Балтике. Наличие носового винта и достаточно мощные машины позволяли ему обеспечивать более быстрое продвижение во льду по сравнению с ледоколом «европейского типа», улучшали поворотливость. Спустя восемь лет финны обзавелись более мощными ледоколами того же типа — «Тармо», для Рижского порта в 1911 г. был построен «Петр Великий». Специалисты отдела портов МТиП в ходе разработки ледокольной программы создали морской ледокол «американ-

ского типа» для Балтики — «Царь Михаил Федорович».

Дальневосточный ледокол «Надежный» «европейского типа» (только с кормовым винтом, который приводился в действие мощной паровой машиной) стал прототипом подобных же портовых ледоколов как в России, так и за границей. Более совершенными стали обводы многочисленных портовых ледоколов традиционного «европейского типа».

Подробно о развитии типов ледоколов и совершенствовании форм их корпуса изложено в работах советских инженеров И. В. Виноградова, Н. А. Крысова, М. К. Петрова, А. Я. Сухорукова [11—15].

За годы первой мировой войны ледокольный флот страны вырос более чем в два раза! Если к августу 1914 г. в портах Российской империи имелось 22 сравнительно крупных ледокольных судна, то к 1917 г. добавилось еще столько же.

Несмотря на очень чувствительные потери, нанесенные отечественным ледокольным силам в результате мировой и гражданской войн, в ледокольном флоте молодой советской России на 1922 г. состояло 22 ледокола. Имелось пять больших морских ледоколов («Ермак», «Святогор», «Ленин», «Макаров» и ледорез «Литке»); три вспомогательных («Надежный» «Добрыня Никитич», «Иван Сусанин»); три рейдовых («Трувор», «Октябрь» — бывший «Штадт Ревель», «Силач»); десять портовых («Мильнер», «Соломбала» — бывший «Горн», номерные северные ледоколы, «Казак Поярков», «Казак Хабаров» и «Ледокол IV»). Главным недостатком доставшегося стране флота была не столько его изношен-

ность, сколько разнотипность (за исключением небольших ледоколов). Тем не менее именно на эти суда в течение 20 последующих лет (до начала Великой Отечественной войны) и легла нелегкая ледокольная работа на всех замерзающих бассейнах страны, включая абсолютно новые для них функции — обеспечение арктических навигаций на Северном морском пути. Новое пополнение этого флота началось только в конце 30-х годов.

Литература

1. Oesterle B. Eisbrecher aus aller Welt. Berlin, 1988.
2. Судостроение. 1982. № 11; 1985. № 3; 1991. № 6; 1995. № 2—3.
3. Приморские торговые порты Европейской России. Белое, Балтийское, Черное и Азовское моря//Труды отдела торговых портов. Вып. XXIV. СПб., 1908.
4. Судостроение. 1974. № 12; 1995. № 4.
5. Андриенко В. Г. Ледоколы Байкальской паромной переправы//Человек, море, техника. 1987. Вып. 4.
6. Русское портостроительство в период войны 1914—1918 гг.//Труды отдела водного строительства. Материалы по торговым портам. Вып. 7.: ВСНХ (Главное управление государственного строительства), 1924.
7. Афонасьев В. И. Ледоколы. Материалы к изучению движения судна. Ч. 3. СПб., 1899.
8. Рунеберг Р. И. О пароходах для зимнего плавания и ледоколах//Сборник института путей сообщения. Вып. 17. СПб., 1890.
9. Рунеберг Р. И. О постройке ледоколов//Морской сборник. 1898. № 10.
10. Шеман Н. О ледоколах.//Морской сборник. 1894. № 12.
11. Виноградов И. В. Суда ледового плавания. М., 1946.
12. Крысов Н. А., Сухоруков А. Я. Систематизация технического опыта эксплуатации ледокольных судов//Труды АНИИ. Т. 115. Л., 1938.
13. Петров М. Плавание во льдах. М., 1955.
14. Петров М. К. Наша страна — родина ледокола//Летопись Севера. 1949. Вып. 1.
15. Сухоруков А. Я. Типы ледоколов и форма их корпуса//Труды ЛО ВНИИОФТ. Л.—М., 1938.

ПАРОХОД «РЕДЕДЯ КНЯЗЬ КОСОГСКИЙ»

И. И. Черников

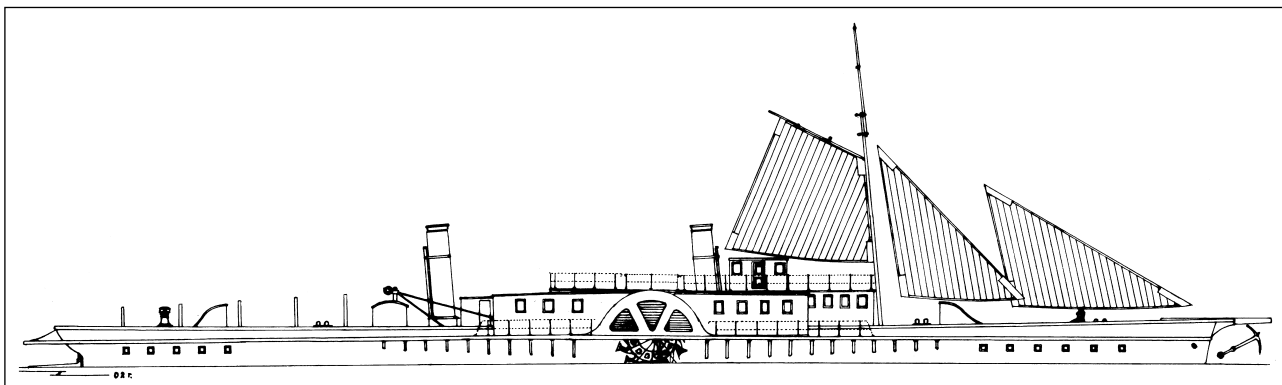
Буксирный пароход «Редедя князь Косогский» был построен в 1888—1889 гг. на Мотовилихинском пушечном заводе по заказу известного судовладельца П. Н. Ушакова. Кроме мощной силовой установки буксир был знаменит еще и тем, что на нем, видимо, впервые была применена электрическая сварка металлическими электродами, ко-

торые одновременно служили присадочным материалом. Этот способ сварки, открытый Н. Г. Славяновым в 1888 г., оказался очень практичным и быстро получил всемирную известность и признание.

После постройки заказчик отказался от приемки парохода из-за его большой осадки — 1,78 м, превышавшей контрактную и не соот-

ветствовавшей состоянию глубин на перекатах Волги. Долгое время судно оставалось в распоряжении завода, а потом было продано акционерному обществу «Мазут». 9 мая 1890 г. пароход «Редедя» совершил свой первый рейс от устья Камы до Нижнего Новгорода с грузом 8,8 тыс. т мазута, который размещался на 3 баржах и 13 «коломенках».

Несмотря на то, что пароход полной мощности в эксплуатации не развивал, он славился как первый «силач» на Волге, водивший на своем буксире до 40 судов. В первые годы эксплуатации из-за несовершен-



Пароход «Редедя князь Косогский». © Реконструкция чертежа. И. И. Черников, 2002

ства конструкции колес он имел низкую экономичность, потребляя до 20 т мазута в сутки. Огромный «воз» мелких судов, который тащил за собой «Редедя», был чрезвычайно труден в управлении, поэтому нередко случались обрывы каравана или потери барж. Вместе с тем при буксировке составов с расчетным грузом 16,4 тыс. т пароход мог развивать скорость на тихой воде до 8–9 км/ч.

Естественно, что для такого судна требовался подвижной состав более крупного водоизмещения, которого в начале 1890-х годов на Волге не было. Большая осадка также не позволяла «Редеде» успешно конкурировать с буксирными пароходами меньшего водоизмещения. Только в советское время, пройдя радикальную реконструкцию, судно стало буксировать составы нефтяных барж с грузом более 35 тыс. т.

Корпус судна имел следующие основные размерения: длина между штевнями 75,7 м, полная длина с кринолином 85,1 м, ширина 10,7 м и высота борта — 3,7 м. Проектная осадка с полным снабжением (запас топлива — мазута — 282 т) — 1,4 м оказалась в действительности больше почти на 0,4 м.

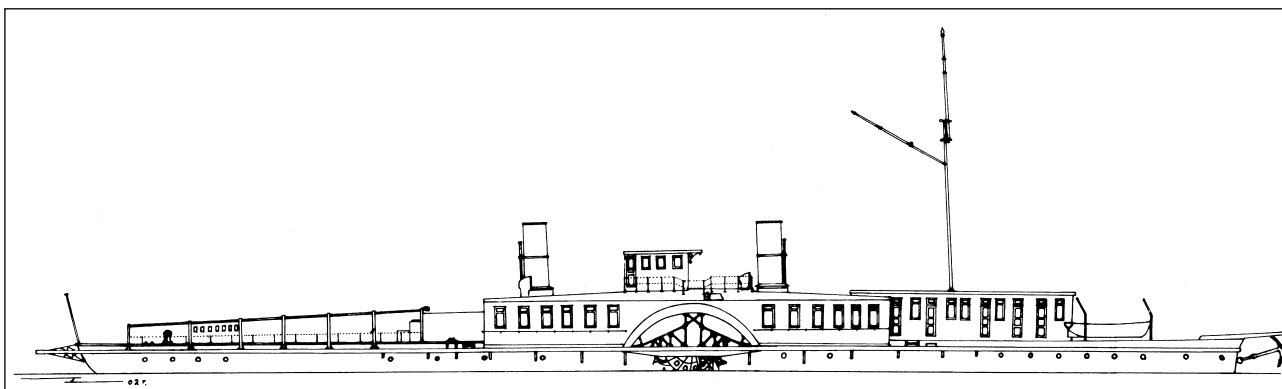
О конструкции корпуса судить трудно, так как документальных сведений по этому вопросу до сих пор обнаружить не удалось. Однако в книге А. С. Огневицкого и Л. Д. Радунского «Николай Гаврилович Славянов» сообщается: «Значительную часть швов данного парохода Н. Г. Славянов выполнил способом «электрической отливки» вместо клепки». Система набора — поперечная, обшивка — толщиной от 5,6 до 7,1 мм, палуба рифленая из 4,4-мм железа (не считая высоты рубчиков), 12 поперечных переборок из 4,8-мм котельного железа (из них 6 — водонепроницаемые). Продольными несущими балками служили четыре кильсона, продольный стрингер и шесть бортовых полок вдоль всего судна.

Четыре двухтопочных цилиндрических оборотных котла размещались в двух кочегарках и имели общую нагревательную поверхность 850,44 м². В 1901 г. их заменили на новые с общей нагревательной поверхностью 719 м³. Проектная мощность четырехцилиндровой машины двойного расширения пара составляла 2000 л. с. при расчетном расходе топлива 19,7 т в сутки. Машина располагалась наклонно на клепаном

фундаменте. Подобного типа машины впоследствии довольно часто применялись в США на буксирах-толкачах. Однако машина парохода «Редедя князь Косогский» отличалась тем, что каждый цилиндр низкого давления имел по два штока.

Для подъема якоря служил паровой брашпиль с двухцилиндровой паровой машиной. Гребные колеса системы Моргана имели диаметр между центрами бабок плиц 4,8 м. Плицы (по 13 на колесе) изготавливались из дуба и имели размеры: длина 4,6 м, ширина 1,06 м и толщина 102 мм.

В 1897 г. гребные колеса были переделаны на нижегородском заводе Курбатова. Число плиц уменьшилось до одиннадцати, диаметр между центрами бабок стал 4,7 м, длина и ширина лопасти соответственно 4,72 и 0,96 м. В это же время судно электрифицировали и установили паровой рулевой привод, изготовленный на Сорновском заводе. Динамо-машина, рассчитанная на силу тока 85 А при напряжении 115 В приводилась в действие одноцилиндровой паровой машиной. Водоотливные средства состояли из трех паровых эжекторов и парового насоса подачей 635 м³/ч.



Пароход «Степан Разин». © Реконструкция чертежа. И. И. Черников, 2002

Для уменьшения вязкости и повышения температуры мазута был установлен специальный подогреватель. Вода для питания котлов предварительно очищалась в коксовом фильтре, а затем шла в подогреватель трубчатого типа, работавший на отработанном паре.

В 1918 г. «Редедя» числился в составе белогвардейской Волжской флотилии, но ничем себя не проявил. После окончания гражданской войны он сначала находился на приколе, а затем после короткой эксплуатации (1923 г.) простоял на консервации вплоть до 1928 г., когда Волжское государственное речное пароходство приступило к его капитальному ремонту, длившемуся 2,5 года. После его окончания пароход получил наименование «Степан Разин».

Капитально-восстановительный ремонт 1928—1930 г. кардинально улучшил эксплуатационные характеристики судна. Часть листов, имевших стрелки прогиба до 250 мм, выправили, обшивку бортов и днища заменили почти полностью, установили также новые надстройки.

Котлы и машины прошли средний ремонт, но гребные колеса под-

верглись значительному изменению: их диаметр был уменьшен, а длина плит увеличена. Количество плит в колесе сократили до восьми. Для облегчения монтажа и ремонта железные плиты по длине имели один разъем. Длина и ширина их составила соответственно 7,42, 1,02 м при толщине без учета ребер жесткости 14 мм, диаметр колеса между центрами бабок и внешнего обода соответственно 4,0 и 5,3 м.

На судне установили прожектор, радиостанцию и систему парового отопления помещений. Ширина корпуса с обносами возросла до 26,7 м. габаритная высота с надстройками — до 8,85, а осадка до 2,2 м. Мощность машин составила 1600 л. с.

Пароход «Степан Разин» долгое время был крупнейшим буксиром речного транспорта СССР и по мощности энергетической установки среди речных буксирных пароходов занимал одно из первых мест в мире. В 1958 г. его вывели из эксплуатации, но он еще длительное время использовался в Астрахани в качестве пародателя.

Создание буксира «Редедя князя Косогский» можно считать крупным

достижением русских судостроителей. Несовершенство конструкции гребных колес, сравнительно большая осадка и отсутствие крупных несамоходных барж в Волжском бассейне некоторое время делало эксплуатацию парохода малозадействованной. Вместе с тем, после проведения дноуглубительных работ, появления новых типов буксируемых барж и улучшения конструкции гребных колес удалось существенно улучшить эксплуатационные характеристики парохода.

Литература

- Бельчук Г. А. К истории развития электросварки в отечественном судостроении // Труды Ленинградского кораблестроительного института. 1951. Вып. IX.
Речное судоходство в России. М.: Транспорт, 1985.
«Редедя князь Косогский» // Нижегородский вестник пароходства и промышленности. 1890. № 5.
Шубин И. А. Волга и волжское судоходство. М.: Транспечать, 1927.
Судовой список русского регистра. Ч. 5, СПб., 1915.
Скорняков А. А. Описание работ по исследованию буксирных пароходов р. Волги. М., 1924.
Звонков В. В., Фролов С. П. Работа стахановского парохода «Степан Разин». М.: Наркомвод СССР, 1937.
Огневицкий А. С., Радунский Л. Д. Николай Гаврилович Славянов. М.—Л., 1952.

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.5.024.015.4

Ключевые слова: судно, корпус, гидродинамические нагрузки, надежность.

Бойцов Г. В., Кудрин М. А. Оценка усталостной прочности конструктивных узлов корпусов судов // Судостроение. 2002. № 2. С. 9—12.

Дается анализ влияния параметров волнения, геометрических характеристик корпуса и оформления конструктивных узлов на усталостную долговечность судна. Приводятся расчетные формулы для проверки усталостной прочности корпуса и его конструктивных узлов. Ил. 5. Библиогр.: 10 назв.

УДК 629.5.035.6.015.2

Ключевые слова: плавниковый движительно-рулевой комплекс, упругий плавник, резонанс.

Носов Е. П., Рыжов В. А. Влияние упругости на эффективность плавниковых движителей // Судостроение. 2002. № 2. С. 12—15.

Рассматривается влияние упругости на пропульсивные характеристики плавниковых движительно-рулевых комплексов (ПДРК). Приводятся конструктивные решения для плавников с упругими связями, полностью упругих плавников, плавников с регулируемой упругостью. Делается вывод о перспективности использования упругих плавников на многорежимных ПДРК. Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

УДК 629.585.015.2

Ключевые слова: ЦАГИ, подводные лодки, гидродинамика, управляемость.

Жаринов А. В. Этапы развития гидродинамики, устойчивости и управляемости отечественных подводных лодок и роль ЦАГИ в этом процессе // Судостроение. 2002. № 2. С. 16—21. Дается исторический обзор участия ЦАГИ в проработке вопросов гидродинамики, устойчивости и управляемости отечественных подводных лодок с середины 1940-х годов до настоящего времени. Ил. 5.

УДК 623.827.2(73)

Ключевые слова: атомная подводная лодка, военное кораблестроение, кораблестроительные программы.

Антонов А. М. От «Seawolf» к «Virginia» // Судостроение. 2002. № 2. С. 21—28.

Анализируются боевые возможности атомных подводных лодок ВМС США типа «Los Angeles» и «Seawolf». Приводятся проектные особенности атомной подводной лодки нового поколения «Virginia». Рассматриваются пути развития ВМФ в новой военно-политической и экономической ситуации. Ил. 6. Табл. 2. Библиогр.: 13 назв.

УДК 623.827:621.039.58

Ключевые слова: лопасть гребного винта, вихревая модель, неоднородность потока.

Старцев С. Б. Компьютерное моделирование работы гребного винта в неоднородном потоке // Судостроение. 2002. № 2. С. 29—31.

Рассматриваются результаты разработки вихревой модели лопасти гребного винта, построенной на основе вихревой теории несущей поверхности при рассмотрении крыла конечного размаха, движущегося по спиральной траектории. Модель учитывает влияние на ГДХ гребного винта вихревого следа, применима для лопастей произвольной формы в плане, ее использование эффективно на стадии проектирования гребных винтов. Ил. 2. Библиогр.: 3 назв.

УДК 629.037

Ключевые слова: лопасть, трещина, дефект, трещиностойкость.

Файвисович А. В. Усталостная прочность и трещиностойкость лопастей гребных винтов теплоходов типа «Маршал Буденный» // Судостроение. 2002. № 2. С. 31—33.

Исследуется прочность лопастей гребных винтов теплоходов серии «Маршал Буденный». На основе анализа напряженного состояния лопасти и полученных экспериментально параметров показано, что прочность ГВ определяется наличием трещиноподобных дефектов. Предложен методический подход и проведено нормирование размеров этих дефектов с учетом их расположения на нагнетающей поверхности лопасти. Ил. 6. Библиогр.: 3 назв.

УДК 621.431.74:658.5

Ключевые слова: топливные суспензии, паровой котел, экологическая безопасность.

Колпаков С. П. Использование топливных суспензий в судовых паровых котлах// Судостроение. 2002. № 2. С. 33—36. Приводятся результаты экспериментальных исследований подго-товки и сжигания топливных суспензий на основе мазута, нефте-содержащих вод и твердой фракции (угольный порошок, сажа, графит). Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.5:658.512.2:629.5 **Ключевые слова:** логическая под-держка, жизненный цикл, CALS, STEP, стандарт, пилотный проект.

Суслов А. Н., Одегова О. В., Головки Е. А. Опыт работы со стандартом STEP// Судостроение. 2002. № 2. С. 37—39.

Анонсируются работы предприятий судостроения, связанные с раз-работкой и внедрением CALS (ИПИ) технологий. Приводятся при-меры работ с программным обеспечением ST-Developer. Подчерки-вается необходимость первоочередного решения задачи интегри-рованной логической поддержки изделий морской техники. Ил. 4.

УДК 621.31.049:629.5

Ключевые слова: электромонтаж-ные работы, технология, параме-тры, ограничения, факторы техно-логической готовности.

Герман Г. В. Оптимальная альтернативная технология су-довых электромонтажных работ. Методы и алгоритмы ре-шения задач планирования// Судостроение. 2002. № 2. С. 39—43.

Выполнен анализ существующих методов планирования техноло-гии электромонтажных работ (ЭМР), разработаны предложения по составу задач планирования оптимальной альтернативной технологии ЭМР, а также этапам решения. Приводится типовая блок-схема задач планирования, учитывающая системные связи. Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

УДК 658.310.11:656.61.08

Ключевые слова: корабль, ава-рия, профессиональная подготов-ка, эргономический анализ.

Кобзев В. В., Нефедович А. В. Эргономический анализ дея-тельности корабельных специалистов в аварийных ситуаци-ях// Судостроение. 2002. № 2. С. 43—46.

Анализируется влияние на успешность деятельности оператор-ов систем управления техническими средствами кораблей в аварийных ситуациях двух факторов: профессиональной подго-товленности специалиста и алгоритмической сложности решения противоаварийных задач. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.774:669.295.5

Ключевые слова: судовые систе-мы, титановые сплавы, горячеде-формированные и холоднодефор-мированные трубы.

Петров В. Д., Ушков С. С. Состояние и перспективы развития про-изводства высококачественных труб из титановых сплавов на предприятиях России// Судостроение. 2002. № 2. С. 47—49.

Сообщается о комплексе работ, которые проводятся с шестидеся-тых годов XX века, по разработке технологии изготовления титанов-ых труб различного назначения; о трудностях поставки титановых труб для оборудования судовых систем и систем атомной энерги-тики. Предлагается решение этой проблемы в России с привлече-нием научных кадров ФГУП ЦНИИКМ «Прометей» и ряда заво-дов-изготовителей при соответствующем финансировании. Табл. 1.

УДК 621.774.21-034.295:629.5

Ключевые слова: титановые спла-вы, бесшовные и сварные трубы, трубосварочный стан.

Освоение производства тонкостенных титановых труб по-вышенного качества для теплообменного оборудования су-дов АЭС/С. С. Ушков, Н. В. Суворов, А. С. Кудрявцев, Э. А. Карасев, Ю. А. Титов, А. М. Дмитриенко, В. Ф. Кузне-цов// Судостроение. 2002. № 2. С. 50—53.

Рассматриваются результаты исследования качества сварных тонкостенных труб, изготовленных из титанового сплава на тру-босварочном стане. Применение сплавов титана позволяет соз-давать конструкции облегченного типа. Сварные тонкостенные трубы, изготовленные из титановых сплавов, соответствуют тре-бованиям технических условий и дают экономию по массе до 45% и более. Ил. 2. Табл. 4. Библиогр.: 7 назв.

ABSTRACTS

Boytsov G. V., Kudrin M. A. Evaluation of fatigue strength of ship's hull structural assemblies

The authors give analysis of influence of sea parameters, hull geometrics and structural assemblies design upon ship's fatigue life. Design formulas for verification of fatigue strength of hull and its structural assemblies are given.

Nosov E. P., Ryzhov V. A. Influence of elasticity upon efficiency of fin propulsors

Influence of elasticity upon propulsive features of fin propulsion-steering complexes (FPSC) is considered. Designs of fins with elastic links, fully elastic fins and fins with adjustable elasticity are given. Conclusion on good prospects of utilization of elastic fins in multi-modes FPSC is made.

Zharinov A. V. Stages in development of hydrodynamics, stability and steerability of national submarines from mid-1940s up to present time and the role of TsAGI in this process

Historic review of TsAGI participation in salvation of problems of hydrody-namics, stability and steerability of national submarines from mid-1940s up to present time is given.

Antonov A. M. From «Seawolf» to «Virginia»

Combatant features of US Navy «Los Angeles» and «Seawolf» nuclear sub-marines are analyzed. Design particulars of a new generation nuclear sub-marine «Virginia» are given. Ways of the Navy development in new mili-tary-political and economic situation are considered.

Startzev S. B. Computer simulation of screw propeller operation in non-uniform flow

The author considers the results of development of propeller blade vortex model based upon vortex theory of lifting surface in consideration of finite span wing moving by spiral trajectory. Program of calculation of hydrody-namic features (HDF) of screw propeller on PC makes it possible to predict summarized and distributed torque-force loads at blades in their interaction with non-uniform flow of any form and degree of aberration. The model takes into consideration the influence of vortex trail upon screw propeller HDF; it is applicable for blades of optional form in plan. Utilization of the program is efficient at the stage of screw propellers design.

Fayvisovitch A. V. Fatigue strength and crack resistance of screw prop-eller blades of «Marshall Budiony» type vessels

Screw propeller blades strength of «Marshall Budiony» series of vessels is examined. Upon the analysis of a blade stress condition and experimentally obtained parameters it is shown that propeller's strength is influenced by exis-tence of crack-like flaws. The author proposes a methodical approach and gives rating of these flaws dimensions with consideration of their locations

upon driving surface of a blade.

Kolpakov S. P. Utilization of fuel suspensions in shipboard steam boilers

The author presents the results of experimental investigations of preparation and incineration of fuel suspensions based on oil residue, oily waters and solid fraction (carbon dust, smoke black, graphite).

Suslov A. N., Odegova O. V., Golovko E. A. Practice of work with standard STEP

Works of shipyards connected with development and manufacturing appli-cation of CALS-technologies are announced. Examples of works with ST-Developer software are given. Necessity of first-priority salvation of the problem of integral logistic support of marine technique is underlined.

German G. V. Optimal alternate technology of shipboard wiring works. Methods and algorithms of planning tasks salvation

The author recites a new approach to statement and salvation of problems of planning of optimal alternate technology of shipboard wiring works (WW) with system basis. Analysis of existing WW technology planning meth-ods is executed, proposals for composition of WW optimal alternate tech-nology planning tasks (aggregative and detailed) and stages of their sal-vation are given. Typical block-diagram of planning tasks that takes into con-sideration the system links is presented.

Kobzev V. V., Nefedovitch A. V. Ergonomic analysis of shipboard tech-nicians activities in emergency situations

The article analyses the influence of two factors — professional readiness of a technician and algorithmic difficulty of anti-emergency tasks salvation — upon efficiency of operators' of shipboard technical means control systems activities in emergency situations.

Petrov V. D., Ushkov S. S. Condition and prospects of development of high quality titanium alloy tubes manufacture at Russian enterprises

The author informs about a complex of works that have been carried out from the 60s of the XX century and are connected with development of technol-ogy of various purpose titanium alloys tubes manufacture; about the diffi-culties in delivery of titanium tubes for shipboard systems and systems of nuclear power engineering. He proposes a salvation for this problem in Russia with engagement of FSUE CRISM «Prometey» scientific manpower and a range of manufacturers in case of corresponding financing.

Ushkov S. S., Suvorov N. V., Kudryavtsev A. S., Karasyov E. A., Titov Yu. A., Dmitrienko A. M., Kuznetsov V. F. Mastering of manufacture of thin-walled titanium tubes of premium quality for heat-exchange equipment of ships and nuclear power stations

The article considers the results of quality examination of thin-walled weld-ed tubes manufactured of titanium alloy at tube-forming mill. Utilization of titanium alloys permits to create light-weight structures. Welded thin-walled tubes manufactured of titanium alloys satisfy the requirements of certificates and provide saving of weight for 45 % and more.