Процессный подход к планированию расходов на топливо в судоходной компании

ТЕМА: **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПЛАНИРОВАНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ НА ТОПЛИВО В СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ**

АВТОРЫ: **К.В. ЯТЧУК, аспирант; Н.Н. ПУТИЛОВА, к.э.н., профессор; С.Н. МАСЛЕННИКОВ, к.т.н., доцент, зав. кафедрой; СГУВТ; С.Н. ВЕДЕРНИКОВ, генеральный директор ОАО «ТСК»**

Географическое положение России обусловливает важную роль водного транспорта в национальной экономике, ведь в частности в Западной Сибири речные перевозки грузов и пассажиров осуществляются в условиях отсутствия разветвленной сети автомобильных и железных дорог. В связи с этим актуальной научной экономической задачей представляется повышение эффективности деятельности региональных судоходных компаний (СК) с целью стимулирования развития не только отрасли, но и всего транспортного комплекса Сибири, страны в целом.

На современном этапе СК работают на рынке транспортных услуг с достаточно жесткой конкуренцией, однако методы управления и планирования, применяемая информационная база недостаточно адаптированы к нынешним обстоятельствам. Так, в основу планирования эксплуатационных расходов на топливо по-прежнему закладываются соответствующие фактические данные о количестве потребленного судового горючего за прошедшую навигацию. Но подобный принцип не учитывает особенностей предстоящей навигации, потенциальные внешние и внутренние риски.

В СК практически не используются экономико-математические методы моделирования работы флота, позволяющие оптимизировать процесс использования судов, и следовательно, расход топлива. Также несовершенно оперативное планирование, пока на низком уровне остается использование передовых информационных технологий. В условиях нестабильности и неопределенности среды функционирования это ведет к неэффективному планированию эксплуатационных расходов.

В качестве примера в таблице даны результаты сопоставления плановых и фактических расходов на топливо и электроэнергию в ОАО «ТСК» за 2008-2013 годы.

Анализ приведенных данных свидетельствует о серьезном недостатке применяемого на предприятии подхода к планированию: в отдельные годы отклонение от плановых цифр по рассматриваемой статье затрат достигает 25-28%.

В настоящей работе предлагается усовершенствованный метод планирования эксплуатационных расходов на топливо в СК, который в отличие от распространенных способов позволяет придать процессу планирования (ПП) свойство оперативности и адаптивности за счет учета расхода топлива на каждом судне (группе однотипных единиц флота) при выполнении рейсов, а также экспертной оценке рисков прогнозирования.

Выполнение плана расходов на топливо и электроэнергию в ОАО «ТСК» за 2008-2013 годы

Статья затрат	Год	Отклонение факта от плана	
		Абсолютное, тыс. руб.	Относительное, %
Топливо и энергия	2008	-6625	96
	2009	-42657	66
	2010	28050	128
	2011	-2601	99
	2012	116104	125
	2013	104 146	122

Напомним, что Президентом России была поставлена задача органам власти, науки и бизнеса по концентрации ресурсов на внедрении новых производственных технологий. Указом от 7 июля 2011 г. № 899 [1] энергосбережение и энергоэффективность отнесены к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники. К 2020 г., по сравнению с 2007 г., энергоемкость национального валового продукта должна быть снижена не менее чем на 40% [2].

Авторы публикаций и научных исследований 1970-80-х годов [3-5] решали проблему экономии топлива в основном путем совершенствования работы судовых дизелей.

Переход на рыночные отношения, рост цен на энергоресурсы, значительное увеличение удельного веса горючего в себестоимости речных перевозок вынудили ученых-экономистов (как отечественных, так и зарубежных) вновь обратить внимание на проблему планирования расходов.

Следует отметить, что в научных трудах конца XX–начала XXI веков [6-9] задачи адаптации транспортных предприятий к изменяющимся условиям внешней среды не были решены. Исследователи рассматривали вопросы преимущественно оптимизации процесса судовождения, работы силовых установок, а также

внедрения автоматизированных систем управления. Не было разработано комплексного механизма планирования эксплуатационных расходов на топливо в СК, учитывающего рыночную конъюнктуру, факторы риска, ресурсосберегающие мероприятия.

На сегодняшний день при планировании потребности в горючем у СК устанавливаются нормы его расхода, исходя из данных прошлой навигации (с корректировкой на изменения объема работы—грузооборота). Для этого используется формула плановой потребности топлива в навигацию:

$$V_н = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} V_{фi}\right)\left(\sum_{j=1}^{m} A_{прj}\right)}{\sum_{i=1}^{n} A_{фi}},$$

где $V_ф$ — фактический расход топлива на i-й линии перевозки СК по итогам прошедшей навигации;

$A_{прj}$ — прогнозный объем грузооборота СК в предстоящую навигацию на j-й линии перевозки, тыс. т;

$A_{фi}$ — фактический грузооборот компании на i-й линии перевозки;

n — количество линий перевозки в предыдущую навигацию;

m — количество линий перевозки в планируемую навигацию.

В общем случае n≠m.

С целью повышения качества планирования расходов на топливо авторы статьи предлагают использовать метод моделирования бизнес-процессов, в основе которого лежит описание процедуры с помощью разнообразных элементов (например, действий). Процессный подход к планированию расходов на топливо позволяет выстроить логическую взаимосвязь всех составляющих, характерных для ПП от начала до его завершения.

Моделирование также должно учитывать внешние (по отношению к СК) процессы, оказывающие влияние на конечный результат планирования. Однако принятие во внимание чрезмерно большого количества факторов, воздействующих на ПП расходов на топливо, может значительно усложнить модель и затруднить решение поставленной задачи. Во избежание

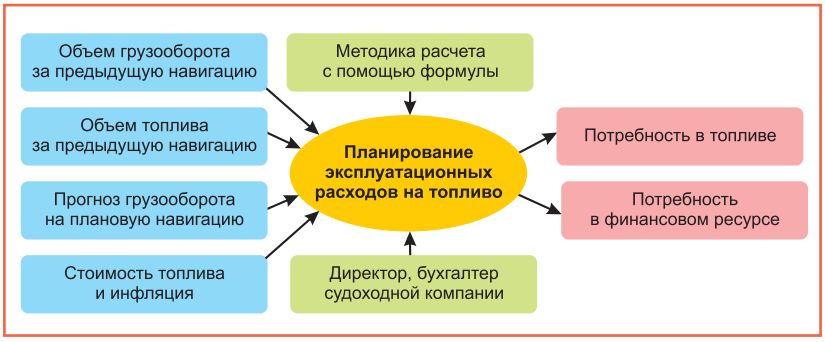


Рис. 1. Модель планирования эксплуатационных расходов на топливо в судоходной компании (0-й уровень)

избыточности описания ПП целесообразно применять различные виды моделирования, в зависимости от исследуемых элементов, чтобы концентрироваться на определенных параметрах.

Для планирования расходов на топливо необходимо использовать функциональное и имитационное моделирование. Первое предполагает описание ПП в виде четко структурированных взаимосвязанных функций; второе рассматривает ПП с учетом влияния различных внешних и внутренних условий, с анализом динамических характеристик изменения процесса и с оценкой эффективности распределения ресурсов.

Процессный подход к планированию включает несколько последовательных стадий:

1) Построение исходной модели (0-й уровень), которая в настоящее время характеризует порядок планирования на предприятии; в процессе моделирования определяются ключевые элементы и границы ПП.

2) Анализ исходной модели, выявление противоречий, дублирования действий, взаимосвязей с другими процессами (уточненный 0-й уровень); обосновывается необходимость изменения ПП и делается уточнение исходной модели;

3) Построение модели, отражающей желаемое состояние ПП, с учетом рекомендаций, направленных на повышение его эффективности (1-й уровень);

4) Внедрение разработанной модели ПП расходов на топливо в практику деятельности СК, апробация модели и внесение необходимых корректировок.

На рис. 1 представлена модель ПП эксплуатационных расходов на топливо в СК (0-й уровень).

Очевидно, что описанная процедура обладает важным достоинством — простотой расчета. Но при этом не учитываются возможные направления экономии расходов и риски:

— оптимизация работы флота (соответствие технических характеристик флота путевым условиям, снижением порожнего пробега, рациональная расстановка судов по линиям);

— нормирование расхода топлива с учетом эффективного режима работы двигателей и гидрологических характеристик судового хода [10];

— выявление дополнительных элементов ПП расходов, оценка факторов риска.

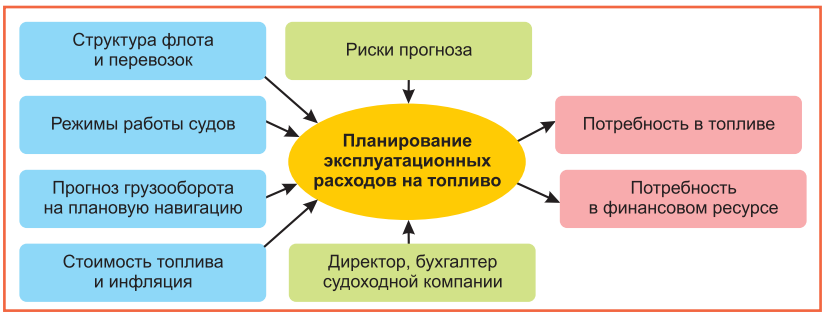


Рис. 2. Модель планирования эксплуатационных расходов на топливо в судоходной компании (уточненный 0-й уровень)

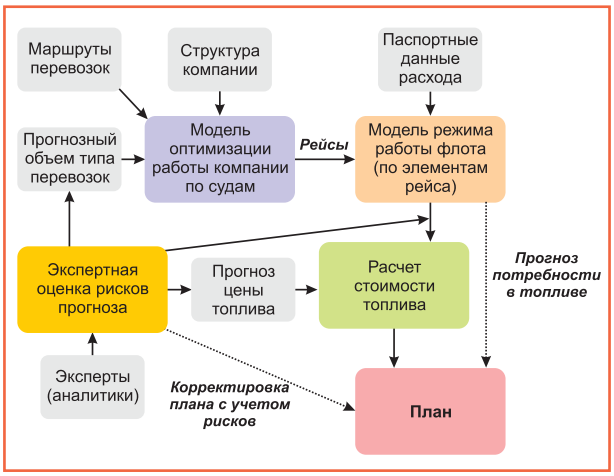


Рис. 3. Контекстная диаграмма метода планирования эксплуатационных расходов на топливо в СК (1-й уровень)

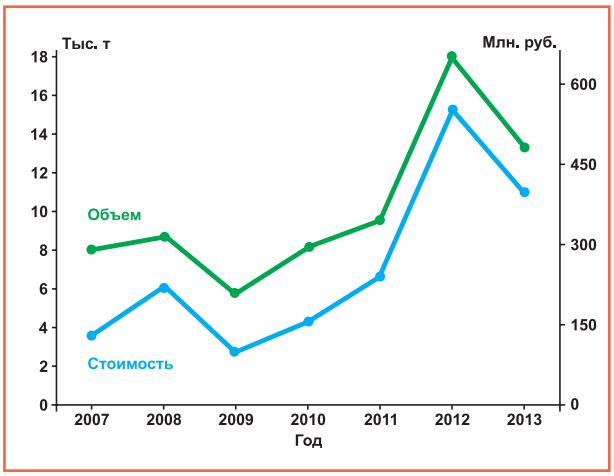


Рис. 4. Динамика объема и стоимости закупки топлива в ОАО «ТСК»

При существенных изменениях первоначальных прогнозных параметров плана выполняется корректировка модели ПП (адаптивное изменение плана). Тогда модель планирования эксплуатационных расходов будет иметь вид, как на рис. 2 (уточненный 0-й уровень).

Уточненная (усовершенствованная) модель планирования не использует (частично применяет) данные прошедшей навигации, поэтому входными параметрами для корректировки ПП расходов на топливо будут выступать:

— структура флота и перевозок;

— намечаемые объемы и маршруты перевозок;

— режимы работы судов для нормирования расхода топлива;

— экспертные оценки прогнозных рисков.

Поскольку планирование эксплуатационных расходов на топливо является предметом исследования, авторами была сделана декомпозиция модели. На рис. 3 представлена модель 1-го уровня с учетом рекомендаций по совершенствованию ПП.

Предложенный процессный подход к планированию эксплуатационных расходов на топливо был апробирован в ОАО «ТСК». Для построения модели 0-го уровня рассматривалась динамика деятельности СК по основным направлениям (материалы отчетов об эксплуатационной работе компании за 2008-2014 годы) [9].

Приведенные сведения подтверждают отсутствие устойчивой тенденции изменения объема перевозок и соответственно сложность прогнозирования значения данного показателя.

На рис. 4 показана динамика объема и стоимости закупки топлива в ОАО «ТСК».

Планирование расхода топлива при больших объемах расхождения прогноза перевозок с фактическим объемом транспортной работы за предшествующую навигацию носит эвристический характер, что негативно отражается на финансовых потоках. Так, в 2010 году из-за некорректного планирования было выделено недостаточно средств на закупку горючего, и потребовалось дополнительное финансирование. А в навигацию 2012 года компания приобрела топливо на сумму 578651 тыс. руб., при этом стоимость фактически израсходованного флотом топлива составила 460085 тыс. руб. В итоге свыше 100 млн. руб. были выведены из оборота.

Результаты анализа данных (рис. 4) свидетельствуют о наличии взаимосвязи объема транспортной работы и затрат на горючее. Однако в целом можно сделать вывод о неточности планирования расходов на топливо только с учетом ожидаемого изменения грузооборота.

Апробирование процессного подхода к планированию затрат на горючее на примере ОАО «ТСК» показало, что в результате моделирования и рассмотрения дополнительных элементов ПП достоверность прогноза повышается на 28-30%.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Указ Президента России от 04.06.2008 г. № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики». **2.** Указ Президента России от 07.07.2011 г. № 899 «Приоритетные направления развития науки, технологий и техники РФ». **3.** Бланк Ш.П., Митаишвили А.А. Экономика внутреннего водного транспорта. — М: Транспорт, 1972. — 488 с. **4.** Карпов А.Б. Расчеты сопротивления воды движению речных судов. — Горький: ГПТИ, 1971. — 126 с. **5.** Пьяных С.М. Элементы оптимизации управления работой флота. — Горький: ГИИВТ, 1981. — 151 с. **6.** A ship propulsion system as a bench-mark for fault-tolerant control / M. Blake // CEP, Oxford: Elsevier Scien. Ltd., 1999. — p. 227-239. **7.** Management Systems for Inland Waterway Traffic Control / R.A. Mundy, J.F. Campbell // Center for Transportation Research and Education. — Iowa State University, 2005. **8.** Платов А.Ю. Методы оперативного планирования работы речного грузового флота на основе оптимального нормирования ходовой операции (монография). — Н. Новгород: ВГАВТ, 2009. — 155 с. **9.** Ширяев Е.В. Автоматизация системы планирования на водном транспорте. — М: «Альтаир», МГАВТ, 2006. — 271 с. **10.** Аспекты развития воднотранспортной системы «флот—путь» на реках Сибири / Масленников С.Н., Галимова Д.А. // «Речной транспорт (XXI век)», 2015. — № 3(74). — с. 55-58.

Инновационная гребная электрическая установка пассажирского колесного судна

ТЕМА: **ПРЕИМУЩЕСТВА ПЕРЕДОВОЙ АППАРАТУРЫ, КОТОРОЙ ОСНАЩЕНА СЕРИЯ СОВРЕМЕННЫХ КОЛЕСНЫХ МЕЛКОСИДЯЩИХ ТЕПЛОХОДОВ**

АВТОРЫ: **Д.Н. ГАЛКИН, генеральный директор Группы компаний «ГАМА»;**
А.Б. КОРНЕВ, проректор по научной работе и внешним связям ВГУВТ;
Е.М. БУРДА, к.т.н., доцент ВГУВТ

ФОТО: **Предоставлены ГК «ГАМА»**

Группа компаний «ГАМА» инициировала и реализовала проект по постройке серии пассажирских колесных судов с малой осадкой. На данный момент сошли со стапелей и активно эксплуатируются 3 таких теплохода: «Сура» (район плавания – реки Волга и Ока около г. Нижнего Новгорода), «Колесовъ» (р. Москва в столице) и «Доброходъ» (Севастопольская бухта у г. Севастополя).

Примечательный факт: на данных колесных судах впервые в истории отечественного речного судостроения применен инновационный принцип формирования гребной электрической установки (ГЭУ), основанный на использовании частотно-управляемого электропривода гребных колес (ГК).

Частотно-регулируемый электропривод ГЭУ позволяет существенно упростить механическую часть, предоставляет возможность в широком диапазоне изменять угловую скорость двигателя, что очень важно при швартовных операциях или на аварийных режимах (например, стоянка «под током»).

Кроме того, плавные пуск и остановка двигателя исключают вредное воздействие переходных процессов на ГЭУ, а уменьшение пускового тока до номинального уровня повышает ее долговечность, снижает требования к мощностям питающей сети и коммутирующей аппаратуры.

Кстати, при уменьшении частоты вращения ГК на 20% резко, почти в 2 раза, падает потребляемая электродвигателем ГЭУ мощность, следовательно, на среднем ходу получается значительная экономия топлива.

Структурная схема единой электроэнергетической системы колесного теплохода показана на рис.

Электростанция, являющаяся общей как для питания ГЭУ, так и для общесудовых потребителей, включает 2 дизель-генератора (ДГ1 и ДГ2) мощностью по 100 кВт. Их параллельная работа не предусмотрена ввиду недостаточной надежности синхронизации из-за наличия высших гармоник в судовой сети. Для улучшения динамических характеристик привода ГК (М1, К1, М2, К2) каждый из преобразователей (ПЧ1 и ПЧ2)питается от отдельного генератора; при этом они передают электроэнергию другим потребителям.

При выходе из строя или плановом отключении одного из дизель-генераторов автоматически задействуется имеющийся межсекционный контактор SF, и оба ПЧ с остальными потребителями получают питание от одного агрегата. В данном режиме максимальная скорость судна и допустимая частота вращения ГК снижаются примерно на 20%. Процесс переключения длится менее 1 с, что с учетом инерционности привода ГК практически не отражается на управляемости судна. Подхват скорости вращения колеса «на ходу»

Серия колесных пассажирских судов

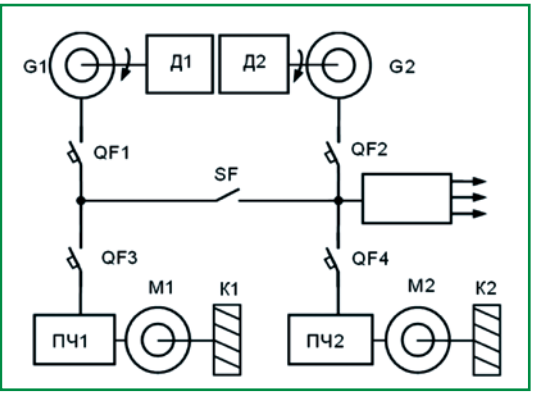
«Сура»

«Колесовъ»

«Доброходъ»

КСТАТИ

На данных колесных судах впервые в истории отечественного речного судостроения применен инновационный принцип управления гребной электрической установкой.



Структурная схема единой электроэнергетической системы колесного судна

выполняется автоматически после восстановления питания. Также присутствует функция «нулевой защиты».

Управление ГЭУ осуществляется из рубки с помощью двух джойстиков:

— на судне «Сура» — напрямую на управляющие входы ПЧ; каждому колесу можно задать 3 частоты вращения вперед и назад;

— на судах «Колесовъ» и «Доброходъ» в ходовом режиме левый джойстик, отклоняемый вперед—назад, задает частоту вращения колес, правый джойстик, отклоняемый вправо—влево, устанавливает требуемый вектор тяги.

Если в ходовом режиме команды подаются на ПЧ через компьютер, то в аварийном режиме управление выполняется с манипуляторов напрямую на управляющие входы ПЧ по отдельному кабелю.

На судне «Сура» размещено 2 гребных двигателя мощностью по 55 кВт. Диаметр каждого колеса равен 3 м. Максимальная скорость в стоячей воде — 11 км/ч.

Суда «Колесовъ» и «Доброходъ» оснащены гребными двигателями мощностью по 75 кВт. Диаметры колес равны 4,72 м. Максимальная скорость в стоячей воде у теплохода «Доброходъ» получается выше за счет улучшенных гидродинамических характеристик корпуса — 16 км/ч.

В ГЭУ используются преобразователей частоты (ПЧ) известного производителя, одобренные Российским Речным Регистром; благодаря надежности и помехозащищенности они обеспечивают длительную службу ГЭУ.

Зависимость скорости судна, потребляемой мощности и расхода топлива от частоты вращения колес

Режим ГД, ход	Частота вращения колес, об./мин.	Скорость судна, км/ч	Потребляемая мощность, кВт	Расход топлива, кг/ч
Малый	7,8	9,2	25	5,13
Средний	13,3	12,5	74	15,2
Полный	17,7	16	140	28,7

Применяемые ПЧ выдерживают падение напряжения питания до 50% и могут функционировать без снижения мощности при температуре до 50°С. Данные преобразователи гарантируют полную безопасность эксплуатации ГЭУ, поскольку одновременно защищают сами себя, а также двигатель (электронное реле и РТС-датчики) и механизм в целом.

Защитная функция блокировки преобразователя «съём мощности» (от англ. «power removal») реализована с помощью размещенного на пульте ключа-марки, что исключает несанкционированный пуск двигателей ГЭУ, обеспечивая безопасность персонала.

При непредвиденных перегрузках ПЧ автоматически ограничивают частоту вращения ГК (вплоть до остановки) и момент на валу гребного электродвигателя до такого уровня, чтобы возникшие перегрузки не привели к механическим поломкам, выводу из строя дизель-генератора. После устранения перегрузки гребной двигатель автоматически выходит на частоту вращения, заданную с ходового пульта.

Рассмотрим более подробно отличительные особенности самого «молодого» из трех теплоходов — судна «Доброходъ».

Темп набора максимальной скорости вращения ГК, равной 17,7 об./мин., программируется в ПЧ и ограничивается с целью уменьшения нагрузки на дизель-генератор. Разгон осуществляется в два приема за 15 с: до 12 об./мин. за 4 с, с 12 до 17,7 об./мин. за 11 с.

Зависимость скорости судна, потребляемой мощности и расхода топлива от частоты вращения ГК представлена в таблице.

Для быстрой остановки ГК в ГЭУ используются тормозные сопротивления, подключенные к ПЧ. Так, чтобы эффективно тормозить двигателем мощностью 75 кВт вполне достаточно сопротивления в 1 кВт. Процесс

Преобразователи частоты теплохода «Сура»

Преобразователи частоты теплохода «Колесовъ»

Капитан судна «Доброходъ» Рафаэль ВАРТАНОВ в рулевой рубке

Информационная панель компьютера пульта управления колесным судном

торможения с полной скорости до нуля занимает 2-3 с. Однако мгновенно реверсировать колесо после его полной остановки невозможно, поскольку судно продолжает двигаться по инерции, и момент, необходимый для реверса, в 2-2,5 раза превышает момент, который может развить двигатель при питании от ПЧ и электростанции ограниченной мощности. Преобразователь будет ограничивать требуемый момент и задание на частоту вращения до тех пор, пока судно не замедлится до такой скорости, когда реверс будет возможен.

При торможении со скорости менее 10 км/ч джойстик можно сразу переводить из положения «полный вперед» в положение «полный назад».

Время до полной остановки судна в режиме аварийного торможения, когда джойстик из положения «полный вперед» при максимальной скорости судна 16 км/ч переводится в положение «полный назад», составляет 40 с, при этом пройденный путь равен 98 м. При аналогичном торможении со скорости 9,3 км/ч время до полной остановки составит 18 с, пройденный путь – 34 м.

В режиме циркуляции судна, когда одно колесо сохраняет частоту вращения 17,7 об./мин., а другое колесо устанавливается в режим 0 об./мин. (так называемая «условная перекладка 50%»), период полной циркуляции равен 1 мин. 26 с, а диаметр циркуляции – 0,7 длины судна. По результатам испытаний было определено, что при выполнении маневра «враздрай» из состояния покоя (обороты колес – 15,8/-15,8) теплоход разворачивается на месте на 360° за 110 с.

Как показали испытания судна «Доброходъ», ГЭУ с частотно-регулируемым приводом обеспечивает теплоходу отличные разгонные и тормозные характеристики, хорошую маневренность.

Важно отметить значительную топливную экономичность судна. Так, при перегоне теплохода из Нижнего Новгорода в Ростов-на-Дону при средней скорости движения 14 км/ч, с учетом стоянок суммарной продолжительностью примерно треть времени рейса при работающем дизель-генераторе, было израсходовано всего 3800 кг горючего. То есть судно тратит в среднем 120-135 кг топлива на 100 км пути.

Описанная инновационная ГЭУ пассажирского колесного судна доказала свою высокую надежность: за все время ее эксплуатации ни на одном из теплоходов не было зафиксировано отказов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Бурда Е.М. Система электродвижения пассажирского судна «Сура-2» / Труды 15-го межд. пром. форума «Великие реки-2013», т. 2. – Н. Новгород: ВГАВТ, 2013. – с. 386-388. **2.** Компьютеризованная система управления пассажирским колесным теплоходом / Плющаев В.И., Галкин Д.Н., Итальянцев С.А. // Речной транспорт (XXI век), 2014. – № 6. – с. 35-37. **3.** Хватов О.С., Бурда Е.М., Коробко Г.И., Коробко И.Г. Электропривод гребной электрической установки колесного судна / Труды VIII межд. (XIX всероссийской) конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП-2014», т. 2. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2014. – с. 226-230. **4.** Единая электростанция колесного судна с электродвижением типа «Сура» / Хватов О.С., Бурда Е.М., Тарпанов И.А. // Вестник ВГАВТ, вып. 44. – Н. Новгород, 2015.

КСТАТИ

Важно отметить значительную топливную экономичность судна – в среднем 120-135 кг горючего на 100 км пути.

НАУЧНЫЕ РАБОТЫ / SCIENCE WORKS

36 МГАВТ
С.М. Крутиев, В.А. Зябров. **Исследование возможности кратковременного повышения мощности дизеля с целью предотвращения аварии судна**

38 МГАВТ
В.К. Новиков, И.А. Минаева, Д.Г. Кожин. **Научно-методические основы повышения безопасности для окружающей среды перевозок нефти водным транспортом**

41 МГАВТ
З.Л. Каган. **Принципы разработки типоразмерного ряда движительно-рулевого устройства с оптимальными характеристиками**

46 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
В.В. Каретников, Ю.В. Яцук, Р.В. Волков. **Способы компенсации динамической просадки кормы судна, движущегося на мелководье и выполняющего путевые работы**

49 ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова
В.М. Приходько, И.В. Приходько, В.Ю. Лучкин. **Вероятностное описание характеристик срабатывания защиты судовых электроэнергетических систем**

52 ВГУВТ
А.Е. Пластинин. **Идентификация событий при разливах нефти с судов**

57 ВГУВТ, НГТУ им. Р.Е. Алексеева
А.В. Соловьёв, Е.Н. Гибулин. **О необходимости применения органом классификации судов современных информационных технологий**

58 АННОТАЦИИ

59 ANNOTATIONS

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Исследование возможности кратковременного повышения мощности дизеля с целью предотвращения аварии судна

АВТОРЫ: С.М. КРУТИЕВ, преподаватель, аспирант; В.А. ЗЯБРОВ, к.т.н., доцент; кафедра «Судовые энергетические установки и автоматика» (СЭУиА)

Обеспечение безопасности судоходства является одной из важнейших государственных задач. Для ее решения применяется широкий перечень мер: от нормативно-правового регулирования до инженерно-технических средств.

Однако, несмотря на все усилия, аварийность на водном транспорте пока не снижается [1]. В целом небольшое количество транспортных происшествий нередко имеет серьезные последствия: гибель людей, затопление судна, утрата перевозимого груза, дорогостоящий ремонт имущества.

По статистике в результате аварий чаще всего повреждается корпус (обшивка) судна. Причина – внешнее воздействие при столкновении с другим судном, посадке на мель или соударении с неподвижными элементами гидротехнических сооружений.

Зачастую в ходе анализа случившегося в качестве одного из фактов, приведших к негативному развитию событий, отмечается нехватка мощности судовой энергетической установки (СЭУ) для совершения экстренного маневра или интенсивного снижения скорости движения за счет реверса винта при работе машины на максимальной мощности.

Кратковременно повысить мощность и улучшить маневровые качества судна в некоторых экстренных ситуациях позволяют системы и устройства пропульсивных двигателей с расширенными характеристиками. Однако в настоящее время в России на речном флоте практически отсутствуют подобные системы, способные наращивать мощность силовой установки сверх номинальной.

Рассмотрим классическую формулу мощности:

$$P_e = \frac{Q_H}{L_0'} \cdot \frac{n}{60k} \cdot V_s \cdot i \cdot \frac{\eta_i}{\alpha_1'} \cdot \Phi_c \cdot \rho_{int} \cdot \eta_m \ ,$$

где P_e – эффективная мощность;
Q_H – низшая теплота сгорания топлива;
L'_0 – количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива;
n – частота вращения коленчатого вала;
k – коэффициент тактности;
V_s – рабочий объем цилиндров;
i – количество цилиндров;
η_i – индикаторный КПД;
α'_1 – коэффициент избытка воздуха;
Φ_c – коэффициент наполнения;
ρ_{int} – плотность наддувочного воздуха;
η_m – механический КПД.

Таким образом, далеко не все способы повышения мощности представляется возможным применить на уже существующем двигателе. Нельзя изменить ряд параметров: количество цилиндров, рабочий объем двигателя, механический КПД, коэффициенты наполнения и тактности. Индикаторный КПД определяется на стадии проектирования и имеет максимальные значения в режиме номинальной работы двигателя.

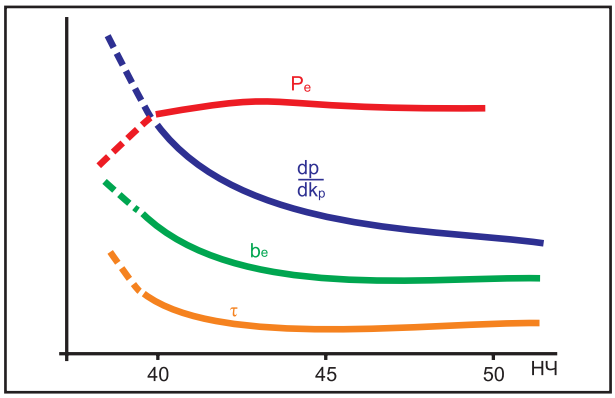


Рис. 1. Влияние цетанового числа на различные показатели: P_e – эффективная мощность; b_e – удельный эффективный расход топлива; dp/dk_p – «жесткость» работы дизеля; τ – время пуска

Из приведенного выражения следует, что при снижении коэффициента избытка воздуха должна расти мощность двигателя. Однако при уменьшении α'_1 значительно падает индикаторный КПД, поскольку вследствие локального дефицита кислорода, вызванного несовершенством смесеобразования, существенно ухудшается процесс сгорания.

Самым распространенным способом повышения мощности является наддув, когда для повышения доли сгораемого за цикл топлива массу воздуха, подаваемого в цилиндры, увеличивают путем предварительного сжатия и последующего охлаждения. Однако установка электри-

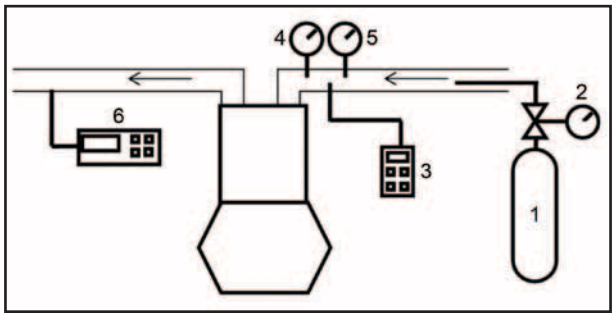


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – кислородный баллон; 2 – понижающий кислородный редуктор; 3 – датчик кислорода (Testo235m); 4 – вакуумметр; 5 – термометр (Testo235m); 6 – газоанализатор (Infralight-11 p)

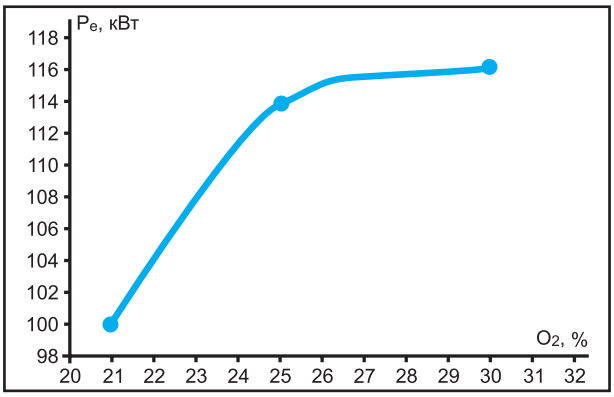


Рис. 3. График изменения мощности на номинальных оборотах в зависимости от концентрации кислорода

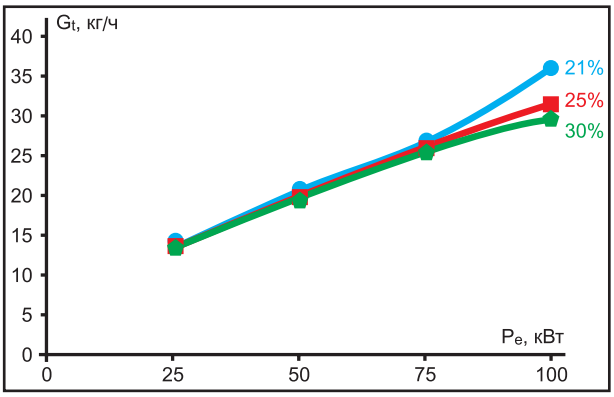


Рис. 4. График изменения G_t

ческого турбонагнетателя на большинстве двигателей, уже оснащенных турбонаддувом, объективно затруднена. Кроме того, эффективность такого подхода будет невелика, ведь потребуются турбонагнетатели больших мощностей, а значит с немалыми габаритами и инерционностью.

Рациональнее изменять свойства топлива, но, судя по графику (рис. 1), значительного прибавления мощности добиться весьма непросто. Увеличивая цетановое число (ЦЧ) можно незначительно повысить мощность с помощью высокоцетановых компонентов или специальных присадок, добавляемых в топливо перед топливным насосом высокого давления (ТНВД).

Переключение машины на другой вид жидкого или газообразного (водород) топлива потребует усложнения конструкции топливной аппаратуры и наличия особого механизма, позволяющего изменять углы фаз газораспределения «на ходу». При этом важно понимать, что хранение водорода на судне связано с большой проблемой, ведь это очень легкий, летучий и крайне взрывоопасный газ.

Перечисленные способы подразумевают затрату времени для запуска системы увеличения мощности, что в нештатной ситуации равнозначно утяжелению последствий аварии.

Оптимальным вариантом может выступать предлагаемая авторами статьи методика кратковременного повышения мощности, она позволяет путем изменения параметров работы двигателя кратковременно улучшать тяговые и маневровые качества судна. При этом условием кратковременного повышения мощности является увеличение концентрации кислорода в свежем заряде воздуха в цилиндре дизеля.

На кафедре «СЭУиА» МГАВТ был проведен эксперимент с целью выявления эффективности метода добавления кислорода во впускной коллектор двигателя для кратковременного увеличения его мощности.

Принципиальная схема опытной установки представлена на рис. 2, где главный элемент – дизель-генератор (6Ч18/22) с нагрузочным генератором, работающий по нагрузочной характеристике с постоянной частотой вращения 750 об./мин. (во избежание перегрузки машины).

Во впускной коллектор через понижающий редуктор из баллона 1 подавался кислород (90%), который, перемешиваясь со свежим зарядом, образовывал смесь с определенным процентным содержанием кислорода. Однородность воздуха во впускном коллекторе обеспечивалась удлиненным впускным трубопроводом длиной 2,5 м. Концентрация кислорода на впуске контролировалась специальным датчиком. Двигатель работал по нагрузочной характеристике. Температура и давление (вакуум) контролировались на впуске термометром 4 и вакуумметром 5.

Полученные результаты показаны на рис. 3.

Наряду с эффектом, связанным с повышением мощности, применение кислорода позволяет снизить концентрацию продуктов неполного сгорания, что на нагруженном режиме препятствует интенсивному закоксовыванию камеры сгорания двигателя (рис. 4, 5 и 6).

Во избежание проблемы со взрывобезопасностью при хранении значительного количества этого газа на судне, рационально получать его непосредственно на борту, используя технологию полимерных мембран.

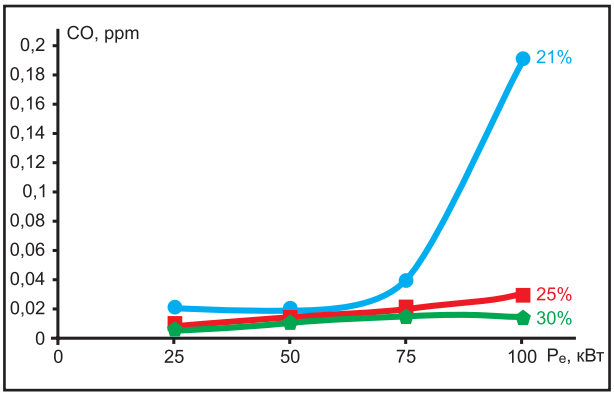


Рис. 5. График изменения CO

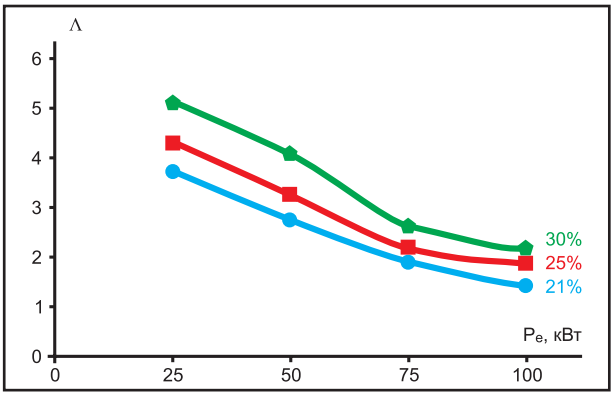


Рис. 6. График изменения α

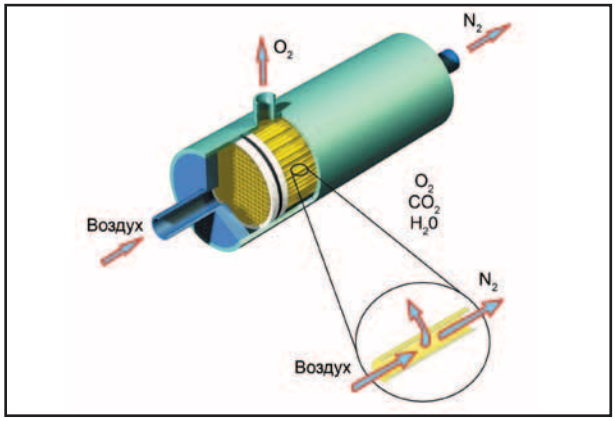


Рис. 7. Схематическое изображение газоразделительного картриджа

Принципиальная схема соответствующего устройства представлена на рис. 7.

Основой данной технологии является половолоконная мембрана. За счет разницы парциальных давлений на ее внешней и внутренней поверхностях осуществляется разделение газов: «быстро» проникающие через нее газы (например, H_2, CO_2, O_2, пары воды, высшие углеводороды) попадают внутрь волокон и направляются из картриджа через первый выходной патрубок; «медленно» проникающие газы (в частности CO, N_2, CH_4) – через второй выходной патрубок. Когда свежий заряд достигает газоразделительного картриджа, молекулы кислорода проходят через мембрану быстрее, чем азота, и, как следствие, концентрация кислорода возрастает.

В заключение стоит отметить, что выполненный эксперимент подтвердил целесообразность добавления кислорода во впускной коллектор двигателя. Во-первых, это без каких-либо усилий (сложных устройств и изменения конструкции двигателя) позволяет кратковременно повышать мощность судового дизеля; во-вторых, достигать эффекта снижения расхода топлива и количества сажестых частиц. Так, на 100% нагрузке при подаче 25% кислорода экономия горючего составляет 13%, по сравнению с обычным воздухом, а при 30% кислорода – до 16%.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Кацман Ф.М., Ершов А.А. Аварийность морского флота и проблемы безопасности судоходства//Транспорт Российской Федерации. 2006. – № 5. **2.** Ильин А.В., Боровских А.М. «Модель 92912». [Электронный ресурс]: poleznayamodel.ru/model/9/92912.html. **3.** Толшин В.И. Автоматизация судовых энергетических установок. – М: Р-Консульт, 2003. – 304 с. **4.** Джэй Сторер, Боб Джекс. Мощность. Тюнинг двигателя. – «Алфамер Паблишинг», 2007. – 200 с. **5.** Брук М.А., Рихтер А.А. Режимы работы судовых дизелей. – Л: СУДПРОМГИЗ, 1963. – 486 с. **6.** Петровский Н.В. Повышение мощности судовых дизелей наддувом. – М: Морской транспорт, 1992. – 449 с. **7.** Возницкий И.В. Практика использования морских топлив на судах. – СПб, 2005. – 178 с. **8.** Толшин В.И., Романов Р.Н. Снижение токсичных выбросов отработавших газов судового дизеля путем увлажнения воздуха, поступающего в дизель// Речной транспорт (XXI век), 2011. – № 3 (51).

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Научно-методические основы повышения безопасности для окружающей среды перевозок нефти водным транспортом

АВТОРЫ: В.К. НОВИКОВ, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой; И.А. МИНАЕВА, к.т.н., доцент; Д.Г. КОЖИН, аспирант; кафедра техносферной безопасности

На современном этапе в России одним из наиболее востребованных грузов, доставляемых водным транспортом, является нефть (и продукты ее переработки). В общем объеме ее перевозок на речные суда приходится порядка 10%, грузооборота – 20-23%.

Поскольку процесс транспортировки углеводородов сопряжен с риском их разлива в результате аварии и с негативными последствиями для людей и окружающей среды (ОС), во избежание загрязнений необходимо руководствоваться положениями действующих документов о запрете вредных сбросов. У Международной морской организации существует конвенция по предотвращению загрязнения моря с судов (МАРПОЛ-73/78), в том числе нефтью (приложение 1) [1].

В нашей стране требования по предотвращению загрязнения водной среды (ВС) нефтью регламентируются соответствующими постановлениями правительства [2-4], санитарными нормами и правилами. Однако эти нормы по ряду объективных и субъективных причин соблюдаются не полностью.

Повышающийся с каждым годом уровень загрязнения ОС, особенно ВС, из-за аварий и несоблюдения мер по предотвращению разливов нефти при проведении различных технологических операций (погрузка/выгрузка, транспортировка, бункеровка судов, зачистка танков) наносит серьезный вред природным и антропогенным ресурсам акватории и побережья, чувствительным к нефтяному загрязнению: воздушному, водному, биологическому, навигационному, эксплуатационному и рекреационному.

Рассмотрим виды ущерба и их последствия для каждого ресурса:

– воздушный – разрушение озонового слоя атмосферы (от попадания фреона, используемого в судовых системах пожаротушения и кондиционирования воздуха); выпадение кислотных дождей (от попадания с отработавшими газами окислов азота и серы); изменение состава воздушной среды (по при-

чине ее загрязнения летучими органическими соединениями); появление в воздушной среде черного углерода – сажи (из-за частичного сгорания топлива).

– водный – лишение источника биологической продукции (вследствие попадания нефти в ВС); уменьшение уровня поддержания газового состава атмосферы; снижение степени участия ВС в круговороте тепла и влаги; нарушение систем течения; сокращение химического сырьевого ресурса ВС для промышленности; изменение химического состава воды и ее ассимиляционного потенциала; падение степени влияния ВС на формирование погоды и климата.

– биологический – живой ресурс водной экосистемы – уменьшение источников продовольствия для населения (рыбы, беспозвоночные, млекопитающие, водоросли); снижение источников органического сырья для приготовления сырьевой (мука для животных) и технической продукции (жир, удобрения); разрыв пищевых цепей и нарушение экологического равновесия; ухудшение жизнедеятельности фитопланктонов (из-за нефтяной пленки, препятствующей проникновению света) и, как следствие, сокращение исходного пищевого звена в воде и кислородного снабжения атмосферы; гибель морских организмов и птиц (при контакте с нефтяной пленкой); нарушение рыбного промысла, то есть падение улова.

– навигационный – нарушение графика путевых работ; задержка движения (простой) флота; прокладка судовых ходов в обход зоны загрязнения.

– эксплуатационный (судна) – затраты сил, средств и времени на выполнение ликвидационных и зачистных работ; нарушение сроков выполнения обязательств по договорам на перевозку нефти.

– рекреационный – нарушение природно-ресурсного потенциала моря и природно-климатических условий его береговой зоны, используемых для санитарно-курортного лечения, отдыха и туризма.

Очевидно, что одной из актуальных задач в области повышения безопасности перевозки нефти ВТ является принятие превентивных мер, которые могут быть реализованы на основе результатов своевременного прогнозирования, выявления, анализа и оценки угроз безопасности [5]. Достичь поставленной цели возможно только при наличии и практическом использовании специального научно-методического аппарата – например, методики, позволяющей прогнозировать и анализировать возникновение чрезвычайных ситуаций с нефтью на всех этапах ее доставки.

В международной и отечественной практике при исследовании таких сложных в техническом и технологическом плане процессов применяют теорию риска – теорию принятия управленческих решений в условиях вероятностной неопределенности. В случае с транспортировкой углеводородов ВТ анализ риска (АР) аварий надлежит рассматривать как вероятность попадания в ОС нефти и нанесения ей ущерба.

Для АР аварий при перевозке углеводородов необходимо лицам, принимающим решения по обеспечению безопасности ее осуществления, предоставить следующие сведения:

– объективную информацию о состоянии безопасности транспортировки;

– данные о наиболее опасных этапах и отдельных звеньях общей цепочки перемещения груза в технологическом процессе;

– обоснованные практические рекомендации по снижению угрозы попадания нефти в ОС.

Областями применения полученных результатов являются оценка воздействия перевозки на ОС и обоснование организационных, технических и технологических решений по снижению риска такого воздействия.

На текущий момент, к сожалению, пока отсутствует применимый на практике научно-методический документ, которым бы могли руководствоваться лица, принимающие решения по обеспечению безопасности доставки нефти ВТ.

В общем виде подобный нормативно-методический документ должен содержать достаточно подробное описание всего процесса АР аварий при перевозке углеводородов, осуществляемого в следующем порядке [6, 7]:

– определение области применения, формирование исходных данных;

– идентификация опасностей процесса транспортировки;

– анализ и оценка величины риска для каждого природного и техногенного ресурса в результате загрязнения ОС;

– обоснование мероприятий по повышению безопасности перевозки.

Поскольку АР загрязнения ОС является достаточно сложной процедурой в теоретическом (и особенно в практическом) плане, прежде всего, необходимо провести специальные исследования по разработке как отдельных составных элементов (этапов) общей системы исследования, так и методики в целом, согласно схеме, представленной на рис.

Сущность и содержание каждого из этапов, подлежащих разработке, сводится к следующему.

При обосновании области и порядка применения методики нужно описать сложившийся порядок транспортировки углеводородов, подлежащий АР; привести основные термины и определения, раскрывающие содержание методики; определить цель, сформулировать задачи АР и перечислить его стадии.

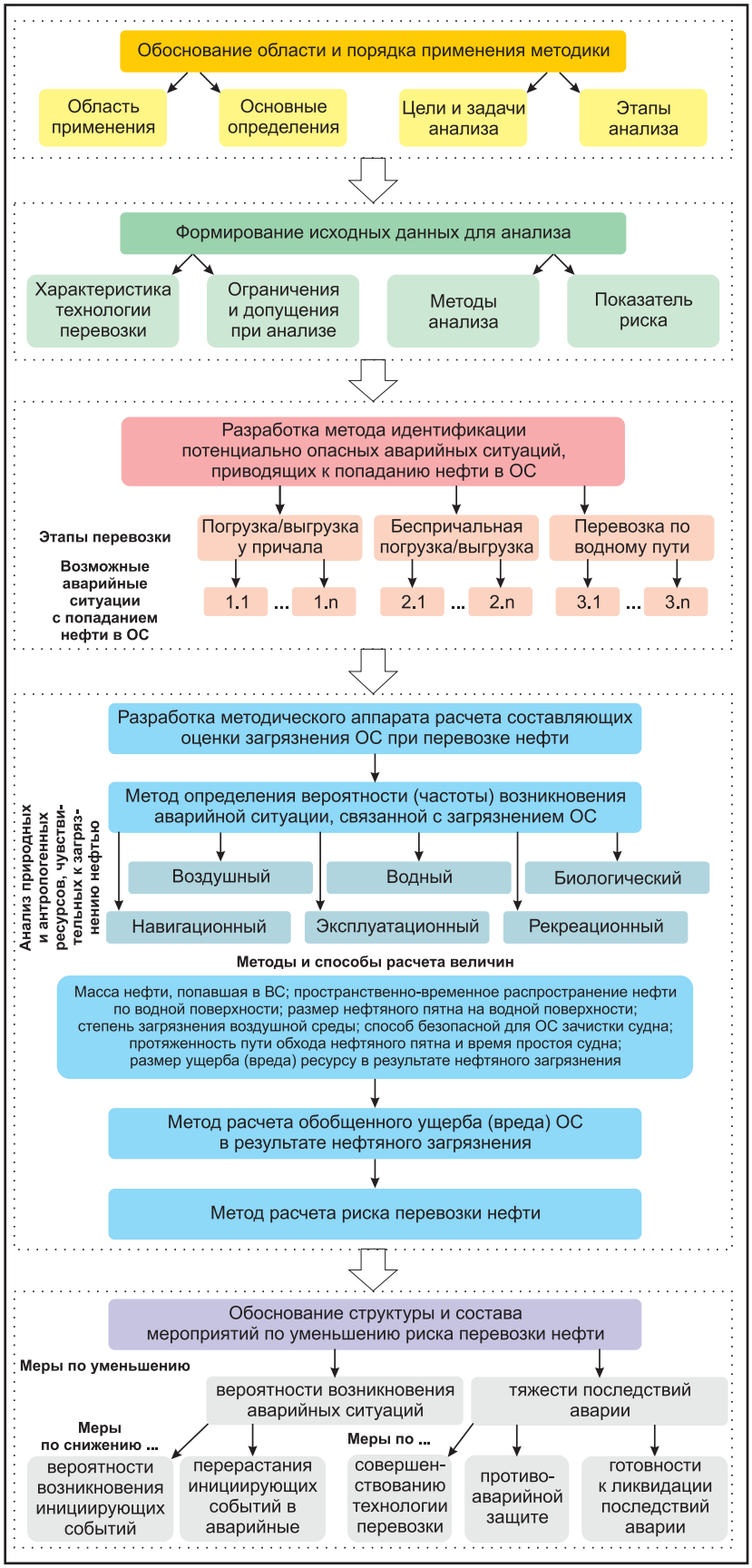
На этапе формирования исходных данных для АР необходимо достаточно подробно, с учетом особенностей возможного воздействия на человека и ОС нефти в случае возникновения аварийной ситуации (АС) с ее разливом в процессе ее транспортировки, исследовать и описать объекты анализа – танкер и все технологические операции, с которыми связано вероятное возникновение причин и проблем, обуславливающих целесообразность выполнения АР.

При этом процесс перевозки нефти в целом следует рассматривать как сложную человеко-машинную систему, а для ее исследования использовать метод системного анализа.

Для практического осуществления идентификации опасностей должен быть разработан обоснованный метод, позволяющий выявлять и четко описывать все источники потенциальных угроз и сценариев (путей) их развития на всех этапах (стадиях) транспортировки груза. Важно также определить, какие элементы, технические устройства или операции в общей технологической системе перевозки требуют более глубокого анализа.

Облегчить выполнение этих требований на практике призвана диаграмма причинно-следственных связей с разветвленной структурой в виде «дерева событий», получившая достаточно широкое распространение при моделировании опасных техносферных процессов [6, 7].

На этапе разработки методического аппарата АР перевозки углеводородов нужно создать метод определения вероятности (частоты) возникновения АС с разливом нефти; определить природные



Структурно-логическая схема разработки методики оценки безопасности перевозки нефти ВТ

ресурсы акватории, воздушной среды и побережья, чувствительные к загрязнению. Применительно к каждому выделенному ресурсу следует разработать методы, позволяющие проводить соответствующие расчеты негативного воздействия.

В конце данного этапа должен быть создан метод обобщенного расчета риска транспортировки нефти ВТ.

В разделе обоснование структуры и состава практических рекомендаций по уменьшению риска перевозки углеводородов необходимо перечислить конкретные направления возможных действий по уменьшению риска, основанные на полученных результатах прогноза вероятных АС и анализа их последствий.

Превентивные меры можно разделить на две относительно самостоятельные группы, в зависимости от достигаемых целей:

– предупреждение аварии: призванные предупредить АС (снизить вероятность возникновения) и уменьшить риск перерастания ее в происшествие;

– смягчение последствий аварии, если она состоялась.

Для предупреждения АС на различных этапах перевозки нефти ВТ целесообразно выполнить специальные исследования по основным направлениям:

– профилактика возникновения АС: диагностика оборудования всего технологического процесса транспортировки, своевременный планово-предупредительный ремонт и качественное техническое обслуживание;

– практическая отработка с экипажем вопросов обеспечения должного технического состояния судна (танкера) и используемого при погрузке/выгрузке нефти оборудования, исключающего возникновение АС;

– создание условий, исключающих доступ посторонних лиц в служебные зоны, во избежание формирования предпосылок АС в ходе перевозки нефти.

К главным мерам, направленным на снижение вероятности перерастания АС в аварию, следует отнести:

– поддержание всех систем, оборудования и технических устройств обеспечения безопасности транспортировки углеводородов в надлежащем состоянии;

– организация инженерной защиты, специальной оснастки (поддоны, емкости, изоляционные материалы, вспомогательные приспособления и т.д.), призванной обеспечить оперативную локализацию утечек нефти в местах их образования; а также прове-

дение обучения экипажа соответствующим действиям.

Основными мерами, направленными на смягчение последствий аварии, являются:

– обоснование состава и технических характеристик комплекта средств индивидуальной защиты членов команды для ликвидации разливов нефти с палубы;

– снабжение судна модернизированным палубным нефтесборным комплектом (ПНК), в том числе средствами индивидуальной защиты людей, а также поддержание его в состоянии готовности;

– создание искусственных барьеров локализации возможной зоны распространения разлитой нефти на судне;

– обучение экипажа навыкам устранения последствий аварии: поддержание в надлежащем состоянии системы управления на судне, оборудование ПНК, подготовка к проведению аварийно-ликвидационных работ;

– обучение экипажа эффективным действиям в нештатной ситуации.

К числу важных практических мер по предупреждению загрязнения ВС углеводородами следует отнести обязательную процедуру по зачистке танков после выгрузки груза с использованием экологически безопасных рецептур, например, аминокислотных композиций.

Таким образом, суть перечисленных научно-методических основ повышения безопасности для ОС при перевозке нефти ВТ заключается в разработке и построении множества сценариев возникновения и развития потенциальных АС, приводящих к попаданию углеводородов в ОС, с последующими оценкой частот реализации, определением масштабов последствий и разработкой на этой основе структуры и состава практических мероприятий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Конвенция МАРПОЛ-73/78. **2.** Постановление правительства РФ от 21.08.2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» (с изменениями и дополнениями). **3.** Постановление правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории РФ» (с изменениями и дополнениями). **4.** Постановление правительства РФ от 14.11.2014 г. № 1189 «Об организации предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на континентальном шельфе РФ, во внутренних морских водах, в территориальном море и прилежащей зоне РФ». **5.** Новиков В.К., Фомин В.Г., Семенов А.А. Экологическая безопасность водного транспорта: проблемы, возможные пути решения // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2(44). – с. 76-77. **6.** Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. Ростехнадзор России. РД 03-418-01 от 10.07.2001 г. **7.** ГОСТ Р 51901-2002 «Управление надежностью. Анализ риска технологических систем».

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Принципы разработки типоразмерного ряда (ТР) движительно-рулевого устройства (ДРУ) с оптимальными характеристиками

АВТОР: З.Л. КАГАН, доцент кафедры «Судостроение и судоремонт»

Особенностью современного этапа развития отечественного судостроения является необходимость разработки большого количества разнообразных ДРУ (по типу, назначению и мощности), каждое из которых должно быть приспособлено к конкретному судну (его корпусу и приводу), обеспечивать заданные требования по ходкости и маневрированию. Однако это связано с объективными проблемами при проектировании, производстве и эксплуатации механизмов.

В общем случае выпускать одно уникальное изделие даже для судна специального назначения нецелесообразно: довольно затруднительно поддерживать хороший технический и технологический уровень устройства, тем более с неоправданно высокой себестоимостью и дорогим сервисным обслуживанием. Ведь детали и сборочные узлы такого изделия являются не стандартизованными и не унифицированными с аналогичной номенклатурой, прошедшей «обкатку» при разработке, производстве и эксплуатации.

Таким образом, актуальным представляется изучение возможности существенного сокращения и стандартизации типоразмеров ДРУ при условии сохранения их эффективности. Недаром компании, специализирующиеся на создании ДРУ параллельно с проектированием определенных (даже первых) изделий начинали для них разрабатывать соответствующие ТР.

Формирование ТР позволяет не только оптимизировать перечень деталей путем стандартизации их основных параметров, унификации технологии производства и испытания, но и исследовать вопрос применения одних и тех же узлов в близких (соседствующих) по главным параметрам типоразмерах, а также в изделиях другого типа, но схожих по назначению и конструктивным решениям.

При разработке ТР необходимо выполнять несколько условий.

Во-первых, нужно выбирать минимально допустимое число членов ряда, когда принимаемое из них ДРУ для судна обеспечивает эффективность близкую к таковой у устройства, специально спроектированного под данную единицу флота, при оптимальном соотношении между расходом материалов, стоимостью изготовления и эксплуатации.

Во-вторых, требуется определять основные (в том числе, главный) параметры, которые при минимальном количестве должны достаточно полно характеризовать технические и эксплуатационные свойства (или возможности) изделия. Также необходимо определять и принимать: соотношения между основными (главным) параметрами при переходе между типоразмерами внутри одного ряда, количество типоразмеров в ряду, а также диапазоны изменения стандартизуемых параметров для одного типоразмера. Выбор границ ряда ДРУ и основных параметров его членов зависит от типа (типов) судов и плавсредств, на которые предполагает-

ся установка ДРУ разрабатываемого типа ряда, и основных задач, которые должны при этом решаться.

Если рассматриваемый тип ДРУ предназначен для определенного класса (типа/типов) судов и плавсредств и соответствующих задач, то границы ряда и соотношения между основными параметрами его членов определяются диапазонами значений водоизмещения, осадки и некоторых других величин рассматриваемого типа (типов) судов, в зависимости от конкретного назначения и требований по ходкости, маневрированию и внешним условиям. Примером такого типа ДРУ являются крыльчатые движители или движительные устройства и ДРУ подводных аппаратов.

Если исследуемый ТР универсален и предназначен для различных по типу и назначению судов, то его границы определяются требуемыми минимальными и максимальными значениями основных параметров с учетом возможности производства и перспектив развития отрасли. Соотношение между главными параметрами членов ряда принимается как ряд предпочтительных чисел, обеспечивающий выбор оптимальных значений параметра в пределах изменения его базовой величины в диапазоне ±5-10% для различных по типу и назначению судов. К универсальным ДРУ относят различные по типу подруливающие устройства (ПУ) и поворотные колонки (ПК).

Следует отметить, что автор статьи принимал непосредственное участие в разработке различных типоразмерных рядов ДРУ.

Аспекты использования рядов предпочтительных чисел при разработке ТР отражены в многочисленных работах, например [8] и [9]. Принципы определения оптимальных значений основных параметров ДРУ в зависимости от водоизмещения, осадки, назначения и требований по ходкости, маневрированию и внешним условиям, рассматриваемых для применения ДРУ типов судов, описаны в частности в [1]-[4], [6] и[7].

При рассмотрении ТР близких по конструктивному типу ДРУ, например ПУ и ПК разных типов одной фирмы, видно, что различные типы ПУ и ПК одного размера построены на общей базе основных узлов и деталей. Ведь ТР позволяют использовать опыт разработки, изготовления, испытаний и эксплуатации одного или нескольких изделий одного типа применительно ко всему ряду, а также к изделиям другого типа, но близких по конструкции и назначению.

В СССР деятельность по созданию ПУ, ПК, КД и винтов регулируемого шага (ВРШ) осуществлялась под конкретные проекты судов, что даже нашло отражение в наименовании изделий – ПУ1893, П159, ВР503 и др. В начале 1970-х годов ТР стали разрабатывать планово, но таким образом, чтобы уже созданные изделия включались в них, хотя они отличались друг от друга и не представляли единой конструкции.

В итоге за период 60-90-х годов XX века и в последующее время было реализовано множество интересных конструкций, однако отсутствовали единый подход и однотипность решений. Это осложняло и существенно удорожало изготовление, эксплуатацию, ремонт и подготовку специалистов по эксплуатации изделий. Сервисной службы тогда организовано не было, а без нее все механизмы можно называть хорошими, как правило, до первого ремонта, при выходе на который возникало немало проблем.

С учетом опыта активного участия в создании ДРУ и ПУ, автор статьи пришел к следующему выводу: работы по созданию ДРУ различных типов необходимо начинать с формирования ТР (методов выбора оптимальных значений основных параметров и характеристик различных типов ДРУ, составляющих эти ряды), тем более что эта тема представляется актуальной для отечественного судостроения, особенно в рамках программы импортозамещения продукции.

В настоящей статье рассматриваются пример разработки предложений по ТР различных типов ПК и ПУ.

Конструктивно оба устройства близки – обтекаемая гондола, жестко закрепленная на баллере.

Существует 2 основных конструктивных вида ПК и ПУ: с механической (конической зубчатой) передачей крутящего момента (КМ, L и Z типов) к гребному винту (ГВ) от среднеоборотного (или высокооборотного) двигателя (вертикального или горизонтального), размещенного в корпусе судна, либо с установленным в гондоле малооборотным двигателем, на валу которого закреплен ГВ.

У обеих конструкций общими элементами являются дейдвудное уплотнение гребного вала при выходе из гондолы и упорный подшипник в гондоле для восприятия упора на гребном валу.

Баллер воспринимает создаваемый «комплексом» упор и передает его на корпус судна. Под «комплексом» здесь понимается рабочий орган (ГВ открытый или в насадке для ПК, либо в канале ПУ), гондола, стойки крепления насадки и сам баллер.

У первого конструктивного вида ПК и ПУ внутри баллера размещается вертикальный вал с упорным и опорным подшипниками, элементы масляной системы смазки зубчатой пары, подшипников и дейдвудного уплотнения. У второго вида устройств внутри баллера осуществляется подвод энергии (электрической или гидравлической) к двигателю в гондоле; также имеются элементы масляной системы для смазки подшипников и функционирования дейдвудного уплотнения.

В обоих видах конструкций внутри баллера проложены слаботочные кабели для обеспечения работы системы управления, включающей различные измерительные датчики и элементы регулирования частоты вращения двигателя.

Гондола и баллер с размещенными внутри механической передачей и остальными элементами привода, составляющие основу ПК и ПУ, являются наиболее сложной и трудоемкой частью колонки. По существу это – аналог редукторного агрегата судового пропульсивного комплекса. Следовательно, и ТР ПК (ПУ) создаются аналогичным образом.

Основные элементы конструктивного агрегата гондола–баллер для каждого типоразмера ПК (ПУ) определяются мощностью привода, входной и выходной частотами вращения. Элементы ГВ (принятая модель, диаметр, шаговое отношение) в общем случае для заданного типоразмера подбираются оптимальными для конкретного судна и решения поставленных задач. Соответственно один типоразмер для различных типов судов и поставленных задач можно применять с широким диапазоном разных по характеристикам ГВ.

В качестве основных параметров для ПК и ПУ автор статьи предлагает принять следующие: базовый диаметр ГВ, диапазон допустимых номинальных значений мощности привода (точнее – КМ), частота вращения привода, габаритные размеры, масса.

Если рассматривается конструкция с редуктором (L типа) или редукторами (Z типа), то к перечисленным параметрам необходимо добавить частоту вращения рабочего органа или передаточное число редуктора (редукторов). Примечательно, что на современном этапе в каталогах продукции производители о данном исклю-

чительно важном параметре не упоминают, между тем знать о нем при выборе типоразмера очень важно.

Наряду с указанными характеристиками у каждого типа устройств существуют свойственные им параметры – например, стандартная (базовая) длина канала ПУ, диаметр ступицы ВРШ, диаметр гондолы ПУ и ПК.

Диапазоны мощностей типоразмеров одного типового ряда устройств, как правило, между собой пересекаются, или сопрягаются, то есть верхняя граница мощности меньшего типоразмера является нижней границей большего. Разумеется, правильнее оперировать не мощностью, а КМ, поскольку именно он с частотой вращения и диаметром рабочего органа определяет нагрузки, габариты, массу и пропульсивные характеристики (гидродинамическое качество) устройства.

Обычно некоторые производители при поставке продукции допускают изменение в небольшом диапазоне (по сравнению с написанным в каталоге значением) диаметра рабочего органа от базовой величины. Реже это затрагивает частоту вращения рабочего органа: за счет использования, например, редуктора другого типоразмера, другой зубчатой пары и т.п. Такой подход позволяет выбирать оптимальный диаметр или частоту вращения рабочего органа, повышая эффективность устройства. Подобные отклонения используются преимущественно для подбора характеристик главного ДРУ, реже – для ПУ или вспомогательных ДРУ. Экономически это оправдано, если рассматривается применение для серии судов. Для одного или двух судов целесообразность реализации такого принципа возникает при их специальном назначении, когда эффективность зависит от функциональности ДРУ и ПУ.

Для каждого типа ДРУ основными параметрами, определяющими их характеристики – массу, габариты, пропульсивные качества и др., – являются диаметр и частота вращения движителя (его рабочего органа), мощность и частота вращения привода.

К характеристикам ДРУ, определяющим допустимые нагрузки для каждого типоразмера по условиям эксплуатации, относятся:

– максимальные значения КМ и упора на валу рабочего органа, время допустимой эксплуатации устройства на данном режиме непрерывно и в общем (в %) за установленный период работы до капитального ремонта и списания;

– величины КМ и упора на валу рабочего органа, соответствующие режиму основного времени эксплуатации устройства, процентное соотношение периодов работы на данном режиме и установленного функционирования до капитального ремонта и списания.

Самый тяжелый режим работы ДРУ по нагрузкам, а значит по прочности и кавитации, – швартовный; именно для него принимаются базовые значения основных параметров устройств на судах, основными режимами которых обозначена швартовка, буксировка, ход со скоростью не выше 15-20 узлов и т.п. Это позволяет получить оптимальные характеристики для других режимов работы – в частности, полного свободного хода или буксировки при условии непревышения КМ на гребном валу – за счет варьирования основными параметрами в задаваемых пределах: моделью ГВ и значением шагового отношения, диаметром и частотой вращения ГВ.

Выбор оптимальных значений указанных параметров для конкретного режима работы может выполняться с помощью метода, предложенного Папмелем [2], [4], или относительного гидродинамического качества [5]. Для режима эксплуатации ПК в тяжелых ледовых условиях предпочтительно оперировать следующим (по сравнению с требуемым) типоразмером по мощности (или КМ), чтобы обеспечивать требуемый запас по прочности.

Базовые параметры на швартовном режиме принимаются из условия задания отношения номинального значения мощности на ГВ P_D к единице площади гидравлического сечения A_0 рабочего органа ДРУ. При рассмотрении ПУ и ПК принимается, как правило, удельное значение мощности ρ_P – отношение мощности привода на швартовном режиме к квадрату диаметра ГВ. Эта удельная величина характеризует допустимые нагрузки ДРУ по прочности и кавитации.

Другая важная величина – значение удельной тяги ρ_T – принимается как отношение тяги ДРУ (на швартовах или при заданной скорости хода), отнесенное к единице мощности ДРУ T/P. Значение удельной тяги ρ_T , максимальное на швартовном режиме, определяет эффективность ДРУ. При увеличении удельной мощности ρ_P уменьшаются удельные значения массы и тяги ДРУ, отнесенные к единице мощности и наоборот – при снижении удельной мощности величины удельной массы и тяги возрастают.

Данные характеристики в совокупности с основными параметрами типоразмера позволяют выбирать оптимальный типоразмер устройства под проектируемое судно (новое или модернизируемое) с учетом стоящих задач и ограничительных условий.

При разработке и расчете отдельного ТР принимаются базовые параметры и характеристики, соответствующие максимально допустимой нагрузке. Если при конкретном применении типоразмеров нагрузки меньше базовых, то они будут определяться требованиями, предъявляемыми к судну и ДРУ.

Важными характеристиками ТР также являются коэффициент относительного гидродинамического качества ξ' [5], характеризующий эффективность ДРУ на швартовном режиме; пропульсивный КПД η_p, характеризующий эффективность ДРУ на ходовом режиме; цена поставки и монтажа; эксплуатационные расходы; наличие и эффективность (качество, оперативность) сервисного обслуживания и его стоимость.

Из рассмотренных основных параметров в качестве главного на первом этапе построения типоразмерного ряда ПК и ПУ автор предлагает принимать диаметр ГВ, используя следующую закономерность ряда его значений. Для ПК и ПУ малых размеров – от 0,65 до 1,6 м, как ряд предпочтительных чисел R10, для больших диаметров – как каждый третий член ряда предпочтительных чисел R40. Такой ряд позволит подобрать оптимальный диаметр в пределах изменения базовой величины в диапазоне ±5-10% и при этом обеспечить достаточно широкий выбор ДРУ для различных по типу и назначению судов, а также замещение ПК и ПУ известных зарубежных производителей. Предлагаемый ряд диаметров: 0,65, 0,80, 1,00, 1,30, 1,60, 1,90, 2,20, 2,60, 3,20, 3,80, 4,60, 5,60, 6,70 м.

Для других основных параметров членов ряда необходимо выявить закономерности изменения их значений. Задаем общее для всего ряда значение отношения номинальной мощности привода к квадрату диаметра ГВ каждого конкретного типоразмера P_S/D^2. Это отношение определяет кавитационные и прочностные характеристики ПК или ПУ данного типа, поскольку пропорционально удельной нагруженности движителя – $[T_U/(\pi D^2/4)]^{3/2}$ (давление на единицу гидравлической площади), и соответственно параметры конструкции ПК или ПУ для всех элементов ряда.

Типоразмеры ПК и ПУ на швартовном режиме Таблица 1

Диаметр ГВ D, м	0,65	0,80	1,0	1,30	1,60	1,90	2,20	2,60	3,20	3,80	4,60	5,60	6,70
Номинальная мощность привода P_S, кВт	125	190	300	500	760	1100	1450	2000	3000	4400	6500	9400	13400

Для всех типоразмеров ПК и ПУ на самом нагруженном – швартовном режиме принимаем отношение $P_S/D^2 \approx 300$ (таблица 1). Приведенное для каждого типоразмера значение P_S является верхней границей по мощности.

Кстати, в ТР ведущих зарубежных производителей это отношение принято в диапазоне от 250 до 400.

Далее, задавшись конкретной моделью рабочего органа ПК (ПУ), определяем функциональную зависимость его тяговой характеристики (коэффициентов тяги K_{TU} рабочего органа в свободной воде и упора ГВ K_T, коэффициента относительного гидродинамического качества ξ', пропульсивного КПД η_p) и коэффициента момента K_Q от шагового отношения P/D. При заданном режиме работы (постоянной скорости) – на швартовном, буксировке, свободном ходу – зависимость $\xi'=f(P/D)$ представляет собой гладкую с выгнутой вершиной кривую линию.

На рис. представлены примеры зависимостей ξ' и K_Q от P/D рабочих органов ПК в качестве комплекса ГВ (серия Ка-4-55 [10] или Кс-4-70 [11]) в насадке 19а, либо открытый ГВ (серия М-4-65) [2].

На графике зависимости $\xi'=f(P/D)$ для конкретного рабочего органа ПК (ПУ) для швартовного режима выбирается диапазон значений P/D, верхняя граница которого соответствует максимальному значению ξ', а нижняя граница в первом приближении принимается соответствующей $0{,}9\xi'_{max}$.

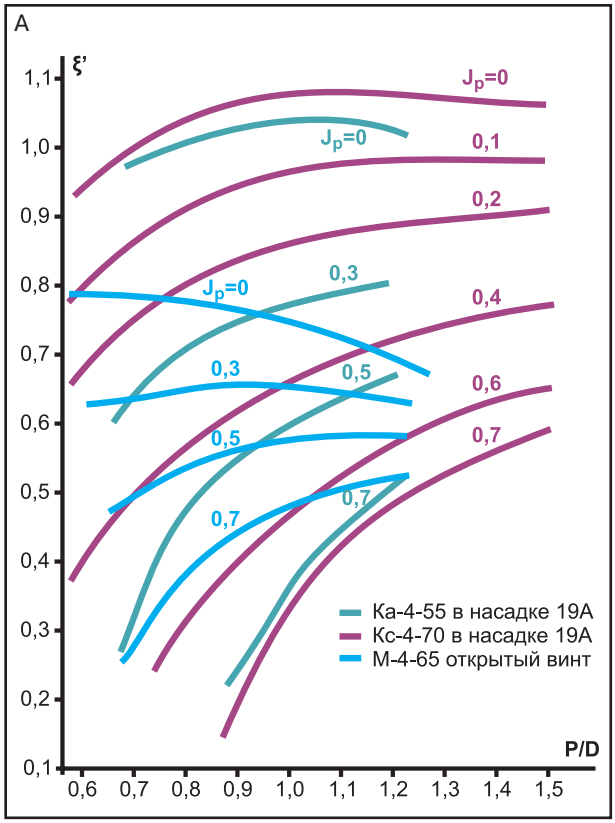
Для выбранного диапазона значений P/D определяется соответствующий диапазон значений K_Q. Затем для каждого члена ТР после принятия значений P_S и D из таблицы 1 определяется диапазон частот вращения гребного винта $n=n_в/60$, соответствующий диапазону значений K_Q. Номинальное значение частоты вращения ГВ в границах определенного диапазона для каждого члена ТР принимается из условия обеспечения наибольшего возможного значения коэффициентов ξ'_K или η_p, в зависимости от рассматриваемого режима работы ПК.

Данный выбор зависит от решения ряда конструктивных задач:

– согласование принимаемой частоты вращения ГВ с выбором типа и номинальной частоты вращения вала привода и зубчатой пары (передаточного числа i) для нижнего (типы L и Z) и верхнего (тип Z) редуктора (редукторов);

– обеспечение минимально возможных габаритов и массы привода, уменьшающихся с увеличением стандартной величины номинальной частоты вращения вала привода.

Зубчатая пара, в первую очередь нижнего редуктора, выбирается из условия принятия наибольшего возможного передаточного числа (при обеспечении заданной прочности и надежности) и относительного диаметра гондолы в диапазоне 0,4-0,45, но не более 0,5.



ТР ПК

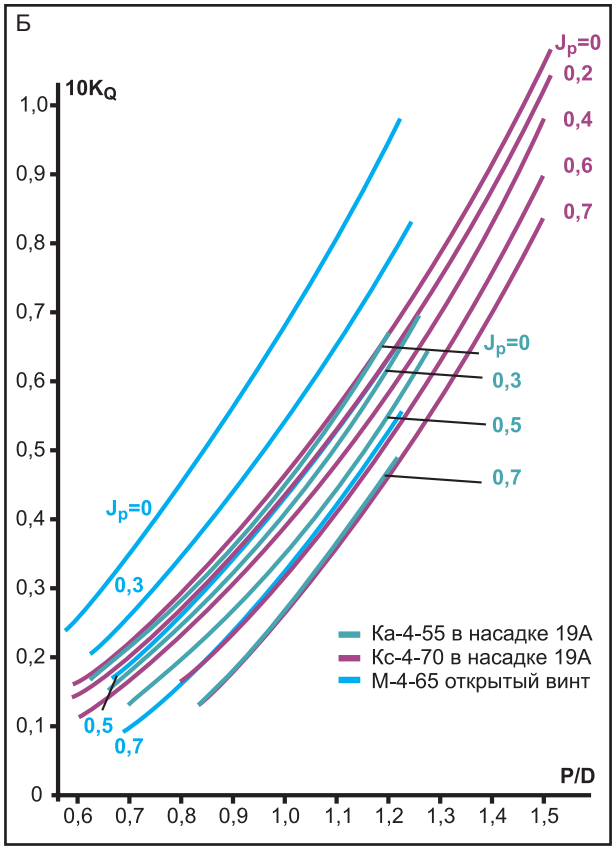


Таблица 2

Предварительные значения основных параметров и характеристик ТР ПК с механической передачей КМ

ТР	Диаметр ГВ, м		Номинальная мощность на валу (швартовный режим), кВт			Номинальная частота вращения, об./мин.				Диаметр гондолы, мм	Упор ГВ, кН
						ГВ		Вала привода L	Вала привода Z		
	Базовый	Диапазон	Вертикальном L	Горизонтальном Z	Гребном	Базовая	Диапазон				
1	0,65	0,58-0,72	125	128	119	972	875-1069	1500	2200	280	10,6
2	0,80	0,72-0,88	190	194	180	790	711-869	1500	2100	350	160
3	1,00	0,90-1,10	300	306	285	632	569-695	1500	2100	440	25,0
4	1,30	1,17-1,43	500	511	475	486	437-535	1500	1800	580	42,0
5	1,60	1,44-1,76	760	776	722	395	355-434	1000	1800	700	64,0
6	1,90	1,71-2,09	1100	1124	1045	333	300-366	1000	1800	840	91,0
7	2,20	1,98-2,42	1450	1481	1377	287	258-316	1000	1800	980	121,0
8	2,60	2,34-2,86	2000	2043	1900	243	219-267	1000-750	1800	1150	168,9
9	3,20	2,88-3,52	3000	3065	2850	197	177-217	750-600	1000	1400	254,7
10	3,80	3,42-4,18	4400	4495	4180	166	149-183	500-450	1000	1700	360,0
11	4,60	4,14-5,06	6500	6640	6175	137	123-151	450-300	1000	2050	530,0
12	5,60	5,04-6,16	9400	9600	8930	113	102-124	300	720	2500	786,0
13	6,70	6,03-7,37	13400	13670	12730	94.5	85-104	240-270	600	3000	1126,0

Примечание. 1) Значения номинальной мощности приведены для электродвигателей, принятых в качестве привода ПК (в вертикальном исполнении – для ПК и ПУ типа L; в горизонтальном – для ПК и ПУ типа Z. 2) Для дизеля номинальная мощность (или КМ) на валу привода должна быть принята на 15% меньше (по условиям компенсации дополнительных нагрузок, вызванных крутильными колебаниями). 3) Для электропривода, размещенного в гондоле ПК или ПУ, номинальная мощность принимается на 2-3% больше мощности на гребном валу (из-за потерь в дейдвудном уплотнении и упорном подшипнике). 4) Целесообразность увеличения номинальной мощности, принятой для электропривода приводов: гидравлический или газотурбинный двигатель – определенное решение должно приниматься после уточнения с поставщиком машины о необходимости учета крутильных колебаний. 5) Частота вращения вала привода приведена ориентировочно (уточняется при выборе двигателя привода): для типа L – синхронная частота электродвигателя (без учета скольжения), для типа Z – дизеля. 6) Диаметр гондолы принимается 0,43-0,45 базового диаметра ГВ из условия обеспечения приемлемых значений влияния гондолы на пропульсивные характеристики комплекса (K_t=0,98, K_q=0,95) в толкающем режиме, в тянущем режиме оказывается меньшее влияние. 7) Величина упора ГВ взята для комплекса ГВ в насадке на швартовном режиме работы при номинальных значениях мощности и частоты вращения; у открытого ГВ расчетный режим – ходовой, и на швартовном режиме мощность и частота вращения будут меньше номинальных значений, величина упора ГВ будет близка к указанному значению (с точностью до примерно 10-15%). 8) Основные параметры и характеристики типоразмеров были приняты для ледовых условий не выше Arc. 4 -Arc. 5.

При выборе частоты вращения ГВ, соответствующей хорошим пропульсивным или тяговым характеристикам, необходимо стремиться обеспечивать окружную скорость nD=10 м/с **с точностью ±10%.**

Прежде всего, стоит определиться с устройствами типа L, так как это – ВПК (ОПК) и ПУ с достаточно жестким определением диаметра ГВ.

В устройствах типа Z имеется больше свободы в выборе оптимальных значений частоты вращения и диаметра ГВ судна под конкретные условия эксплуатации.

Для ПК (ПУ) с малооборотным двигателем, размещенным в гондоле, требования к величине ее относительного диаметра зачастую трудно выполнить, в данной публикации они не анализируются.

В таблице 2 представлены предварительные значения основных параметров и характеристик ТР ПК с механической передачей КМ, принятые на основе результатов

выполненных автором статьи расчетов и конструктивных проработок (в соответствии с предлагаемой схемой).

Рассмотрим основные формулы и входящие в них коэффициенты, использовавшиеся в ходе вычислений при выборе основных параметров ТР ПК:

$T_U = (\pi\rho/2)^{1/3}\xi_K(P_S\eta_M D)^{2/3}$, кН [5] либо $T_U = K_{TU}K_t\rho n^2 D^4$, кН – тяга ПК;

$T_T = (\pi\rho/2)^{1/3}\xi'(P_S\eta_M D)^{2/3}$, кН [5] либо $T_T = K_{TT}K_t\rho n^2 D^4$, кН – тяга комплекса ГВ в насадке в чистой воде;

$T = K_T\rho n^2 D^4$, кН – тяга открытого ГВ или его упор в составе комплекса в чистой воде;

$Q_D = (K_Q/K_q)\rho n^2 D^5$, кНм – КМ на валу ГВ;

$P_S = 2\pi n Q_D D/\eta_M = (K_Q/\eta_M K_q)2\pi\rho n^3 D^5$, кВт – мощность на валу привода;

$n = n_в/60 = (1/D)[(P_S/D^2)(\eta_M K_q/2\pi\rho)(1/K_Q)]^{1/3} = a(1/D)(1/K_Q)^{1/3}$, c^{-1} – частота вращения ГВ в секунду, а nв – в минуту, где

$a = [(P_S/D^2)(\eta_M K_q/2\pi\rho)]^{1/3}$ – постоянная величина для исследуемого ТР;

$\xi' = K_{TT}/2^{1/3}\pi(K_Q)^{2/3}$ – коэффициент относительного гидродинамического качества движителя (ГВ открытого или в насадке, либо ПУ) [5];

$\xi_K' = \xi' K_t(K_Q)^{2/3} = K_{TT}K_t/2^{1/3}\pi(K_T K_Q)^{2/3}$ – коэффициент относительного гидродинамического качества ПК (ПУ) с учетом влияния гондолы и баллера;

$\eta_P = K_U K_t K_q J_P \pi K_Q$ – пропульсивный КПД ПК с учетом влияния гондолы и баллера;

K_{TT}, K_T, K_Q – соответственно коэффициенты тяги комплекса (рабочего органа ПК или ПУ), упора и КМ ГВ в чистой воде; для конкретной модели они являются функциями, зависящими от относительной поступи J_P, шагового отношения P/D и коэффициента нагрузки σ_p для ПК и ПУ;

K_t, K_q – соответственно коэффициенты влияния гондолы и баллера ПК (ПУ) на тягу и КМ; являются функциями, зависящими от относительного диаметра гондолы $d_Г/D$ и толщины баллера b/D, а также от угла схода гондолы к ступице 2γ (в рассматриваемом примере $d_Г/D$=0,45, b/D=0,25, 2γ=46°, по имеющимся отдельным опытным данным коэффициенты приняты K_t=0,98, K_q=0,95);

η_M – механический КПД, учитывающий потери в дейдвуде и упорном подшипнике (≈0,98), в угловой зубчатой передаче нижнего редуктора и в подшипнике (подшипниках) в баллере (≈0,97), в угловой зубчатой передаче верхнего редуктора (≈0,98).

Для ПК (ПУ) с малооборотным двигателем в гондоле – η_M≈0,98, для ПК (ПУ) типа L с вертикальным двигателем – η_M≈0,95, для ПК (ПУ) типа Z с горизонтальным двигателем – η_M≈0,93. Принятые в статье значения η_M являются осредненными, для конкретной конструкции их необходимо уточнять расчетами.

После выбора зубчатой пары нижнего редуктора, дейдвудного уплотнения и упорного подшипника определяется гондола конкретного типоразмера ПК (ПУ). По существу именно она и КМ на ГВ определяют типоразмер, и именно по ним необходимо окончательно выстраивать ТР.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Войткунский Я.И. Сопротивление движению судов. – Л: Судостроение, 1988. **2.** Справочник по теории корабля, т. 1 (под ред. Войткунского Я.И.). – Л: Судостроение, 1985. – 764 с. **3.** Справочник по теории корабля, т. 3. (под ред. Войткунского Я.И). – Л: Судостроение, 1985. – 542 с. **4.** Артюшков Л.С., Ачкинадзе А.Ш., Русецкий А.А. Судовые движители. – Л: Судостроение, 1988. **5.** Расчет гидродинамического качества, средств активного управления судами/ Ривкис Р.Л., Грузинов В.И., Каган З.Л.// Судостроение, 1971. – № 10. **6.** Лебедев Э.П., Першиц Р.Я., Русецкий А.А., Аврашков Н.С., Тарасюк А.Б. Средства активного управления судами. – Л: Судостроение, 1969. – 261 с. **7.** Караваева О.Н., Ривкис Р.Л., Каган З.Л., Иванов А.Б. Средства активного управления судами. Технические требования и правила проектирования (отраслевой стандарт). Труды 4-ой Всесоюзной конференции по судовым движителям. – М: 1975. – 8 с. **8.** Рекомендации «Методы построения параметрических и типоразмерных рядов систем машин». ВНИИНМАШ. – М: Изд-во стандартов, 1977. – 31 с. **9.** ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. – М: Изд-во стандартов, 1984. **10.** Van Manen J. D. Effect of radial load distribution on the performance of shrouded propellers. – Trans. RINA, 1962. **11.** Yossifov K., Belchev V., Systematic Tests of Wageningen Kc ducted propellers. Proc. 15th Anniversary of BSHC Jubilee Session, Vol. 2. – Varna, 1986.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова (ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова)

ТЕМА: Способы компенсации динамической просадки кормы судна, движущегося на мелководье и выполняющего путевые работы

АВТОРЫ: В.В. КАРЕТНИКОВ, д.т.н., профессор кафедры «Инфокоммуникационные системы морского и речного флота» («ИКСМиРФ»); Ю.В. ЯЦУК, к.т.н., доцент кафедры «Судостроение»; Р.В. ВОЛКОВ, аспирант кафедры «ИКСМиРФ»

Эксплуатация речных теплоходов, в том числе технического флота, характеризуется рядом особенностей: маршрут может пролегать как по глубоким озерам, так и по мелководным рекам и каналам, а значит должен учитывать специфику внутренних водных путей (ВВП).

Согласно [4], на судовых ходах (СХ) гарантированная глубина (ГГ) изменяется в широких пределах: от 0,7 м (III группа ВВП) до 2,5 м и более (I группа); при этом она составляет 4,0 м на основных транзитных путях Единой глубоководной системы (ЕГС) европейской части РФ. Помимо указанных водных путей существуют относящиеся к группе IV, на которых габариты СХ не гарантируются вовсе [1-4], но они также обслуживаются администрациями речных бассейнов.

В частности при движении судна по мелководному участку наблюдаются, как правило, два традиционных явления: возникновение встреч-

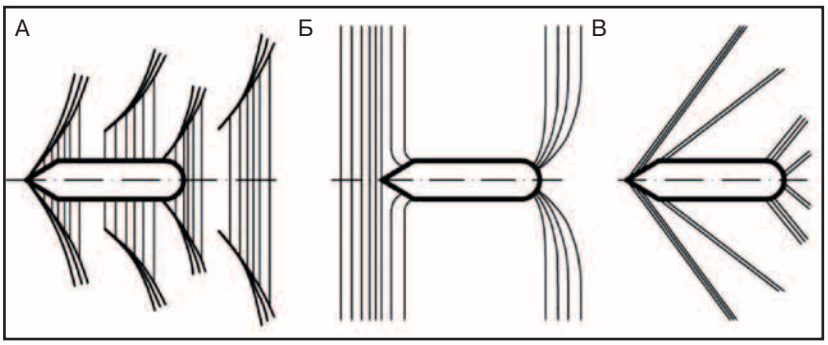


Рис. 1. Преобразование КСВ на мелководье: А – начало трансформации волн; Б – волны при критической скорости; В – волны при закритической скорости

ного потока под днищем и у бортов и трансформация корабельной системы волн (КСВ).

Появление встречного потока сопровождается образованием под днищем движущегося судна пограничного слоя на дне водоема, а также понижением уровня свободной поверхности вблизи судна. В свою очередь это вызывает добавочное стеснение струй жидкости, повышение скорости встречного потока и вязкостного сопротивления, что может представлять угрозу безопасности на ВВП с высокой (до 15 км/ч) скоростью течения.

В соответствии с теорией волн, ограниченная глубина вносит серьезные коррективы в картину волнообразования вокруг движущегося судна. Характер таких изменений определяется числом Фруда по глубине [6]:

$$Fr_h = v/\sqrt{gh} \quad . \qquad (1)$$

При Fr<0,65 **отмечается доволновой режим на мелководье; существенной трансформации КСВ не происходит, рост сопротивления зависит только от встречного потока.**

При $0{,}65 \le Fr < 0{,}95$**, что соответствует докритической скорости на мелководье, с повышением числа Фруда увеличивается угол между гребнями расходящихся волн и направлением движения судна (рис. 1).**

Вблизи бортов теплохода на мелководье наблюдается понижение свободной поверхности, особенно в кормовой оконечности, из-за чего возрастает средняя осадка и возникает дифферент на корму, то есть имеет место динамическая просадка (ДП) судна. Исследованию этого вопроса посвящено большое количество работ зарубежных и отечественных ученых [5, 6].

Примечательно, что рассматриваемое явление существенно ограничивает производительность и эффективность путевых работ. Так, например при траление теплоход-тральщик должен идти на малой скорости для исключения ДП и, следовательно, минимизации погрешности в измерении глубины.

В частности для расчета ДП кормы авторы статьи выбрали эксплуатируемые на современном этапе промерные суда двух проектов: Р159 (длина – 15,6 м, ширина – 4,21 м, осадка – 0,62 м, максимальная скорость – 12 км/ч, водоизмещение – 23,5 т); № 81590 (длина – 11,95 м, ширина – 2,86 м, осадка – 0,4 м, максимальная скорость – 16,2 км/ч). В отношении них выполнялась оценка увеличения осадки на мелководье посредством нескольких методик:

– предложенной В. Г. Павленко [6]:

$$\Delta T_к = \alpha v^2/2g \quad , \qquad (2)$$

где ΔT_K **– просадка судна на корме, м;** α **– числовой коэффициент, равный:**

$$\alpha = 0{,}1 + 0{,}4\frac{T}{H} \quad , \qquad (3)$$

где T **– осадка судна, м;** H **– глубина на акватории, м.**

– разработанной А.М. Полуниным [5]:

$$\Delta T = \left[0{,}08 + 0{,}34\left(T/h_ф\right)\right]v^2/2g \quad , \qquad (4)$$

где ΔT **– просадка судна на миделе, м;** T **– осадка судна, м;** $h_ф$ **– глубина на акватории, м.**

Для определения значения просадки на корме необходимо располагать величинами, вычисляемыми по (4) и в среднем увеличиваемыми на 10-15%.

Результаты, полученные с помощью выражений (2-4) для указанных проектов судов на различных глубинах водного пути, представлены на рис. 2 и 3

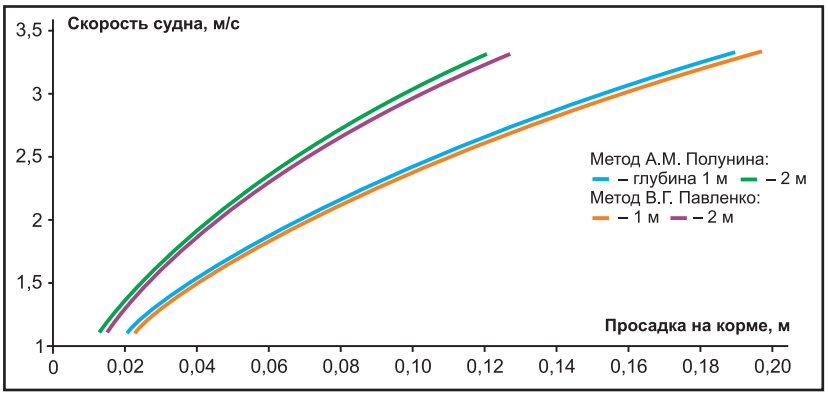


Рис. 2. Просадки теплохода пр. Р159

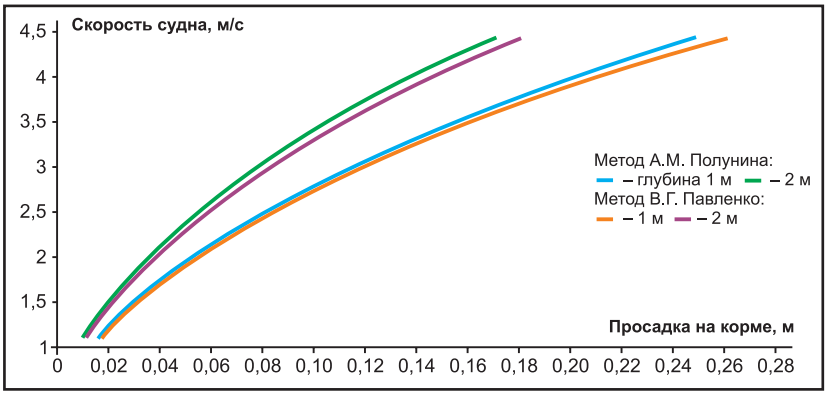
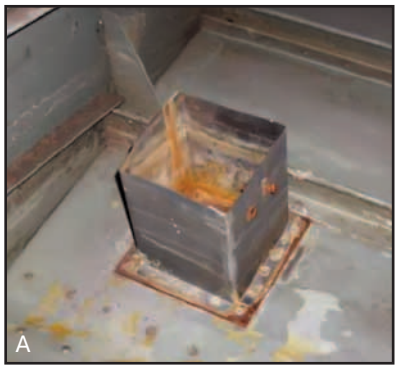


Рис. 3. Просадки теплохода пр. № 81590



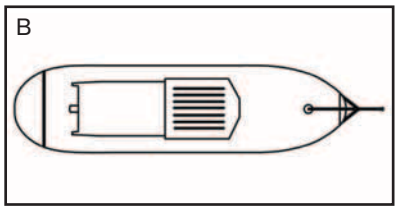


Рис. 4. Варианты размещения БД на судах технического флота: А – в шахте; Б – на штанге у борта; В – на штанге «вперед по ходу»

Анализ итоговых данных свидетельствует об их хорошей сходимости. Различие двух методик составляет всего 1-2 %, но их уточнение необходимо производить, опираясь на натурные наблюдения.

Таким образом, при увеличении скорости судна формируется одна из отраженных на рис. 1 систем волн и возникает ДП, что создает объективные затруднения и вынуждает снижать скорость при выполнении путевых работ.

Поскольку задействованные на них суда технического флота в настоящее время оснащают батиметрическими датчиками (БД) различной конструкции [2], то во избежание влияния на их показания системы волн, генерируемой судном, эти датчики необходимо располагать вне зоны волнообразования.

Вообще, подобная аппаратура размещается, как правило, в диаметральной плоскости судна или близко к ней, при этом БД может находиться как в шахте (рис. 4 А), так и на выносной штанге, перпендикулярной диаметральной плоскости судна (рис. 4Б).

По мнению авторов статьи, весьма удачным конструктивным решением, обеспечивающим вынос батиметрического датчика из зоны генерации волнения, создаваемого судном, является вариант установки БД на выносной штанге в диаметральной плоскости судна «вперед по ходу» (рис. 4В); расстояние, на которое стоит выносить датчик должно определяться индивидуально с учетом конструкции судна, типа датчика и решаемых задач.

Как уже отмечалось, при повышении скорости судна кроме воздействия системы судовых волн на работу БД также начинает влиять возникающая просадка кормы. Для ее учета при выполнении путевых работ с высокой скоростью целесообразно использовать устройства пространственной ориентации объекта по сигналам спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS. Применение подобной аппаратуры позволит определить углы наклона корпуса судна с точностью порядка 0,2-0,3 град. [1].

При увеличении скорости движения судна с 4 до 16 км/ч, в соответствии с данными расчета (см. рис. 2, 3), возникает дифферент на корму в среднем 2-3 град. Следовательно, существует возможность инструментального определения значений динамического дифферента и просадки кормы для последующего учета.

Реализация описанных предложений призвана повысить эффективность и производительность путевых работ за счет увеличения скорости движения судов технического флота.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Каретников В. В. Развитие и перспективы современных инфокоммуникационных систем для обеспечения судоходства на внутренних водных путях России / А.А. Сикарев, В.В. Каретников // Журнал университета водных коммуникаций. — 2010. — № 4 (8). — с. 24-29. **2.** Волков Р. В. Особенности проведения путевых работ перспективными автоматизированными тральными комплексами на внутренних водных путях российской федерации / А.А. Сикарев, В.В. Каретников, И. Г. Кузнецов, Р. В. Волков // Морская радиоэлектроника. — 2013. — № 4. — С. 34-38. **3.** Каретников В. В., Бекряшев В. А. Перспективы развития электронных навигационных карт внутренних водных путей Российской Федерации / Каретников В.В., Бекряшев В.А. // Речной транспорт (XXI век), 2014. — № 1 (66). — с. 30-33. **4.** Инструкция по содержанию навигационного оборудования внутренних судоходных путей (временная). Утверждена заместителем директора службы речного транспорта А.М. Зайцевым 25.11.1996 г. **5.** Чурин М. Ю. Метод определения динамической просадки судов смешанного «река-море» плавания при движении на мелководье / Чурин М. Ю. // Электронный научный журнал «Современные проблемы науки и образования». — 2013. — № 5. **6.** Павленко В. Г. Ходкость и управляемость судов /Бавин В. Ф., Зайков В. И., Сандлер Л. Б., Павленко В. Г. // М.: Транспорт, 1991 г., 397 с.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова (ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова)

ТЕМА: Вероятностное описание характеристик срабатывания защиты судовых электроэнергетических систем (СЭЭС)

АВТОРЫ: В.М. ПРИХОДЬКО, к.т.н., профессор, зам. заведующего кафедрой «Судовые энергетические установки, технические средства и технологии» («СЭУ, ТСиТ»), зам. председателя НТС института «Водного транспорта»; И.В. ПРИХОДЬКО, ассистент кафедры «Экономика водного транспорта»; В.Ю. ЛУЧКИН, аспирант кафедры «СЭУ, ТСиТ»

Эффективность функционирования электрической защиты (ЭЗ) СЭЭС зависит от уровня ее соответствия ряду требований, основными из которых являются: полнота защищенности, избирательность, быстродействие, чувствительность, надежность, устойчивость к электродинамическому и термическому действию токов короткого замыкания (КЗ) [1-5].

Полнота защищенности характеризуется степенью обеспеченности необходимыми видами защиты различных видов бортового электрооборудования, а также охвата его элементов (составных частей) средствами защиты. Для выполнения данного требования, в соответствии с правилами Российского Речного Регистра, следует установить границы защищаемых участков СЭЭС и для каждого из них определить состав средств ЭЗ [6-9].

Избирательность ЭЗ СЭЭС состоит в том, что такая защита отключает только поврежденный элемент или участок сети. На судах это обеспечивается преимущественно с помощью настройки ЭЗ смежных участков судовой сети на разное время срабатывания (введение ступеней выдержек времени). Такая селективность позволяет сохранить максимально возможную работоспособность СЭЭС, минимизировать резерв судовых источников электроэнергии, повысить надежность питания бортовых потребителей (приемников).

На флоте именно быстродействие лучше всего характеризует эффективность защиты судового электрооборудования и СЭЭС. Однако требования к быстродействию для различных видов повреждений существенно отличаются. Например, при защите СЭЭС от КЗ быстродействие должно быть таким, чтобы в максимальной степени предотвращать вредные последствия режима аварийного КЗ, то есть надо стремиться к выполнению на судне следующего условия:

$$t_{сраб} \le t_{доп.к}\ , \qquad (1)$$

где $t_{сраб}$ – время срабатывания ЭЗ; $t_{доп.к}$ – допустимое время существования КЗ.

В эксплуатационной обстановке на судне желательно приближать $t_{сраб}$ к нулю, но тогда возможно значительное ухудшение других свойств бортовой ЭЗ электрооборудования судов, в частности – избирательности, надежности, массогабаритных показателей и стоимости. На флоте величину $t_{доп.к}$ в первую очередь определяет ряд факторов (по степени важности): пожаро- и электроопасность для обслуживающего персонала (экипажа), разрушающее действие электрической дуги на судовое электрооборудование, нарушение устойчивости работы СЭЭС и ухудшение качества бортовой электроэнергии.

На судах основную часть выдержек времени срабатывания ЭЗ СЭЭС при КЗ составляют ступени выдержек времени (Δt), вводимые для обеспечения избирательности защиты. С интенсивным ростом мощности СЭЭС и усложнением их структуры возрастает количество ступеней выдержек времени, поэтому в сокращении величины Δt в судовых аппаратах защиты и средствах токоограничения состоит стратегическая цель их совершенствования [10-15].

В СЭЭС важной характеристикой быстродействия защиты является зависимость времени срабатывания защиты от тока (время-токовая характеристика). При КЗ в СЭЭС для обеспечения максимально возможного быстродействия ток уставки следует увеличивать до 1,3-1,7 тока уставки $I_{уст}$ по каталогам, хотя это – недостаток существующей защиты на судне [16].

Вид время-токовой характеристики защиты от перегрузки определяется перегрузочной способностью защищаемого судового электрооборудования. Выдержка времени срабатывания защиты СЭЭС в данном случае должна быть такой, чтобы не допускать ложных срабатываний в нормальных эксплуатационных режимах (при синхронизации, включении нагрузки и др.), то есть:

$$t_{сраб} \ge t_{п.п}\ , \qquad (2)$$

где $t_{п.п}$ – время переходного процесса нормального режима.

Под чувствительностью понимается свойство защиты выявлять повреждение (или анормальный режим) и быть отстроенной от ложных срабатываний в нормальных эксплуатационных режимах на судне.

Чувствительность обеспечивается выбором уставки защиты $A_{уст}$ из условия:

$$A_{раб.\max} < A_{уст} < A_{авар.\min}\ , \qquad (3)$$

где $A_{раб.max}$ – максимальное значение уставки (тока, напряжения и др.) в нормальном эксплуатационном режиме;

$A_{авар.min}$ – минимальное значение уставки в аварийном режиме.

Применительно к ЭЗ СЭЭС от КЗ выражение (3) имеет вид:

$$I_{раб.\max} < I_{уст} < I_{k\min}\ , \qquad (4)$$

где $I_{раб.max}$ – максимальное значение тока в режимах пуска или переключения нагрузки, синхронизации или других режимах, характерных для защищаемого участка СЭЭС;

$I_{уст}$ – уставка по току срабатывания защиты;

$I_{k.min}$ – минимальное значение тока в выбранной расчетной точке при КЗ через электрическую дугу.

При этом в СЭЭС чем больше разница между $I_{раб.max}$ и $I_{k.min}$, тем легче обеспечить необходимую чувствительность ЭЗ и выбрать уставку, тем ниже требования к точности и стабильности уставки, выше помехоустойчивость защиты СЭЭС [16].

Однако условие (4) на судах не всегда удается выполнить из-за значительного эффективного токоограничивающего действия электрической дуги или больших значений $I_{раб.max}$ при переходных электромагнитных процессах в СЭЭС [1, 16, 17].

На флоте при наличии выдержек времени уставка должна быть такой, чтобы за время выдержки (после отключения аварийного дугового КЗ защитой с меньшим временем срабатывания) токовый элемент смог вернуться в исходное состояние, то есть ток возврата защиты $I_{возв}$, определяемый через коэффициент возврата – $k_в=I_{возв}/I_{уст}$, должен быть больше переходного тока в послеаварийном режиме – $I_{п.а\ max}$ СЭЭС.

Для такого случая выражение (4) преобразуется:

$$\frac{I_{n.a\max}}{k_в} < I_{уст} < I_{k\min}\ , \qquad (5)$$

Коэффициент $k_в$ для электромагнитных расцепителей судовых аппаратов защиты равен 0,5-0,8. Из выражения (5) непосредственно следует: ток уставки можно выбрать тем меньше, чем ближе значение $k_в$ к единице, и при этом повысить чувствительность защиты СЭЭС.

В СЭЭС ввиду безусловной необходимости отстройки защиты от токов $I_{раб\ max}$ выбор уставки срабатывания судовых аппаратов следует производить с учетом условия:

$$I_{уст} \geq k_н I_{раб.\max}\ , \qquad (6)$$

где $k_н$ – коэффициент надежности, всегда больше 1; его выбор определяется погрешностями, в том числе: чувствительного элемента (реле или расцепителя), каталожного задания рабочего параметра (например, пускового тока), расчета переходного значения параметра (например, апериодической составляющей тока КЗ).

Надежность защиты СЭЭС целесообразно оценивать двумя показателями – вероятностями: срабатывания ЭЗ при возникновении повреждения (или анормального режима) на защищаемом участке СЭЭС – $P_{с.з}$, отсутствия ложных срабатываний в нормальных режимах и при повреждениях, возникающих вне зоны защиты – $P_{о.л.с}$.

На судах быстродействующие системы и устройства ЭЗ СЭЭС должны обладать очень высокой надежностью, по крайней мере на порядок превышающей надежность защищаемого судового электрооборудования [1, 16, 18].

Для повышения надежности ЭЗ судового электрооборудования и СЭЭС наряду с общими методами обеспечения аппаратной надежности допустимо применить некоторые дополнительные, определяемые спецификой построения и функционирования защиты. Например, вследствие относительно низкой частоты появления повреждений или нарушений нормальной работы в СЭЭС можно существенно повысить $P_{с.з}$, используя тестовые проверки защиты с помощью устройств, имитирующих аварийные ситуации на судах [1, 16]. Такие устройства используются в частности для проверки полупроводниковых расцепителей быстродействующих токоограничивающих выключателей морского исполнения серии A3700. Для увеличения $P_{о.л.с}$ перспективно также использовать встроенные в судовую ЭЗ узлы контроля отказов, автоматически выводящие защиту судового электрооборудования и СЭЭС из действия при возникновении в ней неисправностей с генерацией соответствующего сигнала.

В эксплуатационных условиях на борту надежность систем защиты СЭЭС весьма значительно повышается посредством так называемого «прямого и смежного резервирования».

Прямое резервирование состоит в том, что защиту участка СЭЭС, имеющую высокие показатели быстродействия и чувствительности и при этом, как правило, довольно сложную, резервируют более простой и надежной, хотя и менее эффективной защитой. Например, при использовании на флоте сложной дифференциальной защиты секций ГРЩ целесообразно в качестве резервной применять максимальную токовую защиту, встроенную в судовой автоматический выключатель.

При смежном резервировании предполагается, что ЭЗ участков СЭЭС, расположенных ближе к бортовому источнику питания, должны резервироваться для защиты смежных, более удаленных от него участков. Например, в судовых эксплуатационных условиях при отказе автоматического выключателя фидера питания отдельного двигателя должен срабатывать автоматический выключатель распределительного щита, от которого двигатель получает электроснабжение. На судах различного назначения в системах защиты смежное резервирование является обязательным [16].

В качестве одного из основных требований, предъявляемых российскими морским и речным регистрами судоходства к аппаратам и устройствам защиты, через которые могут протекать аварийные токи дуговых КЗ, выступает устойчивость к электродинамическому и термическому действию токов КЗ в СЭЭС [1, 3, 6, 7, 9, 16]. Кроме того, автоматические выключатели и предохранители должны быть способны отключать предельные токи КЗ в СЭЭС.

К судовым аппаратам и устройствам защиты СЭЭС, помимо перечисленных основных требований, предъявляются дополнительные, в частности – компактность, удобство эксплуатации, унификация.

Компактность является весьма важной, а в некоторых случаях даже определяющей характеристикой средств защиты судового электрооборудования и СЭЭС. Традиционно основной вид аппаратов защиты – автоматические выключатели бортового исполнения, размещаемые на ГРЩ и РЩ. На данном этапе от количества установленных автоматических выключателей зависят размеры ГРЩ, которые в ряде случаев способны повлиять на архитектуру современного автоматизированного теплохода. С увеличением мощности и сложности СЭЭС возрастают количество и габариты РЩ на крупных судах различного назначения. В нынешних экономических условиях и в период действия санкций разработка бортовых компактных унифицированных аппаратов является важным направлением совершенствования защиты судового электрооборудования и СЭЭС.

В условиях рыночной экономики и при усложнении СЭЭС (как и бортового электрооборудования в целом) задача обеспечения удобства эксплуатации их устройств защиты и быстродействующих унифицированных аппаратов приобретает все большую актуальность.

Под удобством эксплуатации понимается удобство технического использования, обслуживания и ремонта

судовых аппаратов и устройств защиты. Условие удобства эксплуатации на судах дополняет важное требование простоты монтажа; его наиболее важными особенностями являются широкое применение втычного исполнения судовых аппаратов и устройств, а также использование разъемных датчиков тока.

Все указанные требования в совокупности определяют технико-экономическую эффективность (ТЭЭ) ЭЗ судового электрооборудования и СЭЭС.

В современных условиях обеспечение ТЭЭ судовой ЭЗ подразумевает выбор одного из двух вариантов: применение дорогой и сложной защиты для создания высокой степени защищенности СЭЭС, или использование простой, дешевой и компактной защиты бортовой аппаратуры, но с худшими показателями чувствительности, быстродействия и др.

В каждом конкретном случае решение принимается с учетом накопленного опыта проектирования и эксплуатации. Однако подобный подход представляется все менее надежным в условиях быстрого развития и совершенствования СЭЭС, отдельных типов бортового электрооборудования, а также повышения разнообразия ЭЗ, средств токоограничения. Поэтому актуальными задачами судовой электроэнергетики являются сбор статистических данных о повреждениях, авариях и нарушениях режимов работы СЭЭС с анализом причиненного ущерба, последующая разработка требований к количественным показателям ЭЗ электрооборудования судов.

Функция среднего удельного ущерба СЭЭС из-за ошибочных реакций релейной защиты за единицу времени вычисляется по формуле:

$$У_{ср.уд} = P_{отк}(x_у)\lambda_з У_{отк} + P_{изл}(x_у)\lambda_{см} У_{изл}, \quad (7)$$

где $P_{отк}(x_у)$ и $P_{изл}(x_у)$ – соответственно функции вероятностей: отказа в срабатывании защиты при КЗ в защищаемой зоне аргумента порога срабатывания (уставки) и излишнего срабатывания защиты при внешнем дуговом КЗ;

$\lambda_з$ и $\lambda_{см}$ – соответственно удельные повреждаемости защищаемой и смежной судовой электроустановки;

$У_{отк}$ и $У_{изл}$ – соответственно средние ущербы системы от одного отказа в срабатывании при КЗ в защищаемой зоне и от одного излишнего срабатывания при внешнем КЗ.

С учетом надежности устройств релейной защиты отказ в срабатывании защиты судовых электроустановок может быть обусловлен двумя причинами – отказами в срабатывании измерительного элемента защиты из-за:

– влияния случайных вариаций параметров дуговых КЗ, погрешностей элементов защиты и влияния помех;

– отказов элементов устройства, то есть вследствие ненадежности срабатывания – $P_{нен.ср}$.

Аналогичным образом излишнее срабатывание защиты при внешнем КЗ может быть обусловлено излишним срабатыванием измерительного элемента из-за случайных вариаций сигналов и действия помех, а также излишним срабатыванием защиты из-за отказов элементов устройства, преимущественно в измерительном элементе, то есть ненадежностью несрабатывания – $P_{нен.ср}$. Последнее обусловлено тем, что отказы логического и исполнительного элементов выявляются, как правило, сразу же после их возникновения.

Отказы в срабатывании измерительного элемента защиты и ненадежность срабатывания, а также излишние срабатывания и ненадежность несрабатывания являются совместными некоррелированными случайными событиями.

Эффективность оптимизации уставки измерительного элемента устройства релейной защиты бортовых электроустановок проявляется лишь при безотказной работе, поэтому с учетом надежностей срабатывания и несрабатывания функция среднего удельного ущерба СЭЭС будет равна:

$$У_{ср.уд} = P_o(t_{отк})P_{отк}(x_у)\lambda_з У_{отк} + P_o(t_{ср})P_{изл}(x_у)\lambda_{см} У_{изл}, \quad (8)$$

где $P_o(t_{отк})$ – вероятность безотказной работы на срабатывание устройства защиты за среднее время между отказами в срабатывании исправного устройства;

$P_o(t_{ср})$ – вероятность безотказной работы на несрабатывание устройства защиты за среднее время между излишними срабатываниями исправного устройства.

Устройство релейной защиты судовой электроустановки в плане надежности является восстанавливаемым устройством, и для него допустимо предположение о стационарности потоков отказов на срабатывание и несрабатывание. Вероятность появления отказов каждого вида за интервал времени t, не зависящий от времени эксплуатации на флоте, подчиняется закону Пуассона:

$$P_к(t) = \frac{1}{k!}(\lambda t)^k e^{-\lambda t}, \quad (9)$$

где λ – интенсивность отказов на срабатывание или несрабатывание.

Вероятность безотказной работы устройства за время t равна:

$$P_o(t) = e^{-\lambda t}. \quad (10)$$

Из (7) среднее время между двумя отказами в срабатывании по причине помех исправного устройства защиты судовой электроустановки будет определяться так:

$$t_{отк} = \frac{T}{P_{отк}(x_у)\lambda_з}, \quad (11)$$

где T – единица времени, обычно равна 1 году.

С учетом (10) и (11) вероятность отсутствия отказа защиты в срабатывании вследствие ненадежности за время $t_{отк}$ вычисляется:

$$P_o(t_{отк}) = \exp\left(-\frac{\lambda_{ср}T}{P_{отк}(x_у)\lambda_з}\right), \quad (12)$$

где $\lambda_{ср}$ – интенсивность отказов на срабатывание из-за ненадежности.

Аналогичным образом рассчитываются среднее время между двумя излишними срабатываниями из-за помех исправного устройства защиты судовой электроустановки:

$$t_{изл} = \frac{T}{P_{изл}(x_у)\lambda_{см}}, \quad (13)$$

и вероятность отсутствия за это время отказа на несрабатывание из-за ненадежности:

$$P_o(t_{изл}) = \exp\left(-\frac{\lambda_н T}{P_{изл}(x_у)\lambda_{см}}\right), \quad (14)$$

где $\lambda_н$ – интенсивность отказов защиты на несрабатывание из-за ненадежности.

Следовательно, функция среднего удельного ущерба СЭЭС с учетом надежности устройства релейной защиты имеет вид:

$$У_{ср.уд} = P_{отк}(x_у)\lambda_з У_{отк}\exp\left(-\frac{\lambda_{ср}T}{P_{отк}(x_у)\lambda_з}\right) + P_{изл}(x_у)\lambda_{см} У_{изл}\exp\left(-\frac{\lambda_н T}{P_{изл}(x_у)\lambda_{см}}\right). \quad (15)$$

Приведенное уравнение свидетельствует, что для простейшего, а значит и стационарного, потока отказов защиты из-за ненадежности

эффективность оптимизации прямо зависит от надежности устройства релейной защиты судовой электроустановки и не зависит от времени с момента начала эксплуатации защиты на флоте.

Исследование влияния надежности устройств релейной защиты судовых электроустановок на функцию среднего удельного ущерба СЭЭС по причине ошибочных реакций релейной защиты дало количественную оценку эффективности оптимизации уставок измерительных элементов защит с учетом ненадежностей срабатывания и несрабатывания.

На судах различного назначения перспективным представляется применение в релейной защите, устройствах токоограничения микропроцессорной техники, значительно расширяющей функциональные возможности защиты СЭЭС и «сближающей» ее с системами диагностирования.

В условиях рыночной экономики повышение требований к защите судового электрооборудования и СЭЭС делает необходимым более глубокое изучение аварийных режимов в электроэнергетических системах, прежде всего в статистическом плане для оценки средств защиты и более полного использования их возможностей.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. В.М. Приходько. Ограничение аварийных токов в судовых электроэнергетических комплексах (научная монография). – СПб: СПГУВК, 2010. – 425 с. **2.** Защита судовых электросистем / В. Приходько // Речной транспорт. 1983. – № 8. – С. 31-32. **3.** В.М. Приходько, Д.В. Вилесов. Устройство для ограничения тока короткого замыкания в электроэнергетической установке (авторское свидетельство СССР на изобретение 649097). – Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1979, № 7. **4.** Приходько В.М. Быстродействующее тиристорное защитное шунтирующее устройство для повышения пожаробезопасности судовых ЭЭС (в кн.: Повышение безопасности судовых электроэнергетических систем. Сб. НТО им. акад. А.Н. Крылова, вып. 339). – Л: Судостроение, 1981. – С. 25-28. **5.** Приходько В.М. Автоматизация проектирования тиристорного токоограничителя шунтового типа для автономных электроэнергетических систем (в кн.: Автоматизация проектирования электротехнической части судна. Сб. ВНТО им. акад. А.Н. Крылова, вып. 461). – Л: Судостроение, 1988. – С. 45-53. **6.** В.М. Приходько, И.В. Бобин. Оценка влияния тиристорного токоограничителя на ударные токи коротких замыканий в судовых электроэнергетических системах (материалы межд. научн.-практ. конф. «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление-2009»). – СПб: СПГУВК, 2009. – С. 151-156. **7.** В.М. Приходько, Д.А. Тарасов. Тепловые нагрузки на тиристорный токоограничитель шунтового типа (материалы межд. научн.-практ. конф. «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление-2009»). – СПб: СПГУВК, 2009. – С. 189-194. **8.**Х. Мелкауи, В.М. Приходько. Ограничение аварийных токов в судовых электроэнергетических системах (материалы межд. научн.-практ. конф. «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление-2009», книга III). – СПб: СПГУВК, 2010. – С. 137-145. **9.** Коммутационно-защитные аппараты на базе полупроводниковых приборов / В.М. Приходько, П.А. Смирнов, М.В. Спиридонов // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: межвузовский сборник научных трудов. – СПб: СПбГТУРП, 2008. – С. 102-108. **10.** Приходько В.М. Интенсификация комплексных испытаний судового электрооборудования по энергосберегающей технологии в судостроении и судоремонте (научная монография). – СПб: СПГУВК, 2013. – 244 с. **11.** Приходько В.М. Методы и технические средства комплексных испытаний элементов судовых электроэнергетических систем в судостроении и судоремонте: (научная монография). – СПб: ИПЦ СПГУВК, 2005. – 348 с. **12.** Приходько В.М. Повышение электропожаробезопасности при электроснабжении судов от береговых сетей. – СПб: СПГУВК, 2009. – 218 с. **13.** Приходько В.М. Способы восстановления сопротивления изоляции судового электрооборудования. – СПб: СПГУВК, 2012. – 262 с. **14.** Приходько В.М. Проектирование судовых электроприводов переменного тока с преобразователями частоты. – СПб: ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова, 2013. – 94 с. **15.** Приходько В.М. Судовые полупроводниковые выпрямители. – СПб: СПГУВК, 2009. – 219 с. **16.** Е.А. Калязин, Ю.В. Рокотян, В.Д. Филимонов, Л.Л. Игнатьев. Электрическая защита судового электрооборудования. – Л: Судостроение, 1983. – 240 с. **17.** Управление переходными процессами в аварийном режиме короткого замыкания дизель-генераторных судовых электроэнергетических систем / В.М. Приходько // Наука и техника на речном транспорте, 2001. – № 8. – с. 11-18. **18.** Приходько В.М. Электрооборудование и автоматизация судов технического флота. – СПб: СПГУВК, 2009. – 77 с.

УЧРЕЖДЕНИЕ: **Волжский государственный университет водного транспорта (ВГУВТ)**

ТЕМА: Идентификация событий при разливах нефти (РН) с судов

АВТОР: **А.Е. ПЛАСТИНИН, к.т.н., доцент кафедры «Охрана окружающей среды и производственная безопасность», зам. начальника Учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера**

В соответствии с действующими международными соглашениями в сфере предупреждения и ликвидации РН, оценка риска (ОР) является основой для систем реагирования всех уровней и применяется для решения двух групп задач – оценок:

1) готовности к реагированию на РН, то есть оценки сил и средств, требуемых для ликвидации последствий разливов и обеспечения адекватного реагирования;

2) необходимости разработки организационных и инженерно-технических мероприятий для обеспечения допустимого (приемлемого) уровня риска (используется прежде всего при проектировании и строительстве опасных производственных объектов – например, терминалов, буровых платформ, АЭС и др.).

Важно отметить, что в России ОР применяется преимущественно для решения первой задачи, а именно – для оценки границ зон чрезвычайных ситуаций, связанных с РН (ЧС(Н)) и уровня управления;

№	Дата	Место аварии	Вид аварии	Причина	Судно	Повреждение корпуса
55	10.05.1984	863	Посадка на мель	НУС невып.вахт.н-ком обяз.на ход вахт.	Грузовое сухогрузное т/х Волго-Дон-119	1
56	13.10.1987	872	Столкновение	НПП общего порядка движения и маневрирования	Грузовое сухогрузное т/х СТ-1108	1
57	06.07.1988	872	Столкновение	Нарушение ПТЭ	Грузовое сухогрузное т/х Волго-Дон-5015	1
58	03.09.1985	874	Удар	Судоводительские ошибки	Грузовое сухогрузное т/х Сормовский-19	0
59	13.10.1987	874,8	Посадка на мель	НУС невып.вахт.н-ком обяз.на ход вахт.	Грузовое нефтеналивное т/р Волгонефть-220	0
60	14.10.1980	875	Посадка на мель	НПП движение при ограниченной видимости	Грузовое сухогрузное т/х Волго-Дон-207	0
61	14.10.1980	875	Посадка на мель	Стихийные причины	Грузовое сухогрузное т/х Ленинский комсомол	0
62	25.07.1982	875	Удар	НУС невып.вахт.н-ком обяз.на ход вахт.	Грузовое нефтеналивное т/р Волгонефть-36	0
63	07.08.1980	951	Навал	НПП движение при ограниченной видимости	Грузовое нефтеналивное т/р Волгонефть-249	1
64	15.07.1989	988,5	Затопление	НУС невып.вахт.н-ком обяз.на ход вахт.	Грузовое сухогрузное т/х Волго-Дон-5031	1

Рис. 1. Фрагмент БД ТП (табличная часть)

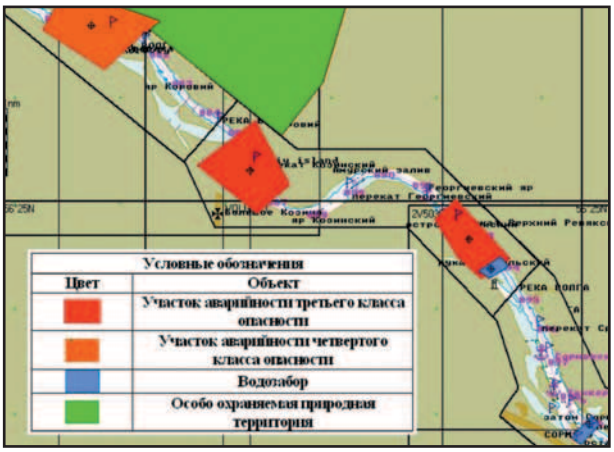


Рис. 2. Фрагмент БД ТП (картирование риска возникновения РН в районе 878-898 км реки Волги)

исключение составляют только проектируемые и строящиеся АЭС, для которых разработка организационных и инженерно-технических мероприятий для обеспечения допустимого (приемлемого) уровня риска является обязательным элементом проектной документации: при учете внешних техногенных воздействий выполняется ОР возникновения и последствий РН на объекты АЭС при эксплуатации флота [1]. Таким образом, существует объективная потребность в исследовании риска ЧС(Н) на внутренних водных путях (ВВП) как географически ориентированной случайной величины.

В настоящей статье представлены результаты работы по идентификации событий, приводящих к РН при эксплуатации судов в Волжском бассейне.

В рамках исследования была создана (и обновляется по сей день) база данных (БД), содержащая информацию по транспортным происшествиям (ТП) Волжско-Камского, Северо-Западного, Азово-Донского, Печорского, Обского, Обь-Иртышского и Ленского бассейнов [2-4]. При ее наполнении использовались статистические сведения об аварийности (источник – Ространснадзор) за 33 года (с 1980 по 2012 г.).

БД включает следующие позиции: место, дату, описание и причину ТП; тип флота, номера проектов судов, их грузоподъемность, виды перевозимых грузов, ссылку на справочник по серийным транспортным судам; наличие повреждений корпуса, затопления; объем разлива, тип нефтепродукта, запас топлива; чувствительные к нефтяному загрязнению районы (водозаборы, особо охраняемые природные территории), а также границы УА, определенные с 95% вероятностью по итогам статистического анализа.

БД ТП в Волжском бассейне содержит данные по 2423 авариям, в том числе по 136 с РН, из которых по 113 случаям имеется полная информация, необходимая для оценки рисков и вреда при ЧС(Н).

Фрагменты описанной БД представлены на рис. 1 и 2.

Исследования сведений в БД ТП показало, что источники РН с транспортных судов в Волжском бассейне целесообразно подразделять на 5 групп (таблица 1), в зависимости от вида процесса, когда происходит разлив, то есть по типу источника

Перечень событий, инициирующих разлив нефти

Таблица 1

Группы	События
1. Грузовая операция	1.1. Нарушение технологического процесса
	1.2. Нарушение герметичности корпуса танкера из-за плохого технического состояния корпуса, столкновения с другим судном, пожара/взрыва и т.д.
2. Рейс	2.1. Повреждение корпуса при столкновении (навале) с другим судном, мостом, причалом и т.п.
	2.2. Повреждение корпуса при посадке на мель
	2.3. Затопление
3. Балластная операция	3.1. Нарушение герметичности переборок балластных отсеков
	3.2. Использование грузовых танков в качестве балластных
4. Бункеровочная операция	4.1 Нарушение технологического процесса бункеровки
	4.2 Повреждение корпуса бункеровщика, повлекшее разлив, в результате посадки на мель, столкновения между собой или третьим судном, навала и т.д.
5. Холодный (межнавигационный) отстой, проведение ремонтных работ	5.1. Зачистка перед постановкой на отстой (включая преднамеренный сброс НВ)
	5.2. Разгерметизация корпуса неподготовленного к холодному отстою судна
	5.3. Проведение ремонтных работ (удар по корпусу судна в районе МО)

Характеристики событий (состояний) статистической модели

Таблица 2

№	Наименование событий или состояний модели	Количество случаев	Доля в подгруппе событий, %	Доля подгруппы в группе событий, %	Доля в группе событий, %	Доля группы событий в общем объеме наблюдений, %	Доля событий в общем объеме наблюдений, %
1	Во время грузовой операции	99	-	-	100	72,79	72,79
1.1	Нарушение технологического процесса грузовых операций	90	100	90,91	-	-	66,18
1.1.1	Повреждение шлангов	37	41,11	-	37,37	-	27,21
1.1.2	Переполнение танков	44	48,89	-	44,44	-	32,35
1.1.3	Утечка через нефтеподогреватели	6	6,67	-	6,06	-	4,41
1.1.4	Переполнение цистерны для сбора подсланевых вод	3	3,33	-	3,03	-	2,21
1.2	Нарушение герметичности корпуса танкера в процессе грузовой операции в результате плохого технического состояния корпуса, столкновения с другим судном, пожара/взрыва и т.д.	9	100	9,09	-	-	6,62
1.2.1	В результате плохого технического состояния корпуса	7	77,78	-	7,07	-	5,15
1.2.2	В результате столкновения с другим судном	0	0	-	0	-	0
1.2.3	В результате пожара/взрыва	2	22,22	-	2,02	-	1,47
2	Во время рейса	19	-	-	100	13,97	13,97
2.1	Повреждение корпуса при столкновении (навале) с другим судном, мостом, причалом и т.п.	12	100	63,15	-	-	8,82
2.2	Повреждение корпуса при посадке на мель	5	100	26,32	-	-	3,68
2.3	Затопление	2	100	10,53	-	-	1,47
3	Во время балластной операции	3	-	-	100	2,21	2,21
3.1	Нарушение герметичности переборок балластных отсеков	2	100	66,67	-	-	1,47
3.2	Использование грузовых танков в качестве балластных	1	100	33,33	-	-	0,74
4	Во время бункеровочной операции	10	-	-	100	7,35	7,35
4.1	Нарушение технологического процесса бункеровки	9	100	90	-	-	6,62
4.1.1	Повреждение шлангов	5	56	-	50	-	3,68
4.1.2	Переполнение топливных (масляных) систем	4	44	-	40	-	2,94
4.2	Повреждение корпуса бункеровщика, повлекшее разлив, в результате посадки на мель, столкновения между собой или третьим судном, навала и т.д.	1	100	10	-	-	0,74
5	Во время холодного (межнавигационного) отстоя и проведения ремонтных работ	5	-	-	100	3,68	3,68

Продолжение таблицы 2

№	Наименование событий или состояний модели	Количество случаев	Доля в подгруппе событий, %	Доля подгруппы в группе событий, %	Доля в группе событий, %	Доля группы событий в общем объеме наблюдений, %	Доля событий в общем объеме наблюдений, %
5.1	При зачистке перед постановкой на отстой (включая преднамеренный сброс НВ)	2	100	40	-	-	1,47
5.2	При разгерметизации корпуса неподготовленного к холодному отстою судна	2	100	40	-	-	1,47
5.3	При проведении ремонтных работ (удар по корпусу судна в районе МО)	1	100	20	-	-	0,74
Итого		136	-	-	-	100	100

и причинам загрязнения во время: 1) грузовой операции; 2) рейса; 3) балластной операции; 4) бункеровочной операции; 5) холодного (межнавигационного) отстоя и проведения ремонтных работ.

В таблице 2 приведены характеристики событий (состояний) разработанной статистической модели.

На рис. 3-5 в качестве примера представлены деревья отказов (происшествий) для подгруппы событий 1.1, группы событий 2 и подгруппы событий 4.1 соответственно [5].

Перечислим факторы, способствующие развитию нештатной ситуации и увеличению объема разлитого нефтепродукта (на рис. 3-5 они не приведены):

1. Неблагоприятные погодные условия (сильный ветер, волнение).
2. Недостаточное освещение.
3. Отсутствие порядка действий при нештатной ситуации.
4. Отсутствие связи между судами (нечеткая установка сигналов и команд).
5. Отсутствие впитывающих материалов.

ВЫВОДЫ

В результате выполненной полуколичественной оценки рисков ЧС(Н) в Волжском бассейне было установлено, что наибольшее количество наблюдений РН зарегистрировано в группе «РН во время грузовой операции» – 99 случаев (72,79% наблюдений). При этом основной подгруппой инициирующих событий является «Нарушение технологического процесса грузовых операций» – 90 случаев (90,91% группы). Преобладающие причины РН в подгруппе – события «Переполнение танков» и «Повреждение шлангов» (44 случая (48,89%) и 37 случаев (41,11%) соответственно). Вторую подгруппу инициирующих событий образуют «Нарушение герметичности корпуса танкера» – 9 случаев (9,09% группы), а основными причинами являются «Плохое техническое состояние корпуса» – 7 случаев (77,78% наблюдений в подгруппе) и «Пожары/взрывы» – 2 случая (22,22% наблюдений в подгруппе).

Следует выделить значительную долю наблюдений, связанных с пожарами и взрывами (1,47% общего объема), поскольку именно они определяют наиболее опасный риск ЧС(Н), сопряженный как с социальным, так и с экологическим ущербом.

На втором месте по количеству зафиксированных РН находится группа «Во время рейса» – 19 случаев (13,97%). Основной вклад в формирование уровня риска вносят подгруппы инициирующих событий «Столкновения, удары, навалы» –12 случаев (63,15%) и «Посадка на мель» – 5 случаев (26,32%). Значительной является доля подгруппы «Затопление» – 2 случая (10,53% группы).

Третью позицию в перечне наблюдений РН занимает группа событий «Во время бункеровочной

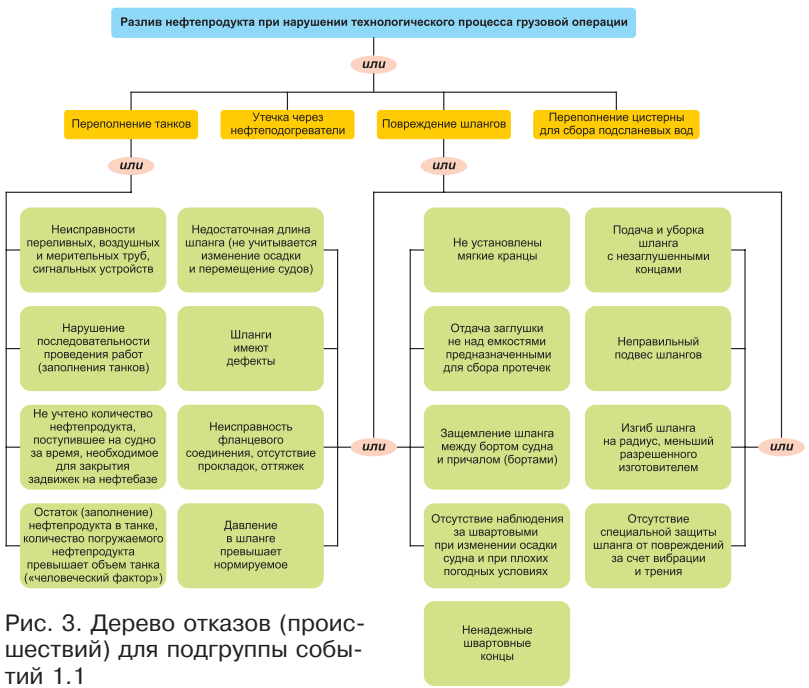


Рис. 3. Дерево отказов (происшествий) для подгруппы событий 1.1

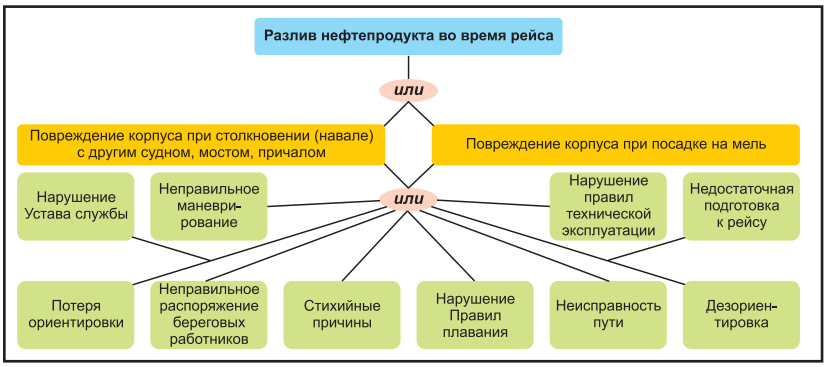


Рис. 4. Дерево отказов (происшествий) для группы событий 2

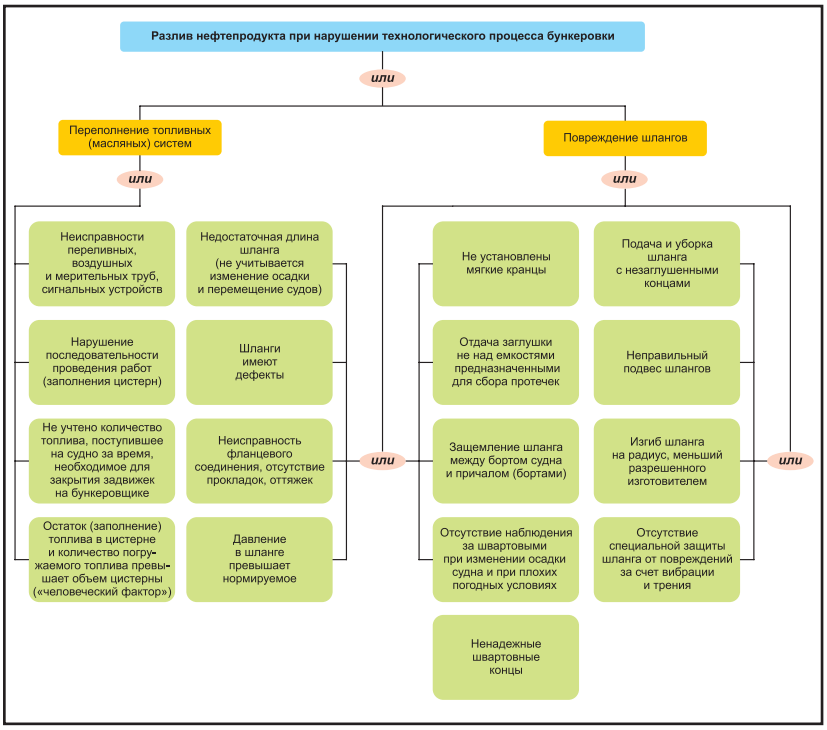


Рис. 5. Дерево отказов (происшествий) для подгруппы событий 4.1

операции» – 10 случаев (7,35% наблюдений). При этом основной подгруппой инициирующих событий является «Нарушение технологического процесса бункеровки» – 9 случаев (90% группы). В этой подгруппе существует две причины РН: события «Повреждение шлангов» – 5 случаев (56%) и «Переполнение топливных (масляных) систем» – 4 случая (44%).

Вторую подгруппу инициирующих событий образует «Повреждение корпуса бункеровщика» – 1 случай (10% группы).

На четвертом месте находится группа «Во время холодного (межнавигационного) отстоя и проведения ремонтных работ» – 5 случаев (3,68%). Основной вклад в формирование уровня риска вносят подгруппы инициирующих событий «При зачистке перед постановкой на отстой (включая преднамеренный сброс НВ)» и «При разгерметизации корпуса неподготовленного к холодному отстою судна» – по 2 случая (1,47%) в каждой подгруппе. Значительной является доля подгруппы «При проведении ремонтных работ (удар по корпусу судна в районе машинного отделения)» – 1 случай (20% группы), который был зафиксирован в Волжском бассейне, в затоне «Память Парижской Коммуны», 21 ноября 2013 года [6].

Последнюю позицию занимает группа «Во время балластной операции» – 3 случая (2,21 % общего объема наблюдений), состоящая из двух подгрупп инициирующих событий: «Нарушение герметичности переборок балластных отсеков» – 2 случая (66,67%) и «Использование грузовых танков в качестве балластных» – 1 случай (33,33%).

Важно отметить, что полученные результаты нашли конкретное применение:

1) При разработке и отработке более 100 планов ЛАРН отраслевых организаций, в том числе: администраций Волжского, Печорского, Волго-Балтийского бассейнов; судоходных компаний – Обь-Иртышского и Иртышского пароходств, «Омсктранснефтепродукт», «Реском-Тюмень», «Самаратрансфлот», «Лукойл-бункер», «Академфлот»; портов – Салехардского, Сергинского, Самарского, Ульяновского и Тольяттинского.

2) В процессе первоначальной и периодической подготовки более 200 спасателей и руководителей АСФ (Н) в составе персонала организаций водного транспорта на базе Учебно-тренажерного центра по управлению кризисными ситуациями природного и техногенного характера ВГУВТ.

3) При разработке мероприятий по обеспечению допустимого уровня риска негативного влияния судоходства на гидротехнические сооружения Нижегородской и Ростовской АЭС.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Постановление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20.12.2005 г. № 16 «Об утверждении и введении в действие федеральных норм и правил в области использования атомной энергии «Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://base.consultant.ru/cons/, свободный. – Загл. с экрана. **2.** Оценка риска возникновения транспортных происшествий / Пластинин А.Е. // Речной транспорт (XXI век), 2013. – № 3. – С. 83-88. **3.** Организация контроля потенциально-опасных объектов судоходства / Наумов В.С., Пластинин А.Е. // Журнал СПГУВК, 2010. – № 8(4). – С. 92-97. **4.** Оценка ущерба при разливах нефти на водных объектах / Пластинин А.Е., Горбунов В.С. // Вестник ВГАВТ, вып. 33. – Н. Новгород: ВГАВТ, 2012. – С. 53-59. **5.** Наумов В.С., Пластинин А.Е. Управление кризисными ситуациями природного и техногенного характера (учебное пособие). – Н. Новгород: ВГАВТ, 2009. – 208 с. **6.** Разработка матриц выбора средств борьбы с разливами нефти / Пластинин А.Е. // Речной транспорт (XXI век), 2014. – № 2. – С. 53-61.

УЧРЕЖДЕНИЯ: Волжский государственный университет водного транспорта (ВГАВТ), Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева (НГТУ им. Р.Е. Алексеева)

ТЕМА: О необходимости применения органом классификации судов современных информационных технологий

АВТОРЫ: А.В. СОЛОВЬЁВ, к.т.н., старший преподаватель ВГАВТ, Е.Н. ГИБУЛИН, к.т.н., доцент НГТУ им. Р.Е. Алексеева

На современном этапе во многих сферах жизнедеятельности все активнее используется так называемый «цифровой формат». Например, в инженерной области при проектировании это проявляется в переходе на концепцию электронной модели (ЭМ), когда набором данных в целом описываются геометрия и иные свойства будущего объекта, необходимые для его изготовления, сборки, контроля, приемки, эксплуатации, ремонта и утилизации.

Этому во многом способствуют вычислительные возможности передовых компьютерных систем и программного обеспечения (ПО), и все больше проектантов вместо двухмерного проектирования (традиционного, исторически сложившегося принципа) – подготовки плоских чертежей, отображающих создаваемый трехмерный объект, стремятся применять трехмерную ЭМ планируемой конструкции (с которой по желанию в автоматическом режиме можно генерировать требуемые документы).

Процесс формирования трехмерной ЭМ объекта, то есть виртуального прототипа реальной конструкции с максимальным соответствием всех характеристик (массово-габаритных, прочностных, динамических и др.), отныне является не столько выбором конкретного исследователя, сколько насущной необходимостью, обусловленной требованиями внешней информационной среды (иерархически высшей по отношению к нему), в которой он находится.

Между тем в организациях, уже активно использующих системы трехмерного проектирования (CAD-системы, от англ. Computerized Automated Design), возрастает понимание того факта, что только одного нововведения явно недостаточно для повышения конкурентоспособности деятельности; и целесообразно применение специального ПО, позволяющего в едином информационном пространстве производить сложный наукоемкий продукт, имитировать различные воздействия на него, в том числе в рамках стадий изготовления, эксплуатации и вывода из строя.

В связи с этим компании в приоритетном порядке стараются заключать с заказчиками договора на осуществление непрерывной «поддержки» изделия –

от проектирования до утилизации. Реализовать подобный принцип позволяют PLM-системы (от англ. Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом продукции – ЖЦП), подразумевающие полное управление информацией об изделии.

PLM-система включает 3 ключевых компонента [1]:

– цифровой (электронный) макет-прототип продукта;

– модели процессов, связанных с ЖЦП: изготовлением, эксплуатацией, обслуживанием, ремонтом и утилизацией;

– модели ресурсов, вовлеченных в ЖЦП.

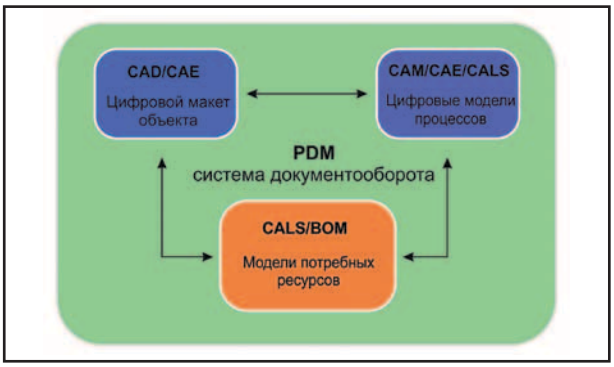


Рис. 1. Схема PLM-системы

Именно эти составные элементы, связанные единой системой документооборота (PDM, от англ. Product Data Management – управление данными об изделии, рис. 1), образуют систему управления ЖЦП и, как следствие, позволяют добиваться максимального качества продукции при адекватной стоимости.

Судно является сложным техническим объектом, в процессы создания, эксплуатации и ремонта которого вовлечены различные структуры: компания-заказчик, организация-проектант, классификационное общество, завод-изготовитель, высшие и специальные учебные заведения, поставщики оборудования (рис. 2). До настоящего момента перечисленные субъекты при создании и эксплуатации судна функционировали самостоятельно, а в рамках периодического сотрудничества использовали двухмерные чертежи.

Важно напомнить, что участники «круглого стола» (в том числе представители проектных организаций, вузов) на тему «Использование возможностей и средств программных комплексов и компьютерного моделирования при проектировании, классификации и осви-

Рис. 2. Субъекты, вовлеченные в процессы создания, эксплуатации и ремонта судна

детельствовании судов», состоявшегося в Нижнем Новгороде в рамках форума «Великие реки-2014» продемонстрировали высокий уровень заинтересованности в переходе к специализированным системам трехмерного проектирования на стадиях проектирования флота и обучения будущих специалистов в области судостроения. На современном этапе сообщество инженеров-конструкторов в нашей стране находится пока еще в фазе замещения двухмерного проектирования трехмерным. В ближайшие несколько лет ситуация кардинально изменится. Ведь «под воздействие» концепции трехмерного проектирования постепенно попадают производители судового оборудования и механизмов. Уже сейчас эти передовые предприятия предоставляют трехмерные модели своей продукции, которые используются в конструкторских бюро для создания электронной модели-прототипа единицы флота.

Применение трехмерных моделей и электронного макета при проектировании полностью соответствует действующей Единой системе конструкторской документации (ЕСКД) [2].

В данном контексте актуально рассмотреть функции Регистра, роль которого сложно переоценить в ЖЦП в отрасли водного транспорта. Именно этот орган классификации судов фактически собирает всю информацию о судне с момента проектирования до списания. Вне зависимости от предпочтений этой структуры, в ближайшее время она неизбежно столкнется с ситуацией, когда со стороны проектантов (высших учебных заведений, судостроительных заводов) все чаще будут поступать заявки на согласование документации не в формате чертежей, а в виде отдельных трехмерных моделей (электронных макетов-прототипов) элементов конструкции, оснащения и макетов флота в целом. И органу классификации судов тоже придется переходить на использование новой концепции.

Так как в ходе осуществления деятельности Регистр обязан отслеживать и фиксировать все изменения, происходящие с судном в течение всего срока эксплуатации, пополняя базу данных по каждой единице флота, этой организации целесообразно внедрять PLM-систему в основе с ЭМ судна. Тогда у специалистов органа классификации появится возможность работать над проектом судна в едином информационном поле на современном технологическом уровне на протяжении ЖЦП, накапливая необходимые сведения, а у любого заинтересованного лица – получать актуальные данные по конкретной единице флота, что позволит оптимизировать процесс рассмотрения проектной документации и снизить вероятность возникновения ошибок.

ИСПОЛЬЗОВННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Цифровой прототип в PLM / Малюх В.Н. // Интернет-журнал «ISICAD», 2007 (07) [Электронный ресурс]: Группа компаний «Ледас», 2007. – Режим доступа: http://isicad.ru/ru/articles.php?article_num=12041, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. **2.** ГОСТ 2.052-2006 – ЕСКД. Электронная модель изделия. Общие положения.

АННОТАЦИИ

Процессный подход к планированию расходов на топливо в судоходной компании / Ятчук К.В., Путилова Н.Н., Масленников С.Н., Ведерников С.Н.// Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 21-23.
Рассматривается научно-методический подход к планированию эксплуатационных расходов на топливо в судоходной компании с использованием инструментальных средств моделирования бизнес-процессов. Предлагается модель процесса планирования эксплуатационных расходов на топливо при осуществлении перевозок.
Ключевые слова: оптимизация, планирование, финансы, судоходная компания, ресурсосбережение.
Контактная информация: yatchuk-krestina@mail.ru

Инновационная гребная электрическая установка пассажирского колесного судна / Галкин Д.Н., Корнев А.Б., Бурда Е.М. // Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 24-26.
Приводится описание преимуществ передовой аппаратуры, которой оснащена серия современных колесных мелкосидящих судов.
Ключевые слова: колесное судно, гребная электрическая установка, маневренность, экономия топлива.
Контактная информация: gama-deb@sinn.ru

Исследование возможности кратковременного повышения мощности дизеля с целью предотвращения аварии судна / Крутиев С.М., Зябров В.А. // Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 36-38.
Описываются различные методы кратковременного повышения мощности двигателей внутреннего сгорания. Рассматривается возможность применения этих методов на судовых энергетических установках, оценивается целесообразность такого подхода с точки зрения эффективности, безопасности, сохранности ресурса машин.
Ключевые слова: дизель, кислород, повышение мощности.
Контактная информация: sergeykrutiyov@ya.ru

Научно-методические основы повышения безопасности для окружающей среды перевозок нефти водным транспортом / Новиков В.К., Минаева И.А., Кожин Д.Г.// Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 38-41.
Описывается авторский научно-методический подход к разработке методики оценки и повышения безопасности для окружающей среды перевозки нефти водным транспортом.
Ключевые слова: нефть, перевозка, водный транспорт, загрязнение, окружающая среда, научно-методическая основа, безопасность.
Контактная информация: tsbmgawt@yandex.ru

Принципы разработки типоразмерного ряда движительно-рулевого устройства с оптимальными характеристиками / Каган З.Л. // Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 41-46.
Описывается авторская методика разработки типоразмерных рядов движительно-рулевых устройств, в том числе поворотной колонки.
Ключевые слова: типоразмерный ряд, движительно-рулевое устройство, поворотная колонка, оптимальные параметры и характеристики.
Контактная информация: lorkagan@gmail.com

Способы компенсации динамической просадки кормы судна, движущегося на мелководье и выполняющего путевые работы / Каретников В.В., Яцук Ю.В., Волков Р.В. // Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 46-48.
Рассматривается явление динамической просадки кормы судна, движущегося на мелководье; анализируются методы расчета этого явления. Даются конструктивные предложения по его учету в ходе проведения гидрографических изысканий.
Ключевые слова: динамическая просадка теплохода, путевые работы, ограниченная глубина, внутренние водные пути.
Контактная информация: spguwc-karetnikov@yandex.ru, iatsouk@yandex.ru, romvolvik@gmail.com

Вероятностное описание характеристик срабатывания защиты судовых электроэнергетических систем / Приходько В.М., Приходько И.В. Лучкин В.Ю.// Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 49-52.
Представлены результаты разработки методики оптимизации уставок измерительных элементов устройств релейной защиты судовых электроэнергетических систем. Обосновывается выбор наиболее эффективных способов защиты бортового оборудования.
Ключевые слова: релейная защита, функция удельного ущерба, вероятность безотказной работы.
Контактная информация: prihodki-3@yandex.ru

Идентификация событий при разливах нефти с судов / Пластинин А.Е.// Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 52-56.
Приводятся результаты исследования стохастических процессов возникновения разливов нефти при эксплуатации судов на внутренних водных путях (на примере Волжского бассейна).
Ключевые слова: оценка риска, идентификация событий, разлив нефти, окружающая среда.
Контактная информация: plastininae@yandex.ru

О необходимости применения органом классификации судов современных информационных технологий / Гибулин Е.Н., Соловьёв А.В. // Речной транспорт (XXI век).2016. – № 1 (77) – с. 57-58.
Обосновывается целесообразность использования органом классификации судов в своей деятельности PLM-системы – программного продукта для управления жизненным циклом судна.
Ключевые слова: жизненный цикл судна, PLM-система, классификационное общество, трехмерная модель судна.
Контактная информация: gibulin@yandex.ru

ANNOTATIONS

Processing approach to planning fuel consumption in shipping company / Yatchuk K., Putilova N., Maslennikov S. Vedernikov S.// River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 21-23.
Describes scientific-methodical approach to planning operation costs for fuel in shipping company by using instruments of modeling business processes. Offers the model of planning operational costs for fuel in transportations.
Key words: optimization, planning, finances, shipping company, resource saving.
Contacts: yatchuk-krestina@mail.ru

The innovative rowing electrical unit of passenger paddle ship / Galkin D., Kornev A., Burda E. // River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 24-26.
Describes the features of advanced rowing electrical unit installed on serial modern paddle vessels with shallow draft.
Key words: paddle vessel, rowing electrical unit, maneuverability, fuel efficiency.
Contacts: gama-deb@sinn.ru

The research of possibility of short-time increasing diesel's power for the purpose to prevent ship's failure / Krutiev S., Zyabrov V.// River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 36-38.
Describes different methods of short-time increasing diesel's power. Considers possibility of using these methods on ship's power plants, estimates practicability of such approach in terms of effectiveness, safety, integrity of machine's lifetime.
Key words: diesel, oxygen, power increasing.
Contacts: sergeykrutiyov@ya.ru

Scientific-methodological basis of increasing environment's safety from oil shipping by water transport / Novikov V., Minaeva I., Kozhin D.// River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 38-41.
Describes authors' scientific-methodological approach to create the method of estimation and increasing environment's safety from oil shipping by water transport.
Key words: oil, transportation, water transport, pollution, environment, scientific-methodological basis, safety.
Contacts: tsbmgawt@yandex.ru

The principles of creating standard series of vessel's propulsion and steering device with optimal characteristics / Kagan Z. // River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 41-46.
Describes author's method of creating standard series of vessel's propulsion and steering device including swivel column.
Key words: standard series, vessel's propulsion and steering device, swivel column, optimal characteristics and parameters.
Contacts: lorkagan@gmail.com

The ways to compensate dynamic drawdown of ship which producing track works while moving at shallow / Karetnikov V., Yatsuk Y., Volkov R. // River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 46-48.
Describes the occurrence of dynamic drawdown of ship moving on shallow; analyses methods of calculation of this occurrence. Gives constructive offers to take it into account while producing hydrographic works.
Key words: ship's dynamic drawdown, track works, limited depth, inland waterways.
Contacts: spguwc-karetnikov@yandex.ru, iatsouk@yandex.ru, romvolvik@gmail.com

Probabilistic description of activation parameters of ship's electropower systems' protection / Prikhodko V., Prikhodko I., Luchkin V. // River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 49-52.
Shows the results of created method to optimize setpoints to measure elements of ship's electropower systems' protection relay devices. Substantiates selection of the most effective ways to protect ship's equipment.
Key words: protection relay, function of specific damage, probability of failsafe operation.
Contacts: prihodki-3@yandex.ru

The identification of events for oil spills from ships / Plastinin A. // River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 52-56.
Describes the results of research of stochastic processes of oil spills' occurrence while vessels operate on inland waterways (on the example of Volga basin).
Key words: risk assessment, identification of events, oil spill, environment
Contacts: plastininae@yandex.ru

About advisability of using modern informational technologies by classification society / Gibulin E., Solovyev A.// River transport (XXIst century).2016. – № 1 (77) – p. 57-58.
Substantiates advisability of using PLM-system by classification society.
Key words: vessel's lifecycle, PLM-system, classification society, three-dimensional model of vessel.
Contacts: gibulin@yandex.ru