

Создание современной наукоемкой продукции на ОАО «Новая ЭРА» – результат труда коллектива единомышленников, участвующих в творческом процессе.

Современная преобразовательная техника как по назначению, так и по принципу действия характеризуется значительным многообразием реализованных технических решений.

Возросший уровень современных требований, предъявляемых к силовой преобразовательной технике, не позволяет повторять старое, требует новых подходов, новой быстродействующей элементной базы, нового конструирования. Заказчик заинтересован в снижении габаритов оборудования, повышении его надежности, ремонтнопригодности при эксплуатации, а производитель – в снижении затрат на разработку и производство изделий и их технологичность.

В этих условиях представляется целесообразным применение модульного принципа построения на основе базового элемента – модуля единичной мощности, отработанного под новые требования.

Примером реализации модульных структур на современной элементной базе является типоряд преобразовательных агрегатов АС-DC, относящихся к классу выпрямительных устройств, над развитием которого трудятся специалисты отдела НИОКР ОАО «Новая ЭРА». Отличительные особенности типоряда – повышенная надежность и ремонтнопригодность агрегатов, достигаемые за счет параллельного наращивания мощности в модульных структурах.

К числу готовых изделий предприятия, прошедших полный цикл испытаний, относятся агрегат преобразовательный параллельной структуры типа В-ТППТ-630-31,5 и выпрямительное устройство последовательно-параллельной структуры В-ТППТ-60-320 с мощностью 20 кВт на выходе каждого агрегата. Структуры агрегатов содержат в своем составе по 20 однотипных модулей с выходным стабилизированным напряжением и выходной мощностью 1 кВт. Они питаются от трехфазной сети напряжением 380 В, частотой 50 Гц.

ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АГРЕГАТ ТИПА В-ТППТ-630-31,5

Устройство предназначено для преобразования трехфазного переменного напряжения 380 В, частотой 50 Гц от двух фидеров корабельной сети в постоянное напряжение и обеспечивает пуск и питание электроприводов и другого электрооборудования. Применено в качестве стартерного источника электроэнергии для запуска авиационных двигателей на авианесущем крейсере «Викрамадитья» Индия («Адмирал Горшков»).

Основные технические параметры

Выходное стабилизированное напряжение, номинальное, В	31,5 +/- 2%
Диапазон установки выходных напряжений, В ...	22–36
Номинальный ток нагрузки, А	630
Пусковой циклический ток нагрузки длительностью 3 с, А	1575
Циклический ток нагрузки длительностью 3 мин, А	750
Количество циклов с чередованием пускового, циклического и номинального токов общей длительностью цикла 5 мин, не менее	20
Коэффициент полезного действия при номинальных значениях напряжения питающей сети и параметров нагрузки, %	Не менее 84
Гальваническая развязка	Между входом и выходом
Степень защиты оболочки	IP24
Габаритные размеры изделия, мм	1494x705x665

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Ю.А. Кулагин, начальник отдела НИОКР ОАО «Новая ЭРА»



Преобразовательный агрегат

Выпрямительное устройство

ВЫПРЯМИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ТИПА В-ТППТ-60-320

Устройство предназначено для преобразования трехфазного переменного напряжения 380 В, частотой 50 Гц в постоянное напряжение и для обеспечения высококачественным питанием аппаратуры связи и электрического оборудования при работе в буфер с аккумуляторной батареей и без нее. Предусмотрена возможность наращивания выходной мощности параллельным подключением агрегатов.

Основные технические параметры

Коэффициент полезного действия при номинальном значении напряжения питающей сети, %	Не менее 82
Величина пульсаций выпрямленного напряжения	Не более 15 мВ для частоты 300 Гц и выше и не более 250 мВ для частоты до 300 Гц
Задание режимов стабилизации напряжения и тока	Ручное и автоматическое
Максимальное значение выпрямленного напряжения, В	320
Минимальное значение выпрямленного напряжения, В	220
Максимальный ток, А	60
Минимальный ток, А	6
Конструкция выпрямительного устройства ...	Брызгозащищенная
Гальваническая развязка	Между входом и выходом
Степень защиты оболочки	IP 24
Габаритные размеры, мм	1920 x704 x665

Оба преобразователя, имеющие различные характеристики и назначение, состоят из модулей одного типа. Положительные результаты испытаний подтверждают возможность реализации на их базе структур необходимой конфигурации в зависимости от заданных выходных напряжений, мощностей и условий эксплуатации. ■

ЗАО «НПО «Севзапспецавтоматика»



- Осуществление функций заказчика-застройщика, генерального подрядчика, генерального проектировщика
- Разработка генерального плана, архитектуры, технологии зданий и сооружений
- Проектирование, монтаж, техническое обслуживание систем пожарной и охранной безопасности, вентиляции, дымоудаления, водоснабжения, отопления, слаботочных систем
- Проведение экспертизы организационных и технических решений по обеспечению пожарной безопасности
- Изготовление:
 - пожарных извещателей, приборов пожарной сигнализации и управления пожаротушением, дымоудалением, водоснабжением, диспетчеризацией;
 - силовых шкафов управления насосами, вентиляцией, отоплением и кондиционированием;
 - пожарных шкафов, воздуховодов, металлической мебели

Объекты ЗАО «НПО «Севзапспецавтоматика»:

- заводы «Форд», «Пепси-Кола»;
- нефтегазовые комплексы Сибири и Казахстана;
- Ленинградская атомная станция;
- жилые, административные здания;
- музеи, культурные и общеобразовательные учреждения;
- объекты коммерческой недвижимости

Предприятие имеет высокую репутацию, обеспеченную высоким уровнем квалификации специалистов. Деятельность предприятия удостоверена Свидетельством о признании Российского Речного Регистра. В объединении действует документированная система управления качеством продукции, основанная на применении стандартов ISO 9001, подтвержденная также ГОСТ РВ 15.002-2003. Фирма имеет лицензии по всему спектру работ: ФСБ, МЧС, МВД, Госстроя России, Министерства культуры РФ, Минатома РФ, Российского Агентства по промышленности (в области вооружения и военной техники).

Анализ пожаров на кораблях и судах флота показывает, что, во-первых, они имеют высокую динамику, а это делает важным обнаружение пожара на ранних стадиях его возникновения, или, что еще актуальнее, оценку проявления предпожарной ситуации по ее характерным признакам, а, во-вторых, до 80% пожаров вызвано неисправностью электрооборудования.

В этой ситуации оценка возможного возгорания электрооборудования и кабельных трасс по появлению высокодисперсных аэрозольных частиц в окружающем воздухе, связанному с деструкцией материалов изоляции при нагреве, которая появляется гораздо раньше воспламенения, позволяет разработать привинтивный метод предупреждения пожара.

В рамках этой задачи в 2004–2006 гг. ЗАО «НПО «Севзапспецавтоматика» совместно с ООО «НПП Протон-ПД» и Санкт-Петербургским государственным университетом авиационного приборостроения на базе извещателя ИДЭ-2 разработан пожарный извещатель электроиндукционного принципа действия ИПДЭ-01, предназначенный для применения на промышленных объектах, АЭС, кораблях и судах флота, где необходимо раннее, до появления пламени, обнаружение очага возгорания.

Одним из основных признаков возгорания, особенно на начальной его стадии – тлении материала, является дым. Как показало изучение процесса термического разложения твердых полимерных материалов (полиэтилен, резина, поливинилхлорид, фторопласт), при температурах нагрева полимеров на 100–150 °С ниже температур самовоспламенения на границе раздела «нагретый полимер – воздух» идет интенсивное образование высокодисперсных аэрозольных частиц.

Характерные особенности образующихся в результате нагрева аэрозольных частиц для всех исследованных полимерных материалов следующие:

- узкий диапазон высокодисперсных аэрозольных частиц с размерами от 0,01 до 0,1 мкм, в котором содержится до 80% образовавшихся частиц;
- повторяемость для определенного типа полимера спектра распределения частиц по размерам и одинаковой температурной зависимости выхода отдельных фракций с определенными размерами этих частиц;
- наличие для каждого полимера температуры, присущей только данному полимеру, при которой интенсив-

ЭЛЕКТРОИНДУКЦИОННЫЙ ПОЖАРНЫЙ ИЗВЕЩАТЕЛЬ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРЕДПОЖАРНОЙ СИТУАЦИИ НА НАЧАЛЬНОЙ СТАДИИ

А.Н. Шабардин, зам. генерального директора,
ЗАО «НПО «Севзапспецавтоматика»,

В.А. Колесник, д-р техн. наук, проф., зам. генерального директора,
ЗАО «НПО «Севзапспецавтоматика»,

В.А. Алексеев, канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник,
ООО «НПП Протон-ПД»

ность образования аэрозольных частиц максимальна.

Таким образом, явление образования высокодисперсного аэрозоля при низкотемпературном разложении полимеров (например, наиболее распространенных в электротехнике полиэтилена, резины, поливинилхлорида и фторопласта) может быть использовано как для достоверного обнаружения ранней стадии возгорания, так и для создания устройств для проверки, настройки и сертификации дымовых пожарных извещателей. Очевидно, что появление в объеме защищаемого помещения заметного увеличения, превышающего в 3–4 раза фоновое значение, концентрации высокодисперсного аэрозоля свидетельствует о возникновении в этом помещении начальной стадии пожароопасной ситуации.

Своевременное обнаружение роста концентрации в окружающей среде очень мелких аэрозольных частиц – размерами менее 0,1 мкм – практически не возможно оптическими пожарными извещателями, так как они не реагируют на низкие (менее 2 мг/м³) концентрации дымовых частиц, размер которых менее 0,2 мкм. Из известных отечественных дымовых пожарных извещателей только ионизационные извещатели способны реагировать на малые концентрации высокодисперсных частиц.

По способу реализации ионизационного принципа действия извещатели подразделяются на радиоизотопные и электроиндукционные.

Радиоизотопные дымовые пожарные извещатели (ПИ) известны давно, но в настоящее время практически не применяются в нашей стране в силу ряда причин, основной из которых является применение в конструкции извещателя источника радиоактивного излучения. Применение радиоизотопного источника в ПИ даже со сверхнизким уровнем излучения (ниже фонового значения) все же влечет за собой необходимость, во-первых, получения разрешения (согласования) на их установку от органов Госсанэпиднадзора, во-вторых, обязательной утилизации (захоронения) ПИ, выработавших свой ресурс, что достаточно дорого.

Извещатели дыма электроиндукционного (ИДЭ) принципа действия в современных условиях используются для обеспечения пожаробезопасности только специфических объектов. Извещатель ИДЭ-2 был разработан в 1996 г. ООО «НПП Протон-ПД», и уже в течение 10 лет они эксплуатируются в российском сегменте Международной космической станции (МКС), где проявили себя как высоконадежные, работающие без ложных срабатываний. Прежде чем сделать ответственный выбор ПИ для установки в обитаемый гермоотсек орбитального модуля ФГБ «Заря», были проведены сравнительные испытания трех типов дымовых ПИ: ИДЭ-2, оптического ДС-3М (аналог ИП212-67) и радиоизотопного РИД-6М. Сравнительные данные результатов испытаний ПИ

Результаты испытаний извещателей

Масса образца ПВХ, г	ИДЭ-2		РИД-6М		ДС-3М	
	Время срабатывания, мин	Концентрация аэрозоля при срабатывании, мг/м ³	Время срабатывания, мин	Концентрация аэрозоля при срабатывании, мг/м ³	Время срабатывания, мин	Концентрация аэрозоля при срабатывании, мг/м ³
12	1	1	1,5	3	2,66	13,3
12	1	1	1,65	2	2,37	13,3
2	1	1	1,9	2	Не сраб.	Не сраб.
2	1	1	1,4	2	Не сраб.	Не сраб.

ИДЭ-2, РИД-6М и ДС-3М в полномасштабном макете обитаемого гермоотсека приведены в табл. 1.

Из представленных в табл. 1 результатов видно, что по концентрации аэрозоля, необходимой для срабатывания, характеристики радиоизотопного извещателя РИД-6М приблизительно в 2 раза, а оптического ДС-3М в 10 раз хуже, чем у ИДЭ-2. Что касается времени срабатывания, то эти показатели были соответственно в 1,6 и 2,5 раза хуже, чем у электроиндукционного ПИИ типа ИДЭ-2.

В 2000–2001 гг. пожарные извещатели ИДЭ-2 проходили опытную эксплуатацию в гермозоне атомного реактора (в течение одного года) и в кабельной шахте 2-й системы безопасности Калининской АЭС в течение трех месяцев. В процессе всего периода

опытной эксплуатации обоих ИДЭ-2 не было ни одного ложного срабатывания, а после завершения эксперимента была проведена проверка работоспособности извещателей как с пульта контроля, так и задымлением от слабого источника дыма. Проверки показали, что оба ИДЭ-2 полностью сохранили свою работоспособность.

В 2001 г. в кабельной шахте 2-й системы безопасности Калининской АЭС были проведены испытания на срабатывание пожарного извещателя ИДЭ-2 при задымлении шахты от модельного очага (на электрической плитке разогревался фрагмент полиэтиленовой изоляции кабеля КВВГнг, применяемого в кабельной шахте). В результате испытаний по задымлению шахты 2-й системы безопасности ПИИ ИДЭ-2 срабатывал при нагреве по-

верхности электролитки до температуры 370° С. Следует отметить, что во время эксперимента по задымлению, находившиеся рядом с ИДЭ-2 оптические пожарные извещатели ДИП-1, входившие в состав штатной системы обнаружения возгорания в шахте, не срабатывали.

Принцип действия ИПДЭ-01 (рис.1), так же как и пожарного извещателя ИДЭ-2, основан на электроиндукционном способе измерения концентрации аэрозольных частиц в окружающей среде. В извещателе исследуемый аэрозоль принудительно прокачивается через измерительную линию, в которой установлены зарядная и измерительная камеры. Аэрозольные частицы получают в зарядной камере электрический заряд пропорциональный их размеру. Заряженные частицы, проходя через измерительную камеру, наводят на нее заряд, величина которого зависит от их размера и концентрации. Сигнал с измерительной камеры усиливается и подвергается последующей обработке.

Физические принципы электроиндукционного метода измерения в сочетании с оригинальным алгоритмом обработки сигнала (автоматическая коррекция фона, адаптация к условиям эксплуатации) обеспечивают высокую достоверность идентификации пожароопасного состояния по динамике изменения аэродисперсной среды объекта.

Измерительные линии пожарных извещателей реализующих электроиндукционный метод измерения массовой концентрации частиц аэродисперсной системы позволяют определять концентрацию аэрозоля от 0,001 мг/м³ до десятков мг/м³, причем диапазон размеров измеряемых частиц начинается с 0,001 мкм.

Метод обладает повышенной чувствительностью к изменению распределения частиц по размеру в высокодисперсной области спектра. Это обусловлено тем, что в увеличение объемного суммарного электрического заряда высокодисперсные частицы вно-



Рис. 1. Извещатель ИПДЭ-01

сят самый значительный вклад за счет своего количества (80%), это особенно важно при появлении пожароопасной ситуации, где свою долю в увеличении заряда вносят и те частицы, размеры которых близки к нижнему пределу диапазона измеряемых частиц (0,001 мкм), образующихся при низкотемпературном пиролизе твердых полимерных материалов. Зарядка этих частиц носит случайный характер, но их доля в общем объемном заряде все равно очень значительна.

Измерительные линии пожарных извещателей, реализующих электроиндукционный метод, позволяют применять аэродинамическое или электростатическое воздействие на поток заряженных частиц с целью повышения селективной чувствительности дымового пожарного извещателя к высокодисперсным аэрозольным частицам. Проведенные испытания ПИ с аэродинамическим и электростатическим сепараторами показали, что при одинаковом выходном сигнале, полученном от высокодисперсного и грубодисперсного (пылевой фон) аэрозоля, концентрация последнего была в 150 раз больше.

Основываясь на свойствах полимерных материалов образовывать при их низкотемпературном разложении вполне определенный для каждого вида полимера спектр распределения частиц по размерам, повторяющийся для данного полимера и присущий только ему, стало возможным создать новую методику настройки, регулировки и сертификации ионизационных ПИ.

На рис. 2 изображен стенд испытательный с камерой аэрозольной и тепловым генератором аэрозоля СИ-01, предназначенный для испытаний и сертификации пожарных извещателей раннего обнаружения возгорания. Стенд СИ-01 содержит дымовую рабочую камеру аэрозолей (КА) 1 цилиндрической формы объемом 1 м³ для размещения в ней проверяемого дымового пожарного извещателя 2 и радиоизотопного измерителя массовой концентрации аэрозоля «ПРИМА» 3, внесенного в Государственный реестр средств измерений.

К дымовой КА подсоединен воздуховод 4, обеспечивающий в КА замкнутый режим циркуляции смеси аэрозольных частиц с воздухом. В самом воздуховоде установлены тепловой генератор аэрозолей

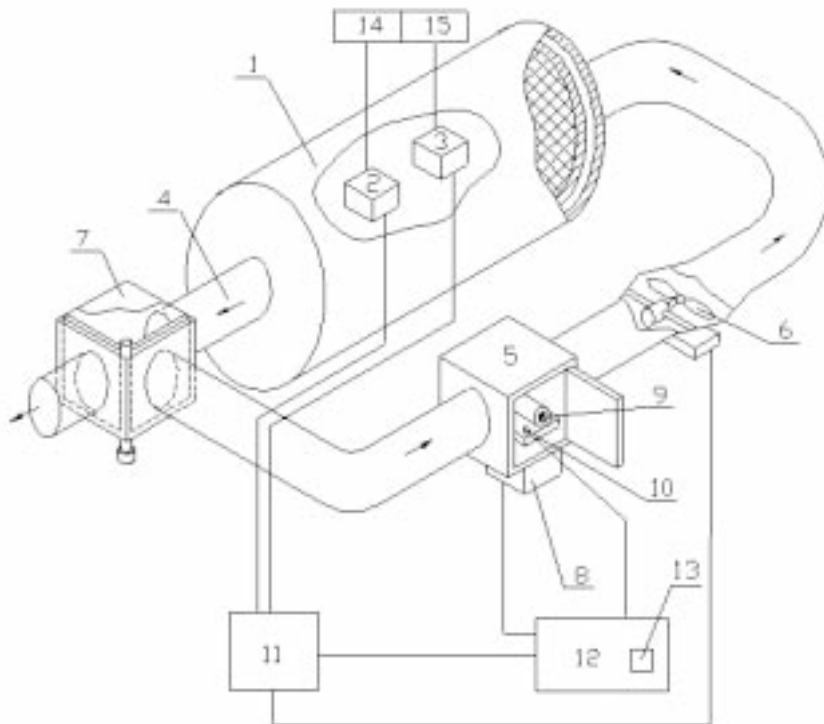


Рис. 2. Стенд испытательный с камерой аэрозольной и тепловым генератором аэрозоля для испытаний дымовых пожарных извещателей

(ТГА) 5, вентилятор 6 и регулятор направления потока воздуха 7, создающие в КА заданную концентрацию аэрозольных частиц продуктов начальной стадии термического разложения полимерного материала. В зависимости от положения регулятора 7 происходит также вентиляция КА от остатков аэрозольных продуктов. В ТГА размещены электронагреватель 8, а на его нагревательной площадке образец полимера (имитатор начальной стадии возгорания) 9, который при нагревании в ТГА до определенной для данного типа полимера температуры начинает генерировать аэрозольные продукты с максимальной интенсивностью.

Кроме того, в стенд входят: источник электропитания 11, блок управления 12 с встроенным программируемым устройством задания температуры и темпа нагрева 13, термопара 10, регистраторы срабатываний ПИ 14 и результатов измерений «ПРИМА» 15.

Сертификация ИПДЭ-01 проводилась с использованием аттестованного стенда СИ-01. В процессе испытаний в КА стенда создавались массовые концентрации аэрозольных частиц 0,5, 1,0 и 2 мг/м³ с использо-

ванием в ТГА образцов из полиэтилена в качестве генератора аэрозольных продуктов. Испытуемые образцы ИПДЭ-01 предварительно настраивались на определенные пороги срабатывания, достижение которых фиксировалось с одновременным измерением массовой концентрации аэрозольных продуктов в КА на момент срабатывания.

В результате значительного объема научно-исследовательских и экспериментальных работ, а также с использованием 10-летнего опыта эксплуатации электроиндукционных пожарных извещателей в Российском сегменте МКС, созданы не только новый дымовой пожарный извещатель ИПДЭ-01, который адаптирован для работы в системах пожарной, охранно-пожарной сигнализации, но и условия для его сертификации. Область применения этого извещателя распространяется на особо важные объекты, пожар на которых может привести к огромным, невосполнимым материальным потерям: АЭС (ядерные реакторы, кабельные шахты управления и кабельные траншеи, центральные щиты управления и другие ответственные устройства, хранилища слабоактивных отходов), корабли и подводные лодки. ■

Комплект вспомогательного оборудования систем СЭУ включает гидравлические машины, теплообменные аппараты, средства очистки рабочих тел, выполняющие свои функции в составе систем топлива, смазки, охлаждения пресной и забортной водой, сжатого воздуха. При анализе характеристик их целесообразно разделить на две группы: непосредственно взаимодействующие с главными двигателями и функционирующие автономно. Требования к параметрам назначения первых и принципиальные схемы систем устанавливаются в руководствах по проектированию энергетических установок, выпускаемых фирмами – производителями двигателей, например, в [1]. Характеристики вторых систем указаны в «Правилах и нормах проектирования» соответствующих систем, однако обычно не конкретные значения, а целесообразные диапазоны значений. Последнее облегчает выбор оборудования второй группы из типоразмерных рядов. Такое оборудование не нуждается в дополнительной настройке, так как совпадение параметров назначения типоразмера с рекомендованным диапазоном значений является достаточным.

В табл. 1 приведены характеристики оборудования первой группы для

ВЫБОР КОМПЛЕКТА ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ СЭУ, ОПТИМИЗИРУЮЩЕГО ТРАНСПОРТНОЕ СУДНО

А.Г. Даниловский, канд. техн. наук, проф. СПбГМТУ

Таким образом, насосы должны подбираться с подачами, значения которых должны быть не менее значений, указанных в табл. 1, после умножения на число цилиндров в составе агрегата ДВС. Аналогичное положение с охладителями, включенными последовательно по забортной воде, так как кроме тепловых потоков, заданных в табл. 1, регламентируются также температуры масла при подаче к подшипникам коленчатого вала

бирается ближайший больший типоразмер. Такое оборудование в дальнейшем подвергается регулированию с целью уменьшения функциональных параметров – их доведения до установленных требований.

Комплектацию оборудования систем рассмотрим на примере танкера DW 40 000 т постройки «Адмиралтейских верфей». На нем установлен главный двигатель 6S50MC-C из типоразмерного ряда MC максимальной длительной мощностью 9480 кВт при 127 об/мин. Характеристики двигателя 6S50ME-C из типоразмерного ряда ME совпадают с данными штатного двигателя. Для комплектации указанного двигателя ME требуются насосы с подачей, м³/ч, не меньше указанной ниже:

Регламентируемые характеристики оборудования систем двигателей типа ME

Таблица 1

№ п.п.	Марка	$N_{\text{ен}}$	$W_{\text{ит}}$	$W_{\text{тп}}$	$W_{\text{пр}}$	$W_{\text{заб}}$	$W_{\text{м}}$	$W_{\text{з}}$	$Q_{\text{м}}$	$Q_{\text{пр}}$
1	S50ME-C	1580	0,625	0,4	13,25	50	36,25	17,5	130	230
2	L60MC-C	2230	0,9	0,55	19	70	51,25	25	185	330
3	S60ME-GI	2260	0,9	0,575	19	72,5	51,25	25,5	185	330
4	S65ME-C	2870	1,14	0,72	24	93	57	32	226	416
5	L70ME-C	3110	1,25	0,775	26,25	96,25	70	34,25	250	450
6	S70ME-C	3110	1,225	0,775	26,25	98,75	70	34,75	250	450

Требуемые подачи насосов

$W_{\text{ит}}^a$	$W_{\text{тп}}^a$	$W_{\text{пр}}^a$	$W_{\text{заб}}^a$	$W_{\text{м}}^a$
3,75	2,4	79,5	300	217,5

некоторых двигателей из ряда ME фирмы «MAN B&W Diesel».

В табл. 1 приведены следующие характеристики двигателей типа ME из расчета на один цилиндр данного типоразмера: $N_{\text{ен}}$ – цилиндровая мощность на режиме номинальной МДМ, кВт; $W_{\text{ит}}$ – производительность циркуляционного топливного насоса, м³/ч; $W_{\text{тп}}$ – производительность подкачивающего топливного насоса, м³/ч; $W_{\text{пр}}$ – производительность насоса пресной воды, м³/ч; $W_{\text{заб}}$ – производительность насоса забортной воды, м³/ч; $W_{\text{м}}$ – производительность главного масляного насоса, м³/ч; $W_{\text{з}}$ – проток забортной воды через охладители масла и пресной воды, м³/ч; $Q_{\text{м}}$ – отвод теплоты от двигателя с маслом, кВт; $Q_{\text{пр}}$ – отвод теплоты от двигателя с пресной водой, кВт.

(45°C), пресной воды на выходе из двигателя (80°C) и забортной воды на входе в маслоохладитель (32°C).

Для оборудования первой группы необходимо выполнять установленные требования и выбирать из типоразмерных рядов оборудование с параметрами не меньше требуемых – больше или равно. Поскольку равенство – совпадение требований и параметров типоразмера – является случайным совпадением двух независимых величин, оно наблюдается крайне редко и обычно выбирают оборудование с характеристиками, превышающими требования – из типоразмерного ряда вы-

В типоразмерный ряд трехвинтовых насосов включены два типоразмера, способных обеспечить подачу требуемого количества масла к двигателю: не меньше $W_{\text{м}}^a = 217,5$ м³/ч. Их характеристики представлены далее:

Допустимые типоразмеры масляных насосов

№ п.п.	W	P	$N_{\text{с}}$	L	B	H	$G_{\text{р}}$
1	125	0,4	30	700	790	1730	930
2	250	0,4	55	930	830	2180	1260

Марка насоса: 1 – ЗВ 320/16-3-125/4Б-3; 2 – ЗВ x2 320/16-3-250/

4Б-3; W – подача, $\text{м}^3/\text{ч}$; P – давление нагнетания, МПа; N_e – мощность привода, кВт; L, B, H – длина, ширина, высота, мм; G_p – рабочая масса, кг.

Первый вариант комплектации обеспечивает требуемую подачу при двух одновременно включенных насосах. Кроме этого, требуется установка одного резервного насоса с такими же характеристиками. Второй вариант позволяет выбрать оборудование, отвечающее установленным требованиям при одном работающем и одном резервном насосе. Однако подача каждого из вариантов превосходит требуемую, что недопустимо. Могут быть предложены различные способы регулирования подачи объемных насосов. Примем наиболее простой и распространенный, хотя и не самый экономичный способ – регулирование обводом. По потерям на регулирование два сравниваемых варианта эквивалентны.

Существование вариантов комплектации СЭУ вспомогательным оборудованием позволяет отыскивать среди них оптимальные варианты, обеспечивающие повышение эффективности сложной технической системы, включающей указанное оборудование. Выигрыш не может быть очень большим ввиду малой значимости самого оборудования в составе сложной технической системы – судна в целом и сравнения вариантов выполняющих одинаковую функцию в условиях приближенных к оптимуму, однако номенклатура вспомогательного оборудования значительна и по всей совокупности можно рассчитывать на получение определенного эффекта.

В основе сравнения вариантов комплектации СЭУ вспомогательным оборудованием – применение метода системного анализа и критериев согласованной системной эффективности [2, 3]. В качестве последних используются приращение прибыли от эксплуатации транспортного судна с анализируемым вариантом комплектации вспомогательным оборудо-

ванием по сравнению с вариантом принятым за базу.

Приращение прибыли рассчитывается с использованием метода малых отклонений как сумма приращения полных затрат по анализируемому оборудованию и системной поправки на изменение полной массы оборудования. В случае невозможности реализовать на данном судне дополнительную грузоподъемность, что характерно для судов с большой погрузочной кубатурой, задача вырождается в анализ с использованием в качестве критерия эффективности полных расходов по оборудованию.

обеспечивает получение дополнительной прибыли в 2946 долл/год. Это не много, однако, этот вариант объективно предпочтителен. По всему комплекту вспомогательного оборудования может быть получен эффект на порядок превышающий обнаруженный выше.

Для обеспечения подачи, регламентированной в руководстве фирмы [1], был принят наиболее простой способ – регулирование обводом. Оптимизация способа регулирования функциональных параметров вспомогательного оборудования заслуживает самостоятельного изучения. Собственно двигатели типа ME оборудованы

Таблица 2

Сравнение типоразмеров масляных насосов

№	K_n	K_k	N_{ep}	G_T	$Z_{гг}$	P_n	G_n	ΔPr
1	5133	15400	60	10	2006	5373	12,82	33680
2	6901	13803	55	9,2	1839	4856	11,72	30734

Результаты анализа согласованной эффективности приведены в табл. 2.

Здесь представлены следующие переменные для каждого из вариантов комплектации СЭУ насосами: K_n, K_k – стоимость каждого из насосов и комплекта оборудования данного типа, долл; N_{ep} – мощность привода, включенная на рабочем режиме, кВт; G_T – масса топлива, расходуемая за рейс, для обеспечения функции циркуляционных масляных насосов, т; $Z_{гг}$ – годовые затраты на топливо, долл/год; P_n – полные расходы по комплекту циркуляционных масляных насосов, долл/год; G_n – полная масса комплекта оборудования, т; ΔPr – потеря прибыли от варианта оборудования, долл/год.

Разница потерь прибыли в первом и втором вариантах и составляет согласованный критерий эффективности. Второй вариант лучше, поскольку он

микропроцессорными регуляторами, установленными на каждом цилиндре. По-видимому, такой способ регулирования может найти применение и для регулирования вспомогательного оборудования систем, обслуживающих главные судовые двигатели, что повысит их эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. MAN B&W Diesel A/S. Engine Selection Guide. – Two-stroke ME/ME-C Engine. – 1 Ed. – 2005.
2. Пашин В.М. Критерии для согласованной оптимизации подсистем судна. – Л.: Судостроение, 1976.
3. Сулов В.Ф., Даниловский А.Г., Шаманов Н.П. Оптимизация судового машиностроительного оборудования: Монография. – Т. 2. – СПб: Изд. РИЦ СПГМТУ, 2004. ■

Корабел.ру

информационно-поисковая система

www.korabel.ru

В работах [1, 2] предложен эффективный способ размещения СЭУ в МКО транспортных судов, представленный в форме таблиц относительных координат и абсолютных габаритов блоков комплектующего оборудования. Пример такого представления дан в табл. 1.

В первых четырех строках табл.1 приведены общие данные о судне и условиях визуализации расположения: NC – код цвета линии, ограничивающих контуры блока при выводе на экран; $Вид$ – код анализируемой проекции. Предусмотрены следующие значения этой переменной: 0 – проекция в плане, 1 – продольный разрез параллельно диаметральной плоскости, 2 – поперечное сечение плоскостью, параллельной миделю; $Z_{6л}$ – число единиц располагаемого оборудования – блоков и цистерн; R – расстояние от характерной плоскости, на котором выполняется сечение МКО, м; L_{PPS} – длина судна между перпендикулярами, м; $L_{МКО}$ – длина МКО, м; B_{SU} – ширина судна на миделе, м; H_B – высота МКО до главной палубы, м; $X_{гно}$ – положение носовой переборки грузового насосного отделения на танкере отнесенное к длине МКО; $X_{кп}$ – расстояние кормовой переборки МКО от кормового перпендикуляра отнесенное к длине судна; H_{shp} – высота профиля шпангоута, м; ZX и ZY – количество отображаемых пикселей на экране дисплея по горизонтали и вертикали. Эти значения требуются для универсализации программы визуализации независимо от типа дисплея; $Z_{вр}$ – общее число характерных уровней в МКО, на которых может производиться установка оборудования и расположение цистерн; H_1 – возвышение характерного уровня – второго дна над основной линией судна отнесенное к

высоте борта; H_2 – то же для нижней платформы; H_3 – то же для средней платформы; H_4 – то же для главной палубы; $H_4 - H_8$ – всего предусмотрена возможность задания до восьми характерных уровней. Равенство $H_4 - H_8$ единице означает совпадение этих уровней с главной палубой. Возможно значение характерных уровней большее единицы, когда оборудование располагается выше главной палубы, например, в шахте МКО.

Собственно информация о расположении блоков оборудования МКО начинается с шестой строки табл. 1. Блоки перенумерованы в порядке чисел натурального ряда. Здесь представлена для экономии места усеченная таблица – всего двенадцать первых ее блоков. Фактически их значительно больше, и для самого краткого перечня элементов СЭУ в функционально-агрегатном виде составляет приблизительно 70 блоков, цистерн, координат внешних связей (например, точки захода приемного трубопровода топлива). При расположении СЭУ «россыпью» число блоков значительно возрастает. Обозначения блоков

принятые в табл. 1 расшифровываются в табл. 2.

В табл.1 указаны также: M – масса блоков оборудования и цистерн, расположенных в МКО, т; NC – целочисленный признак принадлежности к той или иной системе СЭУ. Признак численно равен индексу цвета из палитры монитора типа EGA, соответствующего таблице отличительной окраски трубопроводов системы, к которой относится агрегат: 2 – зеленый – система забортной воды, 3 – голубой – система сжатого воздуха, 6 – коричневый – топливная система, 7 – серый – система пресной воды, 14 – светло желтый – система смазки. Оборудование, не относимое к одной из систем, имеет признак нейтрального черного цвета – 8; Y – угол установки блока относительно диаметральной плоскости, рад.; X, Y, Z – координаты центра габарита блоков, отнесенные к характерным размерам МКО, в том числе: продольная координата X – расстояние от носовой переборки МКО отнесено к его длине $L_{МКО}$; поперечная

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ СЭУ

А.Г. Даниловский, канд. техн. наук, проф. СПбГМТУ

Таблица 2

Обозначения блоков

№ п.п.	Обозначение	Наименование блока или цистерны
1	GLD	Главный двигатель – МОД ДКРН
2	BL_TPN	Блок топливоподкачивающих насосов
3	DE_TOP	Деаэратор топлива (смесительная цистерна)
4	BL_NTT	Блок насосов перекачки тяжелого топлива
5	BL_NLT	Блок насосов перекачки легкого топлива
6	BL_ST	Блок сепарации топлива
7	BL_ZO	Блок отстойных цистерн
8	BL_ZR	Блок расходных цистерн
9	Z_PROT	Цистерна протечек топлива
10	Z_PER	Цистерна перелива
11	ZZTT	Цистерна запаса тяжелого топлива
12	ZZLT	Цистерна запаса легкого топлива

Таблица 1

Относительные координаты и абсолютные габариты блоков оборудования СЭУ

NC	Вид	$Z_{6л}$	R	L_{PPS}	$L_{МКО}$	B_{SU}	H_B	$X_{гно}$	$X_{кп}$	H_{shp}
4	0	5	1,3	125,	13,50	17,8	10,4	1,00	0,08	1,0
ZX	ZY	Z_{vd}	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5	H_6	H_7	H_8
650	480	5	0,127	0,437	0,72	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
J	Обознач.	M	NC	Y	X	Y	Z	L	B	H
1	GLD	400,0	0	0,0	0,365	0,0	0,484	9,844	3,0	10,16
2	BL_TPN	2,53	6	0,0	0,61	-0,14	0,221	2,1	1,76	2,15
3	DE_TOP	0,5	6	0,0	0,686	-0,13	0,231	0,500	0,500	2,000
4	BL_NTT	2,542	6	0,0	0,591	0,182	0,211	1,500	1,500	1,000
5	BL_NLT	1,094	6	0,0	0,607	0,178	0,211	1,500	1,500	1,000
6	BL_ST	3,28	6	0,0	0,480	-0,16	0,221	3,210	4,280	4,280
7	BL_ZO	23,4	6	0,0	0,572	0,196	0,562	2,160	3,680	3,030
8	BL_ZR	54,1	6	0,0	0,607	0,182	0,562	4,000	4,100	3,030
9	Z_PROT	5,6	6	0,0	0,693	0,120	0,102	1,620	3,570	0,970
10	Z_PER	95,5	6	0,0	0,796	0,120	0,105	8,650	6,000	1,840
11	ZZTT	259,83	6	0,0	0,796	0,230	0,410	8,220	6,490	5,730
12	ZZLT	10,47	6	0,0	0,196	0,316	0,562	1,080	4,000	3,030

координата Y – расстояние от диаметральной плоскости отнесено к половине ширины судна $B/2$. Знак минус этой координаты означает расположение блока по правому борту; вертикальная координата Z – расстояние от основной плоскости отнесено к высоте борта судна H_B ; L, B и H – абсолютные габариты блоков, м.

Напомним основные идеи способа задания расположения оборудования МКО в виде таблицы относительных координат и абсолютных габаритов блоков. Таблица типа табл.1 получается путем обработки типовых расположений СЭУ транспортных судов. В настоящее время накоплено несколько десятков таких обработок. Берутся чертежи общего расположения СЭУ в МКО типового судна. В качестве такового могут быть приняты типовые расположения, рекомендованные компетентными организациями. В частности, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова разработана серия типовых расположений танкеров в функционально и зонально агрегатной компоновке МКО с двигателями МОД ДКРН-3. В соответствии с этими рекомендациями построены серии танкеров в конце 70-х гг. прошлого века. Значительные исследования были выполнены при постройке танкера пр. 1596. В качестве типового может быть принято любое судно, хорошо зарекомендовавшее себя на практике и удобное в эксплуатации СЭУ.

В масштабах чертежа измеряются габариты блоков оборудования L, B и H и заносятся в таблицу после перевода в натуральные размеры. На чертеже определяются положение центра габаритов блока и измеряются его расстояния от характерных сечений:

кормовой переборки МКО, диаметральной плоскости и основной плоскости судна. Эти размеры делятся на длину МКО X , ширину судна на миделе Y и высоту борта от основной плоскости до главной палубы Z . Эти размеры заносят в соответствующие графы табл.1. По справочникам находят рабочую массу оборудования, которая заносится в графу *Масса*.

Как можно использовать таблицы относительных координат и абсолютных габаритов блоков для нового проектирования расположений СЭУ? Исключительно просто. В ячейки $L_{PPS}, L_{MКО}, B_{СУ}, H_B$ заносятся характеристики судна нового проектирования – длина судна между перпендикулярами, длина МКО, ширина судна на миделе и высота борта. После ввода табл.1 в память ЭВМ программный комплекс обеспечивает умножение соответствующих столбцов на характерные размеры МКО судна нового проектирования. Это сразу же дает хорошее первое приближение расположения оборудования МКО в корпусе судна нового проектирования. В этом

варианте сохраняется схема взаимного расположения оборудования подобная типовому расположению, но в размерах МКО судна нового проекта.

С этой схемой расположения многое можно делать дальше. В настоящее время разработаны программные комплексы, обеспечивающие проверку допустимости нового расположения на наложение блоков друг на друга, на ремонтные зоны, на проходы и подходы к оборудованию (программный комплекс *ANALIZ*), визуализацию расположения оборудования в отдельных сечениях, задаваемых в диалоге с ЭВМ (программный комплекс *RASPOLOG*), редактирование расположения на экране дисплея с одновременным отображением в таблице относительных координат и абсолютных габаритов (программный комплекс *IЗM_XYLB*), вывод на экран в очертаниях корпуса судна заданной последовательности блоков и цистерн, что полезно при проектировании отдельных систем СЭУ (программный комплекс *BЛОКИ_Z*), определение суммарного расстояния между блоками по главным координатам. Так определяются длины, а потом и массы труб, соединяющих отдельные блоки (программный комплекс *RASST*), определение суммарной массы оборудования и цистерн МКО, расположения центра масс и моментов относительно главных плоскостей (программный комплекс *ZENTR_MASS*), гидравлических расчетов трубопроводов систем СЭУ (программный комплекс *GIDRA*), согласованной системной оптимизации варианта расположения и компоновки СЭУ по критерию минимизации полных затрат на связи трубопроводов между блоками и электрических кабелей между блоками и щитами питания и управления (программный комплекс *SWJAZI*).

Эксплуатация программных комплексов, базирующихся на использовании таблиц относительных координат и абсолютных габаритов оборудования и цистерн, при исследовании вариантов расположения СЭУ показала высокие потенциальные возможности как программных комплексов, так и способа задания варианта расположения и компоновки в виде указанных таблиц. В то же время выявлены направления их дальнейшего совершенствования. В частности, признано неудобным задание характерной точки блока в центре вертикального габарита. Для расположения россыпью характерно применение переходных фундаментов, в то же время для функционально-агрегатных компоновок несущие конструкции включаются в состав агрегата. В связи с тем, что оборудование МКО устанавливается на корпусные конструкции, признано целесообразным перенести характерную точку на нижнюю опорную поверхность блока и автоматизировать ее размеще-

ние с характерными уровнями – вторым дном, платформой или палубой.

Ряд цистерн, расположенных в двойном дне, занимают его по всей высоте. Это же характерно для цистерн, расположенных в твиндеках. При замене характерных размеров МКО эти высоты изменяются, и требуется диалоговое редактирование расположения и размеров этих цистерн. Следует автоматизировать эту операцию, так как она достаточно трудоемка в диалоге, но в то же время несложно реализуется в автоматическом режиме ввиду ясности принципов.

ВЫВОДЫ

1. Идея задания вариантов расположения СЭУ в форме таблиц относительных координат и абсолютных габаритов блоков оборудования оказалась исключительно плодотворной и позволила не только перенести на новое проектирование огромный опыт накопленный проектными организациями отрасли в период широкого проектирования транспортных судов, но и создать работоспособную систему автоматизированного проектирования расположений СЭУ.
2. С использованием метода таблиц относительных координат и абсолютных габаритов решена задача оптимизации расположений оборудования СЭУ в МКО транспортных судов. В качестве критерия эффективности использован критерий согласованной системной оптимизации – приращение по сравнению с базовым вариантом полных затрат от эксплуатации связей энергетической установки – трубопроводов и кабельных трасс, связывающих блоки оборудования между собой, с точками захода внешних связей и с питающими электрическими щитами. Учитываются также системные влияния изменения варианта компоновки и расположения, в частности приращения полной массы трубопроводов, кабельных трасс и запасов энергоносителей на их функционирование в течение рейса по сравнению с базовым вариантом.
3. Практика показала целесообразность дальнейшего совершенствования САПР расположений СЭУ транспортных судов и методики задания относительных координат оборудования СЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даниловский А.Г., Андронов Д.А., Орлов М.А. Проектирование расположений энергетических установок транспортных судов: Монография. – СПб.: Изд. ИИЦ СПГУВК, 2006г. ISBN 5-88789-192-0.
2. Даниловский А.Г. Автоматизированное проектирование судовых энергетических установок: Учеб. Пособие. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2006. ■

Качество функционирования автономных объектов (включая транспортные средства) в большой степени определяется надежностью работы его автономной системы электропитания (АСЭ).

Основными тенденциями в развитии современных АСЭ являются увеличение их сложности, придание возможности гибкого изменения структуры АСЭ в зависимости от условий эксплуатации и мощности потребителей энергии на объекте, регулирование (стабилизация) выходных параметров преобразователей напряжения.

В связи с этим при проектировании унифицированных АСЭ требуется решение в числе прочих задачи синтеза системы управления преобразователями электрической энергии, которая обеспечивала бы желаемые изменения во времени энергетических координат в переходном и квазиустановившемся режимах работы [1].

Синтез цифровых систем управления преобразователями электрической энергии традиционно реализуется на методах, основанных на теории непрерывных систем управления. Обычно используют два подхода. Первый основан на синтезе непрерывного регулятора одним из известных методов с последующей реализацией в цифровой форме [2, 3]. Второй предполагает синтез цифрового регулятора методами, адаптированными к особенностям нелинейных систем [5]. При-

менение этих методов не учитывает в полной мере такие специфические особенности объекта управления (полупроводникового преобразователя), как дискретный характер функционирования. Поэтому известные типовые регуляторы непрерывного действия (пропорциональные, пропорционально-интегральные и т.п.) не могут обеспечить требуемые показатели качества автоматической системы управления преобразователями напряжения в широком диапазоне изменения задающих и возмущающих воздействий.

Использование микропроцессорного управления позволяет по-иному рассматривать многие проблемы синтеза систем управления преобразователями электрической энергии, дает возможность реализовать сложные законы управления на новых принципах [4].

В настоящей статье рассматривается принцип управления преобразователями напряжения АСЭ на основе метода линейной разностной коррекции, позволяющий повысить быстродействие и устойчивость системы.

В общем случае дискретная система может быть описана системой нелинейных разностных уравнений k -го порядка: [2]

$$\begin{cases} F_1(x_{n+1}, x_n, y_{n+1}, y_n, \dots, z_{n+1}, z_n) = 0; \\ F_2(x_{n+1}, x_n, y_{n+1}, y_n, \dots, z_{n+1}, z_n) = 0; \\ \dots \\ F_k(x_{n+1}, x_n, y_{n+1}, y_n, \dots, z_{n+1}, z_n) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где F_1, F_2, \dots, F_k – нелинейные дифференцируемые по своим аргументам функции; x, y, \dots, z – дискретные переменные; $n = 0, 1, 2, \dots$ – натуральные числа.

Статический (установившийся) режим работы системы характеризуется равенствами

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПА УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛИНЕЙНОЙ РАЗНОСТНОЙ КОРРЕКЦИИ

Б.Ф. Дмитриев, проф., А.Н. Калмыков, канд. техн. наук, доцент, С.М. Скворень, канд. техн. наук, СПбГМТУ

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n = x^0; \\ y_{n+1} &= y_n = y^0; \\ &\dots \\ z_{n+1} &= z_n = z^0. \end{aligned} \quad (2)$$

При малых отклонениях от состояния равновесия вместо системы уравнений (1) можно рассматривать систему линеаризованных уравнений [2]:

$$\begin{cases} a_{11}\delta x_{n+1} + a_{01}\delta x_n + b_{11}\delta y_{n+1} + b_{01}\delta y_n + \dots + c_{11}\delta z_{n+1} + c_{01}\delta z_n = 0; \\ a_{12}\delta x_{n+1} + a_{02}\delta x_n + b_{12}\delta y_{n+1} + b_{02}\delta y_n + \dots + c_{12}\delta z_{n+1} + c_{02}\delta z_n = 0; \\ \dots \\ a_{1k}\delta x_{n+1} + a_{0k}\delta x_n + b_{1k}\delta y_{n+1} + b_{0k}\delta y_n + \dots + c_{1k}\delta z_{n+1} + c_{0k}\delta z_n = 0, \end{cases}$$

где $\delta x_{n+i} = x_{n+i} - x^0$, $\delta y_{n+i} = y_{n+i} - y^0$, $\delta z_{n+i} = z_{n+i} - z^0$ – малые отклонения переменных от своих установившихся значений; $a_{ij}, b_{ij}, \dots, c_{ij}$ – коэффициенты линеаризации:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= \left. \frac{\partial F_j}{\partial x_{n+i}} \right|_{x_{n+i}=x^0}, \quad b_{ij} = \left. \frac{\partial F_j}{\partial y_{n+i}} \right|_{y_{n+i}=y^0}, \quad \dots, \\ c_{ij} &= \left. \frac{\partial F_j}{\partial z_{n+i}} \right|_{z_{n+i}=z^0}; \quad i = 0, 1; \quad j = 1 \dots k. \end{aligned} \quad (4)$$

Систему (3) можно записать в нормальной матричной форме

$$\mathbf{V}[n+1] = \mathbf{A}\mathbf{V}[n], \quad (5)$$

где $\mathbf{V} - [k \times 1]$ – вектор переменных системы; \mathbf{A} – матрица постоянных коэффициентов, имеющая размерность $[k \times k]$.

Условия устойчивости системы (5) определяются корнями ее характеристического уравнения [2]:

$$\det(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{E}) = 0,$$

где \mathbf{E} – единичная матрица размерности k ; λ – корни характеристического уравнения.

Если хотя бы один корень характеристического уравнения не удовлетворяет условию $|\lambda_i| < 1$, $i = 1, 2, \dots, k$, то решение системы разностных уравнений x_n, y_n, \dots, z_n не сходится к значениям x^0, y^0, \dots, z^0 . В этом случае система уравнений и положение равновесия называются неустойчивыми [5]. Неустойчива будет и соответствующая ей физическая система.

Другое важное свойство заключается в том, что линейная импульсная система будет обладать максимальным быстродействием, если все коэффициенты при переменной l_i равны нулю [3], т.е. выполняются условия конечной длительности.

Метод линейной разностной коррекции заключается в изменении свойств регулятора таким образом, что при внешних возмущениях замкнутая система остается устойчивой, и переходный процесс завершается за минимальное число тактов. При этом положение равновесия (2) остается неизменным, но изменяются корни l_i так, чтобы выполнялись условия устойчивости. Учитывая нелинейный характер системы (1), коррекция также должна быть нелинейной, однако, в этом случае трудно указать правило выбора нелинейной корректирующей функции. Кроме того, нелинейная коррекция серьезно усложняет практическую реализацию системы управления.

Таким образом, суть метода состоит в локализации корней линеаризованной системы (3) внутри области устойчивости, при этом корни системы (1) не изменяются.

Применяя линейную коррекцию, уравнение (5) запишем в виде

$$\mathbf{V}[n+1] = \mathbf{A}\mathbf{V}[n] + \mathbf{H}\Delta\mathbf{V}[n], \quad (6)$$

где \mathbf{H} – матрица корректирующих коэффициентов, имеющая размерность $[k \times k]$; $\Delta\mathbf{V}$ – разностный вектор-столбец размерности k .

Вид матрицы \mathbf{H} определяется свойствами корректирующего устройства. Подразумевается, что это устройство вводится как дополнение к регулятору системы управления. Следовательно, с математической точки зрения, коррекции подлежат коэффициенты разностного уравнения, соответствующего уравнению системы управления. Поэтому матрица \mathbf{H} состоит из k элементов, расположенных в первой строке, остальные элементы нулевые:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & \dots & h_k \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ & & \dots & \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Группируя переменные системы (6), снова приходим к нормальной форме:

$$\mathbf{V}[n+1] = \mathbf{A}^*\mathbf{V}[n], \quad (8)$$

где \mathbf{A}^* – преобразованная матрица, элементы которой определяются коэффициентами (4) и коэффициентами коррекции h .

Запишем характеристическое уравнение системы (8) в виде

$$\det(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{E}) = 1^k + g_1\lambda^{k-1} + g_2\lambda^{k-2} + \dots + g_k, \quad (9)$$

где \mathbf{E} – единичная матрица; g_1, g_2, \dots, g_k – коэффициенты, зависящие от элементов преобразованной матрицы \mathbf{A}^* и корректирующей матрицы (7).

Приравнявая коэффициенты g_1, g_2, \dots, g_k нулю, получаем систему линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов h :

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} g_1(h_1, h_2, \dots, h_k) \\ g_2(h_1, h_2, \dots, h_k) \\ \dots \\ g_k(h_1, h_2, \dots, h_k) \end{bmatrix} = 0, \quad (10)$$

решая которую, находим корректирующие коэффициенты матрицы \mathbf{H} .

В окрестности положения равновесия полученные коэффициенты позволяют скорректировать работу системы (1), обеспечивая её устойчивость и быстродействие близкое к максимальному. Для этого нелинейное разностное уравнение регулятора дополняется суммой произведений корректирующих коэффициентов на первые разности переменных системы (после переноса в левую часть произведения меняют знак):

$$\begin{cases} F_1(x_{n+1}, x_n) - h_1(x_{n+1} - x_n) - h_2(y_{n+1} - y_n) - \dots \\ - h_k(z_{n+1} - z_n) = 0; \\ F_2(y_{n+1}, y_n) = 0; \\ \dots \\ F_k(z_{n+1}, z_n) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

В качестве примера применения метода разностной коррекции рассмотрим систему нелинейных разностных уравнений второго порядка [5]:

$$\begin{cases} x_{n+1} - 0,5x_n + \cos(y_n) - 1 = 0; \\ y_{n+1} + 0,5y_n - x_n^2 - x_n = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Соответствующая ей линеаризованная система имеет вид

$$\begin{cases} x_{n+1} = 0,5x_n; \\ y_{n+1} = x_n - 0,5y_n. \end{cases}$$

В соответствии с (6) запишем

$$\begin{cases} x_{n+1} = 0,5x_n + h_1(x_{n+1} - x_n) + h_2(y_{n+1} - y_n); \\ y_{n+1} = x_n - 0,5y_n. \end{cases}$$

После подстановки y_{n+1} в первое уравнение этой системы получаем систему линейных уравнений в форме (8):

$$\begin{cases} x_{n+1} = 0,5x_n + h_1(x_{n+1} - x_n) + h_2(y_{n+1} - y_n); \\ y_{n+1} = x_n - 0,5y_n. \end{cases}$$

Характеристическое уравнение системы в соответствии с (9):

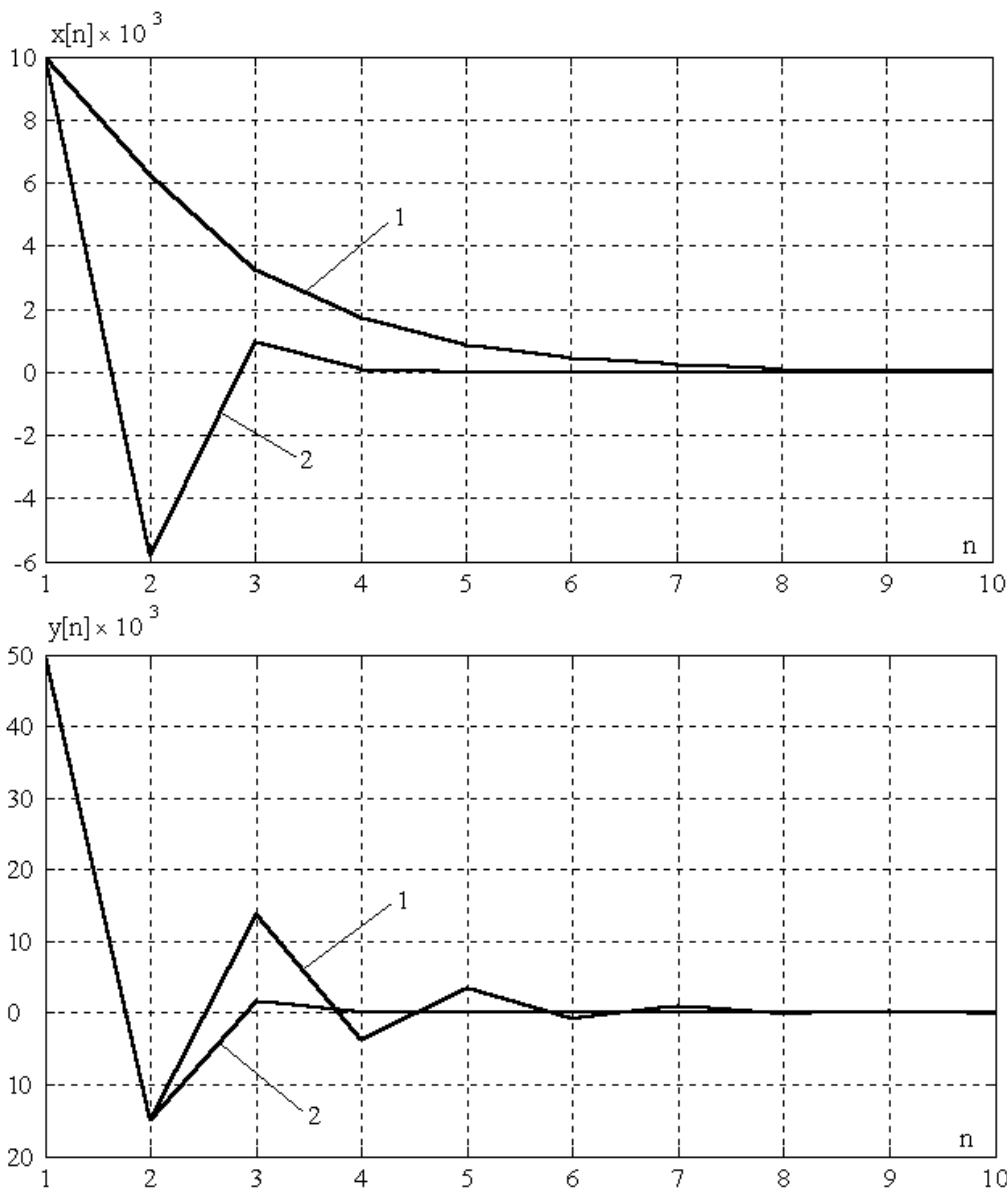


Рис. Эволюция изменения переменных $x[n]$, $y[n]$ для исходной (1) и скорректированной (2) нелинейных систем

$$\lambda^2 - \frac{0,5h_1 - h_2}{1 + h_1} \lambda - \frac{0,5h_1 + h_2 + 0,25}{1 + h_1} = 0,$$

из которого в соответствии с (10) получаем систему линейных уравнений относительно коэффициентов h_1 и h_2 :

$$\begin{cases} \frac{0,5h_1 - h_2}{1 + h_1} = 0; \\ \frac{0,5h_1 + h_2 + 0,25}{1 + h_1} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Решая систему уравнений (13), находим корректирующие коэффициенты:

$$h_1 = 0,25; \quad h_2 = 0,125.$$

Тогда с учетом (11) скорректированная система примет следующий вид:

$$\begin{cases} x_{n+1} - 0,5x_n + \cos(y_n) - 1 - 0,25(x_{n+1} - x_n) - 0,125(y_{n+1} - y_n) = 0; \\ y_{n+1} + 0,5y_n - x_n^2 - x_n = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Оценка эффективности применения метода линейной разностной коррекции выполнена в системе компьютерной математики MATLAB 6.5, для чего была разработана программа решения системы нелинейных разностных уравнений с использованием встроенной функции *fsolve*. На рисунке приведены графики изменения переменных исходной (12) и скорректированной (14) систем в зависимости от числа тактов после введения возмущения, обуславливающие начальные условия $x[0] = 0,01$ и $y[0] = 0,05$. Цифрами «1» и «2» обозначены графики переменных $x[n]$, $y[n]$ для исходной и скорректированной систем соответственно.

Видно, что применение метода линейной разностной коррекции обеспечивает сходимость решения системы разностных уравнений за минимальное число тактов, равное ее порядку.

Практическая реализация данного метода возможна на базе быстродействующих микропроцессорных устройств, выполняющих функции пересчета корректирующих коэффициентов на каждом такте

работы системы управления преобразователями электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихоманов А.М., Дмитриев Б.Ф., Сытник Г.В. Частотный подход к анализу устойчивости и построению характеристического полинома линейных дискретных систем, описанных в области пространства состояний // Электромеханика. – 1999. – № 3. – С. 96–97.
2. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
3. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – 724 с.
4. Ефимов А.А., Шрейнер Р.Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока / Под общ. ред. Р.Т. Шрейнера. – Новоуральск: Изд-во НГТИ, 2001. 250 с.
5. Видаль П. Нелинейные импульсные системы. – М.: Энергия, 1974. – 336 с. ■

Рецензент:

А.С. Корнев, д-р техн. наук, проф.

Одной из важнейших задач, стоящих перед морским и речным транспортом Российской Федерации, является улучшение эксплуатационных свойств судов, в том числе за счет повышения долговечности и экономичности судовых энергетических установок (СЭУ). Значимость этой задачи постоянно возрастает из-за конкуренции с другими видами перевозок.

Энергосбережение СЭУ во многом зависит от явлений трения и, как следствие, изнашивания, происходящих в главных и вспомогательных двигателях, подшипниках валопровода, судовых передачах, компрессорах, вентиляторах, насосах, обслуживающих энергетическую установку и общесудовые системы, палубных и грузовых механизмах, рулевых устройствах. Изнашивание приводит к нарушению геометрии деталей трения, изменению точности их взаимного расположения и перемещения. При этом возникают такие явления, как заклинивания, удары, вибрации, приводящие к поломкам деталей и механизмов. Изнашивание деталей и механизмов увеличивает потери энергии, перегрев механизмов, снижает производительность, повышает расход топлива.

Трение и изнашивание взаимообусловлены: трение приводит к изнашиванию, а изнашивание – к увеличению трения. С изнашиванием деталей увеличиваются затраты энергетических ресурсов на эксплуатацию СЭУ и расходы на текущий и капитальный ремонт.

Таким образом, можно сформулировать основные задачи энергосбережения СЭУ, которые заключаются в получении максимальной полезной работы при минимальных затратах энергетических ресурсов и в увеличении ее долговечности за счет снижения трения и повышения износостойкости трущихся поверхностей.

В качестве основных мероприятий по существенному повышению эксплуатационных свойств СЭУ [1] можно выделить следующие:

- 1) совершенствование конструкции машин и механизмов и оптимальный подбор материалов пар трения;
- 2) использование антифрикционных материалов с противозносными свойствами;
- 3) применение технологий, улучшающих качество поверхностей трения;
- 4) разработка присадок к смазочным материалам;
- 5) создание восстанавливающих антифрикционных препаратов.

Фактически существует только несколько правил, способствующих улучшению конструкции узлов трения – это правила несовпадения твердости вала и подшипника скольжения, максимального различия размеров трущихся поверхностей и снижения концентрации контактных напряжений.

Правило несовпадения твердости

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Г.И. Шаров, д-р техн. наук, проф.,
А.В. Самсонов, канд. техн. наук, СПбГМТУ

вала и подшипника скольжения заключается в том, что материал вала должен быть тверже материала подшипника. В такой паре поверхность вала практически не изнашивается, поскольку является высокопрочной и твердой, а поверхность вкладыша пластична и не боится деформаций.

Правило максимального различия размеров структурных составляющих материала основано на том, что в прямой паре вал–втулка структурные элементы вала из стали имеют размеры в долях микрометра 10^{-6} мм, а втулки из бронзы – в 10^{-4} мм. При подобном подборе разнородность свойств и размеров структуры трущихся поверхностей предотвращает и снижает действие схватывания и задира.

Правило снижения концентрации контактных напряжений предусматривает уменьшение влияния деформаций узлов трения за счет повышения точности и жесткости деталей и применения задаваемой податливости.

Одним из методов борьбы с износом является метод избирательного переноса при трении, или «эффект безыносности», открытый И.В. Крагельским и Д.Н. Гаркуновым [2]. Явление избирательного переноса определяют как вид трибологического взаимодействия, характеризующийся в основном молекулярной составляющей сил трения. Для него наиболее характерно образование защитной пленки, в которой реализуется особый механизм деформации, протекающий без накопления дефектов, свойственных усталостным процессам. Эта пленка повышает износостойкость поверхностей на два порядка и снижает силы трения на один порядок по сравнению с аналогичными условиями трения при граничной смазке. К недостаткам метода избирательного переноса следует отнести невозможность его использования в условиях эксплуатации.

Конструктивные методы повышения износостойкости широко применяются на стадии проектирования механизма, и именно они определяют его долговечность. К недостаткам конструктивных методов следует отнести экономические аспекты и ограничения по массогабаритным показателям изделий.

Выбор антифрикционных материалов узлов трения представляет собой базовую проблему при стремлении к высоким эксплуатационным характеристикам. При выборе материалов узлов трения должна учитываться их совместимость и в особенности исключение схватывания и последующего задира, что связано с химическим сродством, близостью строения и значений параметров кристаллических решеток. В настоящее время применяют прямые и косвенные методы оценки совместимости материалов узлов трения [3]. В обоих случаях сначала проверяется, не обладают ли материалы совместимостью кристаллических решеток. При прямых методах проводятся испытания материала на машинах трения с целью определения границ применимости исследуемой пары. Косвенные методы основаны на определении параметров микрогеометрии, микроструктуры поверхностных слоев, физико-механических свойств, их изменения в процессе трения в целях прогнозирования совместимости. Антифрикционные сплавы на медной, цинковой, алюминиевой и оловянно-свинцовой основах, антифрикционные чугуны с графитными включениями применяются в механизмах СЭУ. Одним из направлений получения антифрикционных материалов является создание порошковых антифрикционных композитов на основе меди, железа и бронзы [4]. Активно используются металлокерамические материалы. Расширяется также область применения пористых спеченных подшипников [5]. Однако, несмотря на очевидную выгоду использования антифрикционных материалов, возможность их применения ограничивается этапом проектирования механизма. Несомненно, при выборе материалов важны экономические соображения. Поэтому материалы для узлов трения необходимо создавать из доступных недефицитных компонентов с использованием недорогих технологий.

Технологические методы повышения износостойкости поверхностей деталей узлов трения и улучшения их антифрикционных свойств широко применяются в судостроении. При этом следует отметить, что часть их используется при изгото-

товлении изделий, а часть – при ремонтно-восстановительных работах. Их подразделяют на несколько групп: химико-термические, объемная и поверхностная закалка, электрохимическая, химическая и механотермическая обработка, наплавка износостойких слоев, напыление порошковых покрытий, ионно-плазменная обработка, плакирование, механическое упрочнение [6].

Целью химико-термической обработки (ХТО) является создание на стальной поверхности тонкого легированного слоя за счет диффузии извне легирующих элементов. К ХТО относятся цементирование, азотирование, борирование, насыщение хромом, никелем, цианирование, борохромирование, карбоборирование.

Поверхностная закалка сопровождается ХТО, но может использоваться и самостоятельно. В самостоятельном виде она применяется для образования твердого износостойкого слоя на поверхности деталей из средне- и высокоуглеродных сталей и некоторых чугунов. Ей предшествует объемная термообработка: нормализация или объемная закалка и высокий отпуск. Она состоит из двух операций: нагрева поверхностного слоя и быстрого его охлаждения. По способу нагрева различают следующие методы поверхностной закалки: высокочастотный, контактный, плазменный (при нагреве в электролите), лазерный [7].

Электрохимические покрытия широко используются в современной технологии. Их наносят на поверхности методом электролиза. Чаще всего применяются электролитическое хромирование, серебрение, нанесение покрытия из олова, свинца, цинка, индия и сплавов легкоплавких металлов [8].

Метод химической обработки предназначен для создания защитных слоев за счет химических реакций: никель-фосфорные покрытия, получаемые за счет выделения металлов из раствора их солей, сульфидирование, заключающееся в обогащении поверхностных слоев стальных деталей серой [9].

Создание защитных пленок на поверхностях ответственных деталей происходит за счет химического воздействия газовой среды при определенных значениях температуры и давления. Примером такого метода является создание на поверхности прочно связанного с основой слоя дисульфида молибдена [10].

Метод механотермического формирования износостойких покрытий заключается в том, что защитный слой кристаллизуется из расплава при действии нагрузки [11].

Наплавка износостойких слоев – один из распространенных способов восстановления изношенных деталей механизмов. Имеется большое число методов наплавки, которые различаются источниками тепловой энергии, способами защиты наплавляемого металла, уровнем автоматизации [12].

Метод напыления покрытий из порошковых материалов является одним из способов создания износостойких слоев. Напыление также широко применяется для восстановления формы изношенных деталей [13].

В *методе ионно-плазменной обработки* наносимый в условиях вакуума металл превращается в плазму, а затем в атмосфере реакционного или инертного газа оседает на поверхности детали [14].

Метод плакирования подразумевает создание толстослойных покрытий; применяется при изготовлении деталей или при восстановлении их формы после изнашивания [15].

В *методе механического упрочнения* поверхностей используется явление значительного роста предела текучести, а следовательно, и твердости материала, при высокой степени пластической деформации – деформационное упрочнение. Метод реализуется путем обкатывания поверхностей роликами или шариками, выглаживания сферическими алмазными наконечниками, обработки струей из мелких стальных или стеклянных шариков (дробеструивание) [16].

Технологические методы повышения износостойкости механизмов СЭУ имеют следующие недостатки:

- 1) требуют вывода машин и механизмов СЭУ из эксплуатации;
- 2) требуют использования специального дорогостоящего оборудования и выполнения специальных трудоемких технологических процедур;
- 3) являются дорогостоящими;
- 4) требуют высокой квалификации от исполнителей.

При эксплуатации машин и механизмов СЭУ происходят химические и физические изменения состава и свойств смазочных масел, что приводит к повышенному износу узлов трения и к дополнительным энергопотерям. Для предотвращения подобных изменений в смазочные масла вводят специальные органические вещества и их композиции – присадки и твердые нерастворимые вещества – антифрикционные добавки. По химическому составу присадки представляют собой производные различных органических соединений – алкилфенолов, аминов, дитиофосфорных, дитиокарбаминных, салициловых кислот и ряда других веществ. Молекулы присадок состоят из одной или нескольких полярных и одной или нескольких неполярных групп. Полярные группы обуславливают адсорбцию молекул поверхностно-активных присадок на границе между маслом и металлом. Неполярные группы (алкильные радикалы, нафтеновые или ароматические кольца и их сочетания) определяют растворимость присадок в маслах. Присадки к маслам можно разделить на следующие типы [17]: вязкостные; антифрикционные; противозадирные; депрес-

сорные; приработочные; антиокислительные; антикоррозионные; моющие; дисперсанты; противопенные.

Присадки к маслам влияют на работу трущихся поверхностей механизмов СЭУ. Однако износ поверхностей трения вносит индивидуальные отличия в работу узлов трения и присадки к маслам не решают проблему энергосбережения в условиях эксплуатации СЭУ.

Эффективным способом повышения износостойкости и снижения коэффициента трения является применение восстанавливающих антифрикционных препаратов (ВАФП) [18], основной эффект от применения которых заключается в восстановлении геометрии трущихся деталей и регулировании зазоров в сопряжениях трения. При этом также наблюдается изменение свойств трущихся поверхностей: шероховатости, коэффициента трения, износа, твердости. В результате происходит снижение механических потерь, повышение топливной экономичности двигателей, уменьшение потребления электроэнергии вспомогательными механизмами.

ВАФП разделяют по структуре и свойствам активных компонентов на следующие:

- 1) ретемализанты – составы, содержащие мелкодисперсные порошки, соединения или ионы мягких металлов (медь, бронза, кадмий, олово и др.). Эти соединения в зоне трения заполняют шероховатости микронеровностей и создают плакирующий слой, восстанавливающий поверхность. Они имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что поверхностная твердость и износостойкость плакирующего слоя существенно ниже, чем у сопряженных деталей узлов трения [17];
- 2) тефлоносодержащие антифрикционные препараты, используются в зонах узлов трения со сравнительно низкими температурами. Механизм сцепления тефлонового покрытия с поверхностью детали носит механический характер, что и определяет его нестойкость. Для эффективной работы данного типа ВАФП необходимо его постоянное присутствие в масле [17];
- 3) полимерные антифрикционные препараты повышают мощность двигателя, снижают расход топлива и повышают давление масла. Данный эффект наблюдается до тех пор пока на поверхности трения сохраняется полимерный защитный слой. Основным недостатком использования этого препарата является то, что приемник масляного насоса и масляные каналы зарастают полимерами [17];
- 4) слоистые модификаторы трения – это препараты, содержащие сернистые соединения молибдена, вольфрама и тантала. Механизм их работы состоит в формировании на поверхностях трения слоистого поверхностного слоя с низким коэффициентом трения. Применение слоистых модификаторов приводит к коррозии газораспускного тракта двигателя [17];

5) кондиционеры металлов, т.е. препараты, построенные на базе хлорпарафиновых соединений. Масло растворяет металлические продукты износа, образуя соли. Эти соли попадают в зону трения и осаждаются с частичным выделением чистого металла. На поверхности трения образуется защитная пленка, обладающая пластическими, упругими и антифрикционными свойствами. К недостаткам кондиционеров металла следует отнести, что они являются высокотоксичными [17];

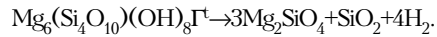
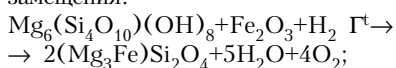
6) мелкодисперсные композиции на базе искусственных алмазов модифицируют трение скольжения в трение качения. Роль шарикоподшипников выполняют ультрадисперсные алмазы. При этом наблюдается снижение мощности трения в 3–5 раз. Наличие твердых включений может привести к внедрению частиц в поверхностный слой детали и к образованию своеобразной терки, которая срывает гидродинамический режим трения [17];

7) эпиламные и металлоорганические антифрикционные препараты формируют защитные слои поверхностей трения по механизму химсорбции. Эпиламообразующие вещества – это поверхностно-активные соединения с содержанием фтора, молекулы которого выполняют роль своеобразного армирующего материала, повышающего поверхностную прочность деталей. Металлоорганические антифрикционные препараты в зоне трущихся узлов под воздействием поверхностно-активных веществ образуют соединения металлов, при котором реализуется химическая микрошлифовка поверхностей. Износостойкий антифрикционный слой в обоих случаях формируется на атомарном уровне, что и определяет его высокую прочность. К недостаткам данных препаратов следует отнести высокую стоимость и возможность их использования только в зонах высоких температур [17];

8) ремонтно-восстановительные составы получили широкое распространение [19, 20]. Преимуществами препаратов данной группы является универсальность, относительно невысокая стоимость, положительный опыт их применения в разных отраслях промышленности.

К недостаткам следует отнести случаи применения препарата, приводящие к ухудшению технико-экономических показателей и даже к выходу механизма из строя, что наблюдалось на практике [20]. Однако именно использование серпентинито-магниевого состава (СМС) представляется нам наиболее оптимальным для машин и механизмов СЭУ с целью решения проблемы энергосбережения [21].

Эффект СМС основан в создании металлосиликатного слоя на поверхностях трения, в основу образования которого положена энергетическая теория, в соответствии с ней происходят реакции замещения:



В процессе трения кристаллы Mg_2SiO_4 уплотняются и ориентируются в направлении относительного перемещения поверхностей трения, происходит рост их размеров, увеличивается твердость, и контакт трущихся поверхностей начинает осуществляться по металлосиликатной основе. Трение металлосиликатных поверхностей значительно уменьшается, локальные температуры трения снижаются, и рост металлосиликатной поверхности прекращается. Полученная металлосиликатная поверхность имеет одинаковый с основным металлом коэффициент линейного термического расширения, обладает высокой твердостью и свойствами диэлектрика. Коэффициент трения металлосиликатной поверхности составляет 0,03 – 0,07. При этом следует отметить, что если в штатных условиях машины и механизмы СЭУ выходят из строя по причине износа поверхностей, то после их обработки СМС, они начинают выходить из строя вследствие усталостных разрушений деталей. При этом срок безремонтной эксплуатации механизма становится практически равным сроку службы механизма.

Таким образом, благодаря использованию СМС можно получить следующие положительные эффекты:

1) не требуется применение антифрикционных материалов с повышенными противоизносными свойствами в машинах и механизмах СЭУ;

2) нет необходимости использовать технологии, улучшающие качество поверхностей трения двигателей, машин и механизмов СЭУ;

3) отпадает необходимость разработки присадок к смазочным материалам двигателей, машин и механизмов СЭУ;

4) принципиально меняются технология ремонта двигателей, машин и механизмов СЭУ и требуемые для ремонта производственные мощности судоремонтных мастерских и заводов;

5) уменьшается трение в машинах и механизмах СЭУ и повышается производительность.

В итоге повышается эффективность использования энергетических ресурсов при эксплуатации морских и речных судов, что и является одной из форм энергосбережения СЭУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения. Учебник для вузов. – Самара: Изд. СГТУ, 2000.
2. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения / Под ред. Д.Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1982. – 207 с.
3. Буше Н.А., Копытко В.В. Совместимость трущихся поверхностей. – М.: Наука, 1981. – 233 с.
4. Белый А.В., Карпенко Г.Д., Мышкин К.Н. Структура и методы фор-

- мирования износостойких поверхностных слоев. – М.: Машиностроение, 1991. – 208 с.
5. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. – Киев: Наукова думка, 1980. – 400 с.
6. Елизаветин М.А., Сателъ Л.А. Технологические способы повышения долговечности машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 438 с.
7. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. – М.: Машиностроение, 1985. – 495 с.
8. Трение, изнашивание и смазка: Справ. – В 2 кн. / Под ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1978.
9. Санин П.И., Шепелева Е.С., Мянник А.О., Клейменов Б.В. Химическая модификация поверхностей трения. – Сб. Новое о смазочных материалах. – М.: Химия, 1967, 60 с.
10. Крагельский И.В., Михин Н.М. Узлы трения машин. – М.: Машиностроение, 1984. – 279 с.
11. Кириенбаум В.Я. Механотермическое формирование поверхностей трения. – М.: Машиностроение, 1987. – 230 с.
12. Одицов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: Справ. – М.: Машиностроение, 1987. – 327 с.
13. Хайнике Г. Трибохимия / Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 584 с.
14. Шаров Г.И., Ерохин И.А., Осипенко Ю.В. Применения системы энергосбережения в поршневых ДВС – Тез. докл. на III Международ. симпозиуме по транспортной триботехнике «Повышение износостойкости и долговечности машин и механизмов на транспорте» СПб, СПбГПУ, 2005, с. 205–207.
15. Шаров Г.И., Ерохин И.А., Осипенко Ю.В. Улучшение эффективных и экологических показателей судового высокооборотного дизеля за счет системы энергосбережения. Мат-лы межотрасл. науч.-техн. конфер., посвященной 75-летию кафедры судовых ДВС и дизельных установок, СПбГМТУ, 2005.
16. Шаров Г.И., Ерохин И.А., Осипенко Ю.В. Обоснование применения серпентинито-магниевого состава (СМС) в узлах трения судовых ДВС. – Мат-лы межотрасл. науч.-техн. конфер., посвященной 75-летию кафедры судовых ДВС и дизельных установок, СПбГМТУ, СПбГМТУ, 2005.
17. Шаров Г.И., Румб В.К., Самсонов А.В. Снижение трения в цилиндропоршневой группе и кривошипношатунном механизме двигателей внутреннего сгорания за счет применения системы энергосбережения // Морской вестник. – 2007. – № 1. – С. 38–40. ■

Процесс транспортировки вертолета по палубе корабля описан системой дифференциальных уравнений, определяющих параметры рассматриваемой механической системы [1].

Соответствующий алгоритм расчета, разработанный на основе использования приведенных в [1] зависимостей, приведен ниже:

$$F_{тяги} = F_{тяги0} - ES_{троса} \ln\left(\frac{L_{тяги0}}{L_{тяги}}\right) - ES_{троса} \frac{V_{b1}R}{L_{тяги}} h; \quad (1)$$

$$F_{торможения} = F_{торможения0} + ES_{троса} \ln\left(\frac{L_{тормозящего}}{L_{тормозящего0}}\right) - ES_{троса} \frac{V_{b2}R}{L_{тормозящего0}} h, \quad (2)$$

$$F_{трения} = F_{трения} \frac{V_h |V_h|}{0,006561}, \quad (3)$$

где $F_{тяги0}$ – начальная сила тяги, Н; $F_{торможения0}$ – начальная сила торможения, Н; $S_{троса}$ – площадь сечения троса, мм²; $L_{тяги0}$ – начальная длина тянущего троса, м; $L_{тормозящего0}$ – начальная длина тормозящего троса, м; $L_{тяги}$ – длина тянущего троса в следующий момент времени, м; $L_{тормозящего}$ – длина тормозящего троса в следующий момент времени, м; R – радиус барабана лебедки, м; V_{b1} – скорость наматывания троса на барабан i -й лебедки, м/с; E – модуль упругости троса лебедки; h – шаг интегрирования, с.

Скорость движения вертолета определяется соотношением:

$$V_h = V_{h0} - \frac{F_{тяги0} - F_{торможения0} - F_{трения}}{m} h, \quad (4)$$

где m – масса вертолета, кг; V_{h0} – скорость движения вертолета на предыдущем шаге, м/с. Длины тросов при этом изменяются по зависимостям:

$$L_{тянущего} = L_{тянущего0} + V_h h; \\ L_{тормозящего} = L_{тормозящего0} - V_h h. \quad (5)$$

Тянущие моменты на лебедках вычисляются по формулам:

$$M_1 = RF_{тяги0}; \quad (6)$$

$$M_2 = RF_{торможения0},$$

а движущие моменты

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ТРАНСПОРТИРОВКИ ВЕРТОЛЕТА НА КОРАБЕЛЬНОЙ ПАЛУБЕ

Д.В. Суслов, гл. инженер ЗАО ЦНИИ СМ

$$Md_1 = Rd_1 Kd;$$

$$\begin{cases} Md_2 = Rd_2 Kd; \\ Md_2 = Rd_2 Kd \frac{F_{торможения}}{F_{торможения0}} \frac{F_{торможения}}{F_{торможения0}} \end{cases} \quad \text{при } t > 0, \quad (7)$$

где Kd – коэффициент движущего момента; Rd_i – разность давлений в i -м гидромоторе;

$$Kd = \frac{M_1}{Rd_1}. \quad (8)$$

Скорости наматывания троса на барабаны

$$V_{b_i} = V_{b_{i0}} + h \frac{Md_i - M_i}{J_1}, \quad (9)$$

где J_1 – момент инерции лебедки; $J_1 = M_i R R$.

$$(10)$$

Здесь M_i – масса лебедки.

Углы наматывания троса на барабаны

$$\alpha_i = \alpha_{i0} + h \frac{V_{b_i} + V_{b_{i0}}}{2}. \quad (11)$$

Начальные условия выбираются следующим образом:

1. Задаются начальные силы тяги и трения $F_{тяги0}$, $F_{трения0}$. В состоянии покоя сила торможения принимается равной силе тяги.

2. В состоянии покоя разности давлений в гидромоторах принимаются одинаковыми, вращение лебедок отсутствует.

3. Для начала транспортировки на нулевом шаге давление в гидромоторе 2 скачком уменьшается до значения Rd_{20} .

4. Вычисляются движущий и тянущий моменты и угловые скорости вращения барабанов

$$V_{b_i} = V_{b_{i0}} + h \frac{Md_i - M_i}{J_1}. \quad (12)$$

5. Начальные скорости наматывания каната на барабаны

$$\omega_1 = -V_{b10} / R_1. \quad (13)$$

6. Начальная скорость вертолета принимается равной $V_{h0} = V_{b10}$ (14)

Последовательно вычисляются: скорости наматывания канатов → углы поворота барабанов → разность сил, действующих на вертолет → скорость перемещения вертолета → длины тянущего и тормозящего канатов → тянущая и тормозящая силы → сила трения вертолета при движении.

Расчет завершается, когда длина тянущего троса становится менее 0,5 м.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СТРУКТУРЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Математическая модель расчета параметров транспортировки вертолета по палубе корабля разработана в среде программирования Delphi-5, позволяющей создать функциональный и удобный для пользователя интерфейс. Программа состоит из трех форм:

- главной – на ней расположена панель управления, меню и компоненты, позволяющие в наглядном виде представлять результаты расчета на экране дисплея. Внешний вид главной формы представлен на рис. 1;
- формы коэффициентов масштабирования графиков, позволяющих

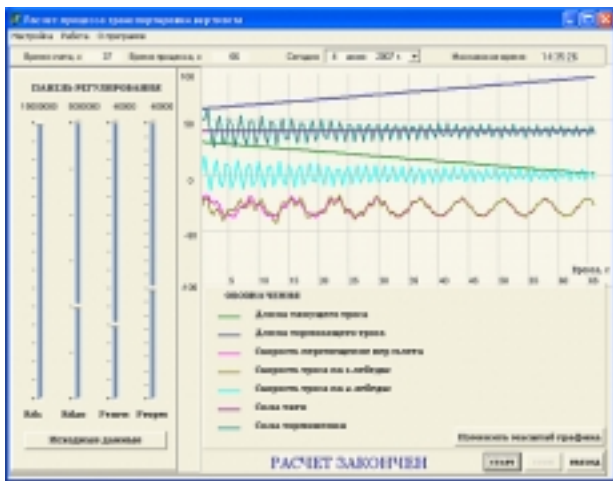


Рис. 1. Панель управления

пользователю получить более удобное представление графических материалов (рис. 2);

– формы необходимых для проведения расчета исходных данных, которые могут быть изменены пользователем (рис. 3).

Как было отмечено выше, расчет выполняется, до тех пор, пока длина тянущего троса превышает 0,5 м. При выполнении этого условия в нижней

части экрана появляется соответствующее сообщение.

ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ

Общий вид главной формы представлен на рис. 1. В верхней части пульта управления расположена информационная панель и главное меню приложения, в основном дублирующее функции кнопок, расположенных на пульте управления. Один из пунктов меню выводит информацию о программе. На информационной панели отображаются текущие время и дата, а также время расчетного динамического режима и общее время счета. Слева на «Панели Регулирования» находятся управляющие компоненты, позволяющие изменять значения разности давлений в 1 и 2 гидромоторах, сил тяги и торможения. Значения параметров определяются положением соответствующего ползунка. Разность давлений в первом гидромоторе может задаваться от 0 (крайнее нижнее положение) до 150 МПа, а во втором – 30–90 МПа. Диапазон изменения параметров для сил – от 0 до 150 000 Н и 10 000 Н соответственно. Ниже расположена кнопка «ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ», позволяющая перейти на форму исходных данных (рис. 3) и при необходимости откорректировать эти величины.

Расчет запускается нажатием кнопки «СТАРТ» на панели управления или при выборе пункта меню РАБОТА - СТАРТ. Если на этом этапе потребуются изменить исходные данные, то нужно, кликнув мышью на кнопке «СТОП», перейти на форму исходных данных. Выполнив корректировку, следует перезапустить приложение. Отметим, что при каждом клике мышью на кнопке «СТАРТ», расчет начинается сначала.

Исследование зависимости параметров

транспортировки вертолета от отдельных составляющих математической модели удобно проводить с помощью компонент, расположенных на панели регулирования. В процессе счета могут быть изменены разности давлений в гидромоторах Rd_1 и Rd_2 . Значения сил тяги $F_{тяги0}$ и торможения $F_{торможения0}$ следует задавать с помощью соответствующих компонент в начале расчета.

Для выхода из программы предусмотрена кнопка «Выход» или строка главного меню РАБОТА-ВЫХОД.

Справа в верхней части экрана выводятся кривые основных параметров движения через интервал времени, определяемый пользователем. Этот интервал вычисляется как произведение $H_{pg}H$, где H – выбранный шаг интегрирования, а H_{pg} – шаг вывода графики. При этом текущие значения параметров процесса умножаются на масштабные коэффициенты, заданные в таблице (рис. 2), переход к которой можно выполнить, кликнув мышью на кнопке «Изменить масштаб графика». Если некоторые кривые полностью или частично оказываются вне области графика, то соответствующие коэффициенты масштабирования следует изменить. Описание принятых обозначений параметров, выводимых на графики, расположено на пульте управления ниже.

Выводятся следующие величины:

- длина тянущего троса, м;
- длина тормозящего троса, м;
- скорость перемещения вертолета, м/с;
- скорость троса на 1 лебедке, м/с;
- скорость троса на второй лебедке, м/с;
- сила тяги, Н;
- сила торможения, Н.

Результаты расчета не только выводятся на экран, но и записываются в файл RESULT, который создается в текущей папке. Интервал вывода в файл определяется аналогично интервалу вывода графики. Необходимые величины, как и ранее, задаются в таблице исходных данных (см. рис. 3).

ТАБЛИЦА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Для ввода исходных данных необходимо перейти к форме, представленной на рис. 3. Для этого нужно кликнуть мышью на кнопке «исходные данные», расположенной на панели управления или выбрать меню «Настройка-Исходные данные». Первоначально в таблице содержатся значения, определенные разработчиком. Для изменения какого-либо параметра нужно подвести курсор мыши к соответ-

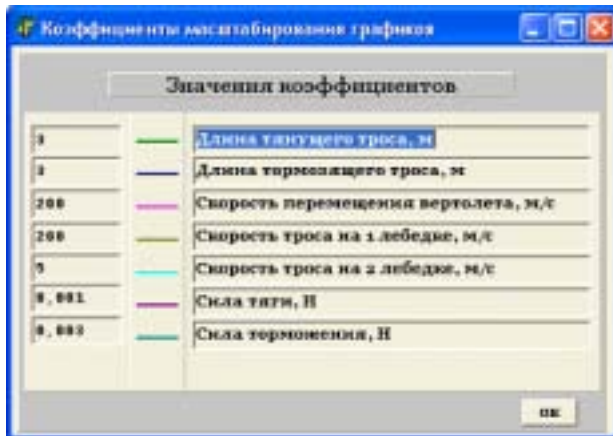


Рис. 2. Форма масштабирования графиков

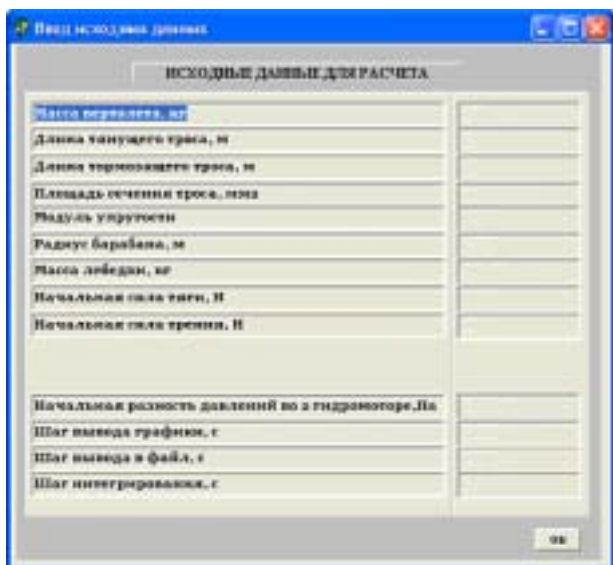


Рис. 3. Форма исходных данных

Описание основных идентификаторов

ствующему числу и заменить его значение. Следует отметить, что разделителем при вводе действительных чисел является запятая.

Для возврата на главную панель управления необходимо нажать на кнопку «ОК».

РАБОТА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРИ АВАРИЙНОЙ ОСТАНОВКЕ ПРОГРАММЫ

Если при работе программы по какой-либо причине возникает аварийная ситуация, то произойдет остановка программы. На экране появится окно, в котором будет дана информация о возникшей ошибке. Для продолжения работы в появившемся информационном окне, необходимо нажать на кнопку «ОК» и выбрать в зависимости от полученной информации один из следующих вариантов действий:

- изменить исходные данные и выполнить новый расчет;
- изменить значения регулируемых параметров и выполнить новый расчет;
- выйти из программы.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШАГА ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Обычно работоспособность программы проверяется путем сравнения результатов расчетов при различных шагах интегрирования. В некотором диапазоне изменения шага результаты расчета не должны зависеть от шага. Для определения этого диапазона выполнены расчеты при значениях шага интегрирования, равных 0,0000001; 0,000001; 0,00001; 0,0001; 0,001; 0,01; 0,02; 0,04 с; Начиная с шага 0,02 с, полученные результаты начинают изменяться, при шаге 0,04 с изменение становится заметным, а при шаге 0,05 с программа прекращает работу по аварийному останову. При шагах, меньших 0,0000001с, начинают влиять ошибки округления, которые увеличиваются по мере уменьшения шага.

На основании выполненных расчетных исследований диапазон допустимых значений шага составляет 0,0000001 – 0,01 с.

Обозначения основных идентификаторов приведены в таблице.

Серия выполненных расчетов и сравнение их результатов с натурными исследованиями подтвердили, что рассмотренная методика позволяет с достаточной точностью провести динамические исследования перемещения вертолета по палубе корабля, что несомненно позволит оптимизировать функционально-конструктивные пара-

метры системы транспортировки вертолета

ЛИТЕРАТУРА

1. Сулов Д.В. К вопросу исследования динамики устройства транспортировки вертолета на корабельной палубе // Морской вестник. – 2007. – №3.
2. Бородин Ю.Л., Роцанский В.И. О теоретических моделях динамического исследования судовых ка-

натных дорог // Вопросы судостроения. – Сер.: «Технология и организация производства судового машиностроения». – 1981. – № 26.

3. Кулеш Ю.Н., Роцанский В.И. Применение метода случайного баланса при исследовании динамических свойств несущей системы судовой канатной дороги // Вопросы судостроения. – Сер.: «Технология и организация производства судового машиностроения». – 1981. – № 25. ■

Идентификатор	Обозначение	Наименование	Размерность
1	2	3	4
Mas	m	Масса вертолета	кг
Ltan	$L_{\text{тяги}}$	Длина тянущего троса	м
Ltorm	$L_{\text{тормозящего}}$	Длина тормозящего троса	м
St	$S_{\text{троса}}$	Площадь сечения каната	мм ²
E	E	Модуль упругости	
R	R	Радиус барабанов	м
w1, w2	w_i	Угловая скорость i -го барабана	м/с
Ml	M_l	Масса лебедки	кг
Jl	J_l	Момент инерции лебедки	кг м ²
M1, M2	M_i	Тянущие моменты на i -й лебедке	кг м
Md1, Md2	Md_2	Движущие моменты на i -й лебедке	кг м
Ftorm	$F_{\text{торможения}}$	Сила торможения	Н
Ftan	$F_{\text{тяги}}$	Сила тяги	Н
Ftr	$F_{\text{трения}}$	Сила трения	Н
Rd1, Rd2	Rd_i	Разность давлений в i -м гидромоторе	Па
Kd	Kd	Коэффициент движущего момента	
Alfa, Beta	α_i	Углы наматывания троса на барабаны	
Vb1, Vb2	V_{bi}	Скорость наматывания троса на барабан i -й лебедки	м/с
Vsh	V_h	Скорость движения вертолета	м/с
Tb	t	Время процесса	с
H	h	Шаг интегрирования	с
Hpe		Шаг вывода в файл	с
Hpg		Шаг вывода графики	с
Work_logic		Признак работы программы	

При построении логико-математической модели (ЛММ) функционирования морских технических систем требование обеспечения безопасности эксплуатации становится одним из наиболее существенных ограничений, определяемых активным взаимодействием человека, техники и природы. Это ограничение учитывается подсистемой «безопасность» и описывается моделями конкретных комплексов реализации различных аспектов промышленной и военно-технической безопасности. Модель промышленной безопасности должна иметь существенные параметры, которые позволят обеспечить системный подход к определению опасностей (построение таксономии опасностей) и реализации мер промышленной и военно-технической безопасности [1,2].

Одним из важных элементов обеспечения промышленной безопасности морских технических (промышленных, транспортных) систем и морских систем вооружения являются подводные аппараты (ПА), которые, как правило, представляют собой суда малого водоизмещения и применяются в составе комплекса «судно-носитель-подводный аппарат» (СН-ПА). Судно-носитель выполняет не только транспортные функции по доставке ПА в район проведения исследований и работ, но и располагает всем необходимым оборудованием, системами и устройствами для нормального функционирования ПА, а именно [3,4,5]:

- для выполнения спуска и подъема ПА;
- для обеспечения подготовки ПА к очередным погружениям;
- для подготовки и проверки научной, навигационной и иной аппаратуры ПА;
- для слежения за ПА и связи с ним в процессе его нахождения вне борта СН;
- для размещения экипажа и обслуживания персонала ПА;
- для оборудования в навигационном отношении района предстоящей работы ПА.

Поэтому ПА нельзя расценивать только как некий груз, перевозимый судно-носителем. В связи с указанными причинами необходимо разработать оптимизационные проектировочные модели ПА, определив критерии их эффективности, основные ограничения, а также наиболее существенные факторы с учетом изменений экономических и политических доминант (в том числе таких, как резкое сокращение финансирования практически всего народнохозяйственного комплекса, изменение военно-морской доктрины, сложное финансовое и техническое состояние отечественного флота). В данном случае при выполнении проектного обоснования могут решаться

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДВОДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В.Ю. Дорофеев, зам. главного конструктора,
ФГУП «СПМ БМ «Малахит»»

внутренняя и внешняя задачи проектирования судов (по А.В. Бронникову). При этом целесообразно рассматривать эффективность и ограничения комплекса СН-ПА в соответствии с требованиями системного подхода при исследовании, т.е. учитывать взаимное влияние основных компонентов системы [6,7]. Из изложенного также следует, что необходимо рассматривать эффективность любого частного технического решения, принимаемого для подсистем и элементов рассматриваемого комплекса СН-ПА, с учетом его влияния на всю систему.

ПА является доминирующей подсистемой рассматриваемого комплекса и существенным образом влияет на водоизмещение (следовательно, и на стоимость постройки и эксплуатации) СН, на котором, как правило, оборудован ангар для хранения и обслуживания ПА, установлены спуско-подъемное (СПУ) и зарядные устройства, запасы и принадлежности для обслуживания аппарата [6]. При оценке эффективности СН-ПА необходимо определить:

- 1) водоизмещение ПА;
- 2) массу и габариты вспомогательного оборудования для обслуживания ПА при принятой схеме его обслуживания на борту СН (для каждого типа аппарата);
- 3) площади и объемы помещений, необходимых непосредственно для базирования аппарата (ангар, помещение СПУ и т.д.);
- 4) водоизмещение СН;
- 5) водоизмещение СН;
- 6) стоимость проектирования, строительства и эксплуатации ПА;
- 7) производительность ПА и потребное количество аппаратов для выполнения определенных задач;
- 8) стоимость проектирования, строительства и эксплуатации СН и всего набора сил;

9) другие факторы, влияющие на эксплуатационные характеристики СН (номенклатура и площадь лабораторий, район плавания, скорость хода и т.п.);

10) критерии эффективности и ограничения ПА, СН и комплекса СН-ПА;

11) эффективность комплекса СН-ПА.

Конкретизируем составляющие предложенной схемы оптимизации. Для размещения ПА, обслуживающего оборудования, запасов и принадлежностей к нему необходимы соответствующие площади и объемы:

$$M_A = D_{ПА} + G + Q = \Phi_1(V_{ПА}); (1)$$

$$F_A = \Phi_2(M_A) = \Phi_2(V_{ПА}); (2)$$

$$V_A = \Phi_3(M_A) = \Phi_3(V_{ПА}); (3)$$

$$V_{СН} = \Phi_4(M_A; F_A; V_A; E) = [4(V_{ПА}; X)], (4)$$

где M_A – сумма масс $D_{ПА}$, $G_{СПУ}$, прочего оборудования, запасов и принадлежностей, необходимых для нормальной эксплуатации и обслуживания аппарата Q ; $V_{ПА}$ – водоизмещение подводного аппарата; F_A и V_A – площади и объемы (соответственно) помещений на СН, необходимых для базирования ПА на СН; $V_{СН}$ – водоизмещение СН, X – характеристики судна, не связанные прямо с ПА (скорость хода, дальность плавания, требования мореходности, управляемости; площади и объемы научно-исследовательских лабораторий и т.п.).

Для определения площадей F_A и объемов V_A имеет смысл воспользоваться зависимостями, рекомендованными в [9]:

$$F_A = \Phi_2(V_{ПА}) = 24,7(V_{ПА})^{2/3}; (5)$$

$$V_A = \Phi_3(V_{ПА}) = 28,6 V_{ПА}. (6)$$

Зависимость массы СПУ G от массы ПА $D_{ПА}$ можно определить по формуле

$$G = 4,06 D_{ПА}. (7)$$

Кроме перечисленных выше основных составляющих оборудования, принадлежностей и запасов, необходимых для нормальной эксплуатации ПА при

его базировании на СН, следует определить массы опорного устройства, подъемно-транспортных средств для перемещения ПА и его составных частей по судну (тележки, тельферы, киль-блоки), запасных частей и источников энергии, зарядных устройств и запасов топлива для зарядки аккумуляторных батарей (при их использовании в качестве источника энергии) и проч., а также занимаемые этим оборудовани-ем площади и объемы.

Значительный интерес представля-ет изучение влияния на элементы и эффективность рассматриваемого ком-плекса частных технических решений, принятых на ПА. Этот анализ должен выполняться с учетом того факта, что критерий эффективности частного реше-ния (подсистемы, элемента системы) не должен противоречить основному (глобальному) критерию эффективнос-ти системы и может служить ограниче-нием системы в целом [7].

Ниже предложена схема учета влия-ния характеристик источника энергии ПА на СН (по массе). В качестве ис-точника энергии ПА рассмотрены ак-кумуляторные батареи (АБ) или элект-рохимические генераторы (ЭХГ).

Для ПА с АБ на СН необходимо иметь запасные аккумуляторы (обычно дополнительный комплект АБ и отдель-ные аккумуляторы), средство для пере-мещения их по судну, генератор и за-рядное устройство, систему вентиляции и дожигаания водорода, запасы топлива и масла для работы генератора, дистил-лированную воду (или дистиллятор) и запас кислоты или щелочи для долива аккумуляторов, средства безопасности и т.п., а также соответствующие площади палуб и объемы помещений для их размеще-ния. Соотношения для определе-ния соответствующих площадей палуб и объемов помещений в настоящей ра-боте не рассмотрены.

Массу основных составляющих за-пасов и принадлежностей можно полу-чить по зависимостям, полученных в результате обработки данных из [10,11]:

$$Q_{ЗАБ} = q_{АБ} W_{ЗАБ}; \quad (8)$$

$$Q_{Г} = q_{Г} N_{Г}; \quad (9)$$

$$Q_{ТМ} = q_{ТМ} \eta_{W} N_{ГС} K_{ПА} t; \quad (10)$$

$$Q_{ЗБ} = Q_{ЗАБ} + Q_{Г} + Q_{ТМ} + Q_{П}, \quad (11)$$

где $Q_{ЗАБ}$, $Q_{Г}$, $Q_{ТМ}$, $Q_{П}$, $Q_{ЗБ}$ – массы за-пасных аккумуляторов и комплектов АБ, генераторов с зарядными устрой-ствами, топлива и масла для работы генератора, прочие неучтенные, суммар-ная масса; $q_{АБ}$, $q_{Г}$ – удельная масса АБ и генератора кг/кВт·ч и кг/кВт; $q_{ТМ}$ – удельный расход топлива и мас-ла генератором, кг/кВт; $W_{ЗАБ}$ – запас энергии (энергоёмкость) АБ, кВт·ч; $N_{Г}$ – мощность генератора с зарядным устройством, кВт; $N_{ГС}$ – средняя мощ-ность генератора, кВт; t – продолжи-тельность зарядки АБ (зависит от типа АБ), часы; $k_{М} = 1,05 - 1,15$ – коэффи-

циент морского запаса (с учетом необ-ходимых дозарядок АБ); η_{ω} – коэф-фициент полезного действия АБ (от-ношение энергии, поданной при зарядке, к снятой с АБ: для серебряно-цинко-вых и свинцово-кислотных АБ соот-ветственно 1,5 и 2,7.

Потребная мощность зарядного устройства для зарядки АБ энергоём-костью $W_{АБ}$ составит

$$N_{Г} = \eta_{N} W_{АБ} (\eta_{ЗУ} \cdot t)^{-1}, \quad (12)$$

где $\eta_{N} = N_{Г} / N_{ГС}$ – коэффициент, учи-тывающий увеличение мощности гене-ратора на первой ступени по сравне-нию со средней мощностью: для серебряно-цинковых и свинцово-кис-лотных АБ соответственно 1,6 и 3,7; $\eta_{ЗУ} = 0,85 - 0,90$ – коэффициент по-лезного действия зарядного устройства.

Количество запасных АБ и акку-муляторов определяется соотношением $W_{ЗАБ} = [K_{ПА} (n-1 + 1) W_{АБ} (kW)], (13)$ где $K_{ПА}$ – количество планируемых погрузений ПА за рейс СН (за опера-цию); n – количество рабочих циклов АБ; $[K_{ПА} (n-1 + 1)]$ – целая часть выражения, заключенного в скобках; $kW = 1,05 - 1,15$ – коэффициент, учи-тывающий запасные аккумуляторы.

Запасы топлива и масла, идущие на зарядку аккумуляторов, можно найти из выражения

$$Q_{ТМ} = \eta_{W} (\eta_{ЗУ})^{-1} q_{ТМ} W_{АБ} K_{ПА}. \quad (14)$$

Тогда с учетом формул (8) – (14)

$$Q_{ЗБ} = W_{А} \{q_{АБ} [K_{ПА} \cdot n^{-1} + 1] k_{W} + q_{Г} \eta_{N} \eta_{ЗУ} \cdot t. \quad (15)$$

В случае применения ЭХГ на ПА не-обходимо учитывать такие составляющие запаса, систем и устройств, как реагенты, блоки (или реакторы) ЭХГ (топливных элементов), транспортное средство для их доставки, хранилища реагентов, системы вентиляции и безопасности, некоторые дру-гие запасы, приборы, устройства.

Тогда масса запасов $Q_{ЗЭ}$, размеща-емых на СН для нормальной эксплуа-тации ПА с ЭХГ,

$$Q_{ЗЭ} = k_{М} q_{ЗЭ} W_{Э} K_{ПА}, \quad (16)$$

где $q_{ЗЭ}$ – удельный расход реагентов, кг/кВт·ч; $W_{Э}$ – запас энергии ЭХГ на ПА, кВт·ч; $K_{ПА}$ – см. формулу (13).

Таким образом, выше приведены основные зависимости для определения масс СН, связанных с базированием ПА.

Наиболее сложным при построении оптимизационной модели являет-ся определение критериев эффектив-ности, основных ограничений и фазовых переменных (основных фак-торов) системы в целом.

При построении оптимизационной ЛММ комплекса СН–ПА критериями эффективности в зависимости от решаемых задач могут служить различ-ные показатели в первую очередь эко-номического характера:

– стоимость проведения операции (экспедиции) C_{\circ} ;

– приведенная стоимость эксплуа-тации $C_{П}$;

– стоимость единицы выпол-ненной работы – обследованного (осмотренного) пути (объема) или об-следованной площади (производи-тельности) $P_{Р}$;

– предотвращенный ущерб от ава-рии Y и т.д.

Перечень задач, стоящих перед подсистемой обеспечения промышлен-ной безопасности морской технической системы, и варианты их возможного решения подводными техническими средствами, приведен в таблице.

Ряд перечисленных задач (мони-торинг окружающей среды, контроль доступа в акваторию стационарного объекта, контроль состояния (обследо-вание) подводных частей сооружений, поиск и идентификация затонувших объектов) могут выполнять надводные, аэрокосмические или наземные сред-ства. Сложность выбора одного вари-анта решения достаточно дорогостоя-щего из их общего значительно больше количества требует проведе-ния тщательного анализа комплекта моделей и каждой из них в отдельнос-ти, а также ограничений и основных факторов. Для этого следует постро-ить оптимизационные модели и решать задачу в виде многоуровневой иерар-хической системы. В этой системе на верхнем уровне должен быть исполь-зован основной критерий (целевая фун-кция), а на всех последующих уров-нях вместо основного критерия могут использоваться локальные критерии, не противоречащие основному [7]. Для промышленных технических комплек-сов и, по-видимому, для большинства военно-технических комплексов основ-ным критерием их систем промышлен-ной (военно-технической) безопаснос-ти является предотвращенный ущерб Y при основных ограничениях, эконо-мических и временных (соответствен-но стоимость: комплекса сил и средств $C_{К}$, проведения операции C_{\circ} , ликвида-ции последствий $C_{Л}$; продолжительно-сть подготовки системы $t_{П}$, выполне-ния операции t_{\circ} ; длительность послед-ствия $t_{Д}$) [1, 2]. Главное требо-вание к любому из критериев – дос-таточно четко прослеживаемая и не излишне усложненная связь с эконо-мическими показателями.

При авариях и чрезвычайных ситу-ациях можно выделить следующие виды убытка: технический $Y_{Т}$, общий Y_{\circ} и последствия $Y_{П}$. Технический убыток связан непосредственно с вос-становлением (или утратой уничтожен-ного) объекта. Общий убыток вклю-чает в себя также убыток от неполученной прибыли. Убыток пос-ледствия (или вторичных факторов чрезвычайной ситуации) связан с не-обходимостью ликвидации длительных послеаварийных последствий: восста-новления природной среды, лечения

Задачи подсистемы обеспечения промышленной безопасности

Задачи промышленной безопасности	СПС	НПА	ОПА	ВКВ
Контроль доступа в акваторию стационарного объекта (для предотвращения противоправных актов, столкновений с судами, айсбергами)	+	+	+	+
Предотвращение несанкционированного доступа	+	+	+	+
Предотвращение столкновений, навалов	+			
Мониторинг окружающей среды	+	+	+	+
Контроль состояния (обследование) подводных частей сооружений (трубопроводов, добычных комплексов, терминалов)	+	+	+	+
Поиск и идентификация затонувших объектов		+	+	+
Выполнение работ на подводных, в том числе затонувших объектах (ремонт, подъем, уничтожение)		+	+	+
Ликвидация аварий (разливов нефтепродуктов, тушение пожара подачей огнетушащей среды под зону горения)		+	+	+
Транспортирование водолазов		+	+	+
Спасение экипажей с затонувших подводных лодок, других подводных обитаемых средств		+	+	+

Примечание: СПС – стационарные подводные средства; НПА – необитаемые подводные аппараты; ОПА – обитаемые подводные аппараты; ВКВ – водолазные комплексы и водолазы

заболеваний, перешедших в хроническую форму и т.п.

При исследовании процессов формирования того или иного вида убытка целесообразно в качестве аргумента принимать показатель, связанный со временем и характеристическим параметром объекта (зоны аварии), а в качестве функции – показатель, связывающий убыток в денежном исчислении с тем же характеристическим параметром. Так, при анализе экономических последствий пожара на судне в качестве аргумента принимается относительная продолжительность пожара $t = t/V^{1/3}$, а функцией является параметр относительного убытка $y = Y/V$, где t и t – соответственно абсолютное и относительная продолжительность пожара; Y и y – соответственно абсолютный и относительный убыток, V – водоизмещение судна порожнем [1,2].

Предотвращенный убыток $Y_{\text{ПР}}$ является разностью между убытком, который сформировался при применении комплекта элементов (средств) предотвращения аварии $\{i\}$ подсистемы промышленной безопасности, по сравнению с комплектом $\{j\}$ этой же подсистемы.

Анализ априорной информации позволяет сделать выводы о характере зависимости того или иного вида убытка от времени [1,2,12]. В принципе, характер зависимости может быть описан следующими формулами:

$$Y_T = \exp\left(C \left| \frac{X-A}{X-B} \right| \right) \quad (17)$$

или

$$Y_T = \begin{cases} mx^a \\ cx^b + h \end{cases} \quad (\text{при } x \leq x_0); \quad (18)$$

$$Y_O = \frac{np}{dx^s}; \quad (19)$$

$$Y_{\text{II}} = -rx + n \quad (20)$$

или $Y_{\text{II}} = vx^z + q$, где $C, A, B, m, a, b, c, h, d, s, r, n, v, z, q$ – коэффициенты (положительные числа); x_0 – значение аргумента, в котором функция Y_T имеет точку перегиба.

Однако в ряде ситуаций целесообразнее принимать в качестве основного критерия эффективности, например, продолжительность выполнения операции T при проведении спасательных операций или вероятность выполнения операции по подъему затонувших объектов [2–5].

Полный анализ рассматриваемой проблемы является предметом дальнейших исследований, при этом следует учесть, что критерием эффективности необходимо принимать параметр, не противоречащий основному критерию функционирования морских технических систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любимов Е.В. Особенности учета энергоинформационных потоков при проектировании объектов морской техники с позиции обеспечения промышленной безопасности – Труды 4-й Международ. конф. по морским интеллектуальным технологиям «Моринтех-2001». – СПб., 2001, т. 2, с. 44–47.
2. Он же. Оценка эффективности противопожарной защиты проектируемого судна. – Тр. ЛКИ: Обос-

нование характеристик проектируемого судна. Л., 1984, с. 40–43.

3. Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1978.
4. Шанихин Е.Н. Глубоководные аппараты. – М.: ООО «Восточный горизонт», 2003.
5. Гирс М.И. На «Тинро-2» в океане. – Л.: Судостроение, 1981.
6. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. – СПб.: НИЦ «Моринтех», 2001.
7. Нарусбаев А.А. Введение в теорию обоснования проектных решений. – Л.: Судостроение, 1976.
8. Царев Б.А. Особенности проектной оптимизации судов с доминирующими функциональными подсистемами. – Труды ЛКИ: Проектирование морских судов и плавучих технических средств, 1987, с. 41–46.
9. Шилван А.А. Определение стоимости эксплуатации автономных обитаемых подводных аппаратов // Судостроение – 1975. – № 10. – С. 51–53.
10. Ястребов В.С., Горлов А.А., Семинский В.В. Электроэнергетические установки подводных аппаратов. – Л.: Судостроение, 1987.
11. Кромптон Т. Первичные источники тока. – М: Мир, 1986.
12. Маршалл В. Основные опасности химических производств. – М.: Мир, 1989. ■

Рецензент:

В.Н. Разуваев, д-р техн. наук, проф.

Судостроительные, судоремонтные и судоразделочные предприятия являются мощными концентраторами и преобразователями потоков энергии и информации, на них сосредоточены запасы энергоносителей, боеприпасы, присутствуют люди, несущие потенциальные угрозы. Предотвратить реализацию этих промышленных угроз и ликвидировать их предназначена надсистема промышленной безопасности, одна из важнейших составляющих которой – система обеспечения пожарной безопасности.

Рассмотрим основные факторы, которые необходимо учитывать при разработке системы обеспечения пожарной безопасности предприятий судостроительной промышленности.

Пожары наносят колоссальный ущерб экономике. Так, например, вследствие пожаров в промышленности США 43% предприятий не могли возобновить свою деятельность непосредственно после пожара, 28% предприятий восстанавливалось в течение трех лет и только 23% после пожара продолжили нормальную работу [1].

Со значительным экономическим ущербом зачастую сочетаются трудно учитываемые экологические послед-

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Е.В. Любимов, канд. техн. наук, доцент, СПбГМТУ

ствия, которые наносят пожары как природе, так и техносфере. Здесь уместно вспомнить пожары на объектах атомной энергетики и переработки ее отходов (Россия, США, СССР, Япония, Великобритания), на шинном заводе в Москве, заводе двигателей ОАО «КамАЗ»,

лесные (Франция, Португалия, Калифорния, Австралия) и торфяные, на объектах нефтедобычи и нефтехимии.

Уровень пожарной безопасности в Российской Федерации, как следует из данных КТИФ* и Государственной противопожарной службы МЧС России,

Таблица 1

Характеристика пожаров в государствах – членах КТИФ в 1997 г.

Страна	Население, тыс. чел.	Общее число пожаров	Число погибших, чел.	Пожары на 1 млн. населения	Число погибших		Расходы на пожарную охрану, евро/чел.год
					на 100 тыс. населения	на 1 тыс. пожаров	
США	265 557	1975000	5085	7437	1,91	2,57	
Россия	148 100	294805	15877	1991	10,72	53,86	2,35
ФРГ	81 000	3405743	620	42046	0,77	0,18	29,6
Великобритания	58 600	532500	804	9087	1,37	1,51	45,7
Италия	56 063	175103	–	3123	–	–	
Украина	52 000	46819	2461	900	4,73	52,56	
Польша	38 800	109388	525	2819	1,35	4,80	
Румыния	22 750	8974	224	395	0,99	24,96	
Узбекистан	22 700	21652	322	954	2,08	14,87	
Нидерланды	15 450	92294	125	5974	0,81	1,35	38,4
Греция	10 640	21600	54	2030	0,51	2,50	51,2
Беларусь	10 500	17000	788	1619	7,50	46,35	
Чехия	10 400	21878	110	2104	1,06	5,03	
Португалия	9 934	57607	58	5799	0,58	1,01	
Швеция	8 845	30665	101	3467	1,14	3,29	75,2
Австрия	8 068	17781	43	2204	0,53	2,42	
Грузия	5 266	3682	32	699	0,61	8,69	
Хорватия	4 500	6099	48	1355	1,07	7,87	
Норвегия	4 366	13793	67	3159	1,53	4,97	
Литва	3 710	13475	227	3632	6,12	16,85	
Латвия	2 491	6365	207	2555	8,31	32,52	1,2
Словения	2 050	2854	27	1392	1,32	9,46	
Эстония	1 670	9657	170	5783	10,18	17,60	5,4
Люксембург	400	1548	–	3870	–	–	62,5

* КТИФ (СТИФ) – Международный технический комитет по предупреждению и тушению пожаров

Таблица 2

Уровень пожаробезопасности в СССР (1980, 1985 и 1990 гг.) и России

Год	Пожары		Погибло людей		
	Всего	На 100 тыс. населения	Всего	На 100 тыс. населения	На 1000 пожаров
1980	Около 103100	39	Около 8500	3,2	82
1985	116317	41	11066	3,9	95
1990	157729	54	10083	3,5	64
1995	294412	198	14875	10	51
2000	245861	168	16264	11	66
2001	246341	170	18289	13	74
2002	259836	179	19906	14	77
2003	239286	165	19275	13	81
2004	231486	159	18377	13	79
2005	226952	152	18194	12	80

оставляет желать лучшего (табл. 1, 2). Естественно, что уровень обеспечения пожарной безопасности отечественных промышленных, транспортных и энергетических объектов соответствует общегосударственному [2–4].

Необходимо отметить, что численность работающих в промышленности с 1985 по 2000 гг. сократилась на 40%, а число погибших от пожаров на производстве – всего лишь на четверть и составляет в настоящее время около 600 чел. в год [4]. Анализ статистических данных за ряд лет, приведенных Государственной противопожарной службы МЧС России, позволяет сделать вывод, что в производственных зданиях происходят 4–5% всех пожаров, ущерб от них составляет 6–16%, в складах и базах производственных предприятий – 0,4–0,5% пожаров с ущербом от них в 5–14%.

Уровень пожарной опасности судостроительных и судоремонтных предприятий объективно выше, чем ряда других предприятий других машиностроительных отраслей. Пожарная опасность сборочно-монтажных единиц и самих строящихся и ремонтируемых судов в значительной мере зависит от их насыщенности конструктивными и отделочными горючими материалами, в качестве которых применяются более 300 горючих (в основном, синтетических и искусственных) материалов, масса которых доходит до 10% массы судна при водоизмещении порожнем; горючие материалы десятков наименований применяются также в технологическом оборудовании и в промышленных проводках (например,

рукава вентиляции, шланги для подачи газов, кабели и т.п.) [5]. Значительную пожарную опасность представляют широко применяемые тросы, полотно и прочие изделия из синтетических материалов, а также узлы и изделия изоляции и отделки помещений. Электрический потенциал таких изделий в результате трения может достигать 30 кВ [6]. По-прежнему остается очень высокой пожарная опасность судовых и технологических кабелей [7].

Характеристика распределения основных энергопотоков по цехам верфи, от которых, в принципе, зависит

уровень их пожарной опасности, представлены в табл. 3.

Кроме того, на строящемся судне длительное время отсутствуют полномасштабная конструктивная противопожарная защита (КПЗ), судовые системы пожаротушения и системы пожарной сигнализации. На судне в ремонте или модернизации элементы указанных систем и КПЗ значительный период демонтированы.

В табл. 4 указаны основные причины пожаров на предприятиях бывшего Российского агентства по судостроению (Россудостроение), относящихся к подотраслям «судостроение», «судовое машино- и приборостроение».

Обстановка с пожарами на предприятиях отрасли достаточно напряженная. Только в 1997–1999 гг. на объектах судостроительной промышленности, охраняемых и обслуживаемых подразделениями специальной пожарной охраны ГУ ГПС МВД России*, произошло 93 пожара, из них 58 пожаров зарегистрированы в цехах основных (12%) и вспомогательных производств (24%) наиболее важных предприятий этой отрасли, находившихся тогда в ведении Министерства экономики (с 1999 г. – Россудостроения). Ущерб составил свыше 219 тыс. денонимированных рублей. Большое количество загораний происходит в весенне-летний период в местах скопления мусора на территории предприятий.

И в дальнейшем уровень пожарной безопасности предприятий судостроения не повысился. Например, в 2003 г. только на 23 судостроительных

Таблица 3

Характеристики распределения основных энергопотоков по цехам верфи

Цех	Потребление энергии (энергоносителя), %			
	Электричество	Ацетилен	Кислород	Сжатый воздух
Корпусообработывающий	19	25	34	2,5
Сборочно-сварочный	24	32	28	13,5
Судосборочный (стапель)	32	28	25	65
Механомонтажный	2	2	2	2,5
Трубообработывающий	7	3	3	1,5
Слесарно-корпусный	12	5	4	0,5
Малярно-изоляционный	0,5	0	0	3,5
Достроечно-сдаточный	3	5	4	14
Электромонтажный	0,5	0	0	Ок. 0
Верфь в целом	100	100	100	100

* Ныне – Управление пожаротушения и специальной пожарной охраны МЧС России.

Основные причины пожаров на предприятиях Россудоостроения

Причина пожаров	Количество пожаров				Итого
	2000	2001	2002	2003*	
Нарушение правил пожарной безопасности при проведении электросварочных и газорезательных работ	3	2	6	.	.
Неисправность технологического оборудования и нарушение регламента	1	-	7	.	.
Нарушение правил устройства и эксплуатации электросетей и электрооборудования	15	14	13	.	.
Неосторожное обращение с огнем, в том числе курение	32	33	18	.	.
Поджог	1	1	1	.	.
Другие причины, в том числе не установленные	-	4	7	.	.
Всего пожаров	51	54	52	50	207
Общий ущерб, тыс. руб.	75	124	395	5559	6153
Погибло людей, чел.	3	5	3	1	12

* Только на представивших отчеты 100 предприятиях (около 70% существовавших на середину 2003 г.), в том числе особо крупный пожар с прямым ущербом в 5,427 млн. руб. произошел на Радиоприборном заводе в г. Саратове.

и судоремонтных предприятиях Россудоостроения произошло 36 пожаров, в том числе – 13 на судах (из них 6 – на стапелях, 7 – на плаву). Общий ущерб составил не менее 132,3 тыс. руб.

Кроме того, в судостроении имеется ряд промышленно опасных объектов: ядерноопасные (7), радиационноопасные (21), пожароопасные (126) [8]. Поэтому пожары на них могут привести к другим опасным последствиям и, наоборот, аварии иного рода могут послужить причинами пожаров.

Наиболее опасными представляются пожары на верфях, которые строят, ремонтируют и утилизируют суда и корабли с ядерными энергетическими установками (это в основном атомные подводные лодки).

В.С. Никитиным показано, что наибольший расчетный экономический ущерб от аварии при утилизации атомной подводной лодки может произойти именно при возникновении пожара (табл. 5) [9].

На ряде верфей атомного судостроения осуществляется перегрузка, обработка, транспортировка и временное хранение радиоактивных отходов. Под воздействием облучения могут возникнуть новые направления энергопотоков, вызывающие дополнительные угрозы, в том числе и пожарные, поскольку до настоящего времени не всегда можно спрогнозировать поведение материалов, подвергшихся облучению, ход химических процессов (таких, как гидролиз, сорбция делящихся материалов, восстановительно-окислительные процессы, рН-эффекты, эффек-

ты температурные, радиолитиза, экстракции и реэкстракции) и т.п. Имеются многочисленные факты, свидетельствующие о том, что применяемые десятилетиями и казалось бы отработанные, технологические процессы обращения с радиоактивными веществами являются в действительности не до конца изученными и в реалии пожароопасными. В мировой практике зафиксированы, например, неоднократные случаи пожаров при битумировании жидких радиоактивных отходов с целью их отверждения [10,11]. Изменение свойств горючих материалов, прежде всего электроизоляции, а также механиче-

Таблица 5
Доля экономического годового ущерба от вида аварии, проценты

Авария	На 1 аварию в год	С учетом частоты аварий
Повреждение ОТВС при выгрузке	6	21,6
Пожар на АПЛ	9	76,0
Возникновение СЦР	71	0,4
Прочие	14	2,0
Итого	100	100

Примечание: ОТВС – отработанная тепловыделяющая сборка; СЦР – самопроизвольная цепная реакция; АПЛ – атомная подводная лодка.

ских свойств и сопротивления кабельных жил может существенно увеличить пожарную опасность ядерно- и радиационноопасных объектов.

К дестабилизирующим пожарную безопасность факторам относятся резкое уменьшение объемов производства вследствие неустойчивого финансового положения многих особо значимых для государства предприятий; утрата специалистов – носителей технологий и, как следствие, падение технологической дисциплины [4, 5]. Многократно сократились вложения в противопожарную защиту, физическую защиту (охрану), технику безопасности и в поддержание других элементов промышленной безопасности. В частности, санитарно-гигиеническим нормам не соответствовали условия труда 32,5% работающих в 1985 г. и 44,5% работающих в 2000 г. [4].

Существенным фактором стали правонарушения и преступления: например, поджоги являются причиной 4–6% пожаров при ущербе в 4–7%.

Очевидно также влияние состояния основных фондов и машинного оборудования верфей, износ которых составляют на многих из них 25–50% и 45–80% соответственно. От 40 до 75% средств технологического оснащения имеют возраст свыше 20 лет.

Неудовлетворительным является ресурсное обеспечение подразделений пожарной охраны как в целом по России, так и в подразделениях, защищающих предприятия судостроения. В 2003 г., когда на ряде предприятий отрасли стал уже подниматься уровень производства, 50% пожарных автомобилей на них имели срок службы более 15 лет. Скорость замены пожарных автомобилей на судостроительных предприятиях, так же как и в стране в целом, резко отстает от темпов их устаревания. Достаточно напряженное состояние сложилось с обеспечением противопожарным оборудованием, оснащением объектов (цехов, складов и т.п.) системами пожарной сигнализации и автоматическими системами пожаротушения, что связано, прежде всего, с их высокой стоимостью (табл. 6). Материальное обеспечение пожарной охраны практически полностью лежит на предприятиях.

Нельзя не отметить ряд системных факторов, резко понижающих противопожарную защищенность объектов.

Государственная противопожарная служба была разделена на Федеральную и субъектов Федерации. Кроме того, большая часть функций по обеспечению пожарной охраны передается муниципальным образованиям. Подразделения Федеральной противопожарной службы отвечают за пожар-

Таблица 6
**Минимальная стоимость
 пожарных автомобилей и
 основного противопожарного
 оборудования**

Вид пожарной техники или профессионального противопожарного оборудования	Стоимость, евро
Пожарный автомобиль (основной)	30000
Система пожарной сигнализации для складского или производственного помещения площадью 500 м ²	4200–9000
Средства индивидуальной защиты органов дыхания	800–1700
Огнетушитель углекислотный (в зависимости от емкости)	10–50
Комплект боевой одежды пожарных: брезентовый из огнестойкой ткани	110–150 250–350

ную безопасность только особо значимых для государства предприятий. Естественно, что у значительной части субъектов Федерации и муниципальных образований отсутствуют средства, необходимые для модернизации системы обеспечения пожарной безопасности. Результат уже очевиден: об этом говорят пожары в больницах, домах престарелых, жилье. Вспомним пожар, происшедший в ночь с 19 на 20 марта 2007 г. в доме престарелых станицы Камышеватской Краснодарского края, где погибли 63 и пострадали 33 человека именно из-за отсутствия в муниципальном объединении пожарной части.

Требуется также создать условия для функционирования эффективной и реальной пожарной статистической базы. Например, по имеющейся сейчас статистике до 40% пожаров в России безубыточны. Статистическая база должна быть объективной и обеспечивать получение и сравнение реальных экономических показателей пожаров по различным временным периодам, что затруднительно в связи с особенностями статистического пожарного учета в различные периоды: ущерб и потери от пожаров в России были то привязаны к минимальному размеру оплаты труда, то считались иначе – с учетом коэффициентов инфляции (которые менялись достаточно произвольно). Менялось даже название: ущерб, материальные потери, сейчас рассмат-

риваются материальный ущерб и расчетные потери.

В судостроении необходимо модернизировать отраслевую систему обеспечения пожарной безопасности. Помимо решения изложенных выше проблем, следует привести ее нормативную базу в соответствие с требованиями законодательства и федеральной нормативной технической документации, в частности, требуется разработать новые правила (или частного технического регламента) пожарной безопасности для строящихся и ремонтируемых судов взамен действующих «Правила пожарной безопасности для строящихся и ремонтируемых судов» ППБО-130–85 и отраслевого руководящего документа РД5.741.001–86 «Порядок разработки и экспертиза специального раздела технических проектов судов «Требования пожарной безопасности» при строительстве, переоборудовании, модернизации и ремонте».

Отсутствие большого числа крупных пожаров на верфях связано прежде всего с сохранением остатков действовавшей в 1970–1990 гг. четкой и жесткой отраслевой системы пожарной безопасности, еще имеющимся на предприятиях контингентом носителей технологии (инженерно-технических работников и кадровых рабочих), деятельностью служб предприятий, обеспечивающих их безопасность, а также пока еще наличием на них хорошо подготовленных специалистов государственной противопожарной службы.

Стоящие перед судостроительными предприятиями проблемы в области пожарной безопасности, а также в целом в области промышленной безопасности, в том числе в связи с возможной террористической угрозой, в силу размеров верфей и их специфики проявляются более остро, чем на большинстве других предприятий. Решение этих проблем возможно только при активном участии государства.

Анализ состояния противопожарной устойчивости предприятий судостроительной промышленности позволяет сделать вывод о необходимости модернизации системы обеспечения пожарной безопасности в судостроительной отрасли с целью приведения ее в соответствие с требованиями законодательства и нормативной технической документации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брушлинский Н.Н., Бобков С.И.* Проблемы обеспечения пожарной безопасности производственно-экономических систем с учетом их противопожарной живучести. //

- Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1993. – Вып. 11. – С. 3–19
2. *Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Вагнер П.* Пожарная статистика стран-членов КТИФ за 1997 год. – Отчет № 5 Центра пожарной статистики КТИФ – М., 1999.
3. Обстановка с пожарами в Российской Федерации за 2000 год // Пожарная безопасность. – 2001 – №2. – С. 159–173. – 2003, №2, с. 159–173; 2004, №1, с. 95–99; 2004, №1, с. 95–99; 2005, №1, с. 124–127; 2006, №1, с. 80–83.
4. *Лупанов С.А., Фирсов Г.А., Зарипов Р.А.* Гибель людей при пожарах: статистика, анализ условий и причин // Пожарная безопасность. – 2003. – №1. – С. 72–80
5. *Любимов Е.В.* Актуальные вопросы пожаробезопасности в судостроении // Промышленная безопасность в Северо-Западном регионе. – 2000. – № 2/3. – С. 54–56
6. *Ржевецкий К.Л.* Статическое электричество и корабельные пожары. – Мониторинг // Безопасность жизнедеятельности. – 1995. – № 3. – С. 38–39.
7. *Тепляков М.В.* Проблемы огне- и пожарозащиты кабельных трасс в судостроении // Электромонтажное производство. – 1992. – Вып. 1(17). – С. 35–37.
8. Государственный доклад Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий за 2003 году. – М., 2004.
9. *Никитин В.С.* Количественная оценка риска при утилизации атомных подводных лодок. Экологические проблемы утилизации атомных подводных лодок и развитие ядерной энергетики в регионе (Экофлот-2002). – Междунар. науч.-техн. конф. – Владивосток, 2002.
10. *Внуков В.С., Сичкарук О.В., Чукасли Л.И.* Ядерная безопасность при обращении с радиационными отходами, содержащими делящиеся материалы // Атомная энергия. – 2000. – Т. 88. – Вып. 5. – С. 362–370.
11. *Николаева А.В., Николаев Ю.А., Геворкян Ю.Р., Крюков А.М., Королев Ю.Н.* Охрупчивание низколегированной конструкционной стали под действием нейтронного облучения // Атомная энергия. – 2000. – Т. 88. – Вып. 4. – С. 271–277. ■

Рецензенты:

В.Р. Малинин, д-р техн. наук, проф.,
В.Н. Разуваев, д-р техн. наук, проф.

МОРСКИЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ЗАКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО



Продукция «МНС» – весь спектр навигационного оборудования. Среди многочисленных заказов, выполненных нашими работниками, более 600 оснащенных кораблей и судов.
ЗАО «МНС» предоставляет услуги:

- проектирование,
- комплексирование изделий,
- разработка программного обеспечения,
- монтаж оборудования,
- пусконаладочные работы,
- проведение швартовых и ходовых испытаний,
- гарантийное и послегарантийное обслуживание.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ МОСТИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

Наряду с использованием современного зарубежного оборудования, ЗАО «МНС» интенсивно ведет разработку собственной продукции, и сегодня таких изделий уже около тридцати. Прежде всего это ИМС – интегрированные мостиковые системы для кораблей и судов. Интеграция оборудования в ИМС не только обеспечивает современный дизайн ходового мостика, но и формирует автоматизированные рабочие места командного состава с представлением информации по состоянию корабля и окружающей обстановке на многофункциональных дисплеях. ИМС повышают безопасность и эффективность управления судном, уменьшают количество персонала. Разработан и активно внедряется эргономичный дизайн – это отделка секций древесины ценных пород, улучшающая как внешний вид, так и способствующая психологической разгрузке персонала.



МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ ФЛАГМАНСКОГО ШТУРМАНА



САРП И ЭКНИС ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС



ЭКНИС «АЛЕСКА-Э»



ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА

Важной продукцией ЗАО «МНС» является электронно-картографическая навигационно-информационная система (ЭКНИС). Сочетание многофункциональности с удачным интерфейсом делает систему удобной в обращении. Она сопрягается с аналоговыми и цифровыми датчиками, используется как автономно, так и в составе ИМС. Отличительная особенность наших ЭКНИС – возможность совместной работы в сетевом варианте.

БОЛЕЕ 20-ти НАИМЕНОВАНИЙ ПРИБОРОВ, ТАКИХ КАК:



СИСТЕМА ЦИФРОВЫХ ТАХОМЕТРОВ



УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СИГНАЛАМИ МАНЕВРОКАЗАНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ



УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ ПИТАНИЯ



МАШИННЫЙ ТЕЛЕГРАФ ДЕВЯТИКОМАНДНЫЙ

Изделия судовой автоматики: В первую очередь это микропроцессорные модульные комплексы «MANAGER 10 и 300», локальные и комплексные системы контроля и управления судовыми техническими средствами (КСУ ТС). Предприятие изготавливает системы машинных и рулевых телеграфов на современной элементной базе, обеспечивающие связь между постами по помехоустойчивой цифровой линии и выдачу информации в регистрирующие устройства. Налажено производство компактных блоков питания MNS-302, MNS-303, устройств контроля питания MNS-202 (MNS-202-1), а также NMEA-размножителей MNS-201M и MNS-201-1M, востребованных современным приборостроением.

За 15 лет работы ЗАО «МНС» приобретен прочный международный авторитет на морском рынке. Мы являемся надежными партнерами таких известных компаний, как Jotron, Kelvin Hughes, Kongsberg Maritime, Autronica Fire and Security, Maritime Pusnes, Phontech, Raytheon Anschuetz, Reson, SELCO, Wynn, Zollner и других.

На военно-морском рынке вооружений компания также занимает видное место, участвуя в большинстве проектов кораблей для ВМФ России и ВМС-импортеров.



Россия, Санкт-Петербург,
ул. Промышленная д.19

тел.: (7-812) 320-38-40
факс: (7-812) 320-38-48

email: mns@mail.wplus.net
<http://www.mns.spb.ru/>

При проведении испытаний навигационной аппаратуры подводных лодок (ПЛ) и подводных аппаратов (ПА) необходимо определение эталонного значения скорости ПЛ $V_{\text{ПЛ}}$ относительно грунта для оценки погрешности измерения скорости бортовой аппаратурой. Для решения этой задачи предлагается использовать метод определения скорости ПЛ, находящейся в подводном положении. Для его реализации необходим один гидроакустический донный маяк-ответчик (ГДМО). Особых требований к определению координат местонахождения ГДМО не предъявляется.

Рассмотрим движение ПЛ относительно ГДМО (рис. 1). В начальный момент времени $t_0 = 0$ дистанция от ПЛ до ГДМО составляет D_0 , курсовой угол с ПЛ на ГДМО q_0 . ПЛ движется постоянным курсом с постоянной скоростью $V_{\text{ПЛ}}$, в момент времени $T_{\text{тр}}$ ГДМО оказывается на траверзе ПЛ на дистанции $D_{\text{тр}}$ (траверзная дистанция). Во время движения ПЛ используется измерение дистанции до ГДМО через различные интервалы времени, начиная с t_0 , и в момент времени t_i дистанция до ГДМО составляет D_i .

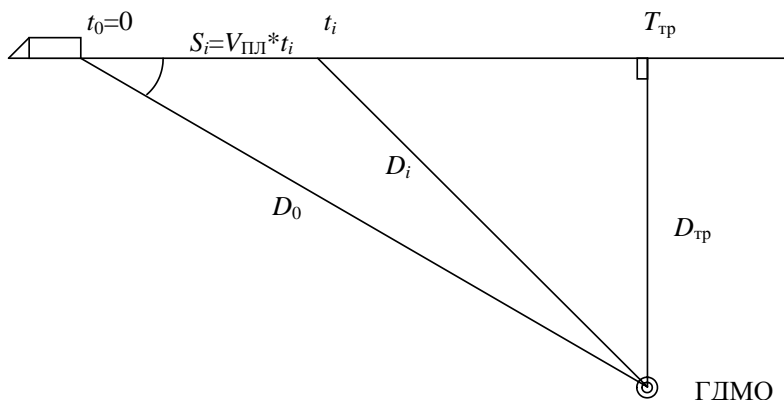


Рис. 1. Схема движения ПЛ до ГДМО

За начальный отсчет времени возьмем момент первого замера дистанции. Тогда справедливо выражение:

$$D_i^2 = D_0^2 + V_{\text{ПЛ}}^2 t_i^2 - 2D_0 V_{\text{ПЛ}} t_i \cos q_0, \quad (1)$$

где D_i – дистанция от ПЛ до ГДМО в i -й момент времени; D_0 – дистанция от ПЛ до ГДМО в начальный момент; t_i – i -й момент времени; q_0 – курсовой угол с ПЛ на ГДМО в начальный момент времени $V_{\text{ПЛ}}$ – скорость ПЛ;

$$\cos q_0 = \frac{V_{\text{ПЛ}} T_{\text{тр}}}{D_0}. \quad (2)$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ В ПОДВОДНОМ ПОЛОЖЕНИИ ПО ГИДРОАКУСТИЧЕСКОМУ МАЯКУ-ОТВЕТЧИКУ

Р.А. Андреюк, главный конструктор
ЗАО «Морские навигационные системы»

Подставляя формулу (2) в формулу (1), получаем

$$D_i^2 = D_0^2 + V_{\text{ПЛ}}^2 t_i^2 - 2V_{\text{ПЛ}}^2 T_{\text{тр}} t_i \quad (3)$$

где коэффициенты a, b, c, d, e вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n D_i^2 t_i^2 - D_0^2 \sum_{i=1}^n t_i^2 \right) \\ b &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n D_i^2 t_i - D_0^2 \sum_{i=1}^n t_i \right) \\ c &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^2; \\ d &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^3; \\ e &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i^4. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Формула (3) выражает зависимость квадрата дистанции до ГДМО от времени, в которой величины V и $T_{\text{тр}}$ неизвестны. Выполнив достаточно большую серию измерений дистанций от ПЛ до ГДМО, можно методом наименьших квадратов вычислить эти значения, определив таким образом скорость ПЛ на пробеге. Метод наименьших квадратов широко описан в литературе, поэтому сразу приведем полученное решение для вычисления скорости ПЛ по серии измеренных дистанций:

$$V_{\text{ПЛ}} = \sqrt{\frac{bd - ac}{d^2 - ec}}, \quad (4)$$

Погрешность определения скорости будет зависеть от точности определения дистанции до ГДМО, которая в общем случае вычисляется как

$$D_i = \tau V_s / 2, \quad (6)$$

где τ – время распространения акустического сигнала от ПЛ до ГДМО и обратно; V_s – скорость распространения звука в воде.

В свою очередь погрешность определения дистанции будет складываться из погрешности определения времени распространения акустического сигнала и погрешности определения скорости звука в воде в районе плавания.

Для оценки погрешности определения $V_{\text{ПЛ}}$ на пробеге рассматриваемым методом проведено статистическое мо-

Погрешности определения $V_{пл}$

Погрешность определения скорости звука в морской воде, м/с	$V_{пл}$, уз		
	3	6	9
0,1	0,003	0,001	0,001
0,2	0,006	0,003	0,002
0,3	0,009	0,004	0,003
0,4	0,01	0,005	0,003
0,5	0,01	0,007	0,004
1	0,03	0,01	0,008
2	0,06	0,03	0,02
3	0,09	0,04	0,02
4	0,12	0,05	0,03
5	0,15	0,07	0,04
10	0,3	0,14	0,08

Таблица 2

СКП определения $V_{пл}$

Погрешность определения скорости звука в морской воде, м/с	Продолжительность галса, мин.	Скорость ПЛ (ПА), уз		
		3	6	9
0,1	5	0,02	0,01	0,008
	10	0,005	0,002	0,001
	20	0,001	0,001	0,001
1	5	0,2	0,1	0,07
	10	0,05	0,02	0,01
	20	0,01	0,01	0,01
2	5	0,5	0,2	0,1
	10	0,1	0,04	0,02
	20	0,02	0,001	0,01

Примечание: Для расчета в таблице принята погрешность измерения времени распространения акустического сигнала 0,5 м/с, траверзная дистанция до ГДМО – 1000 м, количество измерений – 15.

делирование на ЭВМ. Результаты моделирования показывают, что погрешность определения скорости ПЛ на пробеге зависит от траверзного расстояния до ГДМО, скорости ПЛ на пробеге, ошибки в определении скорости звука и погрешности определения времени распространения акустического сигнала.

Погрешности определения $V_{пл}$ на пробеге в зависимости от ошибки в знании скорости звука в воде при траверзном расстоянии 1000 м приведены в табл. 1.

СКП определения $V_{пл}$ в зависимости от погрешности определения

скорости звука и продолжительности галса приведена в табл. 2.

Результаты моделирования показывают, что метод пригоден для определения скорости ПЛ при проведении проверок измерителей скорости при условии определения скорости распространения скорости звука в морской воде в районе испытаний с погрешностью не более 1 м/с и времени пробега на галсе от 5 до 20 мин. в зависимости от скорости ПЛ.

Предлагаемый метод определения скорости ПЛ (ПА) в подводном положении позволяет обойтись только одним ГДМО, при этом нет необходимости точ-

но определять место его установки, что уменьшает стоимость оборудования полигона и обеспечивающих работ. Направление галса на пробеге может быть любым, поэтому его можно выбрать в зависимости от направления течения, существующего во время проведения замеров или исходя из иных соображений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиздат, 1962.
2. Записки по гидрографии. 2001 – 2006. – № 1–12. ■

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ПУТИ СУДНА

В.Е. Новиков, канд. техн. наук, старший помощник капитана

Пути следования судов на огромных просторах Мирового океана не определены так четко, как, например, железнодорожные или шоссейные дороги на суше, и выбираются судоводителями в каждом отдельном случае с учетом самых разнообразных физико-географических условий.

Изменчивость гидрологических и метеорологических условий в океане, существенное их отклонение от норм, приведенных в навигационных пособиях, некоторое запаздывание поступающей на судно информации требуют от судоводителя глубоких и всесторонних знаний, умения анализировать находящиеся в его распоряжении сведения.

Среди других видов транспорта морской издавна занимает ведущее место в межконтинентальных перевозках. В общем транспортном грузообороте на его долю приходится более 90%, что достигается прежде всего за счет несравнимо большей грузоподъемности его технических средств – судов и относительно небольшими капиталовложениями в оборудование морских путей. Это обеспечивает меньшую капиталоемкость морского транспорта, а также меньшие эксплуатационные издержки на 1т перевозимого груза по сравнению с другими видами транспорта.

В узком смысле морским путем называется путь следования судна из одного географического пункта в другой. Он состоит из участков, которые проходят в открытых водах морей и океанов, в естественных узкостях (проливы, реки), искусственных каналах или фарватерах и акваториях портов.

В сравнении с наземными морские пути являются естественными, они не требуют затрат труда на предварительное их сооружение. Исключение составляют прибрежные участки, подходные каналы к портам, фарватеры в мелководных проливах и других узкостях.

Выбор морских путей для судов торгового флота определяется экономической эффективностью их эксплуатации. С этой точки зрения оптимальным путем между двумя пунктами Мирового океана является тот, который судно проходит при сложившейся гидрометеорологической обстановке и фактическом его состоянии за кратчайшее время при наименьшей затрате ресурсов, обеспечении безопасности плавания и сохранности перевозимых грузов (в качестве критерия оптимальности пути может быть выбрана любая другая величина, с помощью которой можно оценивать результаты плавания – это и обеспечение безопасности плавания при перевозке специальных грузов, и сохранность скоропортящихся продуктов, а также порядок буксируемых судов и т.д.).

При выборе оптимального пути по кратчайшему времени перехода реша-

ющую роль играет скорость судна, на которую больше других природных явлений влияют ветер, волнение и течения. Прямое воздействие их поддается количественному учету и поэтому является определяющим в данном случае.

Эта важнейшая задача судовождения особенно сложной была на заре океанских плаваний, когда капитаны парусных судов располагали случайными сведениями о морских течениях и погоде. В середине XIX в. американский океанограф и метеоролог М. Мори привел в систему многочисленные наблюдения над элементами погоды и построил карты распределения ветров и течений по океанам. На основании этих карт и многолетнего опыта плавания впоследствии была разработана карта «Мировых океанских путей для парусных судов», которая не утратила своего значения и сегодня.

При переходе от парусного флота к судам с механическими двигателями, способными бороться со встречными ветрами, течениями и волнением, внимание к гидрометеорологическим факторам несколько снизилось. Капитаны чаще стали прокладывать путь по кратчайшему расстоянию, за исключением тех случаев, когда суда оказывались в сложных гидрометеорологических условиях (например, в районе действия тропических ураганов). Однако большинство судоводителей вскоре убедились, что кратчайший путь – не самый выгодный, и при выборе пути стали пользоваться рекомендациями, основанными на учете климатических условий в районе плавания.

Систематизация и изучение многолетних наблюдений за погодными условиями в открытых водах океанов, обобщение опыта плавания разных типов судов с механическими двигателями на отдельных направлениях позволили выработать оптимальные маршруты («сезонные пути») плавания для судов с механическими двигателями (Подробное описание сезонных путей приведено в руководстве «Океанские пути мира», изд. ГУНиО МО СССР, 1980).

1. *Выбор путей плавания и предварительное их изучение с помощью руководства «Океанские пути мира»*

осуществляются в следующем порядке: в зависимости от порта отхода и порта назначения по алфавитному указателю находят пункт отхода и против пункта прихода выбирают номер пути, где он описан. Все варианты рекомендованного пути тщательно изучают и в зависимости от времени года, гидрометеорологических условий, эксплуатационных качеств конкретного судна и задач рейса выбирают наилучший из них.

Но погодные условия непрерывно меняются, поэтому при плавании по рекомендованному пути судоводители должны непрерывно вести наблюдение за состоянием погоды.

2. Расчет оптимальных путей с помощью «Атласов гидрометеорологических условий плавания судов морского флота». *Учет влияния волнения, течения и ветра на потерю (приращение) скорости судов при расчете оптимальных путей стал возможным после накопления достаточных сведений, характеризующих поля волнения в открытых водах океанов и установления влияния этих факторов на судно. Практическое решение этой задачи разработано специалистами бывшего СССР под руководством Ю.А. Хованского.*

Сущность способа состоит в следующем: район океана условно разбивается на пятиградусные квадраты, в пределах которых систематизированы месячные результаты фактических наблюдений волнений, ветра и течения. На основании многолетних помесечных данных составлены осредненные месячные величины волнения, ветра и течения в каждом квадрате.

Далее экспериментальным или аналитическим методом составляются графики потери скорости конкретных судов от волнения. На основании графиков, построенных для различных высот волн и их курсовых углов, определяют потери скорости хода в каждом квадрате – они показаны цифрой в левом нижнем углу квадрата.

Для того чтобы учесть курсовые углы, потерю скоростей рассчитывают для курсов 45, 135, 225 и 315°, являющихся центральными соответственно в секторах от 0 до 90°, от 90 до 180°, от 180 до 270° и от 270 до 360°. Потери скорости, рассчитанные для централь-

ных истинных курсов, принимаются действительными для всех истинных курсов, лежащих в пределах соответствующего 90-градусного сектора, на том основании, что ошибки в потерях скорости, возникающие при этом из-за разницы курсов, не превышают 0,4%.

Таким образом, для каждого типа судна и для каждого месяца составляют по четыре карты, каждая из которых характеризует потери скорости судна, идущего истинным курсом в пределах данного сектора.

Зная скорость судна и его генеральный курс, а также осредненную скорость и направление течения, в каждом квадрате путем простого расчета определяют потерю или приращение скорости хода от воздействия течения – они показаны цифрой в правом верхнем углу квадрата. Суммарная потеря скорости хода от ветра, волнения и течения показаны цифрой в центре квадратов.

Величины потерь скорости выражены в процентах от эксплуатационной скорости (здесь эксплуатационная скорость – средняя скорость судна на тихой воде, выведенная из большого числа наблюдений).

Суммарная средняя квадратичная ошибка потерь скорости судов, определяемая рядом погрешностей расчета (за счет осреднения во времени в пределах месяца, осреднения в пространстве в пределах избранного квадрата, отклонения пути судна от принятого при расчете направления, различия в потерях скорости разных судов, относящихся к одному типу, и др.), составляет 0,5–1,5%.

Практически задача выбора оптимального пути сводится к определению средней величины потери скорости по заданному маршруту и времени, необходимому на планируемый переход. Указанные задачи решаются по следующей схеме:

1. По типу расчетного судна, времени перехода, портам отхода и назначения определяют сектор, в пределах которого располагается направление плавания, и выбирают соответствующую карту потерь и приращений скоростей для заданного типа судна.

2. Прокладывают дугу большого круга на этой карте, для чего используется карта для прокладки дуг большого круга (гномоническая проекция), приведенная в приложении к Атласу.

3. С карты потерь и приращений скорости измерителем снимают длины отрезков пути (в мм) в каждом пятиградусном квадрате (l_1, l_2, \dots, l_n) и определяют суммарную длину пути L (мм):

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n. \quad (1)$$

4. С этой же карты снимают величины потерь скорости в каждом пятиградусном квадрате ($\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$).

5. Рассчитывают среднюю величину потери скорости судна по заданно-

му пути по формуле

$$V_{cp} = [(\Delta V_1 l_1) + (\Delta V_2 l_2) + \dots + (\Delta V_n l_n)] / L. \quad (2)$$

6. Определяют абсолютную величину потери скорости (в уз) по формуле

$$\Delta V_{cp} = V_{\Delta} \Delta V'_{cp} / 100,$$

где V_{Δ} – экономическая скорость, принятая в Атласе для расчетного судна.

7. Находят среднюю истинную скорость судна (уз) на переходе по формуле

$$V_{ист(ср)} = V_{\Delta} - \Delta V_{cp},$$

где V_{Δ} – эксплуатационная скорость судна при данном варианте загрузки, определяемая из судовой технической документации; ΔV_{cp} – сумма поправок скорости за счет влияния волнения, течения, рельефа дна и конфигурации побережья.

8. Из таблиц расстояний выбирают протяженность пути от порта отправления до порта прибытия

9. Определяют время, необходимое на переход, по формуле

$$T = S / V_{ист(ср)}.$$

Для выбора наиболее выгодного пути (плавание по дуге большого круга не всегда является оптимальным) по той же карте определяют, по какую сторону от проложенной дуги большого круга потери скорости меньше. В этой части карты прокладывают новый по возможности более короткий путь и рассчитывают время, необходимое на переход, по вышеописанной схеме.

Новые данные сравнивают с результатами, полученными при расчете времени плавания по дуге большого круга, из них выбирают наиболее благоприятный путь с учетом конкретной задачи и условий плавания.

Относительная простота, большая точность и возможность решения задачи в условиях плавания характеризуют достоинство описанного способа.

В его пользу говорят и карты оценки вероятности встречи на выбранной трассе перехода с опасными для судождения гидрометеорологическими явлениями (штормами, дрейфующими льдами, тропическими циклонами, обледенением и видимостью менее 2 миль), приведенные в приложениях к Атласам. Однако надо иметь в виду, что при расчете оптимального пути приходится учитывать не реально действующие на судно в период плавания, а среднестатистические (наблюдаемые в прошлом) величины волнения, течения и ветра.

3. *Определение оптимальных путей по картам прогнозов волнения.* При современном уровне развития науки и техники стало возможным предвычисление наиболее выгоднейших океанских путей с учетом реальной гидрометеорологической обстановки на трассе перехода и мореходных качеств судов при различной степени их загрузки. Методы решения этой задачи сводятся к определению оптимального пути движения на основе кратковременных прогнозов полей волнения и ходовых характеристик конкретных судов.

Метеоцентры всех стран обеспечивают суда в настоящее время трех-пятисуточными прогнозами волнения с оправдываемостью до 70–80%.

На карты прогнозов полей волнения (рис. 1) наносят высоты и направления движения волн. Эти карты передаются метеоцентрами на суда. Оптимальные пути по картам прогнозов волнения определяются двумя методами: графическим и численным.

Исходными данными для расчета пути *графическим методом* являются прогностические карты волнения и графики потери скорости от волнения. Практически задачу по определению

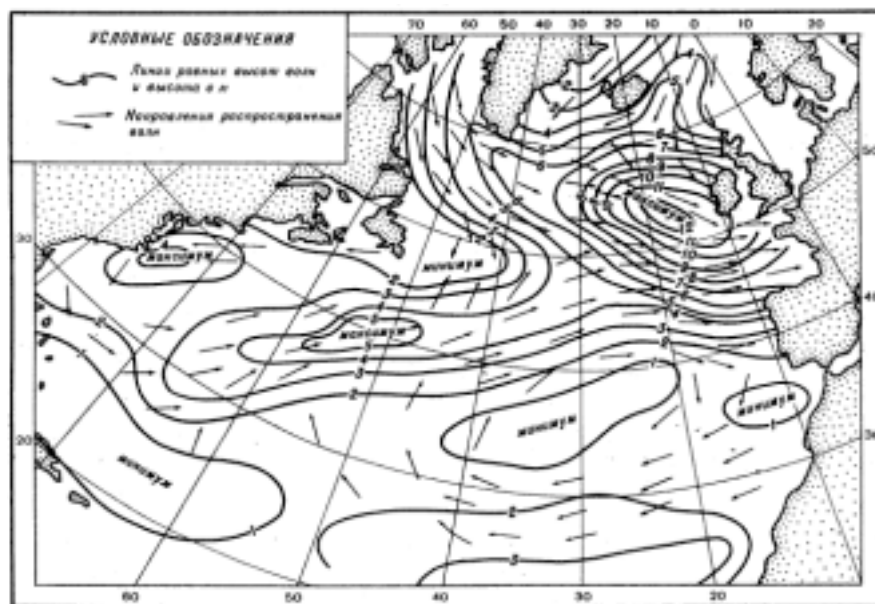


Рис. 1. Карта прогноза полей волнения северной части Атлантического океана.

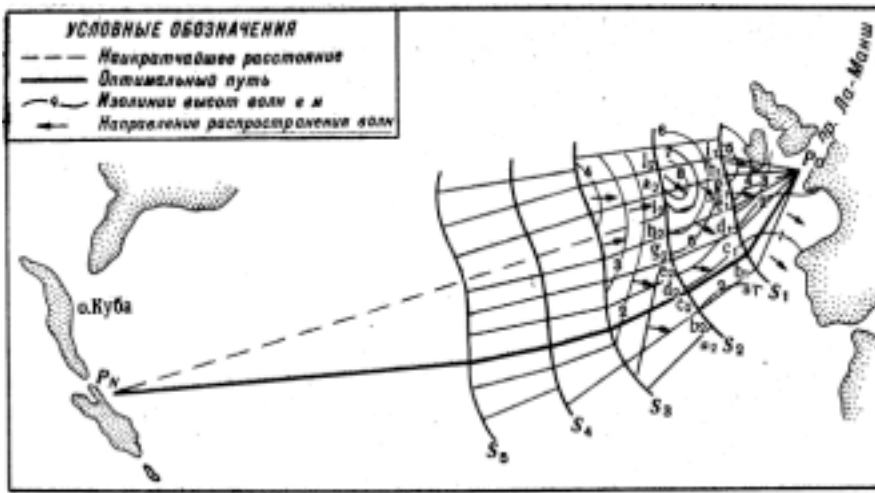


Рис. 2. Схема расчета оптимального пути по картам прогноза волнения графическим методом плавания по критерию минимального времени

оптимального пути решают на кальке или на электронной карте, если имеется соответствующая аппаратура с программным обеспечением.

Расчетную кальку (рис. 2) накладывают на первую карту из серии прогностических карт волнения, на ней оконтуривают береговую черту и наносят исходный P_0 и конечный P_n пункты плавания. Затем эти точки соединяют прямой линией, представляющей собой кратчайшее расстояние. После этого из точки P_0 проводят веер прямых линий с более или менее одинаковыми углами между ними. В области слабого волнения эти возможные курсы движения судна в первый день могут быть проведены реже, а в области сильного волнения – чаще.

С прогностической карты волнения снимают высоты волн и их направления на каждом из возможных курсов. Затем по кривым потерь скорости для данного типа судна на каждой линии определяют скорость судна при данной высоте волны и курсовом угле. Полученные скорости умножают на шаг времени (обычно сутки) и вычисляют расстояние, которое пройдет судно. Суточное плавание откладывают в масштабе на каждой линии на кальке. Концы всех путей ($a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, g_1, h_1$ и i_1) соединяются плавной кривой линией S_1 , представляющей собой геометрическое место точек возможного положения судна в конце первых суток.

После этого под расчетную кальку подкладывают карту прогноза волнения на вторые сутки. Из каждой точки, полученной для первого дня, перпендикулярно S_1 проводят линии, являющиеся как бы продолжением возможных курсов предыдущих суток. Если пространство между этими линиями окажется большим, могут быть проведены промежуточные линии. Аналогично первым суткам определяют плавание за вторые сутки и наносят точки нахождения судна к концу вто-

рых суток. Полученные точки ($a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, g_2, h_2, i_2, k_2$ и l_2) соединяют кривой S_2 . Подобный расчет ведется на столько суток, на сколько имеются прогностические карты волнения.

При пятисуточных прогнозах получаем кривые S_3, S_4, S_5 , после чего находим невыгоднейшие курсы плавания. Если из точки P_n провести касательную к кривым $S_1 - S_5$ и соединить точки касания с пунктом P_0 , то получим невыгоднейший путь.

В основу численного метода положены уравнения движения судна с учетом волнения и течения:

$$\begin{aligned} dx/dt &= V \sin \psi + V_T \sin \psi_T; \\ dy/dt &= V \cos \psi + V_T \cos \psi_T. \end{aligned} \quad (5)$$

Расчитанный таким образом путь – не окончательный, нужно еще изучить течения на выбранном курсе и ввести соответствующие поправки, если они существенны. Влияние течения на движение судна учитывается путем сложения двух векторов, один из которых представляет скорость и направление движения судна, второй – скорость и направление течения. При этом рассчитывают и максимально возможное использование попутных течений.

Далее выбранный путь следует корректировать в соответствии с ледовыми условиями, туманами и гидрографической обстановкой, а также в зависимости от влияния на скорость судна рельефа дна и конфигурации побережья.

Рассмотрим пример (рис. 3), где V – скорость судна; W – скорость ветра; ψ – угол между курсом судна и направлением ветра; V_r – относительная скорость ветра; Q – сила сопротивления; α – угол атаки надводной части корпуса судна.

Гидродинамические силы, действующие на корпус судна, разлагаются на компоненты, направленные перпендикулярно (килевая сила K) и параллельно (сила сопротивления Q) оси судна. Величина силы S пропорциональна про-

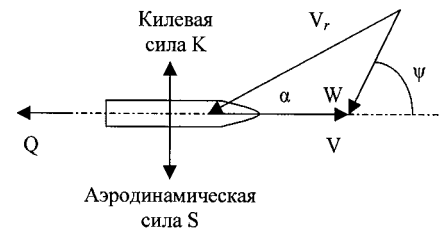


Рис. 3. Упрощенная модель сил, действующих на корпус судна

изведению квадрата относительной скорости ветра V_r на синус угла атаки α . Сила лобового сопротивления Q пропорциональна квадрату скорости судна относительно воды. Не приводя здесь вывода формулы, максимальное значение скорости плавания против ветра достигается при таком выборе углов курса и ветра, когда $\psi = 35-55^\circ$ в зависимости от архитектуры корпуса.

Потери скорости судна на волнении в судовых условиях наиболее удобно определять по формуле

$$V = V_0 - (0,745h_w - 0,275qh_w)(1 - 1,35 \cdot 10^{-6} \Delta V_0), \quad (6)$$

где V – скорость судна на волнении и V_0 – на тихой воде, уз; h_w – высота волн 3%-й обеспеченности, м; q – курсовой угол волны, рад; Δ – водоизмещение судна, т.

Для упрощения расчетов по формуле (1) составлены следующие табл. 1 и 2.

Из вышесказанного следует, что алгоритм выбора невыгоднейшего пути судна сводится к следующему:

1. Рассчитывают и прокладывают дугу большого круга между портами назначения на генеральной карте.

2. Рассчитывают оптимальный путь судна с учетом волнения.

Ввод поправок к скорости судна за счет течения производится в следующем порядке:

а) на каждом промежуточном курсе (рис. 3) составляется профиль абсолютной величины приращения скорости судна, обусловленной элементами суммарного течения (рис. 4);

На рис. 4 K° – курс судна; $\psi = K^\circ - K^\circ_{T\Sigma}$ (для случая а); $\psi = K^\circ - 180^\circ - K^\circ_{T\Sigma}$ (для случая б); б) – угол между направлениями течения и курса судна; $K^\circ_{T\Sigma}$ – курс течения со скоростью $V_{T\Sigma}$.

б) затем на этих курсах вычисляются величины абсолютного приращения скорости по формуле

$$|\Delta V|_i = V_{T\Sigma} \sin |\psi|; \quad (7)$$

Таблица 1
Значения $(0,745h_w - 0,275qh_w)$

q, град	h _w , м					
	1	2	3	4	5	6
0	0,7	1,5	2,3	3,0	3,7	4,5
45	0,5	1,1	1,6	2,2	2,7	2,3
90	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,0
135	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8
180	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4

Δ	V ₀ , уз											
	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90	0,90	0,88	0,88	0,88	0,87	0,86
7	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,81
9	0,89	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76
11	0,86	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,70
13	0,84	0,82	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74	0,72	0,70	0,68	0,67	0,65
15	0,82	0,80	0,78	0,76	0,74	0,71	0,70	0,68	0,66	0,63	0,61	0,60
17	0,79	0,77	0,75	0,72	0,70	0,68	0,65	0,63	0,61	0,59	0,56	0,54
19	0,77	0,74	0,72	0,69	0,67	0,64	0,61	0,59	0,56	0,54	0,52	0,49
21	0,74	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60	0,57	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43
23	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,41	0,38
25	0,70	0,66	0,63	0,60	0,56	0,53	0,50	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33

грешность измерения, особенно при существенной качке, вызывающей большие погрешности последних.

Таким образом, для нахождения скорости течения V_T воспользуемся уравнением неразрывности потока:

$$Q_1 = Q_2 = Q_{const} \quad (10)$$

т.е. считаем, что поток течет без разрывов с постоянным расходом. Это соотношение можно записать в виде:

$$V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (11)$$

Тогда

$$V_1 = V_2 \cdot S_2 / S_1; \quad V_2 = V_1 \cdot S_1 / S_2 \quad (12)$$

Площадь сечения потока находится по формуле суммы площадей трапеций (рис.5)

$$S_{\Sigma} = S_{\Delta 1} + S_{TP1} + S_{TP2} + \dots + S_{TPi-1} + S_{\Delta i} = h_1(R_1 - 0)/2 + (h_1 + h_2)(R_2 - R_1)/2 + (h_2 + h_3)(R_3 - R_2)/2 + \dots + (h_{i-1} + h_i)(R_i - R_{i-1})/2 + h_i(R_i - R_{i-1})/2, \quad (13)$$

где $h_1, h_2, h_3, h_{i-1}, h_i$ – глубины в точках изменения рельефа дна; $R_1, R_2, R_3, R_{i-1}, R_i$ – расстояние от точки отсчета до конечной точки ширины потока.

Сведения о ширине потока можно найти в соответствующих лоциях или выбрать самостоятельно. Этот выбор зависит от района, для которого выполняют расчет. Известно, что наиболее мощный поток следует вдоль побережья, в пределах континентального шельфа, а также изменения элементов течения можно ожидать в районах, где рельеф дна изменяется существенно.

4. Находят среднюю истинную скорость судна (уз) на переходе по формуле (3).

5. Определяют время, необходимое на переход T , по формуле (4).

Далее выбранный путь следует откорректировать в соответствии с ледовыми условиями, туманами и другими опасными явлениями.

Новые данные сравнить с результатами, полученными при расчете времени плавания по дуге большого круга и выбрать наиболее благоприятный путь с учетом конкретной задачи и условий плавания. Относительная простота, большая точность и возможность решения задачи в различных условиях плавания характеризуют достоинство описанного способа. К тому же при расчете оптимального пути данным способом учитываются реально действующие на судно в период плавания, а не среднестатистические (наблюдаемые в прошлом) величины волнения, течения и ветра.

Таким образом, данный алгоритм учитывает не только фактические гидрометеорологические но и физико-географические условия по маршруту перехода, обусловленные динамикой океана. ■

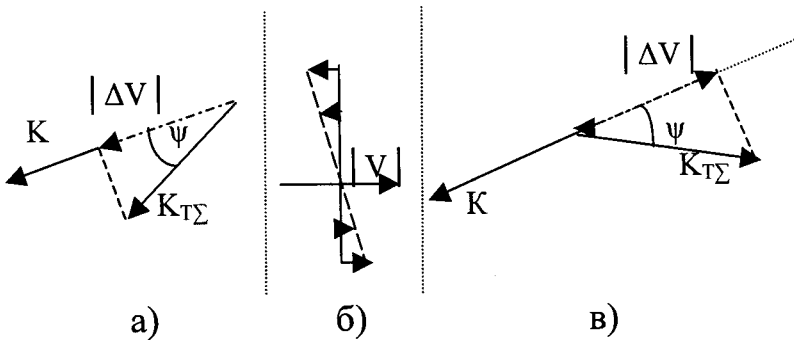


Рис. 4. К определению величины абсолютного приращения скорости: а – при попутном течении; б – профиль абсолютного приращения скоростей; в – течение встречное

в) общая величина абсолютного приращения скорости на переходе

$$|\Delta V_{T\Sigma}|_{\Sigma} = \Sigma |\Delta V_{T\Sigma}|_i \quad (8)$$

3. В районах возможного изменения элементов суммарного течения под влиянием рельефа дна и конфигурации побережья корректируют курс и вводят соответствующие поправки, если они позволяют сократить время перехода.

Это прежде всего материковый склон, а также районы, где уклон дна, рассчитываемый по формуле

$$i = dH/dl, \quad (9)$$

а именно, больше или равно 0,04, (больше или равно 89 м по глубине на 1 милю).

При уклоне дна менее 0,04 в океане приращение скорости судна незначительно, и может быть принято за по-

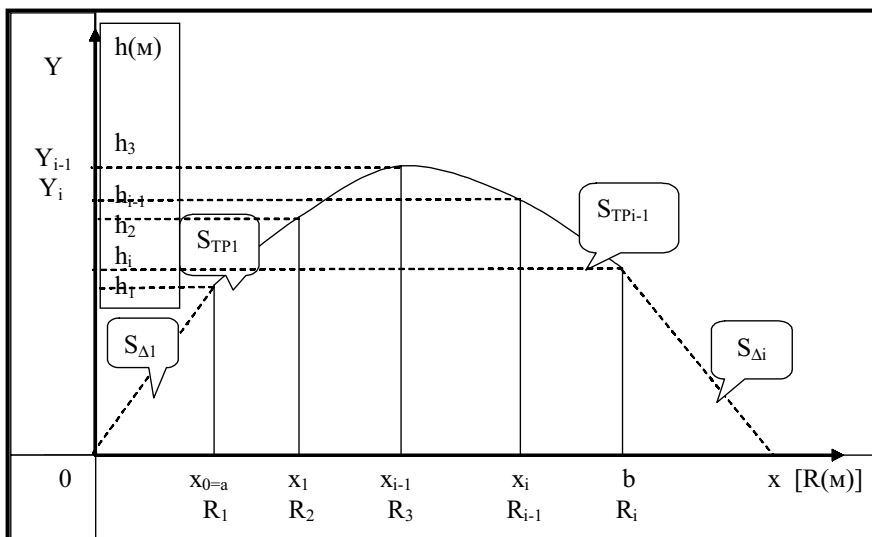


Рис. 5. К определению площади сечения потока

Методические основы технико-экономического анализа. При сравнительной оценке вариантов используются показатели:

- экономические;
- технические (принимаются индивидуально в каждом конкретном случае из числа наиболее значимых).

Рассматриваются обычно две группы экономических показателей:

- классические (недисконтированные), которые не учитывают эффекта одновременности затрат и результатов;
- дисконтированные, позволяющие учесть влияние временного фактора.

Недисконтированные показатели определяются как алгебраическая сумма затрат, доходов и эффектов за расчетный период:

Капитальные затраты определяются с разбивкой по годам расчетного периода. В состав капитальных затрат входят:

- строительная стоимость элементов обустройства месторождений (с учетом затрат на приобретение, доставку, монтаж и установку необходимого оборудования)

- затраты на обслуживание кредита.

Эксплуатационные расходы рассчитываются по каждому элементу обустройства для каждого года эксплуатационного периода.

Общие расходы рассчитывают по формуле

$$Z = \sum_t (k_t + c_t + n_t), \quad (1)$$

где k_t – капитальные затраты с учетом обслуживания кредита на t -м году расчетного периода; c_t – эксплуатационные затраты на t -м году расчетного периода, n_t – налоги на t -м году расчетного периода.

Удельные расходы (за весь эксплуатационный период) определяются из расчета общих расходов на 1 т добываемого продукта:

$$C_{уд} = Z / Q, \quad (2)$$

где Q – объем перевозок за расчетный период.

Доходы по каждому году эксплуатационного периода определяются по формуле

$$d_t = Q \cdot s, \quad (3)$$

где s – цена товарной продукции, долл. / т.

Дополнительные доходы учитывают продажу по остаточной стоимости выводимых из эксплуатации объектов обустройства месторождения.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ ОСВОЕНИЯ МАЛЫХ МОРСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗА

А.Л. Соболев, ФГУП «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»

Чистый доход определяется как разность между доходами и суммой общих расходов за эксплуатационный период

Срок окупаемости – продолжительность периода от начального момента до момента окупаемости – наиболее раннего момента времени в расчетном периоде, после которого чистый доход становится (и в дальнейшем остается) неотрицательным.

К дисконтированным показателям относятся:

общие дисконтированные затраты, равные

$$Z_d = \sum_t (k_t + c_t + n_t) \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (4)$$

где E – коэффициент дисконтирования или норма дисконта,

а также *чистый дисконтированный доход* (ЧДД) – превышение дисконтированных интегральных доходов над дисконтированными интегральными затратами:

$$\text{ЧДД} = \sum_t (d_t - z_t) \frac{1}{(1+E)^t} = \sum_t p_t \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (5)$$

где d_t – доходы на t -м году расчетного периода, z_t – общие затраты на t -м году, p_t – прибыль на t -м году.

Срок окупаемости с учетом дисконтирования – продолжительность периода от начального момента до момента окупаемости с учетом дисконтирования. Момент окупаемости с учетом дисконтирования – наиболее ранний момент времени в расчетном периоде, после которого чистый дисконтированный доход становится (и в дальнейшем остается) неотрицательным.

Внутренняя норма доходности (ВНД) равна норме дисконта E , для которой величина чистого дисконтиро-

ванного дохода равна нулю.

Методика расчетов. Разработанная методика и алгоритм решения задачи определения уровня ВНД освоения месторождений позволяют учесть такие особенности, как большой расчетный период планирования (освоения), сложная структура системы, в составе которой используются разнородные технические средства (добывающие объекты, элементы транспортной системы и т.п.), многокритериальность задачи.

С учетом отмеченных особенностей методикой расчета эффективности инвестиций предусмотрены:

- варианты расчеты, отличающиеся исходными данными;
- проверка устойчивости показателей эффективности инвестиций по отношению к прогнозируемым капитальным затратам и ценам на продукцию.

Рассмотрены варианты обустройства месторождений, отличающиеся:

- 1) видом товарной продукции (сжатый газ, сжиженный газ, товарный продукт после переработки газа на добывающем объекте – синтетическая нефть, диметилвый эфир и др.);

- 2) типом добывающих объектов (платформы, суда);

- 3) дефвейтом транспортных судов (50–150 тыс.т);

- 4) рынком сбыта (Европа, Америка, Юго-Восточная Азия);

- 5) схемой перевозок (прямые или перевалочные).

Схема объектов обустройства по добыче и переработке природного газа в товарный продукт, а также отгрузки его танкерам приведена на рис.1.

Для оценки технико-экономической эффективности вариантов:

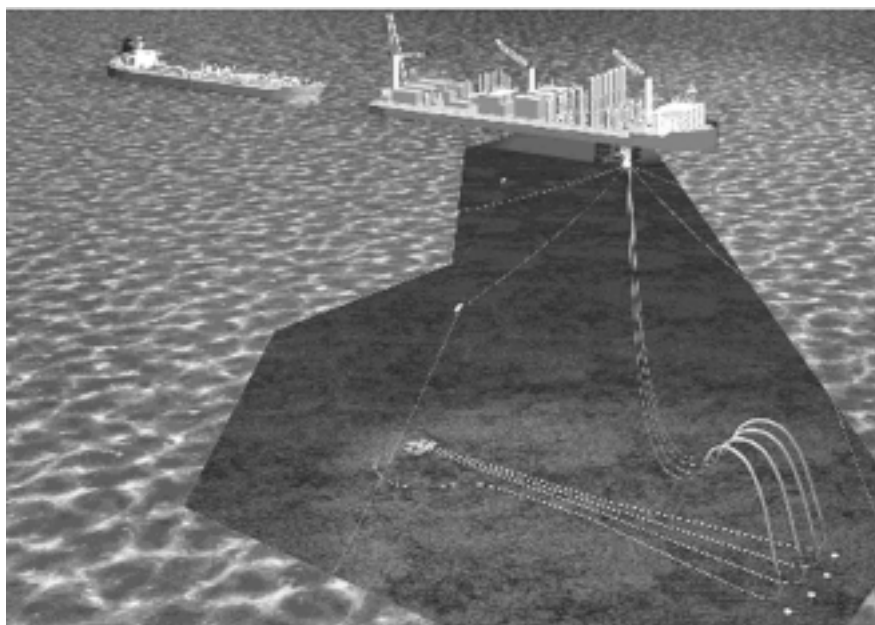


Рис. 1. Морской комплекс по добыче природного газа с помощью подводных устройств закачивания скважин (внизу), получения из него товарной продукции непосредственно на месторождении с помощью производственно-транспортного судна (вверху, в центре) и ее отгрузки танкеру (вверху, слева)

разработана экономико-математическая модель расчета основных технико-экономических и инвестиционных показателей;

выполнена оценка капитальных затрат на элементы обустройства;

рассчитаны эксплуатационные расходы по элементам обустройства и укрупненным статьям затрат;

оценены основные экономические и инвестиционные показатели вариантов, такие как:

- выплата процентов по кредиту доход государства (налоги и пошлины);
- общие затраты за расчетный период;
- удельные затраты на 1 т продукции;
- чистый доход (прибыль инвестора) за расчетный период;
- чистый дисконтированный доход для дисконта 10%;
- внутренняя норма доходности;
- срок окупаемости;
- максимальная отрицательная наличность в расчетном периоде;

рассчитан поток наличности для рекомендуемого варианта, имеющего

лучшие технико-экономические и инвестиционные показатели

оценена чувствительность ВНД рекомендуемого варианта к возможному изменению цен на продукцию и капитальных затрат, а также изменению условий реализации.

Основные расчетные сценарии и экономические параметры. Расчетный период принят продолжительностью 35 лет; он включает:

- четыре года, предшествующие началу добычи газа;
- эксплуатационный период – 30 лет;
- ликвидационный период – 1 год.

Интенсивность производства и перевозок принята пропорционально динамике добычи газа и считалась постоянной по месяцам каждого года эксплуатационного периода.

Пунктами реализации продукции приняты: США (Мексиканский залив), Европа (Роттердам), Юго-Восточная Азия (Сингапур).

Доставка персонала на добывающие объекты осуществляется вертолетом, грузов снабжения – специализированным судном типа

«Нефтегаз» с периодичностью 1 раз в две недели.

Оценка инвестиционных показателей выполнялась в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов» Госстроя России, 1994 г. Цены реализации продукта приняты по результатам анализа каждого рынка сбыта. Расчеты выполнялись применительно к типовой схеме финансирования строительства объектов обустройства, которая предполагает следующие условия:

- 1) собственные средства – 30 %;
- 2) заемные средства – 70 %;
- 3) для каждого года строительства оформляется отдельный кредит;
- 4) платежи по каждому кредиту осуществляются равными частями в течение 7 лет по одному платежу в год;
- 5) годовой банковский процент – 8 %.

Учитываются следующие виды федеральных налогов и пошлин:

- 1) на имущество – 2 %;
- 2) на прибыль – 24 %;
- 3) на добычу полезных ископаемых – 147 руб./ тыс. м³.

В составе налогов не учитывается налог на добавленную стоимость, так как продукция вывозится с таможенной территории РФ (Налоговый кодекс РФ, ст. 151, п. 2).

Результаты сопоставительных технико-экономических расчетов вариантов обустройства малых морских месторождений газа показали следующее:

1. Во всех вариантах обустройства предпочтительнее получать товарную продукцию из газа непосредственно на месторождении.

2. В качестве добывающего объекта целесообразно использовать судно типа FPSO (судно турельного типа).

3. Из возможных рынков сбыта предпочтительным оказывается рынок США по сравнению с европейским и азиатским.

4. Прямые перевозки оказываются эффективнее, чем перевалочные.

5. Варьирование вместимости транспортных судов выявило предпочтительный дефвейт транспортного судна около 100 тыс. т (применительно к североамериканскому рынку). ■