



ФГУП «КРЫЛОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»



Всероссийская молодежная конференция «Научно-технологическое развитие судостроения – 2019»

Тезисы докладов



ФГУП «Крыловский государственный научный центр»



Всероссийская молодежная конференция «Научно-технологическое развитие судостроения – 2019»»

Тезисы докладов



СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
И СПЕЦИАЛИСТОВ

Санкт-Петербург
2019

УДК 629.5:061.3
ББК 39.42
В 85

В 85 Всероссийская молодежная конференция «Научно-технологическое развитие судостроения – 2019». Тезисы докладов. – СПб.: ФГУП «Крыловский государственный научный центр», 2019. – 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1 Военное кораблестроение

Бойко Е.Н., Григорьев М.Н., Зубаков А.С., Тыщенко П.Д. Подводный аппарат для выполнения неотложных и технологических заборных операций	13
Войтович М.Г., Шпикерман В.Р. Алгоритм локализации минных постановок для систем управления противоминными действиями как метод повышения их эффективности	14
Сережкина Н.А. Нормативно-методическое обеспечение расчетов трудоемкости строительства кораблей	15
Карпов Ю.А. Зонная модель теплового поля при пожаре на базе экспериментальных данных	16
Асминин В.В., Краморенко А.В. Телемеханика поисковых и судоподъемных работ	17
Запорожцев А.В., Кружилина И.А., Харланов А.И., Харланова Т.А. Вопросы применения тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников для создания датчиков и защитных устройств радиоэлектронной аппаратуры.	18
Неуступов А.С., Иевлев В.А., Патракеев А.Н., Иванов А.Б. Внедрение нового способа контроля качества монтажных сварных соединений трубопроводов.	19
Гакинульян в.о., Ларин П.С., Гриднев Л.В. Обоснование создания автоматизированной системы управления эксплуатации главной энергетической установки АПЛ при срабатывании аварийной защиты	20
Поминов С.Г. Параметрическая оптимизация главных размеров корабля комплексного снабжения методом вариаций	21
Розов Н.В., Петров Н.В. Способы изготовления и монтажа забойных участков судовых трубопроводов.	22
Завальнюк И.В. Технический облик судового глубоководного водолазного комплекса ВМФ с учетом требований конструктивной безопасности.	24
Цыбанов К.В., Тучинский А.А. Методика оценки эффективности факторов защиты в целях повышения безопасности технических объектов	25

Беликов С.С.

Способ определения предпочтительного состава судов обеспечения
вспомогательного флота по экономическим показателям эксплуатации 26

Степанов В.В., Животовский Р.П.

Оптимизация схем и параметров низкочастотной
вибрационной обработки на базе моделирования
с использованием метода конечных элементов 27

Жарова С.С.

Перспективы развития забортных пусковых установок
с пороховыми аккумуляторами давления 29

Коростелев А.Н.

Перспективы применения возобновляемых источников
электроэнергии на кораблях и судах ВМФ 30

Васильченко Я.С.

Применение проектной статистики на базе математического моделирования
для разработки эмпирических зависимостей на начальных
и предпроектных стадиях формирования
тактико-технического задания на корабль 31

СЕКЦИЯ 2 Гражданское судостроение. Освоение океана и Арктической зоны

Бабчук Е.В.

Рассмотрение возможности оптимизации
загрузки предприятий судостроительной отрасли 33

Самсонова О.Д.

Совершенствование порядка установления цен
на суда для государственных нужд 36

Тягнерев А.Т., Иванов А.О., Безкишкий Э.Н.

Проблема контроля функционального состояния и работоспособности
судовых специалистов в процессе профессиональной деятельности 37

Смирнов М.А.

Современный облик скоростного пассажирского судна 38

Устинов С.А., Устинова Э.С.

Перспективы использования судов
с атомными энергетическими установками в Арктике 39

Андрианов Д.Ю., Шкуров Н.В., Голубев П.С.

Применение снегоходных беспилотников для ледовой разведки,
базирующихся на борту судна 40

Себин А.С.

К вопросу о моделировании ледяного покрова
с использованием композитной модели льда 41

Пяткин В.А.

Воздействие неподвижной льдины на протяженную преграду
под действием ветра и дрейфового течения в случае «углового контакта» 43

Мышинский Н.Л.

Выбор рационального типа и установление
основных характеристик флотеля
для обслуживания платформы «Приразломная» 44

Тимофеев П.А.

Разработка установки для сжигания
нефтепродуктов отходящих от арктического побережья 45

Сверчков Д.С., Ивлев А.А.

Разработка распределенной
системы управления погружного бурового комплекса 46

Дьячук Н.С., Несин Д.Ю., Пьянов А.В., Благовидова И.Л.

Разработка расчетной динамической модели кранового судна
большой грузоподъемности при обрыве груза 47

Сергеев В.В., Прибылов Ю.С.

Активная система подводного видения
для автономных необитаемых подводных аппаратов 48

Киселев Н.В.

Беспилотная амфибийная платформа 49

Прокониц А.В., Косянчук С.И.

Телевизионная техника для подводных исследований 50

Сорокин И.В.

Электропривод и электрооборудование
подводной компрессорной станции 51

Расков В.В., Шарпов М.Г., Бланк Е.Д.

Разработка технологии электронно-лучевой сварки
центробежных насосов для судов и морских сооружений,
эксплуатируемых в Арктике 52

Скулябин К.С.

Способ передачи керноприемников из научно-исследовательской
подводной лодки в буровой станок в подводном положении 54

Бояров М.Н., Шекин С.И.

Технологические способы уменьшения
диффузионно-подвижного водорода
в наплавленном металле, применяемые при изготовлении
агломерированных флюсов для судостроения 55

СЕКЦИЯ 3 Гидроаэромеханика. Ходкость, мореходность и маневренность

Соловьев С.Ю.

Влияние пограничного слоя атмосферы
на поле скоростей над взлетно-посадочной площадкой
схематизированного судна 56

Сайфуллин Т.И.

Численное моделирование аэродинамики экраноплана 57

Февральских А.В.

Разработка методики численного моделирования
обледенения крыла экраноплана
с использованием возможностей
программного обеспечения ANSYS..... 58

Вшивков Ю.Ф., Кривель С.М.

Особенности оценки продольной статической устойчивости
экраноплана в эксплуатационной области углов атаки и отстояний 59

Галушко Е.А., Вшивков Ю.Ф., Кривель С.М.

Синтез математической модели аэродинамики экраноплана
на стационарных режимах маневрирования 60

Шевцов С.П.

Металлополимерное покрытие для защиты
гребных винтов от электрохимической коррозии. 61

Ванифатьев А.В., Ионкин А.С.

Гидродинамические методы снижения
вибронегруженности подруливающих устройств..... 62

Багринцев В.В., Коваль А.А, Маринич Н.В

Оптимизация геометрии гребного винта
подруливающего устройства для снижения нестационарных сил 63

Багаев Д.В., Ермолаев А.А., Шевцов С.П.

О результатах расчетно-экспериментальных исследований
гребных винтов подруливающих устройств улучшенной геометрии..... 64

Ключенко А.Ю., Кузнецов В.Ю.

Численный метод определения площади пера руля
и погруженной площади ДП корабля
при исследовательском проектировании 66

Салазкин И.В., Третьяков А.М.

Определение эрозионной стойкости различных материалов 67

Маслов В.И.

Генерирование волны-убийцы в волновом бассейне 68

Орлов П.М., Сидоров В.М.

Модернизация экспериментальной установки свободной воды 69

Орлов П.М., Сидоров В.М.

Система сбора данных информационно-измерительного комплекса
буксировочной тележки опытового бассейна 70

Алексеев А.С., Антонов Д.В.

Уточнение уравнения качки 71

СЕКЦИЯ 4 Физические поля морских технических объектов**Малец А.А., Разрезова К.В.**

Анализ процесса генерации звуковых волн
термоакустическими источниками 72

Булгакова В.Г., Позднякова С.А. Поглотители радиоволн на основе метаматериалов.	73
Коробицына Д.М., Кузнецова А.Д. Оценка влияния акустической долговечности вибродемпфирующих покрытий на шум в судовых помещениях.	74
Малинин И.О. Снижение звукоизлучения гребного винта.	75
Дрюк А.В., Петрова В.В. Сравнение различных подходов к оценке оптимальной ширины полосы частот при обнаружении квазигармонического сигнала на фоне помех.	76
Нелюбин И.В., Шакин С.А., Эйдук В.И. Метод оценки дистанции обнаружения морских объектов электрическим каналом неконтактных взрывателей донных мин.	77
Румянцев К.А., Виноградов А.В. Совершенствование обтекателей антенн корабельных гидроакустических станций.	78
Артющенко А.П. Исследование механических сопротивлений патрубка ПКМ-450 в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц с учетом влияния жидкости.	79
Шилина Е.С., Шилин М.М., Семенов Н.Н. Модификация алгоритма пространственно-временного блочного кодирования для создания шумовой локальной помехи.	80
Клименков А.С. Влияние ребер жесткости на коэффициенты отражения и прохождения звука для пластин.	81
Лисовский А.Я. Шумовое загрязнение подводной среды в процессе осуществления морской хозяйственной деятельности.	82

СЕКЦИЯ 5 Прочность и надежность судовых конструкций

Вахрушева Ю.А. Исследование напряженно-деформированного состояния амортизатора при разрушающем воздействии.	85
Глибенко О.В., Артемьев Д.М. Учет динамических эффектов при моделировании методом конечных элементов испытаний на взрывное выпучивание.	86
Уварова Е.А. Этапы разработки необрастающего экологически чистого покрытия с низкой поверхностной энергией. Предварительные результаты испытаний в натуральных условиях.	87
Грибенюк Н.А. Схемно-конструктивная модель закрытия судовой крышки (дверцы) с приводом на основе пространственного шарнирного механизма.	88

Калинина О.И., Карпов П.С., Хомутов М.М. Методика оценки прочности конструкций плавучей системы при морской транспортировке пролетов мостов	89
Карлов С.А. Применение искусственных нейронных сетей для автоматизации анализа результатов АЭ-контроля процесса сварки.....	90
Компанец В.А. Выявление резервов прочности корпусных конструкций морских судов	91
Логунова А.А. Разработка легковесных вибропоглощающих материалов с повышенной водостойкостью.....	92
Савчук Д.В., Панов В.А., Патрушев В.Л., Соловьев С.А. Обоснование динамической защищенности амортизированного оборудования судовых реакторных установок.....	93
Глибенко О.В., Вихарева Т.В. Исследование изменений механических свойств и структуры сталей различных классов при однократном и многократном динамическом воздействии.....	94
Фадеев Д.Е. Контроль и анализ внутренних напряжений (деформаций) при подъеме затонувших объектов.....	95
Филатов А.Р. Различные способы учета трехосности напряженного состояния при расчетах усталостной прочности.....	96
Самодуров И.О., Шаратов М.Г. Технологическая свариваемость высокоазотистых сталей применительно к судовым корпусным конструкциям	97

СЕКЦИЯ 6 Судовая электротехника и энергетика

Токаев Л.Р., Целуйко И.Г., Певнев Д.А. Моделирование современной системы электродвижения корабля на базе частотного электропривода.....	99
Авдеев Б.А., Вынгра А.В., Голиков С.П., Новак Б.П. Моделирование работы двунаправленного преобразователя постоянного напряжения на привод гребного винта автономных аппаратов	100
Нагирняк А.А., Высоцкий В.Е. Управляемый энергоэффективный асинхронный двигатель с двухслойным ротором	101
Семенов Д.С., Шарашкин С.В. Определение массы и габаритов реактивного электродвигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора по заданной мощности.....	102

Гагаринов И.В. Обеспечение энергетического баланса в электроэнергетической системе судна с двухтопливными дизель-генераторами	103
Мохова О.В., Доброскок Н.А. Адаптивное управление генератором независимого возбуждения, работающим в импульсном режиме.	104
Тощев А.А., Сугаков В.Г., Зобов Л.В. Математическое моделирование системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой	105
Аксенов А.Ю., Беляев М.А., Костена М.В., Прокофьев О.В. О некоторых особенностях проектирования сау судовыми энергетическими установками с переменным запаздыванием	107
Вынгра А.В., Авдеев Б.А. Исследование характеристик пуска электропривода компрессора судовой холодильной установки.	108
Сереброва Н.С., Лавриновский В.С. Адаптивная система управления многоканальным полупроводниковым стабилизатором тока с сигнальной настройкой	109
Певнев Д.А., Малков А.Ю., Токаев Л.Р. Способ установления места снижения сопротивления изоляции	110
Антипкина В.А., Годин В.П. Оценка прочностных свойств наконечников из латуни, опрессованных с токопроводящими жилами судовых кабелей сечением 0,35–1,5 мм ²	111
Колчев А.И., Братасюк Н.А., Поваркова А.А. Гермовводы на основе жаростойкого кабеля с минеральной изоляцией и медной оболочкой	112
Братасюк Н.А., Никулин А.С., Колчев А.И. Герметизирующие муфты на основе полимерных материалов для сращивания, ремонта и восстановления кабеля	113
Бессонов Д.Ю., Артемов В.Г., Иванов А.А., Пискарев А.В. Применение реалистического моделирования при расчетном сопровождении ресурсных испытаний транспортной реакторной установки	114
Антоненков М.А., Камнев М.А. Экспериментальное определение границ гидродинамической устойчивости парогенератора на малых нагрузках	115
Пучков А.В. Проблемы регистрации радионуклидов при выбросе газа системы газа высокого давления в атмосферный воздух и обращения с газообразными радиоактивными отходами.	116
Быков Д.В., Черкашин И.Н., Михайлов В.А. Исследование гидравлического удара на модельном участке конденсатно-питательной системы энергетической установки корабля.	117

Доронков Д.В., Солнцев Д.Н., Добров А.А., Доронкова Д.С. Гидродинамика и перемешивание теплоносителя в кассетной активной зоне реактора плавучего энергоблока	118
Рязанов А.В., Хробостов А.Е., Солнцев Д.Н., Добров А.А. Моделирование процессов перемешивания теплоносителя в напорной камере ядерной энергетической установки	120
Добров А.А., Солнцев Д.Н., Пронин А.Н., Дронков Д.В. Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамики потока теплоносителя в тепловыделяющих сборках реактора универсального атомного ледокола	121
Антонов С.Д. Сопротивление трубчатого нагревателя двигателя с внешним подводом теплоты с учетом вихревого движения в камере сгорания	122
Масленников А.А. Экспертный анализ способов повышения надежности судовых энергетических установок промышленных судов	123
Овчаренко И.К., Вынгра А.В., Ениватов В.В., Дараган П.А. Моделирование одноступенчатой холодильной установки провизионной камеры	124
Арефьев Н.Н. Разработка установки по комплексному снижению вредных веществ в отработавших газах судовых дизельных двигателей	125
Махова О.А., Лутошкина К.А., Михайлов А.С., Пряхин Д.А., Тряев П.В. Результаты контроля состояния ионообменной загрузки ионообменных фильтров 2 контура корабельных ядерных энергетических установок, проводимого в рамках сервисного обслуживания	127
Колмогоров Д.О., Горохова М.Н., Мерчуле Е.А. Технологический процесс восстановления геометрических параметров деталей судовых ДВС	128
Камышов Ю.Н., Медведев Г.В., Горлова Н.Н. Система очистки отработавших газов дизелей судовых энергетических установок на основе пористых проницаемых коррозионностойких материалов	129
Кожевников С.А., Колмогоров Д.О., Горохова М.Н., Первых Н.Е. Влияние химического состава искусственной газовой смеси на самовоспламенение топливно-воздушной смеси	130
Гравшин А.В. Экспериментальное исследование маломасштабной модели системы пассивного отвода теплоты морской реакторной установки	131
Орлов А.М., Горохова М.Н., Ложкин И.И. Эффективность двухкамерного термодинамического цикла судовых ДВС	132

Голубев Р.О., Зубов Н.Н. Программа расчета характеристик энергетической установки СПГ танкера	133
Бордюг А.С., Черный С.Г., Масленников А.А., Ерофеев П.А. Analysis of dynamic processes in low-speed turbocharged diesel engines on merchant ships	135

СЕКЦИЯ 7 Информационные технологии в судостроении

Семенов Н.Н., Шилин М.М. Имитационная модель телеуправления стаей подводных аппаратов	138
Корзин М.М. Использование лазерных проекторов при изготовлении корпусных конструкций корабля	139
Благовидова И.Л., Иванова О.А., Науменко А.А., Пьянов А.В. Численное моделирование процесса позиционирования сложных плавучих объектов при выполнении морских операций	140
Годияк В.А. Разработка метода повышения информативности подводного изображения на основе пространственной фильтрации	141
Грамузов Е.М., Иванова О.А., Крамарь В.А., Родькина А.В. Гибридная нейронная сеть для прогнозирования защитного потенциала подводной части океанотехнических сооружений	142
Кулебакин А.И. Модификация электроакустического преобразователя для улучшения качества звукопередачи	143
Кузьменко А.В. Классификация подводных объектов по оптическому изображению	144
Улитенков С.А., Яковлев К.Е. Способы совершенствования технического состояния и применения СТК «Регель-УК» на учебных кораблях Военно-Морского Флота	146
Беляев М.А., Давыдов Д.С., Прокофьев О.В., Прошкин Д.А. Применение регистра сдвига для анализа и синтеза систем автоматического управления с запаздыванием	147
Васильев Р.В. Итоги пилотного проекта по моделированию жизненного цикла судовых конструкций из полимерных композиционных материалов	148
Шаронина И.С. Дистанционный контроль неисправностей радиопередающих устройств в интегрированных комплексах связи	149
Сутормин В.В., Шилина Е.С. Исследование обнаружителей с постоянным уровнем ложной тревоги	150

Рогозина К.С.	
Анализ критериев механизации и автоматизации производственных процессов	151
Ермолаев Э.В., Махов В.И.	
Анализ работы и расчет пьезокерамического стержня с накладкой при использовании конечно-элементного моделирования.....	152
Клюев В.А., Шкуратов Н.Г.	
Применение отечественных операционных систем на базе Linux в современных многофункциональных телевизионных комплексах	153
Валяев А.В.	
О разработке системы поддержки принятия решений при угрозе затопления речного водоизмещающего судна	154
Киселева А.Е.	
Теоретические принципы представления имитационной модели процессов погрузки и монтажа крупногабаритного оборудования	156
Хмельницкая К.А.	
Распознавание огня с помощью оптоэлектронных систем в судостроении.....	157
Киселев Н.И., Комиссаров К.В., Шутьгинова И.А.	
Разработка комплекса средств автоматизированной подготовки конструкторской документации для печати	158

Бойко Е.Н.,
Григорьев М.Н.,
Зубаков А.С.,
Тыщенко П.Д.

Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Подводный аппарат для выполнения неотложных и технологических забортных операций

Ключевые слова: мобильный роботизированный кессон, корабль, судно, обрастание корпуса, судоремонт, доки.

В 2018 году Минпромторгом сделано заявление об актуальности проведения исследований в области создания альтернативы существующим традиционным докам – отечественных разработок, призванных снять нагрузку на доки и таким образом обеспечить проведение обслуживания и ремонта судов и кораблей в более краткие сроки.

Цель данной работы – создание мобильного роботизированного кессона для выведения отечественных судоремонтных предприятий на зарубежные рынки срочного обслуживания и ремонта.

Применявшиеся методы – инновационно-логистический анализ и синтез сложных технических систем, опирающийся на самостоятельные предварительные проработки вопросов обеспечения мониторинга, обслуживания и аварийного ремонта борта судов и забортной арматуры на ходу и стоянке.

Специалистами ФИПС принято решение о выдаче патента на изобретение «Мобильный роботизированный кессон» (заявка № 2018112378, ожидается присвоение номера патента). Результаты проекта докладывались и обсуждались на 10 научных конференциях. Проведен тур предварительных переговоров с коммерческими техническими фирмами, специализирующимися по данному направлению. По рассмотренным в статье вопросам подготовлены материалы возможных технических решений для представления в Морской научный комитет ГШ ВМФ.

Для реализации указанного проекта предлагается привлечь финансирование со стороны иностранных партнеров-инвесторов, что позволит снизить финансовые затраты на эксплуатацию и ремонт кораблей и судов. Таким образом, мобильный роботизированный кессон обладает высоким экспортным потенциалом.

**Войтович М.Г.¹,
Шпикерман В.Р.²**

¹ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

²АО «АКИН»

Алгоритм локализации минных постановок для систем управления противоминными действиями как метод повышения их эффективности

Ключевые слова: противоминные действия, алгоритм локализации минных постановок, система управления противоминными поисковыми действиями.

Минное оружие представляет серьезную угрозу как для боевых кораблей и подводных лодок, так и для гражданского судоходства. Установку мин, как правило, производят комплексно, определяя форму их постановок в соответствии с задачей. Определение границ минных заграждений является важной составляющей в борьбе с минной опасностью. По его результатам можно провести очистку района плавания от мин, проделать в минных заграждениях безопасные проходы, а также просто ограничить опасный район для плавания других судов.

Поэтому задача автоматизации и оптимизации процесса локализации (определение формы и границ) минных постановок для систем управления противоминными действиями в настоящее время является крайне актуальной.

В обобщенном виде алгоритм поиска мин, обеспечивающий локализацию минных постановок, сводится к следующим действиям:

- движение носителя ГАС с поисковой скоростью на заданной (оптимальной) глубине, работа ее в заданном (оптимальном) режиме, освещение обстановки на предмет гидроакустического контакта с миной;
- после обнаружения цели, классифицированной как «мина», выполняются следующие действия: выдача рекомендаций за занятие оптимальной позиции, движение по рекомендованному маршруту для выявления других объектов минной постановки;
- после локализации минной постановки (в зоне обнаружения ГАС были обнаружены все мины), производится анализ минной постановки на предмет ее формы для выдачи рекомендаций по дальнейшему использованию указанной информации (уничтожение или фиксация минной постановки).

Реализация этих алгоритмов позволяет сократить время ведения противоминных действий и повысить эффективность обнаружения и правильной классификации мин.

Сереекина Н.А.

АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»

Нормативно-методическое обеспечение расчетов трудоемкости строительства кораблей

Ключевые слова: трудоемкость, кораблестроение, государственный оборонный заказ, ценообразование, планирование.

Трудоемкость чрезвычайно важна при планировании и подготовке производства на судостроительном предприятии. Кроме того, трудоемкость изготовления продукции – важнейший ценообразующий фактор, на основе которого рассчитываются в составе цены собственные затраты предприятия: заработная плата основных производственных рабочих, связанные с ней налоги, накладные расходы. Современное состояние нормативно-методической базы по определению трудоемкости строительства кораблей требует ее актуализации.

Основной метод определения трудоемкости продукции – техническое нормирование работ, предусмотренных технологией ее изготовления. Однако определить трудоемкость строительства головных судов и первых серийных судов указанным методом невозможно. В этой связи в судостроении применяется метод, предусматривающий расчет по укрупненным показателям удельной трудоемкости на тонну нагрузки масс – по нормативам трудоемкости.

В основу разрабатываемых нормативов трудоемкости заложены результаты статистической обработки данных о фактической трудоемкости строительства кораблей. Качество разрабатываемых нормативов во многом определяется качеством предоставляемой предприятиями информации.

К сожалению, в судостроении до настоящего времени действуют нормативы трудоемкости, разработанные 15 и более лет назад. Введение в действие вновь разработанных нормативов задерживается в связи с тем, что в настоящее время не установлен порядок согласования и утверждения нормативов трудоемкости.

Часть проблем, возникающих при определении трудоемкости строительства кораблей и в ценообразовании, возможно решить путем скорейшего введения в действие новых нормативов трудоемкости, а также за счет проведения ряда организационных мероприятий, позволяющих создать общие правила определения, планирования и учета трудоемкости в судостроительной промышленности.

Карпов Ю.А.

АО «ЦКБ МТ «Рубин»

Зонная модель теплового поля при пожаре на базе экспериментальных данных

Ключевые слова: моделирование пожара, обработка экспериментальных данных, тепловое поле, зонная модель.

Моделирование поражающих воздействий пожара (далее – моделирование пожара) применяется при обосновании живучести различных систем и оборудования при пожаре в помещениях заказов, разработке проектных решений по повышению живучести, при разработке тактики борьбы с пожарами. Для моделирования пожаров МЧС России выделяет три основных метода: интегральный, зонный и полевой. Наиболее простым и вместе с тем эффективным подходом для моделирования пожара является интегральный метод, однако он не дает представления о распределении теплового поля в объеме помещения.

Для сохранения преимуществ моделирования пожара с определением среднеобъемных характеристик и, в то же время, получения распределения поражающих факторов пожара по помещению, предлагается адаптировать интегральный метод путем введения в него дополнительного этапа пересчета среднеобъемных параметров на выделенные внутри помещения зоны, то есть построение интегрально-зонной модели.

Разработка интегрально-зонной модели проводится на основе эмпирических данных, полученных в ходе экспериментов, которые проводились на стенде Крыловского государственного научного центра в ходе выполнения ряда экспериментов в рамках ОКР «Безопасность» (заказчик – АО «ЦКБ МТ «Рубин»).

В результате работы разработан способ получения эмпирической зонной модели теплового поля по экспериментальным данным. Представлены некоторые результаты практического применения разработанного способа для построения зонной модели теплового поля. В дальнейшем данный способ планируется проверить для очага большей интенсивности, несимметрично расположенного очага, пожара в негерметичном помещении.

Предложенный способ может применяться при обработке экспериментальных данных по изменению температуры в помещении при пожаре, а также при разработке интегрально-зонной модели пожара.

**Асмнин В.В.,
Краморенко А.В.**

НИИ спасания и подводных технологий
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Телемеханика поисковых и судоподъемных работ

Ключевые слова: затонувший объект, поиск, судоподъем, телемеханика, роботизированный комплекс, мехатронная система, дистанционное управление, связь, контроль.

Поиск и подъем затонувших объектов относятся к наиболее сложным и наукоемким видам поисково-спасательного обеспечения морской деятельности. Поиск лежащего на грунте затонувшего объекта – всегда вероятный, негарантированный процесс, поскольку всего 3 % площади морского дна хорошо исследованы.

Совершенствование методов и технических средств приема и передачи информации под водой с целью контроля и управления роботизированными комплексами и мехатронными системами составляют область исследований телемеханики.

В настоящее время возможности поиска затонувших объектов на недоступных ранее для человека глубинах значительно возросли, однако корреляция между возможностями поиска затонувших объектов и их подъема свидетельствует о явном отставании судоподъемных технологий.

Существующая парадигма не случайна, поскольку глубоководный подъем в каждом конкретном случае требует проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию предназначенных для этой цели мехатронных систем, экономическая эффективность которых крайне низка. Под действием существующего противоречия актуальным является развитие управляемых способов подъема, альтернативных механическим, а также обоснование облика и состава экономически эффективного глубоководного средства подъема.

На примере поиска подводной лодки «Сан Хуан» рассматриваются тенденции развития роботизированных поисковых систем. Сделан акцент на актуальности развития современных мехатронных судоподъемных систем и способов подъема крупногабаритных объектов методом восстановления плавучести с использованием конструктивно обеспеченной обратной связи между кренящим и восстанавливающим моментами на примере концепции подъема затонувшего плавучего дока ПД-50.

**Запорожцев А.В.¹,
Кружилина И.А.¹,
Харланов А.И.²,
Харланова Т.А.³**

¹ НИЦ РЭВ и ФИР ВМФ НИИ ОСИС ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

² ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

³ Севастопольский государственный университет

Вопросы применения тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников для создания датчиков и защитных устройств радиоэлектронной аппаратуры

Ключевые слова: мощные электромагнитные излучения, высокотемпературный сверхпроводник, защитные устройства.

Поиск и подъем затонувших объектов относятся к наиболее сложным и расширению областей применения, рост ответственности и сложности задач, выполнение которых возлагается на радиоэлектронную аппаратуру (РЭА), неизменно приводят к ее усложнению за счет применения в ней элементной базы, построенной на основе полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. Однако именно данные элементы уязвимы к воздействию мощных электромагнитных излучений (МЭМИ) различного происхождения. Поэтому актуальными задачами настоящего времени являются защита чувствительных элементов РЭА от МЭМИ и возможность их детектирования, что иногда представляет серьезную проблему. Это, прежде всего, связано с достаточно малой длительностью некоторых МЭМИ искусственного происхождения. Применение газоразрядных и полупроводниковых приборов в качестве защитных устройств (ЗУ) и детекторов МЭМИ, при определенных условиях, неэффективно вследствие инерционности их срабатывания.

В связи с этим необходимо применение ЗУ, способных обеспечить необходимый уровень быстроедействия. Это возможно при применении датчиков и ЗУ, построенных на основе свойства разрушения сверхпроводимости. Основой таких устройств является тонкая пленка высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП), фазовый переход которой из сверхпроводящего (S) в нормальное (N) состояние происходит под воздействием внешнего магнитного поля и токов, наводимых МЭМИ, что и формирует их принцип действия.

Выбор и применение эффекта фазового $S-N$ перехода позволит создать активные (с возможностью изменять чувствительность тонкой ВТСП пленки) быстроедействующие датчики и защитные устройства, способные детектировать и снижать влияние МЭМИ практически любой длительности.

**Неуступов А.С.,
Иевлев В.А.,
Патракеев А.Н.,
Иванов А.Б.**
АО «НИПТБ «Онега»

Внедрение нового способа контроля качества монтажных сварных соединений трубопроводов

Ключевые слова: сварные соединения трубопроводов, испытания трубопроводов, акустическая эмиссия.

Проектной конструкторской документацией при ремонте и модернизации подводных лодок (ПЛ) предусмотрена система контроля качества сварки соединений трубопроводов, включающая традиционные методы неразрушающего контроля (рентген, капиллярная дефектоскопия) и гидравлические испытания на прочность. При гидравлических испытаниях необходимо выполнить большой объем сопутствующих мероприятий, что значительно увеличивает трудоемкость и продолжительность выполняемых работ. А наличие в трубопроводах остатков влаги после осушки трубопроводов может привести к выходу из строя оборудования системы.

Взамен гидравлических испытаний предложен новый способ контроля качества сварки соединений трубопроводов. Он заключается в выполнении пневматических испытаний соединений трубопроводов при условии их обязательного сопровождения методом акустико-эмиссионного контроля (АЭК).

Для оценки качества соединений трубопроводов и возможности применения метода АЭК в условиях ремонтируемой ПЛ в АО «ЦС «Звездочка» была проведена опытно-штатная работа с привлечением специалистов Крыловского государственного научного центра. Работа выполнялась на участке вновь изготовленного трубопровода магистрали воздуха высокого давления в помещениях ПЛ.

Анализ информации, зарегистрированной в процессе проведения пневматического испытания, а также интерпретация результатов АЭК осуществлялась в соответствии с методикой РД ИМЯН.219-2009.

Опытно-штатная работа показала возможность применения метода АЭК при контроле качества монтажных сварных соединений трубопроводов воздушных и газовых систем высокого давления при ремонте ПЛ в АО «ЦС «Звездочка». Применение данного метода было согласовано АО «СПМБМ

«Малахит», техническим управлением ВМФ РФ, заказчиком МО РФ, ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и оформлено совместным решением.

Применение пневматических испытаний совместно с методом АЭК монтажных сварных соединений трубопроводов воздушных и газовых систем высокого давления вместо гидравлических испытаний позволило значительно сократить трудоемкость и продолжительность выполняемых работ, повысить качество контроля соединений.

**Гакинульян В.О.,
Ларин П.С.,
Гриднев Л.В.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Обоснование создания автоматизированной системы управления эксплуатации главной энергетической установки АПЛ при срабатывании аварийной защиты

Ключевые слова: главная энергетическая установка, автоматизированная система управления, режимно-потенциальная избыточность, срабатывание аварийной защиты.

В случае боевых действий обеспечение максимальных данных характеристик является приоритетной задачей при работе экипажа с энергетической установкой. На операторов главной энергетической установки (ГЭУ) возлагается большая ответственность за сохранность жизни экипажа, живучесть и сохранность атомной подводной лодки, при этом время для принятия решение по управлению сильно ограничено. Основным недостатком автоматизированных систем управления (АСУ) при срабатывании аварийной защиты (АЗ), является существенное падение маневренности ГЭУ и, соответственно, всего судна. Для борьбы за живучесть при возникновении аварийной ситуации следует использовать АСУ, которые способны обеспечить безопасность экипажа и быстрое принятие мер по переводу ГЭУ в работоспособное со-

стояние. Поэтому необходимо дальнейшее развитие АСУ, способных более точно идентифицировать состояние ГЭУ, дать необходимые рекомендации по действиям персонала с возможностью отключения АЗ для выполнения задач в боевых условиях. С помощью заложенной при проектировании избыточности возможно произвести компенсацию отказов отдельных элементов, износы или выходы из строя технических средств. Из анализа методов определения функционального состояния технических систем следует, что метод, основанный на использовании нечеткой логики в сочетании с оценкой коэффициентов режимно-потенциальной избыточности (РПИ), наиболее эффективен для решения этой задачи. На сегодняшний день проведена работа по применению метода расчета РПИ к системам паропроизводительной установки и паротурбинной установки. Для расчета коэффициентов РПИ и описания взаимосвязи между параметрами системы среде программирования Qt Creator была разработана имитационная модель. Использование данной модели позволяет уточнить действия операторов паротурбинной установки в экстремальных условиях эксплуатации с возможностью вывода оборудования на запредельные режимы работы, минуя сигналы аварийных защит и обеспечивая безопасную работу оборудования на этих режимах.

Поминов С.Г.

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Параметрическая оптимизация главных размерений корабля комплексного снабжения методом вариаций

Ключевые слова: корабль комплексного снабжения, математическая модель, метод вариаций.

Актуальность темы обуславливается необходимостью разработки новых предложений по формированию технического облика кораблей, получения рациональной совокупности элементов и характеристик кораблей комплексного снабжения, которые, соответствуя установленным требованиям, способны выполнить свою основную целевую функцию. Основой для разработки технических проектов служат результаты, получаемые на этапе исследовательского проектирования с использованием математических про-

грамм, предназначенных для обеспечения многовариантного исследования проектной концепции корабля с последующим выбором конкретного варианта для разработки технического предложения.

Цель заключается в разработке прикладного математического аппарата, а также способа проектного обоснования главных размерений рассматриваемого типа кораблей на стадии исследовательского проектирования с применением метода вариаций.

Теоретической и методологической основой является обоснование способа проектного обоснования элементов и характеристик корабля, дающего возможность определять важнейшие проектные характеристики кораблей комплексного снабжения по основным позициям технического задания на стадии исследовательского проектирования.

Полученные результаты представлялись и обсуждались на различных научно-технических конференциях, посвященных вопросам развития судостроения и проблематике реализации Программы кораблестроения.

В результате проделанной работы разработан способ параметрической оптимизации главных размерений корабля комплексного снабжения с применением метода вариаций.

**Розов Н.В.,
Петров Н.В.**

АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»

Способы изготовления и монтажа забойных участков судовых трубопроводов

Ключевые слова: судовые трубопроводы, забойные трубы, пригонка, изготовление, монтаж.

Трудоемкость традиционных способов пригонки составляет около 40 % от общей трудоемкости изготовления труб. Высокая трудоемкость вызвана такими причинами, как применение ручного труда при изготовлении шаблонов и макетов, воспроизведение в цехе информации, описывающей геометрию трубы, необходимость неоднократных переходов рабочих из цеха на заказ и обратно, а также транспортировок макетов и труб. Кроме того, указанные работы находятся на критическом пути, т.е. влияют на срок постройки заказа.

В связи с широким распространением методов 3D-моделирования при проектировании и средств 3D-измерений при производстве, появилась возможность снизить трудоемкость и продолжительность сборочных и монтажных работ на основе независимого изготовления трубопроводов.

Анализ известных способов пригонки показал, что проектные 3D-модели заказов не используются при изготовлении и монтаже забойных труб. На их основе выпускают только традиционные 2D-чертежи, а в качестве средств информации используются овеществленные меры – шаблоны и макеты.

Предлагается заменить шаблоны и макеты забойных труб 3D-моделью. Сущность способа заключается в том, что на 3D-модели выявляют базовые опорные точки: для сборки забойного участка, для координирования технических средств, для монтажа технических средств.

По базовым опорным точкам для сборки с помощью системы 3D-измерений производят сборку кондуктора. Путем базирования прямолинейных и криволинейных деталей трубопровода по базовым поверхностям кондуктора производят сборку участков трубопровода с пригонкой, при необходимости, торцов деталей.

После готовности помещения заказа по базовым опорным точкам для координирования технических средств с помощью системы 3D-измерений производят совмещение помещения заказа и 3D-модели. Затем по 3D-модели производят расстановку и регулировку позиционеров в базовых опорных точках для монтажа.

По базовым опорным точкам для монтажа производят базирование смежных с забойным участком технических средств. После монтажа технических средств в заданное положение с помощью системы 3D измерений производят совмещение фактической и проектной 3D модели помещения заказа. По полученным значениям смещений торцевых поверхностей технических средств производят разметку и отрезку припусков забойного участка. Затем забойный участок транспортируют на заказ, размещают на штатном месте, производят сборку и сварку стыков.

Применение способа пригонки по 3D модели позволит изготавливать забойные трубы независимо от готовности корпуса судна и состояния работ по его насыщению. Отказ судостроительных предприятий с большим объемом производства труб от традиционных способов пригонки, не соответствующих современному уровню техники, позволит снизить трудоемкость и сроки строительства заказов, а как следствие, повысить их конкурентоспособность.

Завальнюк И.В.

НИИ спасания и подводных технологий
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Технический облик судового глубоководного водолазного комплекса ВМФ с учетом требований конструктивной безопасности

Ключевые слова: глубоководный водолазный комплекс, состав оборудования, конструктивная безопасность, критерии безопасности, обобщенный показатель, задача выбора.

Проведение глубоководных водолазных работ актуально в связи с освоением шельфа Арктической зоны и невозможностью выполнения ряда задач с помощью глубоководных телеуправляемых подводных аппаратов. Глубоководные водолазные комплексы (ГВК) размещаются на спасательных судах Военно-Морского Флота и на судах специальной постройки других министерств и ведомств Российской Федерации. При создании современных ГВК востребованы методики оценки их конструктивной безопасности и критерии ее оценки. Целью доклада является раскрытие понятия «конструктивная безопасность» и представление методики оценки конструктивной безопасности ГВК.

Показано, что в состав ГВК должно входить оборудование, обеспечивающее действия расчета ГВК в возможных нештатных и аварийных ситуациях. В связи с этим рассмотрены критерии конструктивной безопасности. В качестве контрольного примера представлен результат сравнительного анализа 5 вариантов ГВК, в состав которых входят различные средства доставки водолазов к месту работ. Обобщенный показатель, полученный с применением методики, говорит о преимуществе ГВК, оснащенного водолазным колоколом и гиперботом – эвакуационной системой для водолазов с терпящего бедствие судна-носителя.

Преимуществом приоритетного варианта является наличие проверенных на практике технических средств, наилучшим образом обеспечивающих действия расчета ГВК в аварийных ситуациях. Недостатки остальных вариантов ГВК показывают направления решения технических проблем для обеспечения их конструктивной безопасности.

**Цыбанов К.В.,
Тучинский А.А.**
АО «ЦКБ МТ «Рубин»

Методика оценки эффективности факторов защиты в целях повышения безопасности технических объектов

Ключевые слова: оценка эффективности, сравнение эффективности, анализ безопасности, анализ рисков, факторы защиты, системы безопасности, проектирование технических объектов, проектирование объектов морской техники.

Снижение риска аварийных ситуаций в целях повышения безопасности является важной задачей для проектанта технических объектов. Для снижения тяжести возможных последствий развития аварийной ситуации проектантами предусматриваются различные системы и функции, направленные на реализацию алгоритмов приведения объекта в безопасное состояние – факторы защиты (ФЗ). Однако методика определения эффективности ФЗ на текущий момент отсутствует.

Целью работы является разработка методики оценки (определения показателей) эффективности одного или группы ФЗ для своевременного обнаружения и улучшения недостаточно эффективных ФЗ.

Оценка эффективности ФЗ по разработанной методике осуществляется в два этапа: построение деревьев событий (в соответствии с ГОСТ Р МЭК 62502-2014) и расчеты с использованием предложенных показателей и формул.

Методика оценки эффективности ФЗ разработана с использованием следующих предложенных показателей:

- «суммарный риск» – математическое ожидание случайной величины уровня ущерба (тяжести последствий) рассматриваемой аварийной ситуации. Суммарный риск определяется суммой произведений уровня тяжести и вероятности для каждого возможного последствия;
- «эффективность одного/нескольких ФЗ» – мера влияния рассматриваемых ФЗ на суммарный риск. Определяется как разница уровня суммарного риска при достоверном отказе ФЗ и их вероятностном срабатывании.

Предложенная методика оценки эффективности ФЗ может быть использована для любых технических объектов в целях снижения риска и повышения безопасности за счет улучшения недостаточно эффективных ФЗ и снижения ожидаемой тяжести возможных последствий.

Предложенный показатель эффективности ФЗ позволяет наглядно показать величину снижения тяжести последствий и сравнивать эффективность различных ФЗ.

По данной методике возможно проводить количественную оценку эффективности вариантов ФЗ. Оценка достаточности ФЗ проводится с использованием предельно допустимого значения суммарного риска, которое должно составлять долю от значения уровня ущерба допустимой категории тяжести последствий.

В дальнейшем целесообразно нормировать предельные значения эффективности ФЗ.

Беликов С.С.

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Способ определения предпочтительного состава судов обеспечения вспомогательного флота по экономическим показателям эксплуатации

Ключевые слова: суда обеспечения, эффективность использования, стратегическое планирование, программа военного кораблестроения.

Актуальность работы обусловлена запланированным в соответствии с «Программой военного кораблестроения до 2050 года» строительством судов обеспечения вспомогательного флота по новым перспективным проектам. Решение задачи полноценного обеспечения кораблей и подводных лодок всем необходимым не может ограничиваться только техническими решениями и совершенствованием судового состава. Важным вопросом является организация и планирование деятельности вспомогательного флота, а также просчитанного и обоснованного его пополнения с учетом программы строительства ВМФ на долгосрочную перспективу.

Цель работы заключалась в разработке прикладного математического аппарата для проведения оценки эффективности принимаемых решений по использованию судов обеспечения, а также определению состава судов с заданными тактико-техническими характеристиками в достаточном для

оформления задания на проектирование объема, наиболее полно отвечающего требованиям корабельных формирований и критерию эффективности.

Теоретической и методологической основой являются методики и аппарат проектирования судов и военно-экономического анализа. При формулировании и решении задачи обоснования состава судов обеспечения вспомогательного флота использован аппарат имитационного математического и аппроксимационного моделирования, анализировались руководящие документы стратегического планирования, статистические материалы, техническая документация, а также накопленный опыт эксплуатирующих организаций и судовладельцев гражданского сектора экономики, применялись методы системного и статистического анализа.

Полученные результаты представлялись и обсуждались на различных научно-технических конференциях, посвященных вопросам развития судостроения и проблематике реализации Программы кораблестроения.

В результате проделанной работы разработан алгоритм определения наиболее предпочтительного состава судов обеспечения, а также метод оценки эффективности его использования на основе экономических показателей эксплуатации.

**Степанов В.В.,
Животовский Р.П.**

АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»

Оптимизация схем и параметров низкочастотной вибрационной обработки на базе моделирования с использованием метода конечных элементов

Ключевые слова: низкочастотная вибрационная обработка, метод конечных элементов, частоты собственных колебаний, остаточные напряжения, перераспределение напряжений.

После сварки конструкций в металле возникают поля остаточных сварочных напряжений, приводящие к изменению формы и размеров готового изделия. Остаточные напряжения, в зависимости от конструкции и условий ее эксплуатации, могут оказывать негативное влияние на прочностные и эксплуатационные характеристики.

При изготовлении ответственных конструкций, как правило, пытаются уменьшить величины остаточных напряжений, применяя для этого различные технологические приемы и мероприятия. В докладе рассматривается процесс низкочастотной вибрационной обработки (НВО). НВО позволяет снижать и перераспределять остаточные напряжения, устраняет структурно-нестабильное состояние в металле конструкции, при этом повышаются длительная и усталостная прочность, коррозионная стойкость, стабилизируются форма и размеры конструкции. Основными преимуществами процесса НВО являются относительно малые затраты электроэнергии и времени, возможность обработки изделий, в состав которых входят элементы из различных материалов, и возможность обработки крупногабаритных конструкций. При этом НВО имеет свои ограничения, которые следует учитывать при рассмотрении возможности ее применения в каждом отдельном случае.

С целью эффективного снижения и перераспределения остаточных сварочных напряжений рассмотрено применение метода конечных элементов (МКЭ) для определения параметров НВО на примере конструкций направляющих подъемно-мачтовых устройств на заказах АО «Адмиралтейские верфи».

Представлены результаты расчета частот собственных колебаний конструкции и, в соответствии с формами колебаний, определена схема установки виброопор и вибровозбудителя. В производственных условиях проверена правильность выбранной схемы проведения НВО, а также уточнены фактические резонансные частоты.

Использование современных программных пакетов на базе МКЭ позволяет выполнить анализ конструкции, разработать технологию проведения обработки для изделий различной сложности и наметить пути совершенствования данного направления в целом.

Жарова С.С.

Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Перспективы развития забортных пусковых установок с пороховыми аккумуляторами давления

Ключевые слова: пусковые установки, пороховые аккумуляторы давления, подводный пуск.

Очевидно, что необитаемые подводные аппараты (НПА) различных назначений являются неотъемлемой частью любого подводного флота будущего. При этом важным звеном, связывающим НПА с носителем и позволяющим его отделять на разных глубинах, является пусковая установка (ПУ). Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания малогабаритных и высокоэффективных ПУ для НПА.

Целью исследования является обоснование возможностей применения пороховых аккумуляторов давления (ПАД) для выталкивания НПА из ПУ и определение границ применимости ПУ подобного типа.

В качестве методов для обоснования перспектив ПУ с ПАД применялись анализ положительных и отрицательных сторон применения ПАД, а также математическое моделирование процесса пуска для обоснования диапазона глубин применения ПУ.

Пиротехническая энергия обладает почти всеми положительными качествами воздуха высокого давления, традиционно применяемого в подводных ПУ (предсказуемость результатов проектирования, способность длительно находиться в режиме ожидания без потери рабочих свойств, возможность реализации приводов с регулируемой по времени большой импульсной мощностью, постоянная готовность к использованию). При этом для нее характерны более компактные размеры (из-за большей удельной энергии пороховых зарядов по сравнению с воздухом) и повышенная надежность.

Минусами пиротехнических средств создания выталкивающей силы являются их более узкий по сравнению с ВВД диапазон глубин применения и существенная зависимость от температуры окружающей среды.

Проведенное математическое моделирование показало возможность применения ПАД в широком диапазоне глубин (до 200 и более м) с учетом наличия в составе ПУ регулирующих устройств, позволяющих влиять на расход горячих газов из сопла ПАД в расширительную полость за выталкиваемым НПА.

Таким образом, анализ положительных и отрицательных сторон химических источников энергии, а также результаты математического моделирования позволяют рассматривать ПАД как перспективный источник для выталакивающих систем малогабаритных НПА.

Коростелев А.Н.

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Перспективы применения возобновляемых источников электроэнергии на кораблях и судах ВМФ

Ключевые слова: воздухонезависимая энергетическая установка, неатомные подводные лодки, магнитогидродинамический эффект.

Указом Президента Российской Федерации от 20 июля 2017 года «Об утверждении Основ государственной политики РФ в области военно-морской деятельности на период до 2030 года» одним из приоритетных направлений в области строительства и развития ВМФ РФ названо строительство и модернизация неатомных подводных лодок (НАПЛ). В настоящее время специалистами ведущих конструкторских бюро ведутся работы по созданию отечественных НАПЛ IV и V поколений, оснащенных воздухонезависимой энергетической установкой (ВНЭУ). Остро встает вопрос энерговооруженности неатомных подводных лодок, т.к. мощность вооружения и различных комплексов непрерывно растет.

Несмотря на явные преимущества электроэнергии над другими видами вырабатываемой на кораблях и судах энергии, перед проектами и промышленностью встает ряд актуальных проблем, таких как увеличение времени нахождения подводной лодки в подводном положении, увеличение подводной скорости хода ПЛ и многое другое. Данные проблемы обусловлены малыми, по сравнению с атомными ПЛ, запасами энергии.

Одним из направлений работы в вопросах увеличения энерговооруженности является создание энергетической установки, обеспечивающей необходимые вырабатываемую мощность и малошумность, а значит, скрытность.

Перспективы повышения общей эффективности электроэнергетических систем открываются в направлении изучения магнитной гидродинамики, которая, в свою очередь, способна открыть перспективы применения электрических машин на новых для Военно-Морского Флота физических принципах работы.

По результатам исследований магнитогидродинамического эффекта можно сделать вывод о возможности использования машин и механизмов, работающих на принципах магнитной гидродинамики, на подводных лодках ВМФ.

Васильченко Я.С.
ПАО «Невское ПКБ»

Применение проектной статистики на базе математического моделирования для разработки эмпирических зависимостей на начальных и предпроектных стадиях формирования тактико-технического задания на корабль

Ключевые слова: математическое моделирование, проектирование боевых кораблей, проектная статистика, эмпирические формулы, расчеты проектных параметров, предпроектные стадии проектирования, этап формирования тактико-технического задания на корабль, коэффициенты Нормана нового типа, математическая модель укрупненного вида, покрывающая несколько классов кораблей.

Рассмотрено использование и функциональное применение параметризованных трехмерных моделей геометрии корабля для формирования статистических массивов состояний математической модели при решении задач оптимизации и для обоснования проектных решений (или их совокупностей) на начальных стадиях при проектировании авианесущих и транспортно-десантных платформ (кораблей).

Приведены примеры решений задачи оптимизации, направленных на построение зависимостей изменения проектных параметров друг относительно друга.

Выполнен анализ перспектив развития предложенных методов в современной методологии теории проектирования в области кораблестроения.

Предпосылки постановки и решения топологической задачи определяются в процессе разработки общего расположения корабля (ОР). Основой ОР корабля являются проектные проработки (прорисовки) вариантов ОР проекта, в которых и заключаются все новые идеи проекта будущего корабля – т.е. его топология (в данном случае – прототип концепции как более высокий уровень системного анализа).

Однако здесь возникает серьезная проблема, связанная с обоснованностью проектных решений на ранних и последующих стадиях проектирования. Обоснованность принимаемых проектных решений, особенно по геометрическим параметрам корабля, доказывается исследованием вариантов проекта, т.е. решением задачи оптимизации на базе автоматически генерируемых вариантов общего расположения совместно с модулями основных проектных расчетов (проектных параметров корабля).

Анализ существующего аппарата теории проектирования надводных кораблей приводит к следующим выводам:

- для современного надводного корабля определяющими являются требования вместимости, а не нагрузки масс;
- имеющиеся в классической методологии проектирования формы уравнения вместимости не учитывают требования топологии корабля и весьма трудоемки в применении;
- использование прорисовок и схем общего расположения в теле алгоритмов оптимизации весьма трудоемко с точки зрения вычислительных ресурсов и не совсем алгоритмически оправдано для решения задач данного класса.

Дальнейшее развитие применения оптимизационных методов для решения задач проектирования на начальных этапах для надводных кораблей видится в использовании трехмерного компьютерного моделирования на базе параметризованной модели геометрии корабля.

Методы математического моделирования крупных морских инженерных объектов на базе укрупненной трехмерной математической модели объекта, которые могут варьироваться и перестраиваться на базе независимых переменных, дают возможность строить аппроксимированные (в т.ч. многомерные) зависимости для расчета проектных параметров, а также необходимые для постановки и решения задачи оптимизации. Данный подход позволяет как выполнять оценочные расчеты на предпроектных стадиях проектирования, так и реализовать аппарат формирования тактико-технического задания на корабль. Кроме того, данный подход дает возможность выполнять расчеты, направленные на обоснование проектных решений на любых стадиях проектирования, а также осуществлять мониторинг изменения и взаимовлияния проектных параметров математической модели друг на друга с целью достижения их оптимального баланса.

Результаты данного доклада были представлены на конкурсе молодых специалистов и заняли 3-е призовое место. Кроме того, в ходе формирования пакета документов для представления на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов НТПС-2019 представленные материалы получили ряд положительных оценок от начальников основных производственных отделов и членов НТС ПАО «Невское ПКБ».

Считаем, что изложенные подходы к проектированию должны быть реализованы в современном проектировании в области судостроительной и кораблестроительной промышленности РФ.

Бабчук Е.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Рассмотрение возможности оптимизации загрузки предприятий судостроительной отрасли

Ключевые слова: компенсированная регистровая тонна, CGT, судостроительные мощности, производительность предприятия.

Судостроительная отрасль в нашей стране всегда находилась в числе стратегических, аккумулируя в своей продукции достижения большого числа смежных отраслей промышленности, таких как машиностроение, металлургия, электроника и др. Сегодня судостроение – это своего рода индикатор уровня развития экономики и научно-технологического прогресса в стране. С учетом того, что в отрасли задействовано свыше 100 тыс. чел., а в процессе создания конечной продукции принимают участие более 70 предприятий отрасли, остро стоит вопрос об оптимизации загрузки этих предприятий.

Существуют объективные факторы, влияющие на размещение судостроительных заказов.

- специализация предприятия;
- размеры построечных мест и их оснащенность;
- потенциальный объем перерабатываемой стали за год;
- сроки выполнения, стоимость работ и условия кредитования;
- потенциальный объем выпуска готовой продукции в компенсированных регистровых тоннах (CGT) за год; другими словами производительность предприятия, выраженная в CGT в годовом объеме. Именно на этом показателе будет сделан акцент в настоящей работе.

Измерителем производственного потенциала отдельных верфей или производственных мощностей отдельных стран принято было считать тоннаж построенных судов в брутто-регистровых тоннах, не обладавший должной точностью, необходимой дискретностью и не всегда дававший объективно сравнимый результат; неучтенными оставались факторы качества, технической оснащенности судов. Примером могут служить затраты труда на по-

стройку сухогрузного судна дедвейтом 4300 т и траулера мощностью 970 кВт, которые составляют 380 и 370 тыс. чел.-ч соответственно, т.е. практически одинаковы. При этом тоннаж сухогрузного судна равен 3500 рег. т (BRT), а траулера – всего 700 рег. т (BRT), т.е. в 5 раз меньше.

Универсального показателя производительности в судостроении не существует. Поэтому в качестве статистической единицы предлагается использовать компенсированный регистровый тоннаж (CGT) и с помощью этого показателя (как наиболее объективно отражающего реальное положение дел при определении производительности предприятий судостроительной отрасли) осуществлять оценочную характеристику потенциальных возможностей предприятий судостроительной отрасли РФ.

В ближайшие годы намечается спад в строительстве кораблей для нужд ВМФ РФ и одновременно ожидается оживление в секторе гражданского судостроения, где на сегодняшний день ориентировочно определена потребность в судах и морской технике, в которых заинтересованы государственные и коммерческие заказчики РФ. С учетом сказанного поставленная задача по выработке рекомендаций по оптимизации загрузки судостроительных предприятий представляется сверхактуальной.

Первоначально compensated gross tons (CGT) определялся путем умножения регистрового тоннажа строящегося судна на коэффициенты, учитывающие реальные затраты труда на постройку судов в зависимости от их типа и размера. Процесс эволюции коэффициентов не стоял на месте, а активнейшим образом развивался. Так, в 2007 г. в целях получения более точной статистической информации о судостроительных мощностях была введена новая система расчета компенсированного регистрового тоннажа – с добавлением формулы с усредненными коэффициентами для каждого типа судов, где за основу принималась валовая регистровая вместимость. Формула имеет вид

$$CGT = A \cdot BRTB,$$

где A – коэффициент, зависящий от типа судна; B – коэффициент, учитывающий размер судна в брутто-регистровых тоннах (BRT или GT).

По принятой международным судостроительным сообществом методике необходимо знание валового регистрового тоннажа (BRT), но в ряде случаев эта единица измерения в статистической отчетности не приводится – вместо нее дается дедвейт (DWT) для транспортных судов и мощность в кВт (N) для вспомогательных судов и рыбопромыслового флота. Анализируя сложившуюся ситуацию, можно предположить, что существуют зависимости от основных технических характеристик конкретного типа судна.

Данные, полученные по результатам построения графиков ориентировочной зависимости CGT от характеристик судов транспортного флота, свидетельствуют о том, что статистические точки располагаются достаточно кучно: это говорит о приемлемости использования полученных результатов для оценки в первом приближении CGT для данных типов транспортных судов.

Примем во внимание, что в компенсированных регистровых тоннах условно может быть оценена трудоемкость постройки любого судна, CGT связан с производительностью предприятий, а характеристикой производительности основных производственных цехов является объем переработанной стали. Исходя из этого, построим графики зависимости CGT от веса судостроительной конструкции судна или морской техники, что тождественно водоизмещению порожнем в зависимости от типа судна.

Анализируя построенные графики зависимости CGT от веса судостроительной конструкции судна или морской техники определенного типа, можно констатировать, что существует прямая зависимость этих показателей, а это говорит о верно выбранном направлении исследования.

Для объективного определения потенциальных возможностей судостроительных предприятий в компенсированном регистровом тоннаже (CGT) в качестве примера возьмем предприятия, специализирующиеся на строительстве транспортного гражданского флота. Ими будут АО «Красное Сормово» и АО «Окская судостроительная». Проанализируем судостроительную программу данных предприятий за последние десять лет начиная с 2010 г.

Наиболее успешными, с точки зрения количества построенных судов и морской техники, для АО «Красное Сормово» стали 2012 и 2014 гг., а для АО «Окская судостроительная» – 2011 и 2013 гг.

Подводя итоги проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- Применяемый во всех международных маркетинговых и статистических источниках информации показатель CGT является наиболее объективным статистическим инструментом в целях определения возможностей потенциала отдельно взятых судостроительных производств и отрасли в целом.
- Применяя графики зависимостей CGT от основных технических характеристик судов и морской техники, получили достаточно точные с небольшой погрешностью сведения о недостающих для определения CGT данных. В результате исследования было выдвинуто предположение о зависимости между CGT и объемом переработанной стали. Существование такой зависимости было подтверждено.
- С применением методологии, приведенной в настоящей работе, можно будет, используя CGT, проанализировать потенциал отечественных судостроительных мощностей, дать объективную оценку загруженности предприятий, а также определить в процентном соотношении недозагруженность имеющихся судостроительных мощностей.
- В ходе дальнейших исследований будут проанализированы зарубежные судостроительные производства на предмет производительности основных производственных цехов. Предметом анализа станет сопоставление количества времени, затрачиваемого на производство отдельных типов, и тоннажа судов и морской техники.

Самсонова О.Д.

АО «Центр технологии судостроения и судоремонта», ОНТЦ «Румб»

Совершенствование порядка установления цен на суда для государственных нужд

Ключевые слова: ценообразование, судостроение, государственная программа, гражданские суда, государственная экспертиза.

Государство выступает в качестве одного из основных заказчиков на рынке продукции гражданского судостроения. Обоснованность цен государственных закупок в данном случае напрямую влияет на эффективность использования бюджетных ассигнований.

Как правило, поставки судов осуществляются в рамках государственных программ. Порядок определения объемов их финансирования не регламентирован.

При создании судов с использованием бюджетных средств организации судостроительной промышленности сталкиваются с ошибками, допущенными при установлении цены, что приводит к снижению рентабельности или даже к убыткам предприятий. Соответственно, необходимо установление единых методических подходов к определению цен строительства судов и морской техники.

Также в связи с отраслевыми особенностями, присущими судостроению, необходима четкая и продуманная система контроля над ценами на гражданские суда и морскую технику для государственных нужд во избежание пересмотра цен государственных контрактов и, как следствие, корректировки программ для увеличения объемов финансирования. К наиболее эффективным инструментам контроля можно отнести технико-экономические экспертизы расчетов трудоемкости и цен.

По заданиям Департамента судостроительной промышленности и морской техники Минпромторга России в последние годы развернуты работы по возрождению отраслевой нормативно-методической базы ценообразования и трудоемкости в судостроении: ведется разработка нормативов трудоемкости строительства судов, нормативно-методических документов, определяющих особенности определения цен при строительстве судов и др.

Для того чтобы эти работы были успешными, необходимы дальнейшие согласованные действия заинтересованных федеральных органов исполнительной власти, государственных заказчиков и организаций судостроительной промышленности.

**Тягнерев А.Т.^{1,2},
Иванов А.О.¹,
Безкишкий Э.Н.²**

¹ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»,

² ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

Проблема контроля функционального состояния и работоспособности судовых специалистов в процессе профессиональной деятельности

Ключевые слова: динамический контроль, функциональное состояние, судовые специалисты.

В настоящее время параллельно с бурным развитием науки и техники на флоте нарастает актуальность проблемы так называемого «человеческого фактора». По имеющимся статистическим данным на его долю приходится около 70 % всех нештатных ситуаций, случающихся на кораблях и судах во время выходов в море. В связи с этим увеличение надежности технической составляющей системы «специалист – корабль» выглядит бесперспективным без повышения надежности человека.

Динамический контроль функционального состояния (ФС) и работоспособности в процессе реальной деятельности является важным звеном в системе мероприятий по сохранению профессиональной надежности и здоровья моряков, предотвращения нештатных ситуаций, связанных с человеческим фактором. Однако данная проблема до сих пор далека от разрешения. Имеющиеся на ряде объектов ВМФ системы динамического контроля ФС корабельных специалистов не используются, морально устарели, при этом научно-технические разработки в данном направлении практически не ведутся.

Исходя из изложенного, целью исследования явилось обоснование технологии контроля ФС и работоспособности судовых специалистов и комплекса технических средств для ее реализации.

Рациональным техническим решением рассматриваемой проблемы выглядят регистрирующие комплексы, которые позволят обеспечить применение разрабатываемых технологий в виде двух взаимно дополняющих систем оперативного (постоянного) и скринингового (периодического) контроля ФС и работоспособности судовых специалистов.

Системы оперативного контроля, прежде всего, предназначены для мониторинга ФС моряков при возникновении нештатных ситуаций, формировании аварийных партий, осуществления маневра силами и средствами поисково-спасательного и медицинского обеспечения при морских катастрофах.

Необходимость проведения скринингового контроля ФС и работоспособности судовых специалистов в динамике длительных «рабочих циклов» является ключевым звеном их медико-физиологического сопровождения, позволяющим своевременно выявлять пограничные (донозологические) состояния, предотвращая тем самым развитие профессиональных заболеваний. Внедрение данной технологии на современных кораблях позволит своевременно диагностировать недопустимые функциональные состояния у специалистов, а также принимать экстренные меры по сохранению их жизни и здоровья.

Эффективное использование разрабатываемых систем динамического контроля возможно не только для медико-физиологического сопровождения морских специалистов, но и в структуре специальных мероприятий, направленных на повышение боевой готовности и профессиональной работоспособности военнослужащих, других представителей силовых структур, проходящих службу в экстремальных условиях.

Смирнов М.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Современный облик скоростного пассажирского судна

Ключевые слова: скоростное пассажирское судно, режим движения судна, стоимость строительства.

Рассматривается скоростной пассажирский водный транспорт: регионы наибольшего его распространения, текущая численность и потребность на мировом и российском рынках; приводится прогноз развития отрасли скоростного судостроения в ближайшие годы.

Также рассматриваются некоторые типы скоростных судов; особенности, преимущества и недостатки способов их движения. Проводится сопоставление их характеристик ходкости с точки зрения минимизации полного сопротивления движению, формируется заключение об оптимальных режимах движения скоростного судна.

Затем для выбранного облика производится приблизительная оценка строительной и эксплуатационной стоимости, продолжительности строительства и трудозатрат для трех вариантов скоростного судна при одинаковом водоизмещении с различными принципами движения при условии проектирования и строительства на отечественных предприятиях с целью определения структуры экономических затрат для последующего определения целесообразности применения каждого способа движения судна. Выполняется сравнительный анализ основных технических и проектных характеристик скоростных пассажирских судов за последние 60 лет. Приводятся данные по современным отечественным скоростным судам и проектам таких судов, осуществляется их комплексная оценка. Формируется окончательное представление об архитектурном облике и достижимых технических, экономических, эксплуатационных характеристиках современного скоростного пассажирского судна.

Устинов С.А.
Устинова З.С.

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет, ПАО «ЦКБ «Айсберг»

Перспективы использования судов с атомными энергетическими установками в Арктике

Ключевые слова: атомная энергетическая установка, Арктика, ледоколы, ядерный реактор, транспортные суда.

Успешный опыт эксплуатации атомных ледоколов в Арктике дал толчок к возобновлению исследований по созданию атомных транспортных судов, и в конце 80-х гг. появился атомный лихтеровоз-контейнеровоз «Севморпуть».

Одним из основных факторов развития стало совершенствование судовых реакторных установок (РУ). На замену старым РУ блочного типа пришли новые модели интегрального типа – РИТМ-200, РИТМ-400 и другие вариации различной мощности, разрабатываемые ОКБМ «Африкантов». РУ становятся мощнее, но при этом их масса и габариты уменьшаются, что можно проследить, анализируя зависимость мощности РУ от объема защитной оболочки РУ (ЗО). Согласно анализу, современные интегральные РУ, которые используются в том числе на атомных ледоколах пр. 22220 [1], при

сопоставимой мощности занимают меньший объем, чем РУ блочного типа, применявшиеся на атомных ледоколах предыдущих поколений (пр. 10521).

Существующие перспективные судовые РУ типа РИТМ с усовершенствованными системами безопасности, улучшенными массогабаритными характеристики и др. относятся к третьему поколению РУ. К четвертому поколению относятся типы РУ, которые сегодня находятся в разработке и не имеют полноценного опыта промышленной эксплуатации. РУ данного поколения знаменуют собой более радикальный отход от принятых концепций. Одним из перспективных направлений считается применение газоохлаждаемых РУ.

Габариты и сопутствующие мероприятия по обеспечению безопасности накладывали определенные сложности, чтобы атомные энергетические установки (АЭУ) получили распространение не только на ледоколах, но и на транспортных судах. Современные типы РУ, имеющие меньшие массогабаритные характеристики и улучшенные системы безопасности, позволяют возобновить активные работы по проектированию перспективных транспортных судов на АЭУ. С учетом возрастающего грузопотока по Северному морскому пути и планомерного развития арктических проектов, потребность судов (в первую очередь ледоколов) в АЭУ будет только расти. Дополнительным стимулом к возобновлению этих работ является планомерное ужесточение контроля и объемов выбросов различных веществ в атмосферу при эксплуатации судов с традиционными энергетическими установками, особенно в Арктическом регионе.

**Андрианов Д.Ю.,
Шкуров Н.В.,
Голубев П.С.**

Поволжский государственный технологический университет

Применение снегоходных беспилотников для ледовой разведки, базирующихся на борту судна

Ключевые слова: северные территории, ледовая разведка, беспилотник, изменяемый центр тяжести.

Россия – морская держава, длина береговой линии которой всего лишь на 9 % меньше длины экватора Земли, и потому в развитии флота – ее будущее и безопасность страны. Наибольшая часть этой береговой линии – Арктика. Для освоения этой зоны необходима разработка новых технических средств, поэтому стоит новая задача по разработке перспективных образцов

транспортной техники и технологий для решения социально-экономических задач развития северных территорий.

Целью данной работы является создание опытного образца беспилотной снегоходной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести.

В ходе работы над проектом были проведены теоретические исследования боковой устойчивости и определены опасные зоны. При движении платформа маневрирует, и заезд в опасные зоны может привести к серьезным нежелательным последствиям.

Устойчивость беспилотника – важнейший параметр. Для ее обеспечения применяется устройство, которое позволяет смещать центр тяжести полезной нагрузки относительно оси транспортной платформы. Перед проектированием данного устройства необходимо знать координаты центра тяжести элемента поворотного механизма. Найденные координаты центра тяжести всего тела позволяют, управляя положением центра тяжести, повысить устойчивость беспилотной платформы.

Теоретически полученные материалы необходимо использовать при создании беспилотника. Планируется изготовление на базе серийно выпускаемого снегохода опытного образца беспилотной транспортной платформы со смещаемым центром тяжести. С применением данных, полученных при испытании опытного образца, возможно создание под конкретные условия и требования беспилотников на основе как уже имеющихся снегоходов, так и платформ.

Проект направлен на решение ряда задач: ледовая разведка, доставка грузов, участие в спасательных операциях, проведение замеров уровня радиации и др.

Себин А.С.

Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева

К вопросу о моделировании ледяного покрова с использованием композитной модели льда

Ключевые слова: лед, ледяной покров, моделирование, физическая модель, ледовая ходкость, ледокол.

История моделирования ледяного покрова в задачах оценки ледовой ходкости судна насчитывает уже 80 лет. Разработано большое количество материалов модельного льда и методик моделирования, однако точных результатов достичь до сих пор не удалось.

Современная методика моделирования разрушения льда как идеально упругого тела основывается на выполнении соотношений для натуры и модели: $h_n/h_m = E_n/E_m = \sigma_n/\sigma_m = \lambda$. При этом за базовый принято считать разработанный на их основе критерий: $E_m/\sigma_m = E_n/\sigma_n = \lambda$.

Ранее в НГТУ им. Р.Е. Алексеева разработана модель ледяного покрова, основанная на неполной проморозке естественным пресным льдом нескольких слоев мелких гранул полиэтилена высокого давления. Она дает хорошие результаты при моделировании разрушения льда сосредоточенной нагрузкой по схеме центрального пролома, однако не моделирует полностью ледовое сопротивление судна.

Другой вариант модели композитного льда, представленный, но не разработанный ранее, основанный на неполной проморозке крупных гранул полиэтилена, уложенных в один слой, избавлен от этих недостатков. Однако он не позволяет регулировать одновременно модуль упругости и характеристики прочности и требует оценки моделирования сил упругости.

На основе этих разработок предлагается новый подход к моделированию ледяного покрова с помощью композитной модели льда. Он предполагает вморозку гранул полиэтилена на неполную толщину ледяного покрова. Путем изменения толщины композитного верхнего слоя можно регулировать прочность модельного льда, а изменением нижнего слоя естественного льда регулировать модуль упругости.

Проводимое нами исследование физической модели ледяного покрова направлено на определение зависимости прочности и модуля упругости модельного льда от толщины слоя смерзшихся полиэтиленовых гранул в полной толщине материала модели льда: $E = f(h_{\text{полиэ}}/h_m)$, $\sigma = f(h_{\text{полиэ}}/h_m)$. Предполагается, что эта модель обеспечит более полное моделирование разрушения льда техническими средствами в соответствии с классической теорией моделирования ледяного покрова.

Пяткин В.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Воздействие неподвижной льдины на протяженную преграду под действием ветра и дрейфового течения в случае «углового контакта»

Ключевые слова: прочность льда, дрейфовое течение, угловой контакт.

Цель исследования – оценить условия разрушения ледового поля на протяженной преграде, когда поле контактирует с преградой под некоторым углом, т.е. не какой-то прямолинейной стороной (гранью), а углом, где соединяются грани ледового поля. Этот вариант далее называется «угловой контакт».

В этом случае после касания поля и преграды в месте контакта (вершине угла) во льду возникают максимальные сжимающие напряжения. Если эти напряжения превышают прочность льда на сжатие, ледовое поле в зоне контакта начинает разрушаться. Этот процесс происходит до тех пор, пока напряжение сжатия в зоне контакта не сравняется с величиной прочности льда на сжатие. Требуется оценить объем нагромождения в зависимости от размеров ледового поля, толщины льда и скорости ветра.

Предполагаем, что ледовое поле можно представить в виде плоской гладкой пластины, которая имеет достаточно большую ширину, чтобы можно было пренебречь краевыми эффектами. Предполагаем, что ветер направлен вдоль продольной оси пластины и скорость его постоянна. Влияние порывистости ветра будем учитывать (при необходимости) принятыми для оценки ветровых нагрузок методами.

В рассматриваемой задаче величина b – это зона «равновесного» контакта ледового поля с преградой, когда сжимающие напряжения равны прочности льда на сжатие σ_{cm} . В итоге получено следующее уравнение для оценки этой величины:

$$bh_{ice} = 0,2275 \frac{\rho_a}{\sigma_{cm}} \left\{ \left(\log \left(\frac{WL}{v_a} \right) \right)^{-2,58} + \right. \\ \left. + 1,6132 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{\rho_w}{\rho_a \sin(\varphi)} \left[\log \left(\frac{1,27 \cdot 10^{-2} W \cdot L}{v_w \cdot \sqrt{\sin(\varphi)}} \right) \right]^{-2,58} \right\} W^2 S,$$

где W – скорость ветра, м/с; L – длина ледового поля.

Таким образом, соотношение произведения зоны «равновесного» контакта ледового поля с протяженной преградой b и его толщиной h представляет собой гиперболическую зависимость для некоторого поля площадью S и длиной L для каждой скорости ветра W .

Полученные решения относятся к статическим условиям взаимодействия ледового поля и преграды. В реальных условиях для процесса разрушения заострения ледового поля требуется определенное время, на протяжении которого может меняться ориентация ледового поля относительно преграды, скорость и направление ветра, а также другие параметры ледовой обстановки. Эти факторы нуждаются в специальной оценке.

В результате можно сделать следующие основные выводы: при контакте заострения ледового поля (на стыке граней) с преградой под действием ветра во льду могут возникнуть напряжения сжатия, которые превышают прочность льда на сжатие и приводят к разрушению льда. Этот процесс продолжается до тех пор, пока сжимающие напряжения в зоне контакта по мере увеличения ее ширины не снизятся до прочности льда на сжатие. Образовавшиеся обломки льда сформируют искусственный торос или нагромождение льда перед преградой. Полученные решения могут быть использованы для оценки объема обломков льда, которые образуются в процессе торошения.

Мышинский Н.Л.

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Выбор рационального типа и установление основных характеристик флотеля для обслуживания платформы «Приразломная»

Ключевые слова: флотель, платформа «Приразломная», ледекол «Владислав Стрижов», модули.

Цель работы – безопасное и эргономичное размещение рабочих и обслуживающего персонала (РОП), выполняющих, в первую очередь, ремонтные или иного рода работы, при которых возникает необходимость существенного увеличения штатной численности персонала платформы.

Актуальность определяется отсутствием мест для размещения необходимого дополнительного РОП, а также крайняя неэкономичность организации его смены (вахтовый метод обслуживания) с помощью специально построенных пассажирских судов или вертолетов.

Тезисы работы:

- Существующие флотели, их особенности и основные характеристики.
- Формирование жилых и обеспечивающих помещений из модулей – основной принцип проектирования флотелей. Целесообразность использования ледокола «Владислав Стрижов» для размещения модулей. Установление основных типоразмеров модулей и оценка их количества.
- Анализ типов спасательных средств (плоты, шлюпки) для РОП и выбор рациональных типов.
- Проработки схем общего расположения, оценка весовой нагрузки, остойчивости и удифферентовки ледокола.

В работе используются графоаналитические и расчетные методы.

Основные выводы заключаются в том, что использование ледокола «Владислав Стрижов» как флотеля целесообразно в летнее время, когда выполнение им основных функций невозможно либо неэкономично (ледовая проводка танкеров, снабжение).

Ожидается положительный экономический эффект от внедрения проекта: экономический эффект определен качественно – не требуется создание дорогостоящего специального флотеля или использование вертолетов, крайне зависимых от погодных условий и требующих значительных эксплуатационных расходов.

Тимофеев П.А.

Санкт-Петербургский государственный морской технический университет / ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Разработка установки для сжигания нефтесодержащих отходов арктического побережья

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, высокообводненный нефтешлам, ловушечный нефтепродукт, установка сжигания, термическое обезвреживание (сжигание) отходов, экологическая безопасность арктических регионов.

В работе приведено описание ранее не применявшейся в Арктике установки для термического обезвреживания (сжигания) высокообводненных нефтешламов с использованием ловушечного нефтепродукта в качестве жидкого топлива для горелочных устройств.

Целью работы является определение конструктивного типа установки, подбор основного технологического оборудования и разработка технологического процесса обезвреживания нефтесодержащих отходов.

Работа выполнена на основе анализа существующих способов и технических средств очистки и обезвреживания нефтесодержащих отходов. При подготовке статьи были проанализированы и использованы материалы составной части опытно-конструкторской работы (ОКР) «Разработка концептуального проекта опытного образца мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод с последующим сжиганием отходов», выполненной ФГУП «Крыловский государственный научный центр» в рамках ОКР «Чистая Арктика».

Представленные в работе технические решения позволили сформировать общий вид установки, определить состав и технические характеристики оборудования, разработать технологию обезвреживания. Разработанные схемы и чертежи основного технологического оборудования необходимы для дальнейших стадий проектирования по созданию опытного образца установки. Установка сжигания может работать автономно, либо использоваться в составе мобильного комплекса сепарации нефтесодержащих вод, предназначенного для разделения нефтесодержащих отходов на фракции с последующей очисткой водной фракции до установленных требований на сброс.

Разработки, выполненные в рамках данной работы, предназначены для создания опытного образца установки для сжигания нефтесодержащих отходов и, в дальнейшем, для серийного изготовления подобных установок. Потенциальные потребители – российские и зарубежные предприятия, в том числе судостроительные и нефтегазовые компании, занимающиеся освоением арктического побережья.

**Сверчков Д.С.,
Ивлев А.А.**

ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения»

Разработка распределенной системы управления погружного бурового комплекса

Ключевые слова: система управления погружным буровым комплексом.

Рассматривается погружной буровой комплекс, предназначенный для бурения вертикальных скважин с взятием, хранением и передачей кернов при проведении геологических исследований морского дна.

Исходя из поставленных задач, погружной буровой комплекс в ходе своей работы должен в автоматическом и ручном режимах выполнять различные технологические операции. Система управления должна не только поддерживать работоспособность изделия, но и контролировать действия оператора.

В работе описаны основные операции и алгоритмы их выполнения, управление, осуществляемое оператором, также приведены экраны пульта управления, соответствующие данным операциям.

Разработанная система управления позволяет выполнять поставленные задачи. Система управления обеспечивает высокое качество регулирования и блокирует несанкционированные действия оператора. В случае возникновения нештатных ситуаций происходит оповещение оператора, а в поле «руководство оператора» выводится предлагаемое решение.

**Дьячук Н.С.,
Несин Д.Ю.,
Пьянов А.В.,
Благовидова И.Л.**
АО «ЦКБ «Коралл»

Разработка расчетной динамической модели кранового судна большой грузоподъемности при обрыве груза

Ключевые слова: крановое судно, обрыв груза, расчетная динамическая модель.

В современной мировой практике наблюдается устойчивая тенденция к увеличению грузоподъемности крановых судов (КС), в то же время необходимо учитывать и совершенствовать требования к обеспечению безопасности при работе с грузами.

С учетом вышеизложенного приобретают актуальность вопросы, связанные с научным анализом поведения КС при обрыве груза на гаках главного подъема.

Выполненный анализ включает в себя определение параметров устойчивости и характер колебаний, которые совершает КС при обрыве груза на гаках главного подъема, с учетом воздействия внешних сил.

Для решения поставленной задачи используются методы исследования динамики корабля, основанные на составлении системы дифференциальных уравнений движения, а также определении сил, действующих на корпус и верхнее строение КС с учетом раскачивания груза на гаке главного подъема. Выполнено интегрирование уравнений движения, анализ полученных результатов и моделирование системы «КС – груз» в программном комплексе Anchored Structures.

На основании полученных результатов проведен анализ достаточности требований графического метода, изложенного в Правилах Российского морского регистра судоходства, в части определения опрокидывающего момента, возникающего при обрыве груза.

**Сергеев В.В.,
Прибылов Ю.С.**
АО «НИИ телевидения»

Активная система подводного видения для автономных необитаемых подводных аппаратов

Ключевые слова: активная система подводного видения, автономные и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты.

Оснащение автономных или телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (АНПА, ТНПА), предназначенных для работы на различных глубинах погружения вплоть до 6000 м, системами подводного видения позволяет решать широкий спектр как научных, так и прикладных задач освоения Мирового океана, в том числе задач оборонного значения.

Из-за недостатка или полного отсутствия естественной освещенности на рабочих глубинах система подводного видения помимо телевизионной камерной установки должна иметь систему внешней подсветки, обеспечивающую необходимый уровень освещенности объекта наблюдения для получения необходимого качества фото- и видеоматериалов. Учитывая это обстоятельство, систему подводного видения далее будем называть активной системой подводного видения (АСПВ).

На дальность видимости и качество получаемых изображений в водной среде в значительной степени влияет помеха обратного рассеяния (ПОР).

В докладе рассмотрены варианты пространственного разнесения для уменьшения ПОР и увеличения дальности видимости. Показано, что разнесение с согласованными углами излучения источника света и поля зрения приемника является наиболее эффективным методом.

На основе анализа основных светотехнических характеристик современных источников света показано, что наиболее перспективными являются светодиодные источники при создании систем АСПВ для АНПА. Приведены основные параметры светодиодного подводного прибора АСПВ АО «НИИ телевидения».

По результатам объективного сравнения матриц и ТВ-камер с применением стандарта EMVA1288 даются рекомендации по их выбору для использования в системах подводного видения. Показано, что для увеличения дальности видимости в водной среде фотоприемное устройство АСПВ должно иметь высокую контрастную чувствительность, разрешающую способность и меньший порог абсолютной чувствительности.

В докладе приведены основные технические параметры, структурная схема и алгоритм работы АСПВ.

Работы в АО «НИИ телевидения» по созданию АСПВ для АНПА ведутся в рамках реализуемого совместного проекта с АО «Концерн «НПО «Аврора».

Киселев Н.В.

Поволжский государственный технологический университет

Беспилотная амфибийная платформа

Ключевые слова: амфибия, надводный, наземный, высокоманевренный, быстроходный, беспилотный, искусственный интеллект, разведка, доставка грузов, эвакуация.

Целью работы является создание универсального, быстроходного и маневренного беспилотного транспортного средства, применяемого в двух средах – водной и сухопутной. Беспилотная амфибийная платформа (БАП) представляет собой тримаран с тремя ведущими движителями (передний движитель – поворотный). Она может разместить на борту определенное количество пассажиров и объем груза; предназначена для локальных операций в прибрежных зонах, в водных зонах с необходимостью разведывательных или спасательных операций. Имеет возможность выезда в труднодоступных и недоступных зонах для разведки с помощью беспилотных воздушных средств. БАП, как и все беспилотные транспортные средства, исключает человеческий фактор, нередко приводящий к тяжелым последствиям.

Разработано лопастное колесо, выполняющее функцию водного движителя за счет упругих пластин-лопастей и функцию сухопутного движителя за счет самоскладывающихся лопастей и резинового профиля колеса. Платформа представляет собой полноприводной тримаран с двумя задними движителями и одним передним поворотным движителем. Движители выполнены из диска со встроенными жесткими лопастями, поверх диска установлен резиновый профиль с вырезами для укрытия лопастей. При движении по водной поверхности лопасти раскрываются и приводят в движение платформу; при движении по твердой поверхности платформа движется за счет зацепа резинового профиля. Корпус тримарана имеет элементы, похожие на кузов автомобиля, а передняя часть тримарана представляет собой катер с двумя поплавками-направляющими.

Лопастной движитель позволит создать простую конструкцию амфибийной платформы, обладающей высокой маневренностью, быстроходностью и с высоким КПД. Предлагаемое решение с беспилотной системой управления сделает возможной эксплуатацию в различных местностях и водоемах, позволит проводить быструю разведку в непроходимых и труднодоступных зонах.

**Прокониц А.В.,
Косянчук С.И.**
АО «НИИ телевидения»

Телевизионная техника для подводных исследований

Ключевые слова: подводное телевидение, дальность видимости, автономный обитаемый подводный аппарат, телевизионная система, система освещения.

Телевизионные системы (ТВС) получили широкое распространение в подводной среде. ТВС применяются при различных исследованиях подводного пространства, поиске открытых залежей подводных ископаемых, проведении строительных работ, при контроле над состоянием подводных объектов и т.д. Влияние ТВС на изучение подводного пространства существенно, т.к. человек быстрее усваивает информацию, полученную визуальным путем.

Целью данной работы является поиск проблем, с которыми сталкиваются операторы при эксплуатации подводных ТВС, и методов их решения. Рассматривались ТВС, предназначенные для наблюдения подводного пространства, установленные на различные автономные и телеуправляемые обитаемые подводные аппараты.

При анализе результатов проведенных исследований были получены сведения об основных недостатках подводных ТВС. С использованием найденных данных были проведены работы по возможности устранения недостатков. Основными недостатками подводных ТВС являются: невозможность адаптироваться к меняющимся условиям, отсутствие систем подавления помехи обратного рассеивания и механизмов увеличения качества получаемого изображения, изначальный выбор плохих комплектующих для создания ТВС.

Получены следующие результаты:

- разработан алгоритм адаптации системы к внешним условиям;
- созданы методы минимизации помехи обратного рассеивания;
- разработаны методы увеличения качества изображения;
- получены данные для создания методики построения адаптивных подводных ТВС.

Результаты исследования позволяют улучшить качество работы уже существующих подводных ТВС за счет их модернизации и строить новые ТВС, которые могут работать с одинаковой эффективностью в независимости от условий.

Сорокин И.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Электропривод и электрооборудование подводной компрессорной станции

Ключевые слова: преобразователь частоты, подводная компрессорная станция, линия постоянного тока, электропривод, уровень напряжения, электроэнергетическая система, многоуровневый инвертор, высоковольтная система, надежность, двенадцатипульсный выпрямитель.

Объем прогнозируемых ресурсов природного газа России оценивается в 176 трлн м³, при этом доля морских месторождений составляет 35,2 %, однако основная масса (около 400) месторождений находится в труднодоступной Арктической зоне, что требует применения подводной технологии добычи. На данный момент применение ПДК является мировым трендом. Основными лидерами в этой области являются зарубежные компании: Aker Solution (Норвегия), FMC Technologies (США), MAN (Германия), Siemens (Германия), АВВ (Финляндия). При этом полностью отсутствуют отечественные разработки. Исключительный размер нефтегазоносных акваторий России (4 млн км²) требует создания уникальных ПДК с учетом сверхвысоких расстояний (более 100 км) и тяжелых условий эксплуатации и обслуживания. Исследование работ по данной тематике позволяет сделать вывод об отсутствии детального анализа и сравнения различных вариантов построения электроэнергетических систем ПДК. Неизученной также остается динамика потерь в системах при росте мощности и длины кабельной линии системы.

Представлен анализ основных концептуальных вариантов построения электроэнергетических систем подводных компрессорных станций с протяженной линией электропередач. Объектом исследования является подводная компрессорная станция активной мощностью 6 МВт с высокоскоростным (13 000 об/мин) центробежным компрессором, находящаяся на расстоянии 35 км от берега. В качестве электропривода компрессора принимается система «преобразователь частоты – электродвигатель».

Основной задачей исследования являлось определение целесообразности использования электроэнергетических систем со статическими преобразователями частоты в двух основных вариантах кабельной линии – постоянного

и переменного тока. Анализ показал, что применение статических преобразователей частоты оказывается целесообразным при внедрении их в структуры с линией передачи на постоянном токе благодаря высокой энергоэффективности и низкой интенсивности роста потерь с увеличением длины кабельной линии.

Главным недостатком системы с линией постоянного тока являются высокие (свыше 6 кВ) уровни выходного напряжения инвертора, усложняющие структуру инвертора, снижающие общую безотказность системы, а также требующие применения высоковольтных электродвигателей.

**Расков В.В.,
Шарапов М.Г.,
Бланк Е.Д.**

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Разработка технологии электронно-лучевой сварки центробежных насосов для судов и морских сооружений, эксплуатируемых в Арктике

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка.

Создание надежного насосного оборудования с высоким ресурсом работы, которое предназначено для транспортировки жидких углеводородов в технологическом оборудовании, эксплуатируемом в Арктической зоне, является в настоящее время актуальной задачей.

Основной тип насосного оборудования – центробежные насосы. Их прочная часть работает в широком диапазоне температур перекачиваемой среды (от –100 до 140 °С), подвергается коррозионно-эрозионному и абразивному воздействию с высокими механическими нагрузками и т.д. Для получения высоких технических характеристик центробежных насосов (напор, расход) требуется изготовление узлов проточной части сложной конфигурации с высокой точностью и чистотой поверхности. Традиционно основные узлы проточной части (рабочие колеса, выправляющие аппараты и т.д.) изготавливались методом литья. Но это ограничивало получение деталей сложной

формы, применение современных материалов для их изготовления, устойчивых к одновременному воздействию многофакторных нагрузок из-за их низких литейных свойств.

Точность изготовления и чистота поверхностей при литье деталей, как правило, не соответствует конструктивным требованиям. Появление в последнее время металлорежущего оборудования, позволяющего изготавливать детали сложной конфигурации с высоким качеством, дало возможность изготавливать рабочие колеса на металлообрабатываемом оборудовании из нескольких частей с их последующей сваркой. Целью данной работы является создание технологии сварки деталей работающих колес центробежных насосов, изготовленных из современных жаростойких и хладостойких, коррозионно-эрозионно стойких конструкционных материалов.

В качестве конструкционных материалов были выбраны высокопрочная сталь и хладостойкая сталь. Сварные швы выполнялись по месту сопряжения лопаток с покрывным диском при ширине «провара» не менее 1 мм, прочность сцепления при этом должна быть $\sigma_c \leq 500$ МПа. Рассматривались два метода сварки: электродуговой в среде защитных газов и электронно-лучевая сварка (ЭЛС). При электродуговом способе для обеспечения процесса сварки в покрывном диске выфрезеровывались прорезы, совпадающие с конфигурацией лопаток рабочего диска. После приварки лопаток к покрывному диску прорезы в покрывном диске «заваривались».

При ЭЛС «приварка» лопаток осуществлялась через покрывной диск за счет его сквозного проплавления. Перемещение луча осуществлялось по программе. Были отработаны режимы сварки и проведены исследования свойств сварных швов. Результаты исследований показали, что качество сварных соединений отвечает заданным требованиям. Но ЭЛС значительно производительней и дешевле за счет меньшего объема работ по мехобработке, отсутствия присадочных сварочных материалов, автоматизации процесса сварки.

Кроме того, отсутствие присадочных материалов при ЭЛС позволяет получить более высокие механические свойства сварных швов.

Скулябин К.С.

ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения»

Способ передачи керноприемников из научно- исследовательской подводной лодки в буровой станок в подводном положении

Ключевые слова: погружной буровой комплекс, керноприемник, научно-исследовательская подводная лодка.

Рассматривается погружной буровой комплекс, предназначенный для бурения вертикальных скважин на дне моря с взятием, хранением и передачей кернов с целью проведения геологических исследований.

Актуальность создания погружной буровой машины в выгружаемом исполнении обусловлена необходимостью уточнения границ континентального шельфа и возможностью юридически претендовать на признание хребта Ломоносова и поднятия Менделеева границами исключительной экономической зоны РФ.

Впервые буровой станок предложено устанавливать на научно-исследовательскую подводную лодку. Это позволяет проводить буровые работы в подводном положении без выхода на поверхность, выбирать площадки бурения и выполнять постановку на них комплекса на сложных участках дна без фиксации, осуществлять дистанционное управление, находясь в непосредственной близости от участка бурения, включать в состав выгружаемого бурового станка необходимое количество бурового инструмента.

При разработке бурового станка особое внимание уделено надежности и технологичности конструкции с расчетным обоснованием принятых компоновочных решений, поэтому в работе подробно описаны состав и принцип работы механизмов, отвечающих за перегрузку, а именно: механизм выгрузки контейнера, перегрузочная траверса и контейнер керноприемников.

В результате проделанной работы создана трехмерная модель и выпущена рабочая конструкторская документация, на основании которых ведется изготовление и испытания опытного образца механизмов, обеспечивающих передачу бурового инструмента из научно-исследовательской подводной лодки в буровой станок.

**Бояров М.Н.,
Шекин С.И.**

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Технологические способы уменьшения диффузионно- подвижного водорода в наплавленном металле, применяемые при изготовлении агломерированных флюсов для судостроения

Ключевые слова: агломерированный флюс, сварка под флюсом, жидкое стекло, компоненты флюса, водород в наплавленном металле, диффузионный водород, холодные трещины, технологические причины снижения водорода, высокопрочные стали.

При автоматической сварке высокопрочных сталей большое значение имеет количество диффузионного водорода в металле сварного шва. Высокое содержание водорода приводит к холодным трещинам при сварке и ухудшает надежность сварных конструкций. Поэтому актуальной является задача снижения содержания диффузионного водорода в металле шва.

В докладе приведены результаты обзора литературы и обобщены данные различных исследований, посвященных проблеме. В обзор вошли исследования об агломерированных флюсах и электродном производстве за последние 30 лет.

В ходе работы выявлено небольшое количество публикаций о технологических способах уменьшения водорода в агломерированных флюсах. Основная часть исследований касается электродного производства. Также отсутствуют публикации по комплексным подходам к способам уменьшения водорода в наплавленном металле при сварке как под слоем флюса, так и электродом.

Высказано предположение о допустимости применения данных о производстве низководородистых электродов при производстве агломерированных флюсов из-за аналогичности применяемых материалов и схожести технологий производства.

В силу различных условий протекания сварочных процессов при сварке электродом и под слоем флюса для определения точного количества снижения содержания водорода в наплавленном металле при сварке агломерированным флюсом необходимы дополнительные исследования.

На основании обзора литературы о способах уменьшения диффузионно-подвижного водорода в наплавленном металле установлены ключевые источники водорода в агломерированных флюсах, методики его определения и обобщены различные способы его уменьшения на всех стадиях производства флюса.

Соловьев С.Ю.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Влияние пограничного слоя атмосферы на поле скоростей над взлетно-посадочной площадкой схематизированного судна

Ключевые слова: пограничный слой атмосферы, поле скоростей, взлетно-посадочная площадка, аэродинамика судна.

Практически все современные ледоколы снабжены как минимум одной взлетно-посадочной площадкой (ВПП), которая может принимать несколько типов вертолетов. Для каждого из типов вертолетов есть свои ограничения на взлет и посадку, связанные как со скоростью, так и с величиной скоса потока над ВПП. Руководящие документы ИКАО регламентируют разработку ограничений на использование вертолетной техники при проектировании каждого нового судна. Данные ограничения должны быть разработаны на основе экспериментальных исследований в аэродинамических трубах.

Объектом научной работы является схематизированная модель ледокола. Цель работы – проведение сравнения и анализа структуры потока над ВПП схематизированной модели, которые получены в аэродинамической трубе с равномерным потоком и при условии моделирования ПСА. Для проведения работы использовались экспериментальные методы исследований в аэродинамических трубах.

В результате проведенных первых исследований для отдельных углов натекания потока на схематизированное обнаружено влияние ПСА на структуру потока над ВПП. Данный эффект связан с влиянием вертикальной составляющей скорости набегающего потока на геометрию и размер отрывных зон, образующихся при обтекании бортов судна.

Для детального исследования структуры потока над ВПП судов желательно проводить аэродинамические исследования при условии моделирования ПСА.

Сайфуллин Т.И.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Численное моделирование аэродинамики экраноплана

Ключевые слова: экраноплан, аэродинамические характеристики экраноплана, экспериментальные исследования, численное моделирование, вычислительная аэрогидродинамика.

В докладе представлены возможности применения современных методов вычислительной гидродинамики для расчета аэродинамических характеристик (АДХ) экраноплана при его движении вблизи экрана. Разработанная методика численного моделирования аэродинамики экраноплана основана на конечно-объемном методе дискретизации по пространству и времени с применением RANS-моделей турбулентности.

Метод позволяет учитывать деформацию водной экранирующей поверхности, моделировать работу воздушных движителей, в том числе в режиме поддува под крыло центроплана, получать аэродинамические силы, действующие на отдельные части экраноплана и весь аппарат в целом, определять возникающие нестационарные силы при больших углах тангажа. Кроме того, метод дает полную информацию о вихревых структурах вблизи экраноплана и в следе за ним, а также поле распределения давления на внешних поверхностях экраноплана.

Расчеты данным методом проводились с помощью пакета программ численного моделирования STAR CCM+. В работе представлены полученные графики зависимости АДХ от угла тангажа и высоты экраноплана над поверхностью: $C_x(\bar{h}, \alpha)$, $C_y(\bar{h}, \alpha)$, $mz(\bar{h}, \alpha)$, а также визуализация структуры течения вокруг экраноплана и в следе за ним.

В ходе экспериментальных исследований в аэродинамической трубе Крыловского государственного научного центра были получены АДХ экраноплана. Сравнение результатов численного моделирования с экспериментальными данными показало достоверность получаемых расчетным методом характеристик с доверительной точностью.

Февральских А.В.
ЗАО «КАДФЕМ Си-Ай-Эс»

Разработка методики численного моделирования обледенения крыла экраноплана с использованием возможностей программного обеспечения ANSYS

Ключевые слова: обледенение, экранный эффект, вычислительная аэрогидродинамика.

Практически все современные ледоколы снабжены как минимум одной вклеЭкранопланы рассматриваются в качестве одного из ключевых видов транспортных средств для обеспечения доступности отдаленных регионов Сибири и Дальнего Востока, а также освоения арктических территорий. Решением задач создания компоновок экранопланов заняты как ведущие предприятия отрасли скоростного судостроения (КГНЦ, ЦКБ по СПК), так и судостроительные компании (ООО СК «АЭРОХОД», RDC Aqualines), обладающие опытом проектирования судов с аэродинамическим поддержанием. Интерес мирового сообщества к исследованию и применению экранного эффекта фиксируется на уровне прироста научных публикаций (2017–2018 гг.) и появления новых судов, использующих положительное влияние экранного эффекта на крейсерском движении (АСВП с АР «Тунгус», А2V).

В связи с перспективами применения экранопланов в условиях Севера и Сибири, разработка методики прогнозирования их обледенения в ходе эксплуатации представляется актуальной. Основная причина обледенения крыла под действием экранного эффекта связана с брызгообразованием, и опыт прогнозирования обледенения летательных аппаратов не может быть напрямую применен к экранопланам. Программное обеспечение ANSYS Fluent позволяет решать в связке задачи определения формы водной поверхности (метод VoF), траекторий брызг (метод DPM) и их осаждения в тонкой пленке. Однако в такой постановке применение ANSYS для прогнозирования обледенения требует подключения дополнительного программного модуля расчета льдообразования. Альтернативный подход к численному исследованию влияния экранного эффекта на обледенение крыла связан с использованием

информации о количестве и размерах капель воды в аэродинамическом течении в качестве исходных данных и реализуем в программном пакете моделирования обледенения ANSYS FENSAP-ICE.

С использованием ANSYS FENSAP-ICE получены зависимости характеристик обледенения крыла от высоты движения над экраном. Определены аэродинамические характеристики крыла экраноплана с учетом обледенения. Показано, что экранный эффект оказывает влияние на скорость нарастания льда в части ее снижения по мере приближения крыла к экрану, что может рассматриваться как дополнительное подтверждение перспективности применения экранопланов в условиях Севера, Сибири и арктических территорий.

**Вшивков Ю.Ф.,
Кривель С.М.**

Институт математики, экономики и информатики
Иркутского государственного университета

Особенности оценки продольной статической устойчивости экраноплана в эксплуатационной области углов атаки и отстояний

Ключевые слова: экраноплан, экранолет, вычислительная аэродинамика, устойчивость экраноплана, пилотажные характеристики экраноплана.

Проектирование экранопланов связано с решением целого ряда задач, основными из которых являются достижение высоких эксплуатационных характеристик при достаточной устойчивости и управляемости на всех режимах полета.

Целью работы является создание методики и комплекса программ для ЭВМ по оценке продольной устойчивости и управляемости экраноплана на этапе проектирования (синтез аэродинамической компоновки и системы управления, определение эксплуатационного диапазона центровок и полетных параметров). Основными требованиями к методике являются высокая достоверность оценки устойчивости и возможность ее применения в широком диапазоне полетных параметров (скорость, отстояние, угол атаки, положение центра масс).

Выполнен анализ общепринятых методов оценки продольной устойчивости экраноплана с представлением основных проблем их практического использования для ряда компоновок.

Предложена методика оценки продольной статической устойчивости экраноплана и определения эксплуатационного диапазона центровок на основе использования нелинейных аэродинамических характеристик и понятия центра давления. Методика реализована в виде программного комплекса в программе Matlab.

Представленные в докладе результаты моделирования позволяют оценить область и принципы использования предлагаемой методики, определить область допустимых (рекомендуемых) конструктивно-компоновочных параметров и параметров аэродинамической компоновки экраноплана, обозначить требования к его системе управления.

**Галушко Е.А.^{1,2},
Вшивков Ю.Ф.²,
Кривель С.М.²**

¹ Иркутский филиал Московского государственного технического университета гражданской авиации

² Институт математики, экономики и информатики Иркутского государственного университета

Синтез математической модели аэродинамики экраноплана на стационарных режимах маневрирования

Ключевые слова: экраноплан, экранолет, вычислительная аэродинамика, аэродинамические характеристики экраноплана, маневрирование экраноплана.

Отличительной особенностью экранопланов является их особая около-экранная аэродинамика. Аэродинамические характеристики экраноплана, в отличие от самолета, определяются не только его ориентацией относительно потока, режимами обтекания и изменениями формы, но и его положением относительно подстилающей поверхности и ориентацией вектора скорости относительно этой поверхности. Особое значение приобретают вращение экраноплана и изменение указанных факторов по времени.

Целью работы является создание математической модели аэродинамики экраноплана в случае его пространственного маневрирования вблизи подстилающей поверхности, позволяющей учитывать различные кинематические и управляющие параметры полета. Математическая модель представляет собой комплекс моделей различного уровня описания аэродинамики экра-

ноплана и учета факторов, объединенных на принципах системного анализа. Модель аэродинамики позволяет получать аэродинамические характеристики в широком спектре параметров полета.

Исходными данными для формирования модели являются результаты вычислительного эксперимента с использованием ANSYS. Реализация самой математической модели выполнена в программах Matlab и Simulink. Структура и содержание математической модели обоснованы результатами исследований. Основным результатом работы является математическая модель аэродинамики экраноплана, учитывающая различные факторы (угол атаки, угол скольжения, угол крена, относительное отстояние от экрана, положение центра тяжести, углы отклонения управляющих поверхностей, скорость струи при поддуве) и позволяющая полно исследовать установившиеся и предельные режимы маневрирования экраноплана.

Шевцов С.П.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Металлополимерное покрытие для защиты гребных винтов от электрохимической коррозии

Ключевые слова: металлополимерное покрытие, гребной винт, ГВ, коррозия.

Одной из остро стоящих проблем является проблема коррозионных повреждений гребных винтов. Уже за первые годы эксплуатации даже при существующих технологиях установки гребных винтов с их электроотключением от корпуса за счет существования гальванической пары корпус – винт бронзовые гребные винты покрываются мелкими язвами, проявляются коррозионные канавки вокруг технологических наплавов на лопастях, появляются бородавчатые выступы из выделившегося из бронзы алюминия, в ряде случаев разъедаются острые кромки лопастей.

В докладе представлены результаты исследований по оценке эффективности технологии создания металлополимерного покрытия на поверхности гребного винта для его защиты от электрохимических коррозионных повреждений. Разработка технологии осуществлялась Крыловским государственным научным центром совместно с ООО «Технологические системы защитных покрытий».

С целью изучения свойств защитного металлополимерного покрытия и его устойчивости к различным факторам, воздействующим на поверхность

гребных винтов, были проведены комплексные экспериментальные исследования, включающие:

- сравнительные испытания образцов с покрытием на устойчивость к интенсивному кавитационному воздействию;
- испытания образцов с покрытием на гидродинамическое трение;
- испытания на прочность покрытий на образцах в условиях моделирования напряженной лопасти и при максимальных напряжениях;
- определение адгезии покрытия с основным материалом и адгезии полимерного слоя покрытия;
- определение устойчивости покрытия при термоциклических испытаниях, коррозионной стойкости в морской воде и устойчивости к электрохимической коррозии.

Исследования выполнены с использованием экспериментальной базы и опыта ФГУП «Крыловский государственный научный центр» и НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Результаты испытаний позволяют сделать вывод, что металлополимерные покрытия являются перспективным средством для защиты гребных винтов от коррозионных повреждений, и не являются источником дополнительных потерь гидродинамической эффективности и прочностных характеристик гребных винтов.

**Ванифатьев А.В.,
Ионкин А.С.**

Головной филиал «НПО «Винт» АО «ЦС «Звездочка»

Гидродинамические методы снижения вибронегруженности подруливающих устройств

Ключевые слова: гидродинамические особенности работы ПУ, вибронегруженность ПУ, форма гребного винта и корпуса ПУ.

Актуальность выбранной темы связана с тем, что мировая тенденция среди производителей подруливающих устройств (ПУ) большой мощности направлена на снижение вибронегруженности данных изделий. Источником переменных нагрузок на гребном винте ПУ является неравномерное поле скоростей перед гребным винтом, возникновение которого обусловлено наличием конструктивных элементов, искажающих поток.

На неравномерность потока в канале ПУ влияют следующие элементы:

- входные кромки судового канала ПУ;

- углы развала бортов корпуса;
- защитные решетки;
- геометрические размеры корпуса редуктора ПУ.

Цель статьи – показать интенсивный путь снижения переменных нагрузок, возникающих на элементах судовых движителей, методами вычислительной гидродинамики.

В настоящее время НПО «Винт» выполняет модернизацию существующего типоразмерного ряда ПУ, где одним из направлений является снижение виброактивности ПУ.

Исследование с целью оптимизации формы корпуса редуктора проводилось методами численного моделирования, а конструктивные решения проверялись на стенде в натуральных условиях. При исследовании оценивались гидродинамические силы, возникающие на смоченных поверхностях ПУ.

По результатам выполненного расчета удалось определить оптимальную форму гребного винта и корпуса редуктора ПУ, а последующие натурные испытания в опытовом бассейне показали существенное снижение виброускорений при внедрении разработанных конструктивных улучшений.

**Багринцев В.В.,
Коваль А.А.,
Маринич Н.В**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Оптимизация геометрии гребного винта подруливающего устройства для снижения нестационарных сил

Ключевые слова: нестационарные силы, гребной винт, оптимизация геометрии, подруливающее устройство.

В связи с современными требованиями, предъявляемыми к виброакустическим характеристикам гребных винтов, необходимо разработать методику оптимизации геометрических характеристик гребного винта (ГВ), позволяющую обеспечить малозумность работы подруливающего устройства (ПУ).

Целью работы является оптимизация геометрии гребного винта подруливающего устройства: числа лопастей, распределения саблевидности и шага по радиусу лопасти. Оптимизация гребного винта позволяет снизить уровень нестационарных сил на валу и пульсаций давлений на стенках водовода без потери эффективности при заданных характеристиках энергетической установки.

При использовании современных методов, разработанных в Крыловском государственном научном центре, осуществляется оптимизация геометрии гребного винта в 3 этапа и производится оценка возможного снижения уровня нестационарных сил. На первом этапе выполняется выбор числа лопастей и производится оптимизация распределения шага гребного винта с целью обеспечения малозумного распределения циркуляции при сохранении требуемой частоты вращения гребного вала на номинальной мощности энергетической установки. На втором этапе осуществляется определение оптимального для заданного поля скоростей распределения саблевидности по радиусу лопасти. На третьем этапе выполняется поверочный расчет гребного винта на основе линейной теории несущей поверхности.

Результатом оптимизации гребного винта подруливающего устройства являются новые распределения саблевидности и шага, пульсации сил и моментов на лопасти и гребном винте в целом. На основе этих данных оценивается эффективность предложенной методики.

Расчетные и экспериментальные оценки показали заметное снижение значений суммарных нестационарных сил на ГВ и пульсаций давления на стенках канала ПУ относительно стандартизированного винта, что говорит об эффективности разработанного метода.

**Багаев Д.В.,
Ермолаев А.А.,
Шевцов С.П.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

О результатах расчетно-экспериментальных исследований гребных винтов подруливающих устройств улучшенной геометрии

Ключевые слова: нестационарные силы, гребной винт, подруливающее устройство, ПУ, вибрация.

Подруливающие устройства (ПУ), устанавливаемые на современные суда, являются источником повышенного уровня вибрации. Вибрация, вызванная их работой, негативно сказывается на работоспособности экипажа, а в ряде случаев может приводить к опасности нарушения прочности судо-

вых конструкций, нарушениям работы судовых систем. Одним из наиболее эффективных методов решения этой проблемы, является применение гребных винтов (ГВ) ПУ улучшенной геометрии.

Цель настоящей работы заключалась в анализе эффективности применения ГВ улучшенной геометрии для снижения нестационарных сил при работе подруливающего устройства путем сопоставления расчетных и экспериментальных данных, полученных для традиционной и улучшенной геометрии гребного винта.

Для определения эффективности применения улучшенной геометрии ГВ ПУ использованы расчетные методы численного моделирования с применением суперкомпьютерных технологий, а также определение гидродинамических и кавитационных характеристик ГВ ПУ, оценка пульсаций давлений и виброускорений на макете канала ПУ путем модельного эксперимента. Оценка эффективности ГВ улучшенной геометрии получена путем сопоставления аналогичных параметров с традиционным ГВ ПУ.

Сопоставительный анализ результатов расчетных и экспериментальных исследований показал значительное снижение величины периодических возмущений на гребном винте и на корпусе канала ПУ при падении гидродинамических характеристик примерно на 5 %. Ухудшения кавитационных характеристик не обнаружено.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение гребных винтов улучшенной геометрии (с повышенным числом лопастей, оптимизированной формой лопасти и профилировкой) – эффективная мера снижения периодических возмущений, являющихся источником повышенной вибрации, вызываемой работой ПУ. Отдельно стоит отметить, что первопричиной возникновения периодических возмущений является неоднородность поля скорости в диске ГВ. Вопросам минимизации неоднородности поля скорости должно уделяться особое внимание как при проектировании судна, так и при проектировании элементов ПУ.

**Ключенко А.Ю.,
Кузнецов В.Ю.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Численный метод определения площади пера руля и погруженной площади ДП корабля при исследовательском проектировании

Ключевые слова: управляемость корабля, гидродинамические силы, установившаяся циркуляция, уравнения движения корабля.

Актуальность работы обусловлена тем, что традиционно задача проектировочного расчета управляемости надводного корабля решается при заданном $\overline{\omega}_0 = 0,2\overline{\omega}_{\max}$ на основе расчета и построения диаграммы вторых критических точек. Такой подход, в силу заложенного в него экспериментального материала и соответствующего ему алгоритма расчета, не позволяет традиционным путем решать задачу для произвольного значения $\overline{\omega}_0$, например, $\overline{\omega}_0 = 0$ или любого $\overline{\omega}_0 > 0$, но не равного $\overline{\omega}_0 = 0,2\overline{\omega}_{\max}$, поэтому он требует дополнительных работ.

Цель исследования заключается в разработке метода проектировочного расчета управляемости надводного корабля с нейтральной и отрицательной устойчивостью и заданной поворотливостью.

Теоретической и методологической основой является методика проектировочного расчета управляемости надводного корабля. При решении поставленной задачи использовались аналитические и численные методы решения задач гидродинамики и теории корабля, методы математического моделирования.

Полученные результаты представлялись и обсуждались на научно-технических конференциях, посвященных вопросам развития судостроения. Разработан метод проектировочного расчета управляемости надводного корабля с нейтральной и отрицательной устойчивостью и заданной поворотливостью, на базе которого составлена математическая модель расчета площади пера руля и площади кормового подзора и погруженной площади диаметральной плоскости корабля, обеспечивающих заданную поворотливость и устойчивость.

Салазкин И.В.,
Третьяков А.М.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Определение эрозионной стойкости различных материалов

Ключевые слова: эрозия, пороговая скорость, кавитация.

В кавитации жидкости одним из вредных последствий является эрозия – повреждения, возникающие в области замыкания кавитационных каверн. На протяжении десятков лет по данной тематике проводилось множество исследований – как теоретических, так и экспериментальных, с использованием кавитационных труб и эрозионных установок.

В Крыловском государственном научном центре существует испытательное оборудование, предназначенное для исследования эрозии образцов. Оно позволяет исследовать эрозионную стойкость различных материалов в условиях стационарного обтекания, а также различные виды покрытий, наносимых на поверхности объекта, работающего в водной среде, для увеличения его прочности. Данная установка позволяет проводить экспресс-анализ сравнительной эрозионной стойкости исследуемых материалов и покрытий по соотношению пороговых скоростей, т.е. скоростей потока в рабочем участке кавитационной трубы, при которых для заданного режима появляются эрозионные разрушения, а также определять эрозионную стойкость непосредственно исследуемого материала по найденному значению скорости эрозионного разрушения $v_{эп}$, характеризуемого потерей веса материала в единицу времени, и глубину очага эрозии $h_{эп}$ за исследуемый период времени.

Полученные данные позволят по результатам модельных испытаний образцов из исследуемых материалов на стадии проектирования рассчитывать допустимую длительность эксплуатации на расчетном режиме гребного винта, изготовленного из какого-либо из этих материалов, или винта с покрытием (до следующего его осмотра или возможного ремонта).

Маслов В.И.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Генерирование волны-убийцы в волновом бассейне

Ключевые слова: аномальная волна, волна-убийца, экстремальная волна, физическое моделирование, волновой бассейн, регулярное и нерегулярное волнение.

Доклад посвящен физическому моделированию аномальной волны (волны-убийцы) в волновом бассейне Крыловского государственного научного центра. Аномальная волна (АВ) отличается от ветровых волн необычайно крутым передним склоном и пологой ложбиной, внезапностью возникновения и стремительным обрушением, что является чрезвычайно опасным явлением для морских объектов. С целью количественной оценки воздействия АВ на объекты необходимо физическое моделирование.

Физическое моделирование АВ осуществлялось методом суперпозиции двухмерных однонаправленных регулярных волн разной частоты с переменной и постоянной крутизной. Для создания управляющего сигнала при помощи специального программного обеспечения формировались волновые пакеты, состоящие из последовательности определенного количества гармоник заданной частоты, высоты и длительности. Для регистрации параметров волны-убийцы использовались струнные волнографы, установленные с определенным шагом по длине бассейна.

В эксперименте производилась суперпозиция от 2 до 7 регулярных волн переменной и постоянной крутизны с частотами в диапазоне 2–6 рад/с. В результате получена зависимость высоты аномальной волны от различного количества складываемых гармоник. Наибольшая по высоте аномальная волна получена в результате сложения 4 волн переменной крутизны. Приведена реализация, показывающая процесс генерации аномальной волны. Кроме того, выполнено моделирование аномальной волны в условиях нерегулярного волнения методом линейного наложения сигнала с волновым пакетом из регулярных волн на сигнал спектра волнения типа JONSWAP. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования волны-убийцы, полученной в условиях регулярного и нерегулярного волнения.

В итоге определен предел по максимально достижимой высоте волны-убийцы в мореходном бассейне Крыловского научного центра и, как следствие, диапазон масштабов для изучения воздействия аномальной волны на морские объекты.

**Орлов П.М.,
Сидоров В.М.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Модернизация экспериментальной установки свободной воды

Ключевые слова: гребной винт, экспериментальная установка, асинхронный двигатель, векторное управление, интеллектуальные системы управления.

Широко распространенным типом судового движителя является гребной винт (ГВ). Проектирование ГВ – одна из основных задач судостроения, качественное решение которой позволит избежать, в том числе, и существенных экономических издержек. Одним из направлений повышения эффективности определения гидродинамических характеристик ГВ при проектировании судовых движительных комплексов является увеличение точности проводимых модельных испытаний ГВ. В данном направлении рациональна модернизация аппаратного и программного обеспечения системы регулирования электропривода экспериментальной установки (ЭУ) свободной воды.

Для обеспечения требований по перегрузочной способности, диапазону частоты вращения и точности позиционирования в процессе экспериментального исследования целесообразно применять высокотехнологичное современное устройство – частотно-регулируемый электропривод на основе асинхронного короткозамкнутого двигателя (АД). По результатам исследования в системах управления (СУ) АД признается рациональным использование бездатчикового векторного метода. Для компенсации негативных факторов, присущих данному способу, необходимы повышение степени интеллектуальности СУ, а также организация непрерывного оценивания значений меняющихся параметров АД.

С целью совершенствования аппаратного и программного обеспечения системы регулирования электропривода, с учетом современных тенденций в автоматизации высокотехнологического оборудования, предложена структурная схема частотно-регулируемого привода ЭУ для испытания моделей ГВ в свободной воде. В данной схеме учтена необходимость реализации как алгоритмов предварительной и текущей идентификации параметров АД с использованием математической модели, так и информационных технологий, позволяющих создавать интеллектуальные СУ.

Повышение точности определения гидродинамических характеристик ГВ при проектировании судовых движительных комплексов во многом определяется возможностью совершенствования аппаратного и программного обеспечения системы регулирования электропривода ЭУ свободной воды.

**Орлов П.М.,
Сидоров В.М.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Система сбора данных информационно-измерительного комплекса буксировочной тележки опытового бассейна

Ключевые слова: экспериментальный стенд, система сбора данных, индуктивно-частотные датчики, частотно-модулированные сигналы.

Проведение испытаний моделей судов, кораблей и движителей в опытовых бассейнах требует повышения точности измерений их гидродинамических (ГД) характеристик. В настоящее время стенды оснащены экспериментальными установками, измерительными преобразователями (ИП) и программно-аппаратными комплексами, которые позволяют повышать достоверность ГД эксперимента путем расширения возможностей систем сбора и обработки данных за счет создания нового программного обеспечения.

В целях реализации данной возможности рассмотрены сигналы с ИП, методы оценивания частоты и система сбора и обработки данных (ССОД), интегрированная в информационно-измерительный комплекс буксировочной тележки глубоководного опытового бассейна. Основной задачей являлась модернизация программы ССОД для определения характеристик частотно-модулированных (ЧМ) сигналов с ИП, применяемых на экспериментальном стенде.

Определение сил и моментов, воздействующих на модель при испытаниях, основано на измерении ЧМ сигналов с ИП и обеспечивается программно-аппаратными средствами, экспериментальным стендом и установками, такими как «установка свободной воды», ЭУ-70. Преобразование сигнала реализовано методом оценки мгновенного значения частоты по периоду импульса с индуктивно-частотного преобразователя.

Произведен анализ традиционного метода измерения частоты. Предложен переход к методу оценки мгновенного значения частоты сигнала с ИП. Разработана и верифицирована программа первичной обработки ЧМ сигналов для ССОД. Внедрение программы позволило оперативно диагностировать неисправности ИП.

В ходе работы была выполнена модернизация программы ССОД в части первичной обработки ЧМ сигналов. Выявлена недостаточность эмпирических данных об экспериментальном стенде. Выбрано направление расширения номенклатуры датчиков и комплексирования измерений.

**Алексеев А.С.,
Антонов Д.В.**

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»»

Уточнение уравнения качки

Ключевые слова: морская качка, корреляционная функция, спектр, прогноз качки.

При разработке и выборе параметров прецизионных приборов систем навигации и управления для морских кораблей необходимо обоснованно выбирать параметры алгоритмов преобразования их сигналов, для чего требуется достоверно оценивать характеристики внешних воздействующих возмущающих факторов. К основным из них следует относить силы инерции, пропорциональные линейным ускорениям от качки корабля, которые могут измеряться в конкретных условиях непосредственно, но могут рассчитываться и по параметрам движения корабля как твердого тела. Свойства этих ускорений зависят от высоты и скоростей распространения волн, скорости хода, курса и динамических характеристик качки корабля. Результаты экспериментального определения свойств воздействия волн на корабль традиционно использовались как при расчетах точности стабилизации на курсе, так и при анализе запасов прочности корпуса. Описанию частотных свойств качки в свое время был посвящен многолетний цикл научных исследований, проведенных в ЦНИИ им. А.Н. Крылова. При использовании общепринятых спектральных методов описания воздействия качки на навигационные приборы преимущественный интерес представляет диапазон частот ниже 0,2 Гц.

Целью данной работы является описание результатов проведенных авторами испытаний и экспериментальных исследований процессов качки; отдельно обращается внимание на трудности в интерпретации результатов. Были обработаны результаты измерения угла качки, полученного при проведении испытаний серийно изготавливаемого гравиметра «Шельф» на быстроходном катере малого водоизмещения. С целью определения частотного состава сигнала дискретные данные были обработаны с помощью программы, реализующей алгоритм быстрого преобразования Фурье. По полученным значениям были выделены основные частоты гармоник угла качки. Было обнаружено, что закон колебаний значительно отличается от синусоидального, что объясняется малым водоизмещением катера. При обработке реализации на интервале времени в 720 сек. получились пики спектра с частотами 0,17, 0,27 и 0,31 Гц.

Полученные рекомендации и конкретные результаты будут направлены на повышение точности системы стабилизации.

**Малец А.А.,
Разрезова К.В.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Анализ процесса генерации звуковых волн термоакустическими источниками

Ключевые слова: термофон проволочный и пленочный, активный элемент, переменный электрический ток, несущая пластина, тепловая волна, звуковая волна, излучение в жидкость.

Термоакустические источники звука – термофоны – относятся к классу широкополосных нерезонансных источников звука. Появившиеся в последние годы пленочные термофоны открывают широкие возможности их практического применения для решения различных задач физической и технической акустики. В основу работы термофона положен термоакустический эффект. Согласно этой теории, излучение звуковой волны от плоской твердой поверхности с периодически колеблющейся температурой происходит за счет возникновения в пристеночном слое жидкости неоднородной тепловой волны.

Проводится анализ двустороннего и одностороннего режимов излучения проволочных термофонов. Отмечается, что основным недостатком проволочных термофонов с односторонним излучением является неравномерность их АЧХ, что затрудняет их практическое применение. В двустороннем режиме проволочные термофоны могут успешно использоваться в качестве поршневых источников звука в трубах.

Пленочные термофоны различной формы без теплоизолирующей подложки обладают равномерными, воспроизводимыми акустическими характеристиками, которые можно прогнозировать путем расчета, зная физические константы используемых материалов конструкции термофонов.

Перспективным направлением исследования является использование термофонов в качестве источников излучения звука в жидкую среду. Приводятся результаты исследования излучения пленочного термофона в две жидкости (дистиллированная вода и керосин). По сравнению с излучением в воздух излучение в керосин выше примерно на 20 дБ.

Для проведения гидроакустических измерений в жидких средах необходимо разрабатывать специальные термофоны, гидроизолированные от проводящей жидкости за счет иммерсионной жидкости.

Булгакова В.Г.,
Позднякова С.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Поглотители радиоволн на основе метаматериалов

Ключевые слова: метаматериал, поглотитель радиоволн, метаповерхность, тонкие пленки.

Рассматривается возможность использования многослойных метаматериалов в качестве поглотителей радиоволн для снижения заметности морских технических объектов в радиолокационном диапазоне частот. Оптимальным образом комбинируя материальные и геометрические параметры таких структур, можно управлять их электродинамическими свойствами. Рассмотрены теоретические принципы создания радиопоглощающих многослойных материалов с расширенной частотной полосой на основе метаповерхностей. Представлены результаты исследований радиопоглощающих свойств образцов многослойных поглотителей радиоволн, полученных с использованием методов тонкопленочных технологий.

**Коробицына Д.М.,
Кузнецова А.Д.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Оценка влияния акустической долговечности вибродемпфирующих покрытий на шум в судовых помещениях

Ключевые слова: коэффициент механических потерь, вибродемпфирующая мастика, акустическая долговечность, судовые помещения.

Шум и вибрация судов оказывают негативное влияние на экипаж и на функционирование судовых машин и механизмов. Наиболее простое и эффективное средство снижения шума в судовых помещениях – вибропоглощающие покрытия. Они наносятся на судовые переборки и перекрытия и эффективно преобразуют энергию колебаний ограждающих элементов в тепловую. Оценка преобразования производится с помощью величины коэффициента механических потерь облицованной конструкции.

Вибродемпфирующее покрытие – это разновидность пластмассы, подверженной естественному старению. Так как срок эксплуатации судов составляет несколько десятков лет, целью данной работы является исследование изменения во времени коэффициента механических потерь вибродемпфирующего покрытия жесткого типа, для того чтобы оценить влияние акустической долговечности на шум в судовых помещениях. Исследование основано на статистическом сопоставлении результатов измерений коэффициентов механических потерь образцов стальных пластин с вибродемпфирующим покрытием жесткого типа в 2013 и 2018 гг. Установлено, что за пять лет значения коэффициента механических потерь облицованных образцов пластин статистически значительно снизились.

На примере расчетной энергостатистической модели судна для случая применения вибродемпфирующих покрытий для палуб и настилов показано возрастание уровней звукового давления на 3–5 дБ на средних и высоких частотах. Таким образом, можно сделать вывод о значимости акустической долговечности вибродемпфирующих покрытий для оценки уровней шума в судовых помещениях.

Малинин И.О.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Снижение звукоизлучения гребного винта

Ключевые слова: звук, вибрация, гребной винт, вибропоглощение, численное моделирование.

Гребной винт (ГВ) является одним из основных источников внешнего шума судна. В настоящее время особую актуальность обрела проблема резонансного звукоизлучения ГВ. Наиболее перспективный способ снижения излучения ГВ – применение средств вибропоглощения. Однако все мероприятия по повышению демпфирования ГВ оказались недостаточно эффективными. Настоящая работа выполнена с целью разработки предложений по значимому снижению излучения ГВ.

По результатам анализа известных способов и технических решений для повышения демпфирования ГВ предложена новая конструкция ГВ, особенности которой состоят в следующем. Ступица ГВ удлинена в корму от конца гребного вала, лопасти закрепляются на наружной поверхности участка ступицы, образованного в результате удлинения, а на внутренней поверхности этого участка, в полости ступицы, размещается комплект резонансных демпфирующих устройств (РДУ). Каждое РДУ из комплекта имеет низшую резонансную частоту изгибных колебаний, совпадающую с одной из резонансных частот ГВ, установленного на вал и погруженного в воду, и оптимальный коэффициент потерь, обеспечивающий максимальное снижение колебаний ГВ на этой частоте.

Оценки эффективности такой конструкции выполнены с применением численного моделирования и метода конечных элементов. Полученные результаты указывают на достаточно высокую эффективность предложенного технического решения. Достоверность результатов расчета подтверждается данными экспериментов на физической модели лопасти ГВ с имитатором ступицы. Работы по совершенствованию конструкции ГВ с РДУ продолжаются.

**Дрюк А.В.,
Петрова В.В.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Сравнение различных подходов к оценке оптимальной ширины полосы частот при обнаружении квазигармоничного сигнала на фоне помех

Ключевые слова: дискретная составляющая спектра, оптимальная полоса фильтрации, естественная ширина.

Анализ подводного шума (ПШ) корабля часто требует выделения дискретных составляющих спектра (ДСС) ПШ с известными характеристиками на фоне помех с помощью фильтрации с оптимальной полосой. Основными характеристиками дискретной составляющей спектра (ДСС) сигнала считаются средняя частота, уровень, ширина ДСС. Если определение первых двух характеристик не вызывает особых затруднений, то для определения ширины ДСС существует несколько основных подходов – энергетический, по полуширине и на основе времени внутренней когерентности процесса [1]. Все подходы в своем определении несут разный физический смысл, и возникает вопрос, какую из характеристик взять в качестве «паспортной» для определения ширины ДСС. Ранее [1] были рассмотрены только первые два подхода.

Целью данной работы является решение вопроса о связи оптимальной ширины фильтра при выделении ДСС с естественной шириной ДСС, определяемой на основе вероятностного подхода к оценке времени внутренней когерентности исследуемого сигнала. В исследовании используется метод численного моделирования.

Аналитически задаются различные по форме спектральные плотности мощности, и на этом основании генерируется сигнал, к которому добавляется гауссов шум с отношением сигнал/помеха 10 дБ. По 120 реализациям на основании введенного критерия контрастности определяется оптимальная полоса фильтрации, которая затем сравнивается с естественной шириной этого же сигнала.

Проанализированы зависимости оптимальной полосы фильтрации и естественной ширины ДСС от ее формы, и установлены соотношения между этими зависимостями

Для естественной ширины ДСС, как и для энергетической ширины, отношение к оптимальной полосе фильтрации практически постоянно и слабо зависит от формы ДСС.

**Нелюбин И.В.,
Шакин С.А.,
Эйдук В.И.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Метод оценки дистанции обнаружения морских объектов электрическим каналом неконтактных взрывателей донных мин

Ключевые слова: тралостойкость, донные мины, электрическое поле, электрический дипольный момент.

Электрические каналы присутствуют в неконтактных взрывателях (НВ) ряда моделей донных мин, повышая их тралостойкость. К основным целям минного оружия относятся морские подводные и надводные морские объекты, как обитаемые, так и роботизированные. Современные «интеллектуальные» программируемые НВ получили способность производить анализ спектра электрической помехи и осуществлять обнаружение электрического поля с параметрами, приближающимися к максимально возможным (оптимальным) для данной ситуации.

Основным источником ЭП морских объектов обычно являются электрохимические процессы, вызываемые разнородными в электрохимическом отношении деталями объекта, которые омываются морской водой. В качестве основного параметра электрической заметности морских объектов используется электрический дипольный момент (ЭДМ).

Целью данной работы является разработка математической модели для оперативного управления электрической скрытностью морских объектов на основе определения дистанции обнаружения, соответствующей задаваемой вероятности обнаружения, не вызывающей срабатывания НВ, в зависимости от параметров помехи и электрической заметности объекта.

Модели ЭП морских объектов основаны на представлении поля как результата действия совокупности отдельных электродов (в том числе распределенных) с различными электродными потенциалами, сопротивлениями растекания (зависящими от формы электрода) и поляризуемостями. Оценка

**Румянцев К.А.,
Виноградов А.В.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Совершенствование обтекателей антенн корабельных гидроакустических станций

Ключевые слова: обтекатель, акустическая помеха, композиционные материалы, метод конечных элементов.

Для повышения эффективности системы «корабль – гидроакустическая станция» (ГАС) необходимо увеличение поисковой скорости корабля-носителя при сохранении (или повышении) неизменной дальности действия ГАС. Основным фактором, влияющим на дальность действия ГАС, является уровень акустических помех, который увеличивается с ростом скорости. Таким образом, актуальность приобретает задача снижения уровня акустических помех на более высоких поисковых скоростях, в том числе с помощью новых полимерных композиционных материалов (ПКМ), обладающих высокими механическими потерями.

Целью работы является экспериментальная и расчетная оценка эффекта применения многослойной оболочки из ПКМ для снижения уровня акустических помех.

В расчетной части настоящей работы использованы известные из литературы аналитические зависимости для определения акустических и прочностных свойств обтекателей ГАС, а также результаты численного моделирования, выполненного методом конечных элементов. В экспериментальной части работы приведены результаты акустических испытаний макета многослойной оболочки (панели) обтекателя.

Полученные результаты расчетной оценки прочностных и акустических свойств многослойной оболочки обтекателя ГАС из ПКМ сопоставлены с экспериментальными данными.

Уровень акустических помех может быть значительно (в 3 раза) снижен за счет применения многослойных оболочек в конструкциях обтекателей ГАС, что в свою очередь позволяет повысить поисковую скорость носителя.

Артющенко А.П.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Исследование механических сопротивлений патрубка ПКМ-450 в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц с учетом влияния жидкости

Ключевые слова: вибрационные колебания, входные и передаточные механические сопротивления, патрубок компенсационный, учет влияния жидкостной среды.

Рассматривается задача моделирования колебаний современного, перспективного компенсационного патрубка ПКМ-450, его входные и передаточные механические сопротивления с учетом влияния жидкостной среды. За счет собственной конструкции компенсационного патрубка, а также установленных в патрубке четырех тонкостенных резинометаллических элементов (ТРМЭ-450), состоящих из 16 слоев резины и 15 слоев металла, компенсационный патрубок является эффективным средством снижения вибрации, передающейся по трубопроводам циркуляционных трасс.

В настоящее время чрезвычайно сложно определить механические сопротивления компенсационного патрубка с помощью экспериментальных методов. В связи с этим существенный интерес представляет разработка физико-математических моделей столь сложных конструкций.

Математическая модель построена для расчета в диапазоне частот от 5 до 1000 Гц. Проведено сравнение результатов расчетного анализа механических сопротивлений компенсационного патрубка ПКМ-450 без учета и с учетом жидкостной среды внутри патрубка.

**Шилина Е.С.,
Шилин М.М.,
Семенов Н.Н.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Модификация алгоритма пространственно-временного блочного кодирования для создания шумовой локальной помехи

Ключевые слова: локальная помеха, адаптивный компенсатор помех, пространственно-временное блочное кодирование, алгоритма Аламоути.

Один из способов подавления локальной по пространству помехи – это формирование характеристики направленности антенны гидролокатора, максимум которой приходится в направлении полезного сигнала от цели, а в направлении помех – нули. Цель данной работы – исследование ситуаций, при которых подавление локальных помех (ЛП) адаптивным компенсатором помех (АКП) является неэффективным или невозможным.

В работе рассмотрен алгоритм передачи и приема сигнала с использованием пространственно-временного блочного кодирования (схема Аламоути). Модификация этого алгоритма (МПВБК), включающая в себя передачу случайного битового потока и четырехпозиционную фазовую модуляцию, позволяет применить его для создания шумовой ЛП работе гидролокатора подводного аппарата.

Были проведены исследования по оценке эффективности снижения помехозащищенности гидролокатора к шумовой ЛП, закодированной предлагаемым алгоритмом, и размещенной на одном или на двух роботах-носителях. Исследования показали, что традиционная одиночная или вдвоенная ЛП подавляется АКП при ее разнесении с целью на угол в 1° . Сдвоенная помеха, находящаяся на одном роботе-носителе и закодированная алгоритмом МПВБК, подавляется при ее разнесении с целью на угол не менее $11\text{--}15^\circ$. А две сдвоенных помехи, находящихся на двух роботах-носителях, разнесенных на 50 м, подавляются лишь при разнесении с целью на угол не менее $18\text{--}20^\circ$. Также значимую роль в отсутствии подавления ЛП играет расстояние между излучателями на роботе-носителе: чем оно больше, тем сложнее АКП подавить локальную помеху.

Клименков А.С.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Влияние ребер жесткости на коэффициенты отражения и прохождения звука для пластин

Ключевые слова: акустическая волна, коэффициент отражения звука, коэффициент прохождения звука, пластина, продольные и поперечные наборы ребер.

Учитывая, что в настоящее время рабочие частоты средств дальнего активного обнаружения перешли в диапазон низких частот, при расчетах уровней гидролокационного обнаружения от легкого корпуса подводной лодки необходимо учитывать влияние ребер жесткости.

Цель данной работы состоит в рассмотрении влияния набора продольных и поперечных ребер жесткости на значения коэффициентов отражения и прохождения звука для пластин в диапазоне низких частот ($f \leq 500$ Гц).

Результатами работы являются усредненные оценки значений этих коэффициентов с учетом размеров шпаций и параметров пластины, подкрепленной данными наборами ребер. Также учитывается рассеяние акустической волны на импедансных неоднородностях и незеркальное отражение.

Лисовский А.Я.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Шумовое загрязнение подводной среды в процессе осуществления морской хозяйственной деятельности

Ключевые слова: шумы моря, шумовое загрязнение, морская хозяйственная деятельность, морской порт.

Акватория Мирового океана представляет собой систему взаимодействующих между собой физических полей, оказывающих влияние на живые организмы, обитающие в морской среде. Одна из разновидностей таких полей – шумы моря, которые бывают слышимыми или неслышимыми. Их источниками служат морские волнения, являющиеся случайным процессом, связанным с гидрометеорологическими условиями, шумы, излучаемые от корпусов судов, выполняющих траловую съемку, а также электрические разряды, излучаемые биологическими объектами. К основным источникам подводных шумов судна относятся судовые двигатели, гребные винты, турбулентные потоки в пограничном слое при обтекании неровностей и шероховатостей корпуса и др.

Спектральный анализ шумов, проведенный на базе Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра под руководством к.т.н. зав. лабораторией М.Ю. Кузнецова, показал на примере акватории порта Владивосток, что большая их часть лежит в области низких частот, улавливаемых рыбами и имеющих для них информационный характер. В условиях дефицита света под водой звуковой канал активно используется многими морскими млекопитающими семейства китовых для взаимодействия с окружающей средой, в том числе для поиска пищи. Этот факт представляет наибольший интерес при изучении их поведения в разных шумовых условиях.

По результатам данных исследований зависимости слуховых порогов рыб от частоты звука и спектральных характеристик судового шума дистанция реагирования некоторых видов рыб составляет не менее 500 метров (максимальная дистанция при реагировании на более шумные суда, а минимальная – на суда с низким уровнем шума).

В настоящее время в России эксплуатируются научно-исследовательские суда в основном старого поколения, построенные на основе проектов с уровнем шума, значительно превышающим рекомендации ICES (Международный Совет по исследованию моря).

Характеристики шумов моря включены в ряд национальных и международных директив. Вопрос о необходимости контроля (для целей экологического мониторинга) изменчивости пространственной когерентности морских шумов и фазовых соотношений между шумовыми сигналами, которые воспринимаются рассеянными в пространстве приемниками, остается открытым.

На основе проведенных в Японском море экспериментов были выбраны рекомендации ICES, согласно которым уровень шума рыболовных научно-исследовательских судов на частоте 10 кГц не должен превышать порог восприятия на расстоянии 20 м. При этом дистанция реагирования рыб на шум судна существенно варьируется – от 40 до 500 м и более, но чаще – 100–200 м в зависимости от слуховых способностей рыб, времени суток, физиологического состояния рыб, уровня шума и условий окружающей среды. Реакция рыб сопровождается стремлением выйти из шумового поля. Диапазон воспринимаемых частот у разных рыб составляет от 0,1 Гц до 2 кГц, но чаще всего до 1 кГц, а иногда до 4 кГц; некоторые виды рыб способны улавливать ультразвук. Акустический режим порта является одной из составляющих при оценке вредного воздействия от деятельности предприятия на окружающую среду (раздел проекта ОВОС в техническом проекте). Обеспечение предприятием требований законодательных актов и нормативных документов по соблюдению санитарных норм шума на территории порта и в селитебной зоне выступает в качестве решения проблемы шумового загрязнения окружающей среды, а также снижения шумовой нагрузки на персонал и жителей прилегающей жилой зоны.

Целью исследования является сравнительная оценка степени учета акустического загрязнения подводной среды при функционировании различных объектов морской хозяйственной деятельности в программах экологического мониторинга и мероприятиях по охране окружающей подводной среды в России и в мире.

Показано, что экологический мониторинг шумов моря проводится, в том числе в нашей стране, с различными целями в соответствии с набором параметров, перечень которых постоянно пополняется. Источники шума при ведении морской хозяйственной деятельности можно классифицировать по функциональной принадлежности: стационарные, технологические, транспортные. При этом морские порты являются важными источниками негативных техногенных шумов различного происхождения. Порт – это крупное транспортное предприятие, структуру производственных мощностей которого составляют специализированные терминалы и перегрузочные комплексы различного технологического назначения. На территории порта работает перегрузочное оборудование, автотранспорт, железнодорожный транспорт, силовые установки судов, насосные станции, компрессорные установки, системы вентиляции и аспирации, узлы громкой связи и другие вспомогательные и хозяйственные объекты, которые являются источниками шума.

Обосновано, что проект управления акустической нагрузкой (шумовым загрязнением) в морских портах должен предусматривать определение количественной характеристики параметра среды, «подлежащего управлению»,

которую оценивают с помощью инструментальной оценки шумового режима порта. Анализ и оценка акустических параметров окружающей среды должны являться неотъемлемой частью экологического мониторинга, причем как вблизи побережий в портовых зонах, так и на открытых акваториях вдоль судходных трасс транспортных судов, а также в районах ведения регулярного промышленного рыболовства.

Необходимо совершенствование отечественной нормативно-правовой базы применительно к нормированию допустимого акустического воздействия на водные биоценозы, прежде всего на водных млекопитающих и популяции рыб в период нереста.

Вахрушева Ю.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Исследование напряженно-деформированного состояния амортизатора при разрушающем воздействии

Ключевые слова: амортизатор, прочность, напряженно-деформированное состояние.

Объектом исследования являлся амортизатор сухого трения. В процессе исследования производителем разрабатываемого амортизатора при проведении ударных испытаний имели место случаи разрушения. В связи с этим перед Крыловским государственным научным центром, помимо исследования эксплуатационных характеристик, была поставлена задача расчета прочности элемента амортизатора, получившего повреждение. Целью работы было исследование прочности разрабатываемого амортизатора при разрушающем воздействии.

Прочность амортизатора исследовалась расчетными, численными и экспериментальными методами. Были выполнены расчет в упрощенной постановке с применением приемов сопротивления материалов и уточняющий расчет методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS.

Также был проведен ряд оценочных расчетов, учитывающих изменение размеров детали, чтобы дать рекомендации по повышению прочности.

По результатам анализа расчетных и экспериментальных исследований можно заключить, что причиной разрушения детали амортизатора является недопустимо высокий уровень напряжений изгиба, возникающий при растяжении амортизатора, в сочетании с наличием концентрации напряжений и особенностью свойств стали 14X17H2.

На основании проведенных исследований и выданных рекомендаций разработчиком были внесены изменения в конструкцию амортизатора, что позволило обеспечить его прочность.

**Глибенко О.В.,
Артемьев Д.М.**

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Учет динамических эффектов при моделировании методом конечных элементов испытаний на взрывное выпучивание

Ключевые слова: предельная деформация, динамическое нагружение, взрыв, ударно-волновое нагружение, динамические эффекты.

Основными параметрами, определяемыми в ходе динамических испытаний, являются остаточный прогиб образца и значения радиальной компоненты пластической деформации на поверхности. При этом тангенциальная деформация оценивается только методом пересчета. Полученные таким образом значения деформаций могут быть использованы как сравнительные величины при однотипных испытаниях и не несут информации относительно реального распределения критических деформаций в образце. Компьютерное моделирование методом конечных элементов позволяет проводить комплексную оценку напряженно-деформированного состояния образца после испытания.

Целью данной работы был подбор расчетной модели, позволяющей смоделировать напряженно-деформированное состояние при динамических испытаниях. Верификация модели проводилась по имеющимся экспериментальным данным.

На первом этапе работы была решена статическая задача по деформированию образца в программном комплексе ANSYS Mechanical. Решены вопросы влияния на точность моделирования эффектов трения, имеющих место при натурных испытаниях. На втором этапе был решен ряд задач с учетом динамических эффектов. Проводилось сравнение моделей динамического деформирования материала Джонсона – Кука и Коупера – Саймондса.

В результате данной работы было установлено, что использование модели Джонсона – Кука дает лучшее совпадение с экспериментальными данными при моделировании динамических испытаний, были подобраны константы модели. Сравнение «статической» и «динамической» моделей позволило оценить вклад динамических эффектов в распределение деформаций материала покомпонентно.

По результатам моделирования динамического деформирования была оценена скорость деформации металла при взрывном нагружении.

Уварова Е.А.

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Этапы разработки необрастающего экологически чистого покрытия с низкой поверхностной энергией. Предварительные результаты испытаний в натуральных условиях

Ключевые слова: обрастание, краевой угол смачивания, безбицидная эмаль.

Конструкции, эксплуатируемые в морской среде, подвергаются влиянию основных элементов подводного мира, таких как морская (соленая) вода, биологические воздействия (обрастание), колебания температуры.

Обрастание может приводить к значительным повреждениям конструкций: засоряет систему в теплообменниках, увеличивает гидродинамическое сопротивление, снижает маневренность судна и увеличивает расход топлива, что приводит к увеличению затрат в судоходной отрасли при эксплуатации судов.

Было доказано, что обрастание не происходит, если краевой угол смачивания покрытия составляет более 90° и покрытие обладает низкой поверхностной энергией ($< 25 \text{ мДж/м}^2$). За счет малой поверхностной энергии и высокого краевого угла смачивания такие покрытия обладают скользкой поверхностью с низким коэффициентом трения. Вблизи таких поверхностей облегчено скольжение жидкого потока, что не дает обрастателям прочно прикрепиться к поверхности судна, и они могут легко удаляться потоком воды.

В данной работе рассмотрен способ получения безбицидной эмали путем гидрофобизации эпоксидных пленкообразователей перфторполиэфирными жидкостями и дальнейшего пигментирования.

В результате исследований была разработана эмаль с краевым углом смачивания в 116°. Проведены технологические и физико-механические испытания эмали, а также испытания, оценивающие стабильность гидрофобных свойств в морской воде.

Технология получения эмали воспроизводима в заводских условиях. Выпущенная безбицидная эмаль была нанесена на подводную часть корпуса судна для проведения испытаний в натуральных условиях. По результатам осмотра подводной части корпуса судна лакокрасочное покрытие имеет удовлетворительное состояние. В настоящее время испытания продолжаются для определения реального срока службы разработанной эмали.

Грибенюк Н.А.

ЗАО «ЦНИИ судового машиностроения»

Схемно-конструктивная модель закрытия судовой крышки (дверцы) с приводом на основе пространственного шарнирного механизма

Ключевые слова: спуско-подъемное устройство, судовая дверца, буксируемые элементы, пространственный шарнирный механизм.

В связи с разработкой технических предложений по созданию спуско-подъемного устройства для буксируемой части гидроакустической станции с гибкой протяженной буксируемой антенной изделия «Тритон» для корабля измерительного комплекса проекта 18290 было принято решение о внесении технического предложения схемно-конструктивной модели устройства для запираения судовой дверцы на основе пространственного шарнирного механизма.

Данное предложение обусловлено тем, что элементы крепления дверцы мешают свободному прохождению в свете дверцы элементов буксируемой части станции. В период подготовки к буксировке части станции необходимо поднять дверцу, для чего требуется опустить роульс. Для упрощения конструкции роульса, а также для уменьшения трудоемкости подготовительных операций по освобождению света дверцы и элементов крепления предлагается применить запирающее устройство на основе пространственного шарнирного механизма, т.к. его геометрические параметры позволяют получить нужную траекторию перемещения дверцы.

В результате работы получен механизм, который перемещает судовую дверцу по необходимой траектории, освобождая свет дверцы для свободного прохождения в нем элементов буксируемой части станции.

**Калинина О.И.,
Карпов П.С.,
Хомутов М.М.**
АО «ЦКБ «Коралл»»

Методика оценки прочности конструкций плавучей системы при морской транспортировке пролетов мостов

Ключевые слова: плавучая система, гидродинамические нагрузки, оценка прочности.

При строительстве мостов в районе судоходных водных путей наиболее сложной задачей является установка мостового пролета над судоходным каналом, т.к. из-за существенной длины и большой массы применение стандартных методов сборки пролетных строений моста не представляется возможным. Одним из решений, позволяющих установить мостовой пролет над судоходным каналом, является доставка такого пролета от его места сборки на точку установки водным путем.

Целью работы является разработка плавучей системы, состоящей из двух плавучих опор и установленного на них арочного пролетного строения, математическое моделирование процесса транспортировки такой системы по морю, определение гидродинамических нагрузок на корпусные конструкции и оценка прочности элементов плавучей системы.

Поставленная задача решается в два этапа. Первый этап – определение расчетных нагрузок на плавучую систему при транспортировке с помощью программного комплекса математического моделирования статике, динамики и гидродинамики плавучих и стационарных сооружений Anchored Structures. В данном программном комплексе решается задача динамического поведения плавучей системы под действием сил ветра, волн и течения с учетом массогабаритных характеристик элементов, входящих в состав плавучей системы. В результате решения определяются гидродинамические давления на корпус и ускорения при качке, которые принимаются в качестве расчетных нагрузок для второго этапа – оценки прочности конструкций плавучей системы с помощью программного комплекса ANSYS, реализующего метод конечных элементов.

С использованием представленной методики АО «ЦКБ «Коралл»» был разработан проект морской транспортировки арочных пролетов моста, который успешно реализован в реальных условиях. Это говорит о достаточной надежности результатов и дает основания применять данную методику в аналогичных проектах.

Карлов С.А.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Применение искусственных нейронных сетей для автоматизации анализа результатов АЭ-контроля процесса сварки

Ключевые слова: метод акустической эмиссии, контроль процесса сварки, искусственные нейронные сети, семантическая сегментация, автоматизация интерпретации информации.

Метод акустической эмиссии (АЭ) позволяет проводить диагностику качества изготовления сварных соединений непосредственно в процессе сварки. При этом качество сварного шва в реальном времени выполнения сварочных проходов оценивается оператором АЭ-контроля по имеющемуся набору критериальных признаков путем анализа графиков, формируемых на экране монитора при регистрации информации. Подобный способ обработки и анализа информации может приводить к субъективному характеру принятия решения о качестве процесса сварки.

Цель данной работы – показать возможность автоматизации при интерпретации результатов АЭ-контроля качества процесса сварки с помощью алгоритма «компьютерного зрения».

В настоящее время наилучшее качество обработки при использовании «компьютерного зрения» достигается с помощью глубоких сверточных нейронных сетей. В рамках этой работы применение «компьютерного зрения» предполагает решение задачи семантической сегментации, в результате чего для каждого пикселя определяется вероятность его принадлежности к каждому размеченному классу. Применительно к анализу АЭ-информации, регистрируемой при выполнении сварки, характерными классами являются собственно сварочные «дорожки», процессы зачистки шва от шлака и др.

В работе рассмотрены современные тенденции в области глубокого обучения при решении задачи семантической сегментации, аргументирован выбор входных признаков изображения, показан процесс подготовки обучающих данных, а также проведена оценка влияния различных факторов на качество обучения.

В результате выполненной работы создана рабочая модель глубокой искусственной нейронной сети, которая позволит автоматизировать процесс интерпретации результатов АЭ-контроля процесса сварки и тем самым обеспечить объективность при оценке качества сварного шва. Кроме того, автоматизация процесса анализа информации даст возможность использовать более многофакторные критериальные оценки качества сварки, что позволит повысить достоверность результатов АЭ-диагностики сварных соединений.

Компанец В.А.

Дальневосточный федеральный университет

Выявление резервов прочности корпусных конструкций морских судов

Ключевые слова: корпус судна, металлоемкость конструкций, прочность, резервы прочности.

Актуальность исследований обусловлена необходимостью развития отечественного судостроения, гармонизации отечественных нормативных документов с международными, сокращения металлоемкости конструкций морской техники без снижения показателей их надежности.

Цель исследований – выявление резервов прочности корпусных конструкций морских судов для оценки возможности снижения их металлоемкости. Для реализации цели поставлены следующие задачи: выполнение обзора и анализа публикаций по данному направлению; сравнительный анализ требований норм и правил регистров, регламентирующих минимальные толщины конструкций и запасы на коррозию и износ; предварительное сопоставление результатов с опытными данными.

Для решения поставленных задач были использованы метод нормативных сопоставлений, графические методы анализа данных, метод моделирования.

В ходе работ проанализированы исследования ведущих отечественных и иностранных ученых и исследователей. По результатам намечены зоны и конструкции с наибольшими резервами прочности.

Сравнительный анализ требований норм и правил регистров (PMPC, PPP, LR, DNV-GI) позволил выявить зоны и конструкции, имеющие расхождения массогабаритных показателей – потенциальные резервы прочности.

Предварительное сопоставление результатов с опытными данными эксплуатации судов в условиях Дальневосточного бассейна выполнено на основании данных дефектаций при освидетельствовании судов и данных базы DEFHULL с целью подтверждения полученных аналитических выводов о увеличенных резервах. Наибольшие резервы прочности отмечены у судов ледового плавания длиной от 30 до 140 м; резерв наиболее массивных конструкций (обшивки и палуб) составляет от 4 до 20 %, а у отдельных поясьев и зон достигает 23 %.

В итоге выполненных работ сформированы предложения по корректировке нормативной документации РМРС в области назначения минимальных толщин корпусных конструкций. Исследования проведены в рамках выполнения гранта РМРС (договор № 18-99519 от 24.06.2018 на выполнение НИР «Разработка предложений по корректировке требований нормативных документов РС на основе сопоставления металлоемкости конструкций корпуса судов, проектируемых по требованиям РС и требованиям иных классификационных обществ»).

Логунова А.А.

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Разработка легковесных вибропоглощающих материалов с повышенной водостойкостью

Ключевые слова: снижение шумовиброизлучения, легковесные вибропоглощающие материалы, повышенная водостойкость, гибкоцепной модификатор.

В отечественном и зарубежном судостроении легковесные заполнители традиционно применяются для повышения плавучести, обеспечения устойчивости и удифферентовки заказов, что далеко не в полной мере исчерпывает функциональные возможности сферопластиков (в первую очередь, при решении проблем скрытности по физическим полям и, прежде всего, в снижении шумовиброизлучения).

В рамках представленного исследования разрабатываются легковесные ударостойкие вибропоглощающие материалы, отвечающие современным требованиям, таким как огнестойкость, водостойкость, широкий температурно-частотный диапазон демпфирования, снижение шумовиброизлучения на 5–20 дБ.

Базой исследования стали эпокси-олигомерные композиции на основе смеси жесткоцепной эпоксидиановой смолы ЭД-20 и гибкоцепных эпокси-

оксиалкиленовых смол, в частности, смолы Э-181, лапроксид и др. Главным недостатком указанных полимерных систем является повышенное водопоглощение материалов, превышающее допустимые уровни уже при содержании гибкоцепного компонента более чем на 50 %.

Поставленные в работе задачи предполагалось решить путем применения специальных технологий модификации эпоксидных композиций за счет введения в молекулу гибкоцепного олигомера и, соответственно, полимера многоядерного ароматического молекулярного образования.

В результате исследований вибропоглощающих композиций установлено, что изменение соотношения жесткоцепной составляющей композиции и гибкоцепного модификатора приводит к закономерному изменению температурной точки максимума потерь. С понижением жесткости, характеризующей модулем упругости E , максимум значения коэффициента потерь смещается в сторону более низких температур.

**Савчук Д.В.,
Панов В.А.,
Патрушев В.Л.,
Соловьев С.А.**

АО «ОКБМ Африкантов»

Обоснование динамической защищенности амортизированного оборудования судовых реакторных установок

Ключевые слова: амортизирующее крепление, динамическая защищенность, оборудование реакторных установок, численный анализ.

В соответствии с требованиями нормативных документов при проектировании судовых реакторных установок (РУ) должны быть рассмотрены внешние воздействия природного или техногенного характера, которые могут сказаться на безопасной эксплуатации РУ. Поэтому одним из аспектов, обеспечивающих безопасную эксплуатацию РУ в течение назначенного срока службы, является ее динамическая защищенность – способность конструкции сохранять целостность и несущую способность при внешних динамических воздействиях.

С этой целью для ряда оборудования РУ создаются амортизирующие крепления, которые должны одновременно обеспечивать эффективную виброизоляция оборудования от фундамента, антивибрационную защиту и противоударную защиту при внешних динамических воздействиях.

При разработке амортизирующего крепления оборудования, испытывающего механические нагрузки и температурные воздействия от трубопроводов, необходимо учитывать особенности его общей компоновки, которые существенно влияют на его динамические характеристики.

В работе предлагается методика проведения обоснования динамической защищенности амортизированного оборудования судовых РУ. При проведении обоснования с применением методики используется расчетный программный код, позволяющий моделировать следующие особенности конструкции:

- нелинейные жесткостные характеристики амортизаторов;
- демпфирование в амортизаторах;
- взаимодействие с трубопроводами;
- взаимодействие с упорами ограничителей перемещений;
- различный характер динамического воздействия.

Приведены результаты динамических расчетов амортизированного оборудования РУ, по которым были разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить безопасную эксплуатацию судовой РУ.

**Глибенко О.В.,
Вихарева Т.В.**

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Исследование изменений механических свойств и структуры сталей различных классов при однократном и многократном динамическом воздействии

Ключевые слова: предельная деформация, динамическое нагружение, взрыв, ударно-волновое нагружение, структура металла, изменение механических свойств.

Основой технологической модернизации промышленности были и остаются конструкционные материалы. Освоение новых технологических горизонтов, территорий, особенно таких, как районы Крайнего Севера и Арктики, требует учитывать эксплуатацию конструкций в экстремальных условиях. Новые условия работы делают проблему оценки надежности конструкций особенно актуальной. Одним из ее решений является введение избыточно жестких требований к материалам и конструктивным узлам. Определение предельных возможностей самих материалов создает необходимость отхода от классических статических и циклических типов испытаний.

В качестве одного из методов создания условий, «загоняющих» материалы, элементы конструкции в более экстремальные условия, нежели при их эксплуатации, является проведение динамических (взрывных) испытаний по методике НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей».

В результате выполненного комплекса мероприятий по исследованию структуры и механических свойств сталей были сформулированы следующие выводы:

1. С увеличением количества нагружений от одного до четырех при максимальной деформации происходит повышение прочностных свойств при снижении пластических и ударной вязкости. Это связано с формированием субзеренной структуры. Более детальное изучение структуры показывает наличие полос скольжения и двойников деформации.

2. Ударная волна при входе в материал многократно переотражается от плоскости образца, рассеиваясь от центра образца к его периферии. Наиболее фрагментированная структура наблюдается в центре, особенно в приповерхностных слоях, где процентное содержание малоугловых границ составляет более 70 %. По мере удаления от зоны максимальной деформации интенсивность фрагментированности снижается.

Фадеев Д.Е.

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Контроль и анализ внутренних напряжений (деформаций) при подъеме затонувших объектов

Ключевые слова: судоподъем, анализ напряжений и деформаций, неразрушающий контроль, мониторинг состояния конструкции.

Традиционными методами судоподъема считаются:

- подъем с помощью механических усилий;
- подъем с использованием сил плавучести;
- комбинированные и прочие способы подъема.

Контроль и анализ напряжений (деформаций) при подъеме затонувших объектов актуален, его значение существенно возрастает при подъеме объектов, имеющих значительные повреждения корпуса.

Штатные средства неразрушающего контроля, применяемые при судоподъемных работах, устарели и имеют существенные конструктивные недостатки.

Система мониторинга состояния строительных конструкций зданий и сооружений могла бы найти применение в судоподъемном деле.

Филатов А.Р.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Различные способы учета трехосности напряженного состояния при расчетах усталостной прочности

Ключевые слова: усталостная прочность, долговечность, ресурс, сложное напряженное состояние, непропорциональное нагружение.

Суда и объекты морской техники в течение срока эксплуатации испытывают переменные во времени нагрузки, что вызывает накопление в конструкциях усталостных повреждений и выработку их усталостного ресурса. Такие обстоятельства вкупе с часто предъявляемыми требованиями снижения материалоемкости делают проблему усталостной прочности конструкций весьма актуальной.

Традиционным при оценке усталостной прочности является подход с использованием $S-N$ кривых усталости. Однако этот подход применим только для конструкций, находящихся в простом одноосном напряженном состоянии с тензором напряжений $\sigma(t)$, имеющим только одно ненулевое главное напряжение. На практике большинство судовых конструкций испытывают сложное двухосное или трехосное напряженное состояние, при котором ненулевыми являются уже два или три главных напряжения соответственно. С другой стороны, в процессе нагружения три главные оси тензора напряжений $\sigma(t)$ могут поворачиваться в материальной системе координат, что оказывает существенное влияние на процесс накопления и развития усталостных повреждений и требует учета в расчетах усталостной прочности.

Целью данной работы является сравнение различных способов учета трехосности напряженного состояния при расчетах усталостной прочности.

В настоящее время известно большое число методов сведения сложного напряженного состояния к простому. Из них были выбраны следующие: методы максимальных главных напряжений и абсолютных максимальных главных напряжений; методы эквивалентных напряжений и знаковых эквивалентных напряжений; методы касательных напряжений и знаковых касательных напряжений; методы критической плоскости.

С использованием выбранных методов были выполнены оценки усталостной прочности типового трубчатого узла опорных конструкций самоподъемной плавучей буровой установки. В качестве эталонного был выбран метод критической плоскости, по отношению к которому были вычислены погрешности остальных методов в зависимости от коэффициента непропорциональности нагружения и угла ориентации критической плоскости. В результате выполнения работы даны рекомендации по рациональному применению перечисленных выше методов.

**Самодуров И.О.,
Шарапов М.Г.**

НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей»

Технологическая свариваемость высокоазотистых сталей применительно к судовым корпусным конструкциям

Ключевые слова: высокоазотистая сталь, прочностные характеристики, немагнитность, свариваемость.

В ведущих промышленных странах ведутся работы по созданию высокоазотистых сталей (ВАС). Данные стали обладают сочетанием высоких прочностных свойств, коррозионной стойкостью и немагнитностью – это открывает перспективу для их широкого использования в различных отраслях машиностроения, в том числе и при изготовлении судовых корпусных конструкций. Однако активному внедрению этих сталей препятствует отсутствие промышленной технологии сварки.

Целью настоящей работы является оценка свариваемости ВАС различными способами и качества полученных сварных соединений, а также разработка рекомендаций по созданию промышленной технологии сварки.

Исследования проводились на ВАС с содержанием азота 0,72 % и 0,5 %. При проведении исследований для выполнения сварных соединений были выбраны следующие способы сварки:

- ручная дуговая;
- аргонодуговая неплавящимся электродом;

- аргонодуговая неплавящимся электродом с использованием смеси Ar+1%N в качестве защитного газа.

В качестве сварочных материалов использовались:

- электроды ОК69.25;
- проволока Св032Х25Н16Г7;
- проволока 25Х25Н16Г7 с электродов ОЗЛ-9А;
- проволока Св10Х20Н18М3АФС;
- «лапша» из основного металла.

Из полученных сварных швов были выполнены образцы на разрыв (№ 6 тип 3 по ГОСТ 1497-84) и удар (№ 57 тип 3 по ГОСТ 9454-78). Результаты испытаний показали, что значения прочности сварного соединения составляют от 77 % (для ручной дуговой сварки) до 99 % (при использовании аргонодугового способа), от таковых у базового металла.

Проведенный химический анализ установил, что содержание азота в сварном шве составляет 0,36–0,47 % в зависимости от применяемого метода сварки.

Исследования показали, что для получения сварных соединений с наиболее высокими прочностными свойствами необходимо применять аргонодуговой способ сварки. В случае, если требуется более высокая производительность сварки, следует применять ручной метод сварки покрытыми электродами.

Полученные результаты показали, что существует принципиальная возможность получения сварных соединений ВАС, при которых выполняется условие равнопрочности.

Исследования были выполнены согласно заявке № 3003 от 14.08.2017 «Реконструкция установки «Прометей-А» (тема 973231).

Токаев Л.Р.,
Целуйко И.Г.,
Певнев Д.А.

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Моделирование современной системы электродвижения корабля на базе частотного электропривода

Ключевые слова: электропривод движения корабля, качество электроэнергии, высшие гармоники.

Современный этап развития кораблестроения характеризуется возрастающей степенью энерговооруженности кораблей, внедряются новые виды электрооборудования, расширяется автоматизация управления системами и устройствами. Единые электроэнергетические системы кораблей получают все большее распространение на современных кораблях ВМФ. В связи с этим одним из перспективных направлений является перевод кораблей на полное электродвижение. Таким образом, для обучения курсантов ВМПИ работе с новыми образцами военной техники на кафедре теории электротехники, электрических машин и аппаратов собрана экспериментальная установка для моделирования системы электродвижения на базе частотного регулируемого электропривода. Данная лабораторная установка также позволяет оценивать работу гребного электропривода, исследовать различные динамические режимы работы, проводить эксперименты по приближенной оценке качества электроэнергии при использовании схемы полупроводникового преобразователя частоты и асинхронного двигателя, обеспечивать обучение курсантов работе с современными образцами вооружения.

**Авдеев Б.А.,
Вынгра А.В.,
Голиков С.П.,
Новак Б.П.**

Керченский государственный морской технологический университет

Моделирование работы двунаправленного преобразователя постоянного напряжения на привод гребного винта автономных аппаратов

Ключевые слова: преобразователь постоянного напряжения, моделирование, двигатель постоянного тока, регулятор.

Подводный аппарат – небольшое судно или техническое устройство, используемое для выполнения разнообразных задач в толще воды и на морском дне. Питание автономных устройств осуществляется с помощью аккумуляторов, имеющих относительно низкое напряжение, в то время как большинство потребителей должны питаться более высоким уровнем напряжения, что связано с обеспечением высокой энергоэффективности силовых узлов.

Целью работы является применение импульсного регулирования в системе автоматического управления частоты вращения гребного двигателя при резких изменениях заданной частоты вращения, вызванных волнением, рельефом дна, течением, ветрами, сменой курса и т.д.

Для создания модели двунаправленного преобразователя постоянного напряжения использована графическая среда имитационного моделирования Simulink.

Разработана схема управления двунаправленного преобразователя постоянного напряжения на привод гребного винта. Система работает по отклонению скорости двигателя от эталонной скорости. В качестве регулятора выходного напряжения преобразователя напряжения используется ПИД-регулятор. Модель реализована в Simulink.

Исследовалась работа разработанной модели при трех разных условиях:

- двигатель запускается на заданную скорость 20 с-1;
- заданная скорость увеличивается с 10 с-1 до 20 с-1;
- заданная скорость уменьшается с 20 с-1 до 10 с-1.

Переходные процессы при задании частоты вращения являются удовлетворительными, но имеются недостатки системы. Скачки напряжения могут превышать напряжение аккумулятора в десятки раз, и разработка системы регулирования скорости автономных аппаратов нуждается в доработке и совершенствовании, также необходима разработка введения подчиненного контура по току якоря.

Нагирняк А.А.,
Высоцкий В.Е.

Севастопольский государственный университет

Управляемый энергоэффективный асинхронный двигатель с двухслойным ротором

Ключевые слова: анализ, оптимизация, асинхронный двигатель с двухслойным ротором, энергетические показатели, тиристорные регуляторы напряжения.

АДДР имеют неоспоримые преимущества в электроприводах с частыми пусками и реверсами от судовых генераторов соизмеримой мощности, а также в электроприводах, требующих пониженных шумов и вибраций.

Целью работы является развитие методики оптимизации при управлении асинхронным двигателем с двухслойным ротором на базе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Анализ режимов работы АДДР при обеспечении наилучших показателей энергоэффективности будет проводиться для квазистатических условий работы АДДР и с использованием методики оптимизации энергетических показателей: по минимуму потерь; по минимуму тока статора; по минимуму потребляемой активной мощности; по максимуму относительного значения активной составляющей тока статора.

Результаты расчетов указывают на значительное снижение мощности потерь при увеличении доли активной составляющей в общем токе статора.

Анализ электромеханического процесса, проведенный по статическим характеристикам, дает возможность определить оптимальное скольжение при условиях минимума потерь, минимума потребляемой активной мощности, максимума тока статора и относительного максимума активного тока статора.

Таблица. Оценка способов оптимизации энергетических показателей асинхронного режима

Способ оптимизации	Оптимизированное скольжение S° опт, о.е.	ΔP уточн., кВт	$I_{1 \text{ уточн.}}$, А	$P_{1 \text{ уточн.}}$, кВт	$\Gamma_{1a \text{ уточн.}}$	$E_{\text{уточн.}}$, В
ΔP_{\min}	0,0106	10,94	133,8	2315	0,8	769,0
$I_{1 \min}$	0,0054	11,08	62,15	668,2	0,895	3236
$\Gamma_{1a \max}$	0,00257	14,64	82,14	2746	0,943	4784
$P_{1 \min}$	0,0058	11,11	86,14	1196	0,876	3124
Нерег.	0,0035	12,11	94,7	4716	0,454	4008

**Семенов Д.С.,
Шарашкин С.В.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова

Определение массы и габаритов реактивного электродвигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора по заданной мощности

Ключевые слова: анизотропная магнитная проводимость, массогабаритные характеристики, электродвигатель.

При проектировании судового электропривода одной из главных задач является выбор типа электродвигателя, удовлетворяющего техническим требованиям, в частности, требуемой выходной мощности на валу. На сегодняшний день нет достаточного практического опыта в создании реактивных электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора, а теоретическая база недостаточно полна, что, в свою очередь, не дает в полной мере провести точную оценку реальных массогабаритных показателей данного электродвигателя для его успешного применения.

Выполнены анализ существующей модели реактивного электродвигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора и разработка математической модели, учитывающей ряд конструкционных и электромагнитных особенностей электродвигателей различной мощности.

Средой моделирования был выбран пакет MatLab Simulink и SolidWorks. Используются методы конечных элементов, теории автоматического управления.

Разработанная математическая модель позволяет с высокой точностью оценивать массогабаритные и энергетические характеристики электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора на начальном этапе проектирования судового электропривода.

Исследованы различные режимы управления электроприводом, конструкционные особенности двигателей различной мощности. Создана модель, которая позволяет оценивать массогабаритные и энергетические характеристики электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора.

Гагаринов И.В.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Обеспечение энергетического баланса в электроэнергетической системе судна с двухтопливными дизель-генераторами

Ключевые слова: двухтопливный дизель-генератор, электроэнергетическая система, система электродвижения, сжиженный природный газ, винто-рулевые колонки.

В настоящее время все большую распространенность получают суда с двухтопливными дизельными двигателями. В таких двигателях в качестве основного топлива используется сжиженный природный газ, в качестве резервного – дизельное топливо. Как правило, такие двигатели работают в составе дизель-генераторных агрегатов судовых электроэнергетических систем (ЭЭС) и служат для питания систем электродвижения (СЭД).

При использовании в качестве топлива сжиженного природного газа двигатель обладает значительно худшими динамическими характеристиками. Время вывода двигателя на номинальные частоту вращения и мощность составляет десятки секунд. В определенных режимах дизель-генераторы неспособны изменять выдаваемую в ЭЭС мощность с требуемыми динамическими характеристиками.

В некоторых случаях потребляемая мощность гребных электродвигателей СЭД может возрастать с большей скоростью, чем нарастает генерируемая мощность дизель-генераторов. Вырабатываемый ток генераторов нарастает быстрее мощности, и напряжение генераторов падает. При выходе напряжения за границы допустимого дизель-генераторы отключаются от сети.

Возможна и обратная ситуация. Потребляемая мощность гребных электродвигателей убывает быстрее, чем может сокращаться генерируемая мощность дизель-генераторов. Вырабатываемый ток генераторов убывает быстрее мощности, и напряжение генераторов возрастает. Как следствие, дизель-генератор также отключается от сети.

Таким образом, в динамических режимах необходимо поддерживать энергетический баланс выработки и потребления мощности. Излишек электроэнергии дизель-генераторов может быть поглощен накопителем энергии

либо быть рассеянным батареей тормозных резисторов. Недостаток электроэнергии дизель-генераторов может быть восполнен накопителем энергии.

В докладе приводится описание динамических процессов в судовой ЭЭС с СЭД при работе двухтопливных дизель-генераторов от сжиженного природного газа, включая процессы пуска, торможения, реверса, наброса нагрузки на гребные электродвигатели.

Также приводятся результаты моделирования при обеспечении баланса мощности посредством накопителей электроэнергии и батарей тормозных резисторов.

**Мохова О.В.,
Доброскок Н.А.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Адаптивное управление генератором независимого возбуждения, работающим в импульсном режиме

Ключевые слова: импульсный источник тока большой мощности, генератор постоянного тока с независимым возбуждением, адаптивная система управления.

Рассматривается импульсный источник тока, состоящий из механически связанных разгонного асинхронного двигателя, приводного синхронного двигателя и генератора постоянного тока с независимым возбуждением.

Целью работы является обеспечение высокой точности воспроизведения тока якоря генератора, который, в свою очередь, представляет собой разнополярную последовательность импульсов трапецеидальной формы с заданными значениями параметров и законом убывания их амплитуды.

Достижение поставленной цели сопровождается решением ряда задач, связанных с особенностями структуры объекта управления, к числу которых, например, относятся широкий диапазон изменения значений формируемого тока и нелинейность кривой намагничивания генератора постоянного тока с независимым возбуждением. В связи с этим предложена прямая беспоисковая нелинейная адаптивная система управления с известными функциями роста с эталонной моделью с алгоритмами параметрической и сигнальной настроек, которая позволяет обеспечить требуемые показатели качества формирования выходного тока.

Работоспособность и эффективность адаптивной системы управления импульсным источником тока большой мощности подтверждаются результатами моделирования, проведенного в САПР Matlab/Simulink.

Тощев А.А.¹,
Сугаков В.Г.²,
Зобов Л.В.²

¹ФАУ «Российский Речной Регистр» Верхне-Волжский филиал

²Волжский государственный университет водного транспорта

Математическое моделирование системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой

Ключевые слова: САРВ судового СГ с ВФ, имитационная модель САРВ судового СГ с ВФ, моделирование в пакете Matlab Simulink.

На данный момент имеется большое количество вариантов систем возбуждения синхронных генераторов, применяемых в судовых электростанциях. Известны системы возбуждения синхронных генераторов, содержащие регуляторы напряжения, элементы компаундирования, суммирующий трансформатор и корректор напряжения и др. Однако данные системы имеют определенные недостатки, которые учтены при разработке системы автоматического регулирования возбуждения судового синхронного генератора с внешней форсировкой (САРВ судового СГ с ВФ). Данная система имеет высокую форсировочную способность, ограниченную лишь параметрами внешнего источника, и обладает высоким быстродействием форсировки возбуждения.

Целью данной работы являются проведение математического моделирования и исследование зависимости отклонения напряжения от коэффициента форсировки при различных степенях подключения нагрузки в имитационных моделях САРВ судовых СГ.

Работа проводилась следующим образом. В разработанные и апробированные ранее имитационные модели систем автоматического регулирования возбуждения судовых синхронных генераторов с компаундированием и с внешней форсировкой включались различные ступени нагрузки, а именно: статическая нагрузка 10 % от номинальной мощности синхронного генератора и набрасываемые нагрузки 50 %, 65 %, 80 % и 100 % мощности синхронного генератора. Коэффициент форсировки изменялся в следующих пределах: 0, 1, 3, 5, 7.

После проведения математического моделирования полученные результаты сведены в таблицу зависимости переходного отклонения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки для различных САРВ судового СГ. Также в работе представлены графические результаты исследуемых зависимостей.

В результате проведенных исследований определена зависимость переходного отклонения напряжения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки для различных САРВ судового СГ. Сделан вывод о том, что применение САРВ судовых СГ с компаундированием при подключении нагрузки, соизмеримой с мощностью синхронного генератора, не удовлетворяет требованиям национальных стандартов в области показателей качества электрической энергии. В то же время САРВ судового СГ с ВФ с увеличением коэффициента форсировки показывает улучшение показателей проводимых исследований. Однако с учетом того, что форсировка воздействует непосредственно на возбуждение синхронного генератора, следует выбирать необходимый коэффициент форсировки под определенный режим работы судовой электростанции.

Выводы:

- определена методология изучения зависимости переходного отклонения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки для различных САРВ судового СГ;
- проведено математическое моделирование ранее апробированных САРВ судовых СГ;
- получены математические и графические результаты зависимости переходного отклонения напряжения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки для различных САРВ судового СГ;
- с учетом полученных результатов исследования зависимости переходного отклонения от коэффициента форсировки на различных ступенях нагрузки даны обоснованные рекомендации по применению форсировки в САРВ судовых СГ с ВФ.

**Аксенов А.Ю.,
Беляев М.А.,
Костена М.В.,
Прокофьев О.В.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

О некоторых особенностях проектирования САУ судовыми энергетическими установками с переменным запаздыванием

Ключевые слова: регистр сдвига, моделирование систем с переменным запаздыванием, разработка блоков Matlab/Simulink.

Звено запаздывания присутствует во многих корабельных установках, например, в таких, где происходит передача теплоносителя по трубопроводам. Среди менее известных систем следует отметить дизель-электрические установки, работающие по замкнутому циклу ДЭЗЦ. Время запаздывания в перечисленных системах часто считают постоянным, хотя очевидно, что скорость теплоносителя или ИГС изменяется в зависимости от температуры и давления в трубопроводах. Причем скорость изменения параметров может быть соизмерима со скоростью изменения координат этих систем управления при компенсации ими основных возмущающих воздействий. Поэтому такие САУ надо считать системами с переменным запаздыванием или, в общем случае, с переменными параметрами (т.е. нестационарными). Отметим три особенности исследования линейных нестационарных систем ЛНС:

- нельзя переставлять местами последовательно включенные звенья с переменными параметрами, поэтому не всегда возможно заменить все линии передачи одним звеном запаздывания. Также это обстоятельство важно учитывать при использовании регуляторов с компенсацией запаздывания (регулятор Смита и т.п.);
- часто для исследования систем с переменными параметрами используют метод «замороженных коэффициентов». В этом методе используется гипотеза о том, что если исследуемая система устойчива при постоянных коэффициентах в определенном диапазоне их изменения, то она будет устойчива при переменных коэффициентах в этом же диапазоне их изменения. В общем случае эта гипотеза неверна, и для исследования устойчивости ЛНС надо применять метод функций Ляпунова, а для систем с запаздыванием наиболее удобен метод функционалов Ляпунова – Красовского. Несмотря на универсальность упомянутых методов подбор необходимых для доказательства устойчивости функций или функциона-

лов носит полуэвристический характер, поэтому иногда целесообразно воспользоваться обходными путями для оценки устойчивости системы, а тем более для исследования основных показателей качества процесса управления (время ПП, колебательность и т.п.);

- аппроксимация звена запаздывания дробно-рациональными рядами может привести к качественно неверным результатам.

Учитывая эти особенности, авторы предлагают для исследования САУ КЭУ с переменным запаздыванием применять метод, совмещающий многократное моделирование и оптимизацию. Для моделирования звена переменного запаздывания могут быть использованы либо стандартные блоки запаздывания Matlab/Simulink, либо блок кольцевого регистра, написанного на C++.

**Вынгра А.В.,
Авдеев Б.А.**

Керченский государственный морской технологический университет

Исследование характеристик пуска электропривода компрессора судовой холодильной установки

Ключевые слова: поршневой компрессор, электропривод, маховик, математическая модель.

Для сохранения продуктов в течение длительного времени на судах применяются рефрижераторные установки. Особенно актуальными они являются для судов, перевозящих скоропортящиеся продукты. В связи с тем, что мощность рефрижераторов трюмов может составлять сотни киловатт, то повышение эффективности даже на несколько процентов приведет к экономии колоссальных средств.

Целью работы является исследование пусковых характеристик электропривода компрессора судовой холодильной установки при неравномерном моменте нагрузки и при различных значениях момента инерции двигателя и маховика.

В среде математического моделирования Mathcad разработан математический аппарат для определения характеристик работы электропривода поршневого компрессора, момент нагрузки которого описывается несинусоидальной периодической функцией.

Исследована работа разработанного модели при трех различных условиях запуска двигателя:

- без маховика (при моменте инерции $0,05 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);
- с маховиком постоянного момента инерции (при $0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$);
- с маховиком переменного момента инерции (от $0,05$ до $0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$).

Исходя из полученных результатов, можно определить целесообразность использования маховика переменного момента инерции. Установка в компрессорные агрегаты такого маховика позволит уменьшить время пуска электропривода, а следовательно, и время протекания пусковых токов, что, в свою очередь, уменьшит нагрузку на судовую электрическую сеть.

Созданная математическая модель может быть использована для определения различных характеристик электроприводов судовых компрессоров. С ее помощью возможно нахождение параметров момента инерции маховика, обеспечивающего минимальное время пуска при гашении колебаний при установившемся процессе поршневого компрессора, а также определение рационального закона частотного регулирования в системе с преобразователем частоты для электропривода, работающего на пульсирующую нагрузку.

**Сереброва Н.С.,
Лавриновский В.С.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Адаптивная система управления многоканальным полупроводниковым стабилизатором тока с сигнальной настройкой

Ключевые слова: многоканальный преобразователь, адаптивное управление, сигнальная настройка, стабилизация тока.

Высокая точность стабилизации тока нагрузки в статическом преобразователе может быть достигнута за счет использования многоканальной структуры, которая позволяет применять в каждом из параллельных каналов силовые ключи, рассчитанные на протекание тока, меньшего, чем заданный ток нагрузки. Такие ключи допускают большую частоту коммутации, что снижает амплитуду автоколебаний около заданного значения тока, а значит, повышает точность стабилизации. Однако применение многоканальной структуры приводит к необходимости стабилизации как тока каждого канала, так и результирующего тока нагрузки. Дополнительные сложности возникают из-за априорной неопределенности параметров нагрузки и возможности их дрейфа в процессе стабилизации.

Целью работы является разработка адаптивной системы управления многоканальным преобразователем, позволяющей обеспечить требуемую точность тока нагрузки при неопределенности параметров нагрузки.

Рассмотрены вопросы синтеза и исследования системы управления высокоточным стабилизатором тока на базе четырехканального полупроводникового преобразователя, обеспечивающего стабилизацию тока в широком диапазоне значений в условиях ограниченной параметрической неопределенности параметров нагрузки. Каждый канал состоит из последовательного соединения транзистора и диода, а также согласующего дросселя. Выходы всех каналов объединяются в общую точку. Между стабилизатором и нагрузкой расположен емкостной фильтр.

Для предложенного стабилизатора на основании законов Кирхгофа получена математическая модель шестого порядка в пространстве переменных состояния. Рассмотрена система управления многоканальным преобразователем, содержащая местные обратные связи по току каждого канала и главную обратную связь по результирующему току нагрузки. Адаптивный механизм сигнальной настройки реализован в виде аддитивного воздействия на выходе регуляторов в каждом из каналов.

Исследование предложенного стабилизатора тока проведено в САПР Matlab/Simulink. Результаты исследования показали эффективность применения адаптивного механизма для сохранения качества стабилизации при ограниченной неопределенности параметров нагрузки.

**Певнев Д.А.,
Малков А.Ю.,
Токаев Л.Р.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Способ установления места снижения сопротивления изоляции

Ключевые слова: сопротивление изоляции, последовательно включенные элементы.

На данный момент особую трудность представляет поиск места снижения сопротивления изоляции и места ослабленного контактного соединения в электрических сетях на кораблях ВМФ вследствие их большой протяженности и особенностей прокладки. Для решения данной проблемы необходима разработка соответствующих методов, позволяющих дистанционно, без нарушения функционирования устройств, устанавливать места указанных повреждений. Способ основывается на измерении сопротивления изоляции методом трех отсчетов одного вольтметра с использованием рабочего напряжения и дальнейшем расчете по первому закону Кирхгофа в автоматическом режиме. Разработанная компьютерная модель и собранная экспери-

ментальная установка позволили проверить и подтвердить результативность данного способа. Он позволяет дистанционно устанавливать места снижения сопротивления изоляции в схеме подключенных элементов, находящихся в действии, с использованием одного штатного цифрового вольтметра, без нарушения функционирования элементов и без снижения безопасности их эксплуатации.

Антипкина В.А.,

Годин В.П.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Оценка прочностных свойств наконечников из латуни, опрессованных с токопроводящими жилами судовых кабелей сечением 0,35-1,5 мм²

Ключевые слова: латунные наконечники, хвостовик наконечника, усилие опрессовки, рабочая полость штампа, прочность контактных соединений, деформация жилы, угол пружинения при изгибе, токопроводящая жила.

Среди различных методов оконцевания жил судовых кабелей сечением 0,35–1,5 мм² оптимальным является метод опрессовки. При его применении жила вводится в хвостовик наконечника, который обжимается пресс-клещами вместе с жилой. В результате обжатия создается контактное давление, обеспечивающее надежный электрический контакт. Описание процесса опрессовки встречается часто, однако методы расчета величины возникающего при опрессовке деформирующего усилия в зависимости от материала и геометрических параметров соединяемых элементов в литературе не описаны.

При оконцевании жил методом опрессовки применяются наконечники из дорогостоящей и дефицитной меди, хотя допускаются и наконечники из латуни Л63. Целесообразно предусмотреть возможность замены материала на распространенный в судостроении сплав ЛС59-1, который содержит меньше меди, но при этом не уступает сплаву Л63 по механическим и коррозионным свойствам.

Предложена методика расчета усилия опрессовки токопроводящих жил судовых кабелей сечением 0,35–1,50 мм² в кабельных наконечниках, учитывающая механические свойства материала наконечников и геометрические параметры

соединения. Рассчитаны усилия опрессовки для наконечников из меди и сплавов ЛБ3 и ЛС59-1 с различной толщиной стенки хвостовика при номинальной и минимальной высоте рабочей полости штампа. Расчеты производились для жил судовых кабелей сечением 0,35– 1,50 мм². Исследования показали, что усилия опрессовки у наконечников из латуни ЛС59-1 в среднем на 45 % выше, чем у наконечников из меди, и в среднем на 5 % меньше, чем у латунных из сплава ЛБ3. При этом прочность соединений жил судовых кабелей с латунными наконечниками из сплава ЛС59-1 выше, чем с наконечниками из сплава ЛБ3.

**Колчев А.И.,
Братасюк Н.А.,
Поваркова А.А.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Гермовводы на основе жаростойкого кабеля с минеральной изоляцией и медной оболочкой

Ключевые слова: глубоководная техника, гермоввод, полимерные композиции.

Одной из главных проблем в освоении ресурсов Мирового океана и изучения его природы являются жесткие условия эксплуатации глубоководной техники, а именно: обеспечение работоспособности электрооборудования, расположенного вне основного корпуса аппарата, с сохранением его герметичности. Целью работы является разработка малогабаритного герметичного кабельного ввода, обеспечивающего бесперебойную работу забортного электрооборудования.

Токопроводящим элементом в разрабатываемом гермовводе является жаростойкий кабель с минеральной изоляцией и медной оболочкой (КМЖ), впаянный в металлический корпус. Для обеспечения герметичности кабельного ввода используются полимерные электроизоляционные композиции.

В ходе работы были изготовлены опытные образцы гермовводов. Все они были испытаны на стойкость к воздействию гидростатического давления, термоудара, ударных и вибрационных нагрузок.

В результате было установлено, что герметичные вставки на основе кабеля КМЖ и полимерной композиции пригодны для использования при различных условиях воздействия окружающей среды. Немаловажным фактором является подбор герметизирующего полимерного состава, т.к. он оказывает значительное влияние на конечные эксплуатационные характеристики гермоввода.

Так, при использовании полиуретанового или эпоксикаучукового компаунда кабельный ввод обладает стойкостью к воздействию высокого гидроста-

тического давления (длительно – до 45 МПа, кратковременно – до 67,5 МПа) с максимальной рабочей температурой 120 °С. Если же полиуретан заменить на высоконаполненный компаунд «горячего» отверждения на основе галогенсодержащей эпоксидной смолы, кабельный ввод будет стоек к длительному воздействию повышенных температур (до 200 °С), но сможет выдерживать меньшие гидростатические давления (до 20 МПа).

Основными преимуществами данного типа гермовводов являются малый габарит, возможность создания изделий с различными конечными свойствами для одной и той же марки кабеля КМЖ, относительная простота и дешевизна его изготовления.

**Братасюк Н.А.,
Никулин А.С.,
Колчев А.И.**

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Герметизирующие муфты на основе полимерных материалов для сращивания, ремонта и восстановления кабеля

Ключевые слова: автономные глубоководные аппараты, ремонт кабелей, заливочная полимерная муфта.

Известно, что на кораблях, подводных лодках, автономных глубоководных аппаратах (АГА) и глубоководных автономных станциях (ГАС) проложены километры проводов и кабелей, значительная часть которых находится за бортом. Периодически возникает потребность в их обслуживании: дефектация, замена периферийного оборудования, местный ремонт, замена отдельных поврежденных участков.

Т.к. существующие методы сращивания и ремонта кабелей и проводов обладают рядом недостатков (например, использование нагревательного оборудования, в том числе с применением открытых источников огня, либо многократное увеличение линейных размеров кабелей в местах сростков), на данный момент актуальным остается вопрос разработки универсальной, надежной и простой технологии проведения данного типа работ.

Авторами был проведен поиск и обобщение существующих способов сращивания и ремонта кабелей во всех отраслях промышленности. В качестве прототипа была выбрана технология с использованием заливочной полимерной муфты.

В ходе работы были разработаны и предложены различные исполнения корпусов для заливки, а также проведен подбор ремонтного полиуретанового состава.

Изготовлены и испытаны опытные образцы сростков по данной технологии для различных типов кабеля. По результатам испытаний можно утверждать, что выбранный способ ремонта пригоден для использования в судовых электрических системах, но требует дополнительных исследований и испытаний для уточнения показателей пожароопасности и предельных рабочих электрических параметров.

**Бессонов Д.Ю.,
Артемов В.Г.,
Иванов А.А.,
Пискарев А.В.**

ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»

Применение реалистического моделирования при расчетном сопровождении ресурсных испытаний транспортной реакторной установки

Ключевые слова: расчетное сопровождение испытаний ру, модель активной зоны, методическая погрешность

Доклад посвящен результатам расчетного сопровождения стендовых испытаний реакторной установки (РУ). Основной целью испытаний является подтверждение проектных характеристик РУ на практике. Особое внимание уделяется характеристикам, влияющим на безопасность. Для этого программа испытаний предусматривает регулярное проведение специальных экспериментов. На основании сопоставления результатов измерений с проектными данными делается заключение о возможности продолжения испытаний. Проблема заключается в том, что измерения зачастую обладают методической погрешностью, которая затрудняет интерпретацию результатов.

Для устранения влияния методической погрешности использован подход, который можно условно назвать «реалистическим»: в ходе расчетного сопровождения испытаний РУ эксперименты моделируются с имитацией условий измерений. Используется полномасштабная трехмерная нейтронно-физическая расчетная модель активной зоны. Моделируются показания детекторов, использованных в реальном эксперименте, с учетом их расположения и физических принципов работы.

Сопоставление смоделированных показаний детекторов с зарегистрированными в реальном эксперименте позволяет исключить влияние методической погрешности измерений и оценить систематическую составляющую погрешности расчетной модели. Полученная таким способом расчетно-экспериментальная оценка исследуемых характеристик (результаты расчетов с поправкой на систематическую погрешность) сравнивается с проектными данными и учитывается при обосновании очередного этапа испытаний реакторной установки.

В докладе в качестве примера рассмотрены эксперименты, связанные с вводом реактивности. Показан механизм возникновения методической погрешности. Приведена оценка ее вклада в результат при различных вариантах постановки экспериментов.

**Антоненков М.А.,
Камнев М.А.**
АО «ОКБМ Африкантов»

Экспериментальное определение границ гидродинамической устойчивости парогенератора на малых нагрузках

Ключевые слова: парогенератор, парогенерирующий элемент, модель, гидродинамическая устойчивость парогенератора.

В настоящее время в связи с повышением требований к ресурсу судовых атомных паропроизводящих установок при их создании все большее значение приобретают вопросы повышения надежности, долговечности и эффективности основного оборудования (парогенератор, реактор, насос). Для определения надежности прямоточных парогенераторов (ПГ), имеющих необходимые эксплуатационные характеристики и обеспечивающих заданную надежность и ресурс, становится актуальным проведение экспериментальных исследований гидродинамических характеристик ПГ.

Целью работы является проведение экспериментальных исследований гидродинамических характеристик ПГ в обеспечение проектного ресурса эксплуатации.

Представлены обобщающие данные экспериментальных исследований, направленных на определение границ гидродинамической устойчивости прямоточного ПГ. Исследования выполнены в широком диапазоне параметров первого и второго контуров. Они позволяют обосновать и оптимизировать режимы эксплуатации прямоточных ПГ.

Пучков А.В.

АО «ЦС «Звездочка»

Проблемы регистрации радионуклидов при выбросе газа системы газа высокого давления в атмосферный воздух и обращения с газообразными радиоактивными отходами

Ключевые слова: регистрация радионуклидов, радионуклид углерод-14, система ГВД, обращение с ГРО, система отбора газа.

В большинстве случаев на кораблях с ядерно-энергетическими установками (ЯЭУ), проходящих ремонт, переоборудование и модернизацию, используется водо-водяной тип реактора, в котором вода (под давлением) применяется в качестве замедлителя и теплоносителя. Компоновка данного типа реактора предусматривает наличие системы газа высокого давления (ГВД).

В соответствии с техническими обоснованиями безопасности на кораблях с ЯЭУ при стравливании газа необходимо контролировать только значение активности радионуклида криптон-85. Однако при проведении исследований кроме радионуклида криптон-85 в счетном образце (газовой камере) выявилось наличие низкоэнергетической составляющей компоненты газа с энергией бета-излучения $E \approx 150$ кэВ.

Исходя из анализа возможного содержания радионуклидов в газе из системы ГВД, были выдвинуты предположения, что низкоэнергетической составляющей компонентой газа с энергией бета-излучения $E \approx 150$ кэВ может являться бета-излучающий радионуклид углерод-14 (максимальная энергия бета-излучения $E = 155$ кэВ).

При существующем методе (технологии) пробоотбора (отбор пробы в газовую камеру) и измерения достоверно определить радионуклидный состав газа и активность отдельных радионуклидов не представляется возможным.

Одним из путей решения проблемы регистрации радионуклидов в газе из системы ГВД предлагается разработка единой специализированной системы пробоотбора газа с поэтапным отделением радионуклидов и измерением их объемной активности.

В рамках решения данной проблемы необходимо проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, направленных на

разработку технологии пробоотбора и измерения объемной активности радионуклидов в газе из системы ГВД, а также технологии обращения с газообразными радиоактивными отходами, активность которых обусловлена наличием радионуклида углерод-14.

**Быков Д.В.,
Черкашин И.Н.,
Михайлов В.А.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Исследование гидравлического удара на модельном участке конденсатно-питательной системы энергетической установки корабля

Ключевые слова: гашение гидроудара, гидравлическая система, гидравлический удар, испытательный контур, трубопровод, экспериментальное исследование.

Продолжается развитие технологий напорного транспортирования жидких сред. С началом эксплуатации гидравлических систем человечество столкнулось с опасным явлением – гидроударом, т.е. повышением давления в системе, вызванным преобразованием кинетической энергии движения потока жидкости в потенциальную энергию сжатия рабочей среды.

Указанное явление может быть инициировано любым кратковременно протекающим процессом изменения расхода среды в системе. В первую очередь, это резкое закрытие или открытие запорной арматуры, пуск или остановка насосов и т.д.

Основополагающий принцип защиты гидравлических систем от гидроудара – снижение ударного давления за счет растяжения процесса во времени. Потенциальная энергия потока должна постепенно высвобождаться путем плавного переключения запорной арматуры. Однако реализовать такой подход при проектировании и эксплуатации трубопроводов, в том числе корабельных, не всегда возможно. Это вызывает необходимость разработки устройства для гашения гидроудара.

Целями проводимых исследований являются:

- экспериментальное определение количественных характеристик модельного участка конденсатно-питательной системы корабля при гидравлическом ударе;

- разработка, на основании полученного банка опытных данных, инженерной методики расчета оптимальной конструкции устройства для гашения гидравлических ударов в корабельных трубопроводных системах.

Для проведения экспериментов разработан испытательный контур. В ходе опытов гидроудар инициируется закрытием затвора на нагнетательном трубопроводе. Получен банк данных на двух ветках, на одной из которых установлен модельный образец гасителя гидроудара.

Полученные результаты экспериментального исследования позволили подтвердить предположение о неравномерности распределения давления во времени и наличии пиков давления при прерывании потока затвором. Эти данные, подкрепленные экспериментом, помогают выделить наиболее опасный фактор гидроудара и целенаправленно вести борьбу с его последствиями. Основываясь на физической картине распространения гидроудара, можно приступить к конструированию защитного устройства.

**Доронков Д.В.¹,
Солнцев Д.Н.¹,
Добров А.А.¹,
Доронкова Д.С.²**

¹Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева

²АО «ОКБМ Африкантов»

Гидродинамика и перемешивание теплоносителя в кассетной активной зоне реактора плавучего энергоблока

Ключевые слова: ядерный реактор, активная зона, дистанционирующая решетка, теплоноситель, гидродинамика.

В настоящее время особое внимание уделяется атомным станциям малой мощности. В данном классе станций ключевое место занимает плавучая атомная теплоэлектростанция. Изготовление и комплексную поставку реакторной установки КЛТ 40С ледокольного типа для ПАТЭС осуществляет АО «ОКБМ Африкантов». Одной из важных особенностей реакторной установки КЛТ 40С является кассетная активная зона, состоящая из чехловых тепловыделяющих сборок (ТВС) с пластинчатыми дистанционирующими решетками.

Для обоснования теплотехнической надежности активной зоны реактора КЛТ-40С необходимо определить влияние конструкции ДР на гидродинамику

и массообмен потока теплоносителя. Данные задачи решаются на базе НГТУ им. Р.Е. Алексеева путем моделирования процессов течения потока теплоносителя в ТВС на аэродинамическом стенде.

Стенд для исследований гидродинамики и локального массообмена теплоносителя представляет собой разомкнутый контур, через который прокачивается воздух. Экспериментальная модель, представляющая собой ТВС реактора КЛТ 40С, выполнена в полном геометрическом подобии штатному изделию.

Для изучения межъячеечного массообмена в экспериментальной модели применяется метод диффузии примесей. Данный метод основан на регистрации поперечного потока массы по некоторой переносимой субстанции.

Анализ пространственного распределения проекций абсолютной скорости потока и распространения концентраций трассера позволил детализировать картину течения теплоносителя за дистанционирующей решеткой тепловыделяющей сборки.

На основе полученных результатов сделаны рекомендации по уточнению методик определения расходов теплоносителя для программ ячейечного расчета активной зоны реактора КЛТ 40С. Результаты исследований приняты для практического использования в АО «ОКБМ Африкантов» при оценке теплотехнической надежности активных зон реакторов данного типа, а также включены в базу данных для верификации программ вычислительной гидродинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации в рамках научного проекта МК-2398.2018.8.

**Рязанов А.В.,
Хробостов А.Е.,
Солнцев Д.Н.,
Добров А.А.АО**

Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева

Моделирование процессов перемешивания теплоносителя в напорной камере ядерной энергетической установки

Ключевые слова: ядерный реактор, процессы смешения, теплоноситель, трасерный эксперимент, пространственная кондуктометрия, вычислительная гидродинамика.

При эксплуатации реакторной установки в стационарном режиме возможно возникновение ситуаций, при которых происходит отклонение параметров теплоносителя от номинальных значений. Существенная теплогидравлическая неравномерность свойств потока теплоносителя в реакторе наблюдается как при регулировании мощности (ввод жидкого поглотителя), так и в аварийных ситуациях (аварийное расхолаживание, работа с отключением части парогенераторов). Такие явления нуждаются в детальном изучении при помощи CFD-кодов, которые должны проходить процедуру верификации на основе использования представительных экспериментальных данных.

В научно-исследовательской лаборатории «Реакторная гидродинамика» кафедры «Атомные тепловые станции» НГТУ им. Р.Е. Алексеева введен в эксплуатацию крупномасштабный исследовательский стенд для изучения смешения потоков в модели водо-водяного реактора с целью детального изучения процессов локального отклонения параметров. Моделирование может осуществляться при следующих параметрах потоков теплоносителя: давление – до 2 МПа, температура – до 180 °С, расходы – до 200 м³/ч.

Экспериментальные измерения основывались на двух разновидностях метода диффузии примесей, а именно: метод пространственной кондуктометрии (эксперимент на воде), метод непосредственного отбора проб (эксперимент на воздухе). Изменяя два параметра (вязкость и скорость теплоносителя), удалось провести исследования в широком диапазоне чисел Рейнольдса.

В ходе обработки экспериментальных данных сделано заключение о возможности моделирования сложных процессов турбулентного смешения потоков теплоносителя в основном оборудовании ядерной энергетической

установки. Это дает возможность оперативно, с высокой точностью получать осредненные характеристики потоков, что, в свою очередь, может использоваться в программах вычислительной гидродинамики.

В дальнейшем планируется расширять матрицу экспериментальных режимов, проводимых на стенде исследования смешения потоков, путем увеличения чисел Рейнольдса, при больших расходах теплоносителя и температурах через модель, при условиях, моделирующих различные переходные режимы работы водо-водяных реакторных установок.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации в рамках научного проекта МК-2398.2018.8.

**Добров А.А.,
Солнцев Д.Н.,
Пронин А.Н.,
Дронков Д.В.**

Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева

Расчетно-экспериментальные исследования гидродинамики потока теплоносителя в тепловыделяющих сборках реактора универсального атомного ледокола

Ключевые слова: ядерный реактор, теплоноситель, вычислительная гидродинамика, универсальный атомный ледокол.

В настоящее время в России ведется строительство атомного ледокола нового поколения с более высокими технико-экономическими показателями. В проекте реакторной установки нового ледокола вместо канальной активной зоны серийных атомных ледоколов с высоким обогащением будет использована активная зона кассетного типа с металлокерамическим топливом повышенной ураноемкости.

Ядерная энергетическая установка при номинальных режимах эксплуатации может работать на тех уровнях мощности, для которых обеспечивается достаточное охлаждение «самых горячих» участков тепловыделяющих сбо-

рок (ТВС). Поэтому теплогидравлический расчет активной зоны имеет одно из определяющих значений при проектировании реактора.

Конструктивные особенности ТВС кассетной активной зоны обусловили необходимость определения отдельных важных гидравлических характеристик, в частности коэффициентов гидравлического сопротивления элементов ТВС и распределения расхода теплоносителя по ячейкам ТВС на входе в твэльный пучок, т.к. эти данные являются входным граничным условием для проведения теплогидравлического расчета.

Повышение требований к качеству и уровню обоснования технических решений, используемых при проектировании ядерных энергетических установок, а также ограничение стоимости и сроков НИР при выборе оптимальных конструкций, приводит к необходимости совершенствования программных средств, применяемых для моделирования физических процессов.

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований локальных гидродинамических характеристик теплоносителя в модели входного участка ТВС, проводимых на аэродинамическом стенде ФТ-50 НГТУ им. Р.Е. Алексеева, а также математического моделирования, выполненного с использованием программ вычислительной гидродинамики.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации в рамках научного проекта МК-2398.2018.8.

Антонов С.Д.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Сопротивление трубчатого нагревателя двигателя с внешним подводом теплоты с учетом вихревого движения в камере сгорания

Ключевые слова: перепад давления, закрутка потока, нагреватель.

Допустимая температура теплообменной поверхности нагревателя двигателя Стирлинга ограничивает достижение максимально эффективной температуры рабочего цикла. Неравномерность гидродинамического и температурного полей в газовом пространстве камеры сгорания может привести к значительной неравномерности температуры трубок нагревателя и к их прогоранию.

Исследование влияния закрутки потока в камере сгорания на поле давления и сопротивление рядов трубок нагревателя было выполнено с примене-

нием программного комплекса ANSYS FLUENT.

Целью исследования является определение характера влияния соотношения радиальной и тангенциальной составляющих скорости потока на входе в камеру сгорания на поле давления, а также на минимальную и максимальную скорость прохождения газов между трубками нагревателя.

Рассмотрена типовая конструкция нагревателя с U-образными трубками. Параметры исследованной модели: количество U-образных трубок нагревателя – 72; наружный диаметр трубок нагревателя – 8 мм; диаметр окружности первого ряда трубок – 260 мм; диаметр окружности второго ряда трубок – 320 мм; высота камеры сгорания – 275 мм; зазор между трубками и верхом камеры сгорания – 2 мм; диаметр выпускного патрубка – 90 мм; высота оси выпускного патрубка от низа камеры сгорания – 80 мм; зазор между вторым рядом трубок и стенкой камеры сгорания – 20 мм; расход воздуха – 0,7 кг/с; радиальная составляющая скорости воздуха на входе – 50 м/с. Тангенциальная составляющая скорости воздуха на входе в расчетах варьировалась величинами 0, 10, 25, 50, 75 м/с.

На основании проведенных расчетов определено, что с увеличением тангенциальной составляющей потока происходит повышение перепада давления за первым рядом трубок до 3,5 раз и за вторым рядом – до 1,5 раз. При этом также наблюдается снижение отношения максимальной и минимальной скоростей прохождения воздуха между трубками нагревателя.

Масленников А.А.

Керченский государственный морской технологический университет

Экспертный анализ способов повышения надежности судовых энергетических установок промысловых судов

Ключевые слова: экспертный анализ, надежность, техническая диагностика, энергетические установки, траловый комплекс.

Актуальность исследования состоит в повышении надежности судовых энергетических установок (СЭУ) промысловых судов. Затраты на текущие и капитальные ремонты и техническое обслуживание оборудования машинного отделения зачастую намного превышают их стоимость. В таких условиях решение проблемы надежности, а также увеличения межремонтных периодов позволяет повысить экономическую эффективность.

Целью исследования является повышение надежности СЭУ путем мониторинга технического состояния элементов главного двигателя, вспомогательных систем и тралового комплекса. На основании экспертного анализа причин поломок указанного оборудования предлагается выбрать точки контроля и показатели качества измерительных приборов для увеличения эксплуатационной надежности оборудования.

Для достижения цели исследования применены методы экспертных оценок при определении факторов, влияющих на эксплуатационную надежность судовых энергетических установок промысловых судов и тралового комплекса.

К результатам работы можно отнести сбор и анализ информации о конструкции и перспективах развития СЭУ промысловых судов и их комплектации измерительными приборами, разработку критериев оценки показателей качества контрольно-измерительных приборов.

Таким образом, в исследовании на основании анализа причин поломок оборудования СЭУ разработаны комплексные показатели качества судовых контрольно-измерительных приборов, позволяющие выбрать необходимые конкурентоспособные устройства для повышения надежности СЭУ промысловых судов.

**Овчаренко И.К.,
Вынгра А.В.,
Ениватов В.В.,
Дараган П.А.**

Керченский государственный морской технологический университет

Моделирование одноступенчатой холодильной установки провизионной камеры

Ключевые слова: холодильная установка, теплообмен, регулирование температуры.

Для исследования процессов, происходящих в системе отвода теплоты холодильной установки транспортного судна, существует необходимость создания математической модели, которая будет учитывать ряд внешних особенностей, влияющих на работу холодильной установки. К таким особенностям относятся параметры окружающей среды, масса охлаждаемого груза в холодильной камере, температура охлаждающей жидкости в конденсаторе. Общая задача моделирования холодильной установки транспортного судна как сложной системы взаимосвязанных элементов в достаточной степени еще не решена.

Целью работы является анализ существующих моделей и разработка математической модели холодильной установки провизионной камеры, учитывающей ряд внешних особенностей, влияющих на работу установки.

Средой моделирования был выбран пакет Simulink MatLab с использованием библиотек Refrigeration Utilities.

Разработанная математическая модель позволяет получить переходные характеристики параметров системы в зависимости от начальных заданных параметров. В основе таких параметров лежат температура забортной воды и охлаждаемого помещения, а также характеристики охлаждаемого груза.

Исследованы режимы работы установки при различной загрузке камеры, построены переходные характеристики. Использование специализированного программного обеспечения для построения модели дает возможность ее модернизации и расширения для решения дальнейших задач по изучению холодильных установок.

Целесообразно в дальнейшем исследовать задачи регулирования температуры в провизионной камере с применением комбинированного управления работой компрессора и терморегулирующего клапана, а также повышения эффективности теплоотвода от холодильной установки в забортную воду.

Арефьев Н.Н.

Волжский государственный университет водного транспорта

Разработка установки по комплексному снижению вредных веществ в отработавших газах судовых дизельных двигателей

Ключевые слова: отработавшие газы, циклонно-пенный аппарат, рециркуляция.

В настоящее время одной из наиболее острых проблем является загрязнение атмосферы отработавшими газами (ОГ) двигателей внутреннего сгорания. Постоянно ужесточаются международные нормы токсичности выбросов, которые для судов регламентированы в Приложении VI MARPOL 73/78.

Существует множество способов снизить вредные выбросы с ОГ судовых дизелей, однако каждый из них затрагивает лишь один-два токсичных компонента, не решая проблему в целом. Разработанная установка сочетает в себе несколько методов снижения выбросов, взаимно дополняющих друг

друга: частичная рециркуляция, контактный жидкостный метод, увеличение теплоемкости и увлажнение воздушного заряда в цилиндре.

При работе установки ОГ после двигателя направляются в циклонно-пенный аппарат (ЦПА), где производится очистка от механических примесей (сажи), соединений серы, а также увлажнение и охлаждение. Затем часть газов выбрасывается в атмосферу, а часть (до 30–40 %) поступает обратно на впуск двигателя. Для того, чтобы сохранить эксплуатационные характеристики двигателя при столь значительной рециркуляции ОГ, в установке применен адсорбционный генератор кислорода. На впуск двигателя попадает смесь газов с концентрацией кислорода, близкой к атмосферному воздуху, однако с повышенной влажностью и содержанием оксида углерода, что увеличивает теплоемкость воздушного заряда в цилиндре и снижает общую температуру цикла, приводя к уменьшению образования оксидов азота.

Таким образом, производится комплексная нейтрализация вредных веществ: очистка в ЦПА, рециркуляция значительной части ОГ, снижение температуры цикла, увлажнение воздушного заряда. На базе лаборатории металлорежущего оборудования ВГУВТ был разработан экспериментальный стенд установки. Проведенные на нем эксперименты показали высокую эффективность работы установки.

Махова О.А.,
Лутошкина К.А.,
Михайлов А.С.,
Пряхин Д.А.,
Тряев П.В.

АО «ОКБМ Африкантов»

Результаты контроля состояния ионообменной загрузки ионообменных фильтров 2 контура корабельных ядерных энергетических установок, проводимого в рамках сервисного обслуживания

Ключевые слова: водно-химический режим 2 контура, остаточный ресурс ионообменных загрузок ионитных фильтров, скорости поступления примесей.

Контроль состояния ионообменной загрузки ионообменных фильтров (ИОФ) 2 контура корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ) в рамках сервисного обслуживания проводится с целью:

- определения остаточного ресурса загрузок на период отбора проб с оценкой поддержания водно-химического режима 2 контура, поступления во 2 контур загрязнений (продуктов коррозии, масла и др.);
- оперативного выявления имевших место нарушений водно-химического режима, влияющих на работоспособность и ресурс оборудования 2 контура (засоление, замасливание).

В 2017–2018 гг. в соответствии с инструкцией И-904.76.133К.08, разработанной Крыловским государственным научным центром был проведен анализ 120 проб загрузки из ИОФ 2 контуров кораблей проектов 667, 671, 941, 945, 949А, 971, 885 и 955. Получен набор статистических данных, позволяющий проводить оценку скоростей поступления примесей в систему 2 контура при условии поддержания водно-химического режима в соответствии с требованиями нормативной документации. Анализ динамики изменения состояния ионообменных материалов в загрузках фильтров может позволить провести оценку эффективности работы системы очистки в целом, а полученная информация может быть использована при проектировании систем 2 контура новых судов с ЯЭУ. Следует отметить, что наиболее низкими скоростями поступления примесей во 2 контур характеризуются новейшие корабли проектов 885 и 955.

Данная работа будет продолжена в рамках сервисного обслуживания в 2019–2021 гг. Для повышения информативности контроля планируется расширение номенклатуры определяемых примесей, сорбированных загрузкой, включая контроль содержания нефтепродуктов с использованием флуорометрического метода и проведение анализа на расширенный катионный состав с использованием метода спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

**Колмогоров Д.О.,
Горохова М.Н.,
Мерчуле Е.А.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Технологический процесс восстановления геометрических параметров деталей судовых ДВС

Ключевые слова: детали дизельных двигателей, восстановление деталей, напряженность магнитного поля.

В настоящее время межремонтный ресурс дизельных энергетических установок определяется износом основных деталей двигателей внутреннего сгорания, который возникает в процессе трения рабочих поверхностей. Результатом механического износа деталей является уменьшение геометрических параметров пар трения. Одним из перспективных направлений восстановления геометрических параметров является намагничивание присадочных порошков на поверхность изношенной детали с последующей наплавкой.

Цель работы – исследовать степень влияния технологических параметров на параметры оптимизации при восстановлении деталей дизельных двигателей.

Авторами разработан метод намагничивания присадочных материалов на основе исследования удельной магнитной энергии конструкционных сталей. На основе этого усовершенствован технологический процесс восстановления деталей, содержащий следующие основные этапы: намагничивание, наплавка, поверхностное пластическое деформирование (ППД). Восстановление геометрических параметров осуществляется путем намагничивания присадочного материала на поверхность изношенной детали с последующей наплавкой и ППД нанесенного металлопокрытия. Особенностью процесса является то, что полюсный наконечник, предназначенный для наплавки, и деформирующий ролик для ППД имеют одинаковую скорость продольной подачи.

При восстановлении деталей дизельных двигателей технологические параметры по-разному влияют на параметры оптимизации, а зависимости носят

экстремальный характер. Обусловлено это совместным действием электрической, магнитной, тепловой и механической энергий. Оптимальными режимами восстановления являются продольная подача $S = 0,20-0,30$ мм/об, окружная скорость $V = 0,07-0,09$ м/с, величина рабочего зазора $\Delta = 0,3-0,5$ мм.

**Камышов Ю.Н.,
Медведев Г.В.,
Горлова Н.Н.**

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

Система очистки отработавших газов дизелей судовых энергетических установок на основе пористых проницаемых коррозионностойких материалов

Ключевые слова: судовые энергетические установки, системы очистки, отработавшие газы, вредные вещества, каталитическая нейтрализация, коррозионная стойкость, очистка от оксидов азота и серы.

Среди множества существующих источников загрязнения водных объектов существенное влияние на окружающую среду оказывают судовые дизели в составе энергетических установок. В условиях интенсивного развития транспортного и промышленного флота это явление носит глобальный характер. В связи с этим актуальным является использование технологически приемлемых и экономически эффективных систем очистки отработавших газов судовых дизелей.

В работе рассмотрена возможность использования системы очистки отработавших газов от оксидов азота и серы с применением метода каталитической нейтрализации с коррозионностойкими пористыми проницаемыми СВС – каталитическими материалами на основе окарины легированной стали и руды ильменит.

Степень очистки отработавших газов от вредных веществ во многом зависит от физических характеристик, физико-механических свойств и свойств коррозионной стойкости используемых материалов системы очистки отработавших газов, что и было исследовано в работе на примере двух составов материалов.

Основная идея работы заключается в определении области локальных экстремумов в поле распределения исследуемых величин для регулирования

соотношения базовых компонентов шихты исследуемых материалов с композиционным показателем коррозионной стойкости, обеспечивая заданную степень очистки одновременно от NOx и SOx. Полученные в работе результаты могут использоваться при проектировании систем очистки отработавших газов судовых дизелей.

**Кожевников С.А.,
Колмогоров Д.О.,
Горохова М.Н.,
Первых Н.Е.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Влияние химического состава искусственной газовой смеси на самовоспламенение топливно-воздушной смеси

Ключевые слова: воздухонезависимая энергетическая установка, дизель, самовоспламенение, искусственная газовая смесь, кислород.

Создание воздухонезависимых энергетических установок (ВНЭУ) для повышения конкурентоспособности подводных лодок Российской Федерации является актуальной задачей Военно-Морского Флота. В настоящее время существует значительное количество ВНЭУ на базе дизелей, работающих по специальным циклам. Перевод ВНЭУ на режим функционирования по специальным циклам характерен тем, что для сжигания топлива в цилиндре дизеля в качестве рабочего тела используется искусственная газовая смесь (ИГС), которая по термодинамическим свойствам принципиально отличается от воздуха и оказывает существенное влияние на границу устойчивого самовоспламенения топлива.

Цель работы – исследовать влияние показателя адиабаты сжатия, объемной концентрации кислорода и температуры искусственной газовой смеси на границу устойчивого самовоспламенения топлива дизеля 6Ч 12/14.

На основании экспериментальных значений построена зависимость периода устойчивого самовоспламенения топлива от температуры ИГС. Установлено, что самовоспламенение топлива прекращается, если период задержки чрезмерно возрастает, и начало сгорания переходит на линию расширения в область малых давлений, что приводит к уменьшению периода самовоспламенения. Установлено также, что увеличение температуры ИГС и объемной

концентрации кислорода способствует расширению границы устойчивого самовоспламенения топлива. С увеличением концентрации кислорода экспериментальные кривые смещаются в сторону меньших температур.

Исследовано влияние показателя адиабаты сжатия, объемной концентрации кислорода и температуры искусственной газовой смеси на границу устойчивого самовоспламенения топлива дизеля 6Ч 12/14. Получено уравнение регрессии, позволяющее оптимизировать состав искусственной газовой смеси при работе дизелей.

Гравшин А.В.

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Экспериментальное исследование маломасштабной модели системы пассивного отвода теплоты морской реакторной установки

Ключевые слова: безопасность реакторных установок, система пассивного отвода тепла, теплогидравлические и динамические свойства, модель системы СПОТ, имитатор цистерны аварийного расхолаживания.

Для повышения безопасности реакторных установок (РУ) ледоколов применены системы пассивного отвода тепла (СПОТ). На плавающих ледоколах длительность непрерывного пассивного отвода тепла путем выпаривания запасов воды не превышает 30 мин. Это не соответствует введенным в 2017 г. требованиям Ростехнадзора (не менее 3 сут.). Увеличение масс запасов воды и сопутствующих им металлоконструкций, размещаемых для этого значительно выше ватерлинии, может оказаться неприемлемым, т.к. снижает остойчивость судна.

Между тем, для морских РУ целесообразно использование в качестве конечного поглотителя остаточных тепловыделений неограниченных запасов морской воды, что позволит продлить длительность пассивного режима отвода тепла вплоть до неограниченного по времени. Техническое решение этой задачи предложено в патенте RU 2631057 (приоритет от 28.12.2016 г., обладатель СПбГМТУ).

Для изучения теплогидравлических и динамических свойств предлагаемой схемы в лаборатории кафедры энергетике была создана маломасштабная модель системы СПОТ. Измерялись мощность, давления, температуры и расходы теплоносителя, значения которых записывались во времени в та-

бличной форме. В ходе экспериментов изучалась возможность длительно отводить тепло, выделяемое в имитаторе цистерны аварийного расхолаживания (ЦАР) к теплообменнику, размещенному ниже ЦАР в имитаторе забортного пространства, в пассивном режиме и без потери запасов воды в ЦАР. Были получены статические характеристики двух вариантов схем, а также данные динамических режимов запуска циркуляции теплоносителя в системе, ее прекращения и возобновления в циклическом режиме.

Проведенные исследования показали работоспособность предложенных схемных решений. Полученные экспериментальные данные и техническое решение по патенту указывают на возможность создания систем СПОТ, способных отводить тепло при циклическом режиме не только в течение 3 суток, но и при дальнейшем снижении мощности тепловыделений до уровня, соответствующего потерям тепла в окружающую среду.

**Орлов А.М.,
Горохова М.Н.,
Ложкин И.И.**

Военно-морской политехнический институт
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Эффективность двухкамерного термодинамического цикла судовых ДВС

Ключевые слова: двухкамерный термодинамический цикл, судовой ДВС, критерий эффективности, расходный коэффициент, оптимизация.

В настоящее время повышаются требования к увеличению надежности, топливной экономичности поршневых ДВС и снижению энергетической заметности как основного фактора скрытности боевых кораблей. Сохраняется повышенное внимание к мероприятиям по снижению экологического воздействия на окружающую среду. Для кардинального изменения ситуации необходим поиск альтернативных технических решений, охватывающих целый комплекс показателей, которые должны отвечать возрастающим требованиям ВМФ. Внедрение новых решений касается дальнейшего повышения топливной экономичности, продления ресурса элементов, расширения видов применяемого топлива, снижения энергетической заметности и негативного влияния на окружающую среду поршневых ДВС, которые действуют в составе энергетических установок кораблей.

Цель работы – разработать критерии эффективности двухкамерного термодинамического цикла судовых ДВС, исследовать зависимость критериев

эффективности термодинамического цикла от расходных коэффициентов при номинальных и эксклюзивных режимах, провести оптимизацию критериев эффективности в диапазоне расходного коэффициента наполнения камеры нагнетания.

Представленные исследования касаются новых технических решений, интегрированных в конструкции судовых ДВС. Их отличительной особенностью является разделение рабочего объема цилиндра на две камеры автономным поршнем. Кроме того, автономный поршень не имеет жесткой связи с основным поршнем и движется за счет разницы давлений в камере нагнетания и камере сгорания. В статье представлены формулы по определению критериев индикаторной эффективности судовых ДВС. Исследовано влияние расходного коэффициента наполнения камеры нагнетания на критерии эффективности двухкамерного термодинамического цикла при эксклюзивных режимах. Разработаны критерии эффективности (индикаторной, термической, динамической, топливной, экологической) двухкамерного термодинамического цикла судовых ДВС. Исследована зависимость критериев эффективности термодинамического цикла от расходных коэффициентов при номинальных и эксклюзивных режимах. Проведена оптимизация критериев эффективности в диапазоне расходного коэффициента наполнения камеры нагнетания.

**Голубев Р.О,
Зубов Н.Н.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Программа расчета характеристик энергетической установки СПГ танкера

Ключевые слова: вспомогательный двигатель, главный двигатель, СПГ-танкер, транспортная система, энергетическая установка.

Программа рассчитывает характеристики энергетической установки (ЭУ) СПГ-танкера на основном эксплуатационном режиме. СПГ-танкер – молодой тип судна (первые представители введены в эксплуатацию в начале 70-х гг. XX века). Их энергетика активно развивается – внедряются новые типы двигателей, новые системы, обслуживающие ЭУ и судно в целом.

Программа создана с целью прогнозирования характеристик проектов судов при оснащении их ЭУ теми или иными элементами энергетического

оборудования: главными и вспомогательными двигателями, гребными винтами различных серий, системами утилизационного генерирования электроэнергии, системами удержания груза, грузообработки и т.д.

Программой реализуется математическая модель, позволяющая связать характеристики элементов ЭУ с макропараметром – интенсивностью перевозки груза в транспортной системе. В основу математической модели легли данные о режимах и условиях эксплуатации СПГ-танкеров, требованиях к их ЭУ, схемах взаимодействия энергетических комплексов, проектах новейших судов, характеристиках энергетического оборудования. На основании этого объема информации был выведен ряд формул и установлено множество эмпирических зависимостей, определяющих как режим работы отдельных элементов модели, так и их взаимодействие с прочим оборудованием и системами.

Программа позволяет рассчитывать ЭУ двух типов: с главными малооборотными двигателями и с единой электроэнергетической системой. Пропульсивная установка в программе может быть как одновальная, так и двухвальная, для которой применяются серии 4-х и 5-ти лопастных гребных винтов. В качестве главных используются двухтопливные и газовые двигатели типовых рядов четырех фирм: MAN D&T, Winterthur G&D, Wärtsilä, Rolls-Royce Bergen. Выработка электроэнергии (в ЭУ с МОД) предполагается шестью типами генераторных агрегатов: дизель-генераторами; генераторами, приводимыми двухтопливными двигателями; валогенераторами; паровыми; газовыми и комбинированными утилизационными турбогенераторами. По итогам расчета также предоставляется информация о топливной экономичности ЭУ, ее КПД и конструктивном коэффициенте энергетической эффективности проекта.

Программа разрабатывалась в рамках магистерской выпускной квалификационной работы; прошла государственную регистрацию. Верификация программы показала степень точности расчетов, приемлемую на предэскизной и эскизной стадиях проектирования СПГ-танкера (например, погрешность при определении пропульсивной мощности ЭУ с МОД в среднем составляет 7 %). Поскольку в РФ СПГ-танкеры не строятся, то основной областью применения программы в России видится прогнозирование характеристик транспортной системы при ее оснащении судами конкретных проектов.

**Бордюг А.С.,
Черный С.Г.,
Масленников А.А.,
Ерофеев П.А.**

Керченский государственный морской технологический университет

Analysis of dynamic processes in low-speed turbocharged diesel engines on merchant ships

Ключевые слова: maritime propulsion, slow speed engine, powerplant, propeller shaft, vibrations.

In research work, the problem of influence of torsional oscillations of a shaft line is considered. Modern vessels, and therefore diesel installations on these vessels are operate in different seas and are influence by a large number of factors that influence the moment of resistance of the screw. These operational factors include the wear and roughness of the screw, the depth of the channel, the draft of the vessel, the wind-wave situation, the resistance of the trawl, the ice situation, the density of the seawater, the torsional vibrations of the propeller shaft. Periodically changing torque in the «motor-shaft-screw» system is a source of torsional vibrations of the ship's shaft line. This is due to the uneven formation of mechanical energy in the piston engine and the uneven velocity field of the water flow running on the screw. These fluctuations are maximum at the resonant speed, when variable torsion stresses can reach high values. Based on this, the calculation of the stiffness of the shaft line during torsion was made.

Low-speed turbocharged engines (SSE) due to their high efficiency, reaching 54 %, resources up to 100 000 hours, the possibility of using cheap fuels and the possibility of direct transfer of power to the propeller are the most preferred when choosing the main engines of marine vessels, which confirmed by modern diesel and shipbuilding. There are many numerical simulation methods for analyzing the ship propulsion system, including finite element methods that reflect the distributed nature of the system's dynamics, dividing the structure into a grid of elementary massive elements interconnected. A system of coupled differential (or difference) equations generated, although linear, has such high orders (10 000 or more) that an analytical solution is either inexpedient or unrealistic, in any case, is clearly not suitable for building control systems on its basis. with an internal model.

After changing the position of the fuel ramp FR, there is a lag τ associated with the inertia of the change in engine torque. The fact is that there is a change in torque after the fuel is injected into the engine cylinders and combustion occurs. Consequently, a new value of torque, depending on the changed position of the fuel rail, will be achieve after a complete revolution of the crankshaft of the two-

stroke engine. The change in torque also depends on the sequence of operation of the engine cylinders. The lag in the change in torque of a two-stroke engine is describe by the following expression:

$$\frac{1}{4 \cdot n_E} < \tau < \frac{1}{4 \cdot n_E} + \frac{1}{z_c \cdot n_E}, \tau \text{ in minutes.}$$

However, this effect (delay) is significant only at low engine speeds, usually below 60 RPM. Moreover, in the worst case:

$$\tau = \frac{1}{4 \cdot n_E} + \frac{1}{z_c \cdot n_E} < \frac{1}{n_E}, \text{ for any } z_c \geq 2.$$

In conclusion, the effect of engine torque (τ) can be neglecte in engine models of average cycle values, because this delay is less than the sampling time interval (stroke) of this model. Travel time is the period of one revolution of the crankshaft (in min.), $1/n_E$.

The dynamics of a turbocharger determined by the following differential equations, similar to the propeller shaft:

$$\dot{n}_{TC}(t) = \frac{Q_T + Q_C}{I_{TC}},$$

where Q_T – turbine torque; and Q_C – compressor torque at load; I_{TC} – the moment of inertia of the turbocharger, which includes the inertia of the shaft of the turbocharger, as well as the inertia of the turbine and the compressor. There is no need to include additional parameters in this system, since inertial forces do not change.

Q_T and Q_C is thermodynamic variables from the following algebraic relations

$$Q_T = \frac{\eta_{iT} \cdot C_{P,ex} \cdot T_E \cdot \dot{m}_E}{2\pi/60 \cdot n_{TC}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_a}{p_e} \right)^{\frac{\gamma_E-1}{\gamma_E}} \right],$$

$$Q_C = \frac{C_{P,air} \cdot T_a \cdot \dot{m}_A}{\eta_{TC} \cdot 2\pi/60 \cdot n_{TC}} \cdot \left[1 - \left(\frac{p_1}{p_a} \right)^{\frac{\gamma_A-1}{\gamma_A}} \right].$$

Permanent γ_A and γ_E – specific heat of air and exhaust gas, respectively:

$$\gamma_A=1,4, \gamma_E=1,34.$$

It should be note that the above parameters depend on the air and exhaust gas temperatures, respectively. However, the above values are typical for normal air temperature (288 K or 15 °C) and for exhaust gas temperature (400–1100 K).

$C_{P,air}$ and $C_{P,ex}$ are specific heat capacities at constant exhaust air pressure, respectively. Generally, C_P calculated based on the following mathematical expression:

$$C_P = \frac{\gamma-1}{\gamma} \cdot \frac{R}{M_{mol}},$$

where R – ideal gas constant gas ($R = 8,314 J / (mol \cdot K)$) and M_{mol} – molecular weight of the gas in question. In the case of air and exhaust gases, it is assume that:

$$C_{p,air} = 1005 \frac{J}{kg \cdot K},$$

$$C_{p,ex} = 1117 \frac{J}{kg \cdot K}.$$

The constant η_{TC} ultimately includes the mechanical efficiency η_{mTC} of the turbocharger and the isentropic efficiency of the turbine η_{iC} . Both of these parameters should be constant and almost equal. Namely:

$$\eta_{TC} = \eta_{mTC} \cdot \eta_{iC} \stackrel{\eta_{mTC} \approx 0.99}{\Rightarrow} \eta_{TC} \approx \eta_{iC}.$$

It is possible to achieve a substantial similarity between the ratio of torque of the turbine and compressor. That is why they are calculated taking into account the adiabatic air compression (in the compressor) and the adiabatic expansion of exhaust gases (in the turbine). Based on these theoretical thermodynamic processes, it is possible to obtain ratios for the torques of a turbine and a compressor.

$$Q_T > 0 \text{ и } Q_C < 0.$$

As in the case of the compressor $p_I > p_a$, and in the case of the turbine $p_E > p_a$, while in both cases $(\gamma - 1) / \gamma > 0$.

Simplified quasistationary models describe the change in crankshaft rotational speed. In more complex engine models, gas exchange processes are also take into account. Consequently, differential ratios for air and exhaust gas flow should also be included, increasing the number of differential equations. However, a medium-cycle method is sufficient for controlling the engine, provide that sufficient simulation accuracy is guaranteed, because the controlling effect affects the operation of the engine once per cycle. Below, the algebraic interdependence of the thermodynamic variables presented in the previous sections for calculating engine, turbine and compressor torques will be analyze. A sequential view shows the flow of gases through each major part of the power plant.

**Семенов Н.Н.,
Шилин М.М.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Имитационная модель телеуправления стаей подводных аппаратов

Ключевые слова: телеуправляемый подводный аппарат, имитационная модель, теленаведение, пеленгование, стая, обработка гидроакустических сигналов.

Исследование сложных процессов теленаведения подводных аппаратов (ПА) в интересах проектирования отдельных корабельных систем, входящих в контур телеуправления (ТУ), осуществляется на имитационных моделях и представляет собой сложную задачу. Учет особенностей этих систем, характеристик ПА и среды каждый раз производится на уровне, зависящем от степени влияния их параметров на процесс управления.

Изучение данных процессов в интересах научного обоснования эффективности вновь разработанных алгоритмов теленаведения и выбора алгоритмов обнаружения сигнала и подавления помех (от одного или даже нескольких ПА) в гидроакустическом комплексе (ГАК) носителя требуют более простой, но одновременно более оперативной модели, в которой можно было бы оценить значимость нововведений.

Поэтому целью работы явилось описание созданной оперативной имитационной модели ТУ, которая позволяет изменять ее ключевые параметры, такие как алгоритмы теленаведения, обнаружения, подавления, число объектов управления и сопровождения, и включает в себя:

- модель формирования и распространения сигналов от подводной цели, телеуправляемых ПА и объектов слежения;
- модель ГАК носителя для обнаружения и обработки информации;
- модель автоматизированной информационно-управляющей системы, занимающуюся определением координат и параметров движения цели и выработкой курса для каждого ПА;
- модель системы ТУ, определяющую метод теленаведения каждого ПА стаи и выполняющую условную передачу этого курса;
- кинематическую модель движения всех объектов.

Таким образом, разработанная модель обеспечивает возможность проведения имитационного моделирования процессов теленаведения стаи ПА с учетом особенностей формирования, распространения и обработки гидроакустических полей объектов и помех различной природы. А использование в качестве опорной информации справочных параметров сигналов и помех для отдельных сигнально-помеховых ситуаций позволяет приблизить результаты моделирования к натурному эксперименту.

Корзин М.М.

АО «ПО «Севмаш»

Использование лазерных проекторов при изготовлении корпусных конструкций корабля

Ключевые слова: лазерный проектор, лекальные постели, вварыши, линии притыкания, проецирование.

Актуальность. В настоящее время изготовление корпусных конструкций корабля основано на использовании бумажных носителей: чертежей, эскизов, технологической документации. Однако появление новых технологий, методов и инструментов позволяет существенно сократить использование аналоговых носителей. Это сократит время изготовления конструкций, а также существенно повысит точность и качество.

Цель. Основная цель – определить возможность использования лазерных проекторов в судостроительном производстве, рассмотреть вероятность и актуальность их применения.

Материалы и методы. В работе рассматривается возможность использования в судостроительном производстве лазерных проекторов. Описываются варианты применения данного оборудования при изготовлении технологической оснастки, формировании узлов, секций и блок-секций, а также при установке корпусного насыщения.

Результаты и обсуждения. По результатам работы определены основные направления развития лазерного проецирования, обозначены проблемы, которые необходимо решать в процессе внедрения новой технологии.

Выводы. Внедрение новых технологий, средств и методов измерения является важной частью развития судостроительного производства.

**Благовидова И.Л.,
Иванова О.А.,
Науменко А.А.,
Пьянов А.В.**

АО «ЦКБ «Коралл»

Численное моделирование процесса позиционирования сложных плавучих объектов при выполнении морских операций

Ключевые слова: плавучая система, трехмерная модель, нагрузки.

Неуклонный рост добычи нефти и газа на континентальном шельфе России требует создания специальных морских технических сооружений. Грузоподъемные работы и технологические операции при установке шельфовых сооружений на точку эксплуатации и гидротехническом строительстве характеризуются жесткими условиями по точности позиционирования объектов под воздействием внешних условий для обеспечения безопасности выполнения морских операций. Перечисленные факторы обуславливают актуальность исследования применения методов численного моделирования проведения морских операций и расчетов параметров систем позиционирования плавучих объектов.

Таким образом, целью работы является численное моделирование поведения плавучей системы при морских операциях и разработка системы позиционирования, обеспечивающая безопасность выполнения всех этапов операции при подъеме арочных пролетных строений с плавучей системы на стационарные опоры Керченского моста.

Выбор параметров системы позиционирования основан на математическом моделировании соответствующих этапов морских операций с помощью программного комплекса Anchored Structures. В данном программном комплексе разработана численная трехмерная модель плавучей системы, решена задача ее динамического поведения, определены натяжения в якорных связях, выполнен расчет реакций в швартовых устройствах.

На основе использованных методологий и с помощью программного комплекса осуществлялось моделирование поведения морских плавучих объектов при строительстве Керченского моста. Результаты численного моделирования в программном комплексе Anchored Structures дали высокую сходимость результатов расчетов с реальными процессами. Анализ результатов подтверждает эффективность применения методов численного моделирования для прогнозирования и контроля поведения плавучих объектов при выполнении работ в реальных условиях.

Годияк В.А

АО «НИИ телевидения»,
Санкт-Петербургский государственный
институт кино и телевидения

Разработка метода повышения информативности подводного изображения на основе пространственной фильтрации

Ключевые слова: цифровой пространственный фильтр, фильтрация изображения, цифровой фильтр, подводное телевидение, подводная видеосъемка.

Актуальность. Рассмотрен один из методов решения задачи повышения качества изображения в подводном телевидении при помощи цифровой пространственной фильтрации.

Цель. Разработать физически реализуемый, синтезируемый и параметризуемый фильтр, подчеркивающий детали изображения и выделяющий грани объектов, при помощи которого возможно добиться повышения информативности подводного изображения.

Материалы и методы. Представлен алгоритм реализации в общем виде.

Результаты и их обсуждение. Дано визуальное сравнение изображений, обработанных при помощи фильтров Собела, Робертса и др. Показаны кадры с видеокамеры для подводного телевидения, демонстрирующие результат работы цифрового пространственного фильтра.

Выводы. Дана оценка разработанному цифровому фильтру, указаны возможные области его применения.

**Грамузов Е.М.¹,
Иванова О.А.²,
Крамарь В.А.³,
Родькина А.В.³**

¹ Нижегородский государственный
технический университет им. Р.Е. Алексеева,

² АО «ЦКБ «Коралл»,

³ Севастопольский государственный университет

Гибридная нейронная сеть для прогнозирования защитного потенциала подводной части океанотехнических сооружений

Ключевые слова: нейронная сеть, коррозия, потенциал, поляризация.

Подводная часть морских судов и сооружений на протяжении всего срока службы взаимодействует с агрессивной морской водой, вследствие чего образуются коррозионно-механические разрушения стальных корпусных конструкций. На практике применяется система катодной защиты от коррозии, которая не обеспечивает эффективную защиту, т.к. не учитывается, что на ювенильной поверхности стали значение потенциала отличается от потенциала с оксидной пленкой. По этой причине требуется корректировка применяемых значений защитного потенциала.

Цель исследования – создание гибридной нейронной сети для прогнозирования защитного потенциала корпусных конструкций подводной части океанотехнических сооружений от коррозионно-механических разрушений, с промежуточным прогнозированием опорных параметров – потенциала стали с оксидной пленкой и без оксидной пленки для различных видов сталей и солености морской воды.

В работе применяется гибридная нейронная сеть, для обучения которой использовались результаты лабораторных исследований, проведенных в модельном растворе морской воды различной солености для судостроительных сталей с различным содержанием хрома. В зависимости от количественного содержания хрома определяется тип нейронной сети для прогнозирования защитного потенциала.

В результате исследования разработана программа для прогнозирования защитного потенциала стальной подводной части морских судов и других океанотехнических сооружений, обеспечивающего потенциал незаряженной поверхности стали, в том числе и на ювенильной поверхности. Основная функция программы – повышение качества катодной защиты корпусных конструкций судов и плавучих технических сооружений от коррозионно-механических разрушений с возможностью предотвращения распространения локальных разрушений на основании точного выбора защитного потенциала с учетом ювенильной поверхности.

Кулебакин А.И.

Санкт-Петербургский государственный
институт кино и телевидения

Модификация электроакустического преобразователя для улучшения качества звукопередачи

Ключевые слова: импульсная характеристика, громкоговоритель, акустическая система, широкополосный электродинамический громкоговоритель, импульсный отклик, оценка качества звуковоспроизведения в реверберационной камере, артикуляционные измерения громкоговорителя.

На протяжении XX века параметры, определяющие качество звуковоспроизведения электроакустических преобразователей, оставались неизменными, но уже в 1989 г. в статье К. Холлонда и Ф. Ньюэла «Исследование импульсного отклика громкоговорителей» впервые было указано на необходимость измерения импульсных характеристик громкоговорителей (ИХ ГГ) и их опубликования. Тогда основным аргумент «против» заключался в том, что временные характеристики всех мониторов сильно отличались от идеальных. Даже сейчас временной целостности сигнала не уделяется должного внимания, что привело к застою в развитии методов оценки качества акустических систем (АС). В связи с этим цель нашего исследования – разработка и проведение сравнительных испытаний АС, идентичных по частотным характеристикам, на базе ГГ с различными ИХ.

Для этого решены следующие задачи:

- проектирование и изготовление 3 видов громкоговорителей и АС на их основе (многополосная, широкополосная, коаксиальная);
- измерение ИХ громкоговорителей и акустических систем;
- оценка передачи речи аппаратным методом;
- оценка артикуляционной разборчивости экспертным методом;
- анализ полученных результатов.

Измерения ИХ опытных образцов проводились в условиях студии звукозаписи с помощью комплекса электроакустических измерений CLIO fw-01 Audiomatica, с микрофоном МС-01. Для всех АС было использовано одинаковое акустическое оформление.

Артикуляционные измерения выполнялись в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 16600-76 (2007). Диктором зачитывались артикуляционные таблицы (слоговая, словесная, смысловая разборчивость), затем они воспроизводились через акустический тракт и прослушивались слушателями. После воспроизведения всех таблиц была произведена сверка написанных и

прочитанных таблиц. Исходя из полученных данных определялись проценты слоговой, словесной и смысловой разборчивости.

Для подтверждения сверки полученных процентов разборчивости дополнительно был измерен индекс передачи речи STI, учитывающий влияние шума, клиппирования и реверберации. Измерения проводились с помощью измерительного комплекса CLIO fw-01 Audiomatica в реверберационной камере. Полученные результаты подтверждают зависимость разборчивости передаваемой речи от значений ИХ.

Результаты артикуляционных измерений полностью соответствуют результатам аппаратных измерений индекса передачи речи, тем самым доказывая безошибочность полученных значений разборчивости речи. Найденные импульсные характеристики ГГ и сконструированных на их основе АС демонстрируют прямую зависимость разборчивости передаваемой речи от времени нарастания фронта волны и высоты импульсного отклика. Найденная корреляция параметров позволяет использовать ИХ громкоговорителей для оценки качества звуковоспроизведения. Для определения классов АС систем в зависимости от значений ИХ необходимо проведение статического исследования с разными классами АС.

Доказанная методика также может быть применена при разработке и оценке подводных излучателей, используемых в олимпийских бассейнах, а также в бассейнах общего доступа.

Важно, что широкополосная АС дала наилучшие параметры разборчивости речи, что говорит о необходимости конструирования однополосных АС для достижения наибольшей идентичности вторичного сигнала первичному.

Кузьменко А.В.

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Классификация подводных объектов по оптическому изображению

Ключевые слова: система технического зрения, классификация подводных объектов, оптический классификатор, признаки объектов на изображении.

Морские мины являются оружием стратегического значения и нередко вытесняют на вторые роли остальные виды оружия. В военное время потеря даже одного боевого корабля может резко изменить оперативную обстановку в пользу противника.

Обнаружение донных мин является одной из наиболее актуальных и сложных задач подводной робототехники. Современные гидроакустические станции миноискания успешно обнаруживают миноподобные объекты, однако не решают задачу классификации этих объектов в автономном режиме.

Изображения, полученные с помощью гидролокатора, дают лишь смутное представление об очертаниях объектов. Для классификации необходимо обладать более подробной информацией о контуре объекта. Оптические системы технического зрения позволяют получать более детализированную картинку и лучше подходят для решения рассматриваемой задачи.

В связи с этим целью настоящей работы явилось создание программной модели-классификатора донных объектов по оптическому изображению. Основными задачами для реализации поставленной цели стали:

- создание базы изображений классифицируемых объектов;
- выбор классификационных признаков;
- выбор решающего правила.

Таким образом, в данной работе созданы 3D-модели морских донных мин, что позволило сформировать базу изображений. Рассмотрены признаки, описывающие форму объекта. Проведено исследование признаков на взаимозависимость. В результате представлен набор не зависящих друг от друга признаков, инвариантных к углам наклона, поворота и масштабу изображения, позволяющий с высокой вероятностью классифицировать морские донные объекты. Для полученного вектора признаков были подобраны весовые коэффициенты, благодаря которым стало возможным значительно увеличить вероятность классификации.

**Улитенков С.А.,
Яковлев К.Е.**
ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

Способы совершенствования технического состояния и применения СТК «Регель-УК» на учебных кораблях Военно-Морского Флота

Ключевые слова: специализированный тренажерный комплекс «Регель-УК», учебный корабль.

В образовательных организациях Военно-Морского Флота установлен и активно эксплуатируется специализированный тренажерный комплекс (СТК) «Регель». Использование данного тренажера становится возможным как в учебных центрах, так и в период плановой подготовки к выходу в море. Особенностью является то, что применение СТК «Регель» непосредственно на корабле позволяет обеспечить цикличность и непрерывность учебного процесса, что существенно повысит эффективность подготовки. С этой целью в 2017 г. на борту учебного корабля (УК) «Перекоп» был установлен СТК «Регель-УК».

По опыту штурманских походов в период учебной практики курсантов СТК «Регель-УК» позволяет проводить циклическую и непрерывную подготовку обучающихся общим количеством до 150 человек.

В период эксплуатации СТК «Регель-УК» в море был выявлен ряд недостатков данного учебно-тренировочного средства.

Становится очевидным противоречие, заключающееся в несоответствии технического состояния СТК «Регель-УК» требованиям, предъявляемым к учебно-тренировочным средствам.

Актуальность данной работы заключается в разработке современных способов совершенствования технического состояния и применения СТК «Регель-УК» на учебных кораблях.

Предполагается, что применение способов совершенствования технического состояния СТК «Регель-УК» позволит повысить эффективность учебного процесса в море.

Беляев М.А.¹,
Давыдов Д.С.¹,
Прокофьев О.В.²,
Прошкин Д.А.¹

¹ Военно-морской политехнический институт,

² Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Применение регистра сдвига для анализа и синтеза систем автоматического управления с запаздыванием

Ключевые слова: системы автоматического управления, корабельные энергетические установки, переменное запаздывание, метод синтеза систем.

Исследование систем автоматического управления (САУ) с большим запаздыванием относительно доминирующих постоянных времени объекта является достаточно сложной задачей по причине того, что даже линейные стационарные системы с запаздыванием относятся к классу особых систем, поскольку по своей физической сути являются системами с распределенными параметрами. В связи с этим анализ и синтез стационарных линейных САУ с запаздыванием наиболее известными аналитическими методами линейной теории практически невозможны. Исключения составляют только частотные методы, о которых достаточно подробно говорится в учебниках по ТАУ. Что касается линейных нестационарных САУ с запаздыванием, тем более нелинейных, то аналитические исследования возможны лишь для ограниченного класса таких систем (или соответствующих уравнений).

При этом для исследования прочих систем моделирование остается единственным возможным инструментом исследования.

Заметим, что аппроксимация звена запаздывания рядами (т.е. звеном с сосредоточенными параметрами) может привести к качественно неверным результатам. Особенно это касается систем с переменным запаздыванием.

Применяемые численные методы для систем с запаздыванием имеют свои особенности:

1. Учет начальной функции.
2. Использование метода шагов (промежутков времени, равный запаздыванию) и связанного с ним появления разрывов решения.
3. Запаздывание увеличивает порядок разностного уравнения, которое используется для моделирования непрерывной системы.

В системе Matlab/Simulink имеются блоки переменного запаздывания. Однако задание произвольной начальной функции и моделирование систем

с малой скоростью распространения сигнала остается трудной (а иногда нерешаемой) задачей. В этих случаях более удобной является реализация звена запаздывания в виде модели регистра сдвига с управляемым адресом считывания. Тогда модель запаздывания в общем виде, состоящую из комбинации переменного («чистое» временное запаздывание) и транспортного запаздывания (запаздывание, связанное с изменением скорости перемещения субстанции), можно описать с использованием модели конвейера.

Модель оформлена в виде программы на языке C++ и использована в любом поддерживающем ее программном продукте, включая Matlab.

В работе описан один из подходов к моделированию систем автоматического управления с переменным запаздыванием в среде Matlab/Simulink. Проводится анализ видов переменного запаздывания. Рассматривается комбинированное переменное запаздывание как следствие переменной скорости и переменной длины тракта передачи сигналов, а также предлагаются способы моделирования такого запаздывания в среде Matlab/Simulink.

Васильев Р.В.

АО «Средне-Невский судостроительный завод»

Итоги пилотного проекта по моделированию жизненного цикла судовых конструкций из полимерных композиционных материалов

Ключевые слова: ПКМ, жизненный цикл, моделирование, проектирование.

Вопросы численного моделирования всех этапов жизненного цикла являются одними из наиболее актуальных на сегодняшний день. При наличии полной информации об изделии в электронном виде у нас появляются дополнительные возможности по контролю качества и сроков, начиная от проектирования концептуального варианта конструкции, моделирования технологического процесса и заканчивая поведением в реальной эксплуатации. Конструкции из полимерных композиционных материалов (ПКМ) имеют свою специфику, которая сказывается на всех этапах жизненного цикла изделия. Пилотный проект, который проходил на АО «СНСЗ», позволил протестировать программные решения на примере реальной конструкции с учетом всех процессов предприятия, участвующих в разработке, изготовлении и эксплуатации изделия из композиционных материалов. Полученные результаты и выводы показали возможность применения данного подхода к конструкциям из ПКМ.

Шаронина И.С.
АО «ОНИИП»

Дистанционный контроль неисправностей радиопередающих устройств в интегрированных комплексах связи

Ключевые слова: интегрированный комплекс связи, интерфейс, Ethernet, протокол SNMP, АРМ, РПДУ.

Одной из задач комплексирования технических средств является дистанционный контроль их технического состояния. В рамках данного доклада рассматривается возможность дистанционного контроля радиопередающих устройств (РПДУ), разрабатываемых в Омском НИИ приборостроения.

Из опыта эксплуатации каналобразующего оборудования известно, что радиопередатчик является одним из изделий с малой надежностью. РПДУ входят в состав всех каналобразующих подсистем интегрированных комплексов связи, предназначенных для ведения радиосвязи надводного корабля, катера, корабля на подводных крыльях и воздушных подушках и др.

Оперативный ремонт РПДУ должен сопровождаться справочной информацией, позволяющей правильно и своевременно устранить неисправность. Отображение информации о ремонте не предусмотрено в РПДУ. В этом случае появляется необходимость в использовании автоматизированного рабочего места (АРМ). АРМ предназначено для дистанционного управления техническими средствами в сформированных трактах и осуществления функций централизованного контроля. Обмен информацией между РПДУ и АРМ может проходить посредством локальной сети Ethernet стандарта IEEE 802.3 по спецификациям 100/1000 BASE-T на основе стека протоколов TCP/IP.

Модульная структура программного обеспечения РПДУ и АРМ позволяет выполнять информационный обмен между устройствами, осуществлять выведение информации об ошибках и их устранении на экран АРМ. Информация об устранении неисправности может быть представлена графически или мультимедийно. Отображение данной информации на сенсорном экране пульта местного управления радиопередатчика нецелесообразно из-за габаритов экрана, чего нельзя сказать об АРМ.

Большие возможности в области средств отображения позволяют создать специализированную базу данных фото- и видеоматериалов, позволяющих наглядно и доступно проинструктировать персонал о последовательности действий при замене и ремонте определенных блоков.

**Сутормин В.В.,
Шилина Е.С.**

Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Исследование обнаружителей с постоянным уровнем ложной тревоги

Ключевые слова: алгоритмы обеспечения постоянного уровня ложной тревоги.

Актуальность. Алгоритмы, обеспечивающие постоянство ложной тревоги (ПУЛТ) при обнаружении сигналов, позволяют удерживать порог с заданной вероятностью ложной тревоги (ошибки первого рода) при неизвестной дисперсии помех. Это дает возможность обнаружителю подстраивать порог под помехи, на фоне которых требуется обнаружить сигнал.

Цель. Оценка возможности применения данных алгоритмов в тракте обнаружения гидроакустических сигналов в различных помехо-сигнальных условиях и сравнение рассчитанных и смоделированных вариантов вероятностных характеристик обнаружителей (ВПО).

Материалы и методы. Расчет и имитационное моделирование были произведены для двух видов ПУЛТ-обнаружителей и типового тракта обнаружения.

Выводы. По результатам исследования можно сделать вывод, что использование ПУЛТ-алгоритмов обеспечивает возможность обнаружения полезного сигнала на фоне помех с неизвестной дисперсией. На основе произведенных расчетов и моделирований заключаем, что помехоустойчивость ПУЛТ-обнаружителей мало отличается от помехоустойчивости типового тракта.

Рогозина К.С.

АО «Адмиралтейские верфи»,
Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Анализ критериев механизации и автоматизации производственных процессов

Ключевые слова: механизация, автоматизация, производство, перевооружение, экономическая эффективность.

Раскрыты основные критерии механизации и автоматизации производственных процессов на примере технического перевооружения производства.

В данном исследовании было произведено сравнение механизированных и автоматизированных производственных процессов, что становится все более актуальной проблемой в настоящее время. Основной целью являлось определение целесообразности и экономической эффективности при проведении технического перевооружения производства (путем перехода на автоматизацию). Для сравнения технических характеристик были использованы данные из справочника И.П. Соколова (ЦНИИТС, Судпромгиз, 1962, с. 125). Согласно результатам исследования физически и морально устаревшее основное оборудование, находящееся сегодня в эксплуатации на любом промышленном предприятии, следует заменить новым автоматизированным с улучшенными техническими характеристиками, что позволит существенно снизить трудоемкость.

**Ермолаев Э.В.¹,
Махов В.И.²**

¹ АО «Концерн «Океанприбор»,

² Санкт-Петербургский государственный
морской технический университет

Анализ работы и расчет пьезокерамического стержня с накладкой при использовании конечно-элементного моделирования

Ключевые слова: колебательная система гидроакустического преобразователя, метод конечных элементов, моделирование, резонансная частота, продольные колебания, изгиб накладки.

Для расчета механических колебательных систем в виде пьезоэлементов простых геометрических форм на практике обычно используют формулы, полученные в одномерном приближении. При этом предполагается, что один из размеров колебательной системы значительно превышает другие. Находится резонансная частота системы, соответствующая этому размеру, определяется добротность и строится приближенная частотная характеристика.

Однако если размеры колебательной системы по трем измерениям близки между собой, то формулы одномерного приближения несправедливы. В связи с этим для анализа работы и расчета частотной характеристики актуальным является применение метода конечного моделирования, где нет ограничений на соотношение размеров колебательной системы.

В работе сопоставлены результаты расчетов колебательной системы в виде двухсоставного стержня с применением известных математических формул и метода конечных элементов, реализуемого программой ANSYS.

В качестве модели колебательной системы взят пьезокерамический стержень, один торец которого свободен, а другой жестко скреплен с титановой накладкой. Рассмотрены колебания с накладками различных форм.

Моделирование колебательной системы позволяет более полно представить сложный характер колебаний, сочетающий продольную и радиальную формы колебаний стержня, оценить степень изгиба накладки. Это возможно благодаря возможностям программы ANSYS по визуализации амплитуд смещений участков колебательной системы.

Клюев В.А.,
Шкуратов Н.Г.
АО «НИИ телевидения»

Применение отечественных операционных систем на базе Linux в современных многофункциональных телевизионных комплексах

Ключевые слова: многофункциональные телевизионные комплексы, российская операционная система, Linux, защита информации.

Требования времени заставляют российских разработчиков автоматизированных систем обращать пристальное внимание на применение в качестве общесистемного программного обеспечения отечественных операционных систем (ОС) на базе Linux.

Цель настоящей работы – анализ применения наиболее распространенных ОС российской разработки при создании многофункциональных телевизионных комплексов.

В докладе рассматриваются результаты работы коллектива лаборатории АО «НИИ телевидения» по тестированию различных отечественных дистрибутивов на базе Linux. Особое внимание обращается на способность программного обеспечения реализовать современные требования по защите информации от несанкционированного доступа.

Тщательный анализ проектирования и эксплуатации телевизионных комплексов на базе отечественных дистрибутивов ОС Linux привел к выбору нами ОС Astra Linux Special Edition, релиз «Смоленск», разработки АО «НПО РусБИ-Тех» как наиболее удовлетворяющей предъявляемым требованиям.

Опыт многолетнего применения отечественных ОС позволяет утверждать, что на базе ряда российских дистрибутивов ОС Linux возможно создание эффективных многофункциональных телевизионных комплексов.

Валяев А.В.

Волжский государственный университет водного транспорта

О разработке системы поддержки принятия решений при угрозе затопления речного водоизмещающего судна

Ключевые слова: водоизмещающее судно, безопасность плавания, упреждающий мониторинг, скоротечная авария, поддержка принятия решений.

Обеспечение безопасности судоходства на внутренних водных путях приобретает все большую значимость в связи с развитием внутреннего туризма и оптимизацией расходов на перевозки грузов. Аварии на водном транспорте приводят к повреждениям судов, потере грузов, кораблекрушениям и, в худших случаях, к человеческим жертвам.

В целях сокращения времени принятия решений капитаном судна при аварийном происшествии, снижения уровня влияния субъективного фактора, повышения эффективности реализации спасательных операций автором обсуждается задача создания цифровой системы поддержки принятия решений об использовании средств спасения при угрозе скоротечного затопления речного водоизмещающего судна (далее СППР). Программно-аппаратная реализация СППР обеспечит упреждающий мониторинг состояния речного водоизмещающего судна как объекта, функционирующего в условиях потенциального риска затопления. Осуществляя в режиме on-line сбор и анализ информации о событиях в наблюдаемых судовых системах и сервисах, а также контроль значений ключевых параметров, СППР позволит своевременно выявлять закономерности и корреляции в событиях и, таким образом, предоставлять вахтенному начальнику обобщенную картину текущего состояния судна, выявлять тенденции его нежелательных изменений и отображать на дисплее содержание информационных сообщений.

Структурная схема СППР включает в себя следующие три уровня: уровень датчиков, с которых снимаются значения параметров, характеризующих текущее состояние судна; серверный уровень, в котором производится обработка поступающей информации и хранение ее результатов; пользовательский уровень, позволяющий капитану (вахтенному начальнику) видеть обобщенную картину актуального состояния судна.

Для принятия решений и последующих мер в условиях дефицита времени и психологического стресса, при переизбытке одной части и недостатке другой части информации, ее противоречивости капитан судна должен безошибочно, и незамедлительно получить ответ на вопрос: каков временной предел эффективности принимаемых мер, а в особо опасных случаях, каким временем располагает капитан для спасения людей. Получение ответа на данный вопрос осложнено многообразием ситуационных условий, а в целом задача прогнозирования динамики процесса и времени до начала спасательной операции даже в статической постановке при всей ее остроте и сегодня остается проблемной. К основным трудностям при ее решении следует отнести условность действующих критериев предельного состояния аварийного судна и отсутствие на судах средств отслеживания (мониторинга) параметров текущего состояния посадки и остойчивости аварийного судна, скорости их изменения.

Автором разрабатывается способ прогнозирования значения угла крена речного водоизмещающего судна и алгоритм функционирования системы упреждающего мониторинга потенциальной гибели речных водоизмещающих судов при угрозе скоротечной аварии. Интервал упреждения должен быть не меньше времени, затраченного на надевание спасательного жилета, и времени выхода людей на палубу. Нормативное время надевание жилета составляет одну минуту. Используя результаты замеров скорости передвижения людей в натуральных условиях, с учетом поправок на возраст и разные участки пути, была сделана попытка оценить время передвижения людей из самых отдаленных мест на открытую палубу для некоторых типов речных судов. Например, для пассажирского судна проекта 302 время выхода людей на палубу составило в среднем 170 секунд, для судна проекта 785 это время равно 89 секундам для выхода с верхней палубы и 160 секундам для выхода из трюма.

Работа выполняется при поддержке гранта Правительства Нижегородской области в сфере науки, технологий и техники № 12 от 14.12.2018.

Киселева А.Е.

АО «ПО «Севмаш»

Теоретические принципы представления имитационной модели процессов погрузки и монтажа крупногабаритного оборудования

Ключевые слова: имитационная модель, промышленно-логистический подход, критерий оптимизации, крупногабаритное оборудование.

Актуальность. Современные системы имитационного моделирования (ИМ), используемые для анализа и оптимизации производственных технологий, не обеспечивают создание и анализ моделей производственных систем с учетом организационных особенностей конкретной верфи. Учет таких особенностей становится актуальным для моделирования потока работ при транспортировке и монтаже крупногабаритного оборудования (ТиМ КГО) в помещения строящегося корабля в связи с широкой номенклатурой оборудования.

Целью настоящей работы являлось определение теоретических принципов представления ИМ потока работ при ТиМ КГО в помещениях строящегося корабля на базе законов производственной логистики в статической интерпретации.

Материалы и методы. Математическое описание имитационной модели процессов ТиМ КГО представлено в виде уравнения, связывающего анализируемые показатели эффективности u_i технологических процессов с действующими производственными факторами x_i , в качестве которых габариты и масса k -го элемента КГО, трудоемкость монтажа, транспортировки и дополнительных переходов, численность производственного персонала для выполнения монтажа k -го элемента КГО. В качестве критериев эффективности предложена аддитивная функция «гибкости» ТП, включающая показатели удельной трудоемкости массы перемещаемого оборудования, удельных трудозатрат производственного персонала, коэффициента загрузки производственных ресурсов.

Результаты и обсуждения. Разработан и реализован алгоритм формирования структуры потока работ при ТиМ КГО с использованием модели виртуальной сборки. На основе математического описания ИМ предложены алгоритмы формирования альтернативных вариантов структур ТП, их анализа и поиска оптимального критерия эффективности.

Выводы. Для повышения эффективности технологической подготовки выполнения сборочно-монтажных операций КГО предложено рассматривать выполняемые работы как дискретно-поточковые производственные процессы, что позволяет использовать методы ИМ для анализа ТП ТиМ КГО.

Хмельницкая К.А.
АО «НИИ телевидения»

Распознавание огня с помощью оптоэлектронных систем в судостроении

Ключевые слова: оптоэлектронные системы, анализ изображения, RGB, HSV.

Современный мир испытывает острую необходимость в постоянном совершенствовании систем обеспечения безопасности, в частности систем пожарной безопасности. В особенности это актуально для таких объектов, как нефтегазовые платформы, подводные лодки, корабли, объекты машиностроения и др., где риски для человеческой жизни, а также финансовые риски значительно выше, чем в быту. Обычно в таких местах сосредоточены боеприпасы, узлы двигательных и энергетических установок – объекты повышенной пожароопасности, которые, следовательно, нуждаются в особом контроле.

Основными узлами, осуществляющими преобразование информации оптической природы в электронную, являются камеры. Актуальность применения телевизионных камер значительно возросла благодаря развитию вычислительной техники и математических методов анализа изображений. Наибольший интерес представляют методы, основанные на распознавании пламени путем анализа статической, динамической, яркостной и цветовой составляющих отдельных элементов изображения. Эти методы наиболее устойчивы к условиям освещения и ложным срабатываниям.

Большинство проанализированных алгоритмов распознавания пламени используют исключительно значения в пространстве RGB либо яркостные значения для определения потенциальных огненных регионов. Наибольший интерес представляет алгоритм, который использует улучшенную цветовую модель огня, включающую цветовые значения пространства RGB и насыщенность, а также интенсивность в пространстве HSV. Эта модель наиболее эффективна для определения всех потенциальных огненных регионов в различных окружениях и условиях освещенности.

Алгоритм с применением улучшенной цветовой модели пламени был смоделирован в среде Matlab и проверен на видео с присутствием огня. Результаты моделирования показали не только работоспособность алгоритма, но и его недостатки.

**Киселев Н.И.,
Комиссаров К.В.,
Шульгинова И.А.**
АО «ОКБМ Африкантов»

Разработка комплекса средств автоматизированной подготовки конструкторской документации для печати

Ключевые слова: автоматизация печати конструкторской документации; единое информационное пространство на базе PLM-системы IPS; генерация комплекта файлов PDF на основе чертежей AutoCAD; электронный бизнес-процесс для отправки комплекта документов на печать.

На этапе развития предприятия возникает необходимость в выполнении комплексной автоматизации внутренних бизнес-процессов, таких как разработка, согласование, утверждение и проведение изменений в рабочей конструкторской документации. Процедура подготовки конструкторской документации для печати представляет собой один из таких процессов.

В докладе представлены следующие средства автоматизации процесса подготовки для печати конструкторской документации, разработанной в CAD-системе Autodesk AutoCAD:

- автоматическое распознавание стандартных форматов листов, используемых в чертеже;
- автоматическая генерация комплекта файлов формата PDF на основе стандартных форматов листов, используемых в чертеже;
- пакетная обработка конструкторских данных на уровне файла;
- проверка корректности создания стандартных форматов листов в чертеже;
- автоматическая генерация бланка заказа на печать на основе атрибутивной информации конструкторского документа, полученной из PLM-системы IPS;
- получение атрибутивной информации из PLM-системы IPS для комплекта внешних документов, отправляемых на печать;
- автоматическое заполнение в бланке заказа на печать информации о сотруднике на основе его учетных данных и принадлежности к группам доступа в PLM-системе IPS;

- разработка электронного бизнес-процесса в PLM-системе IPS для отправки комплекта конструкторской документации на печать.

Автоматизация процесса позволила значительно сократить время подготовки комплекта конструкторской документации для печати за счет исключения неоптимальных этапов ручного сбора атрибутивной информации о документах, а также благодаря использованию электронного бизнес-процесса в качестве основного инструмента маршрутизации и согласования заказа на печать в рамках единого информационного пространства на базе PLM-системы IPS.

Подписано в печать 11.04.19. Формат 70×100/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 13. Тираж 150 экз.

Издание ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44
www.krylov-centre.ru

