НАУЧНЫЕ РАБОТЫ

Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

76
В.К. Новиков, В.Г. Фомин, А.А. Семенов. **Экологическая безопасность водного транспорта: проблемы, возможные пути решения**

Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (СПГУВК)

77
Е.Д. Караваева, В.И. Караваев. **Задача управления мультимодальной перевозкой**

Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

79
О.В. Щербакова, М.К. Романченко. **Применение современных акустических средств защиты объектов от воздушного шум**

Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (МГА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова)

81
А.В. Туркин. **Оценка экологического ущерба при аварийном переливе нефти на танкере**

83
Р.Ю. Арутюнов, В.А. Туркин. **Анализ факторов, влияющих на безопасность эксплуатации судовых термомасляных котлов**

Пермский государственный технический университет (ПГТУ)

86
Н.Н. Матушкин, Ю.Н. Хижняков, А.А. Южаков.**Валогенератор переменного тока на базе электрического дифференциального редуктора**

УЧРЕЖДЕНИЕ: Московская государственная академия водного транспорта (МГАВТ)

ТЕМА: Экологическая безопасность водного транспорта: проблемы, возможные пути решения

АВТОРЫ: В.К. НОВИКОВ, доктор технических наук, профессор; В.Г. ФОМИН, кандидат технических наук, профессор; А.А. СЕМЕНОВ, аспирант

На современном этапе актуализации охраны окружающей среды (ОС) появился новый термин – «экологическая безопасность» (ЭБ). В соответствии с Федеральным законом [1] под ним понимается «состояние защищенности природной среды и жизненно важных интересов человека от возможного негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности, чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера, их последствий».

Требования к обеспечению ЭБ как страны в целом, так и каждого ее гражданина в частности закреплены законодательно на всех уровнях государственной власти. Так, ст. 72 Конституции гласит, что в совместном ведении РФ и ее субъектов находятся «...природопользование, охрана ОС и обеспечение экологической безопасности...». Закон РФ [2] устанавливает правовые основы обеспечения безопасности личности, общества и государства, определяет систему безопасности и ее функции, выделяет ЭБ наряду с государственной, общественной, оборонной, информационной и экономической безопасностью. В Протоколе заседания Совета безопасности РФ [3] отмечено, что обеспечение ЭБ является одной из приоритетных задач государства.

Известно, что водный транспорт (ВТ) играет определенную роль в загрязнении ОС, особенно воды. По разным причинам (в том числе из-за умышленного или случайного сброса) с судов в водную среду ежегодно попадают миллионы тонн нефти, ядовитые и радиоактивные вещества, моющие средства, синтетические отходы, различный мусор и сточные воды. Так, на снимках поверхности Земли, сделанных со спутников, видно, что уже почти 30% поверхности океана покрыто нефтью [4]. Сложная экологическая ситуация создается и на водных акваториях в районах размещения выведенного из эксплуатации флота и инфраструктурных объектов.

На основе вышеизложенного проблему ЭБ на ВТ вполне закономерно рассматривать на уровне государственной системы транспорта как одно из самостоятельных и приоритетных направлений.

При этом, по мнению авторов статьи, необходимо различать два взаимосвязанных между собой понятия – «ЭБ техногенного объекта (технического средства)» и «обеспечение ЭБ техногенного объекта». Первое, являющееся синонимом термина «экологичность», характеризует свойство объекта (средства) обеспечивать исключение (или снижение до допустимых значений) воздействия на ОС вредных и загрязняющих факторов, которые сопровождают его эксплуатацию. Второе – необходимость наличия соответствующих инструментов (нормативная и правовая база, механизмы управления, кадровое, материальное и финансовое обеспечение) и проведение комплекса природоохранных мероприятий с целью обеспечения безопасного для ОС функционирования отрасли (предприятия).

В Концепции развития внутреннего водного транспорта РФ [5] в число направлений по улучшению условий его функционирования включена задача обеспечения ЭБ. Очевидно, что ее практическое решение возможно только при условии реализации комплекса приоритетных мер, выработанных на основе всестороннего анализа источников и причин загрязнения ОС.

В соответствии с международными и национальными требованиями, в частности Экологической доктриной РФ [6], по обеспечению ЭБ хозяйственной и иной деятельности целесообразно выделить следующие взаимосвязанные приоритетные проблемные направления и мероприятия повышения ЭБ функционирования ВТ.

1. В рамках мероприятий организационного характера необходимо:

– разработать Концепцию ЭБ, регламентирующую цели, направления, задачи и принципы проведения государственной политики на ВТ на долгосрочный период;

– сформировать систему управления предприятиями отрасли, конкретизировать ответственность, определить методы и ресурсы, необходимые для разработки, внедрения, реализации и последующего анализа эффективности проведения политики ЭБ на ВТ;

– усовершенствовать систему нормирования и контроля качества ОС на объектах ВТ и механизмы государственной и общественной экологической экспертизы (включая экспертизу проектов, технологий и различных программ) и контроля (лицензирование, сертификация и паспортизация водных объектов); разработать конкретные рекомендации по этим направлениям;

– повысить уровень чрезвычайного реагирования и систем оповещения на экологически опасных объектах ВТ;

– создать эффективную систему ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов (на государственной основе, например на бассейновом уровне);

– принять нормативно-правовой документ, регламентирующий организацию, финансирование и порядок осуществления мероприятий по содержанию и ликвидации (утилизации) выведенных из обращения судов и объектов ВТ;

– внедрить систему экологического аудита на ВТ;

– модернизировать систему подготовки и переподготовки специалистов, в том числе руководящего состава, в области ЭБ на ВТ;

– осуществлять научно-экологическое сопровождение работ при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, консервации и ликвидации различных объектов ВТ;

– включать в дипломное проектирование всех специальностей ВТ раздел «Обеспечение экологической безопасности проектируемого объекта»;

– широко освещать в средствах массовой информации материалы по вопросам экологии ВТ.

2. В области нормативно-правового обеспечения:

– усовершенствовать нормативно-правовую базу и выработать механизм реализации положений документов по вопросам ЭБ на ВТ; пересмотреть

нормативы качества ОС и воздействий на нее (с ориентировкой на снижение выбросов и сбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и водоемы) за счет внедрения современных, доступных и безопасных технологий;

– разработать правила выполнения международных договоров и обязательств в области обеспечения ЭБ функционирования ВТ.

3. В области научно-методического обеспечения:

– провести исследования по обобщению и анализу источников и причин загрязнения ОС (особенно водной среды) на всех стадиях жизненного цикла объектов ВТ (приводящих к ухудшению экологической обстановки в районах их функционирования), по поиску путей и методов внедрения ресурсосберегающих и безотходных технологий, снижения экологической нагрузки на ОС при деятельности объектов ВТ, сокращения водопотребления;

– разработать конкретные рекомендации по предотвращению загрязнений ОС, общие требования к ЭБ технических средств ВТ и водных объектов; более эффективные средства и методы предупреждения и ликвидации загрязнений от деятельности ВТ (в том числе, при перевозке грузов, особенно опасных и пылящих), реабилитации ОС и утилизации образующихся отходов;

– внедрить методы прогнозирования и выявления возможных экологических угроз, включая оценку природных и техногенных факторов, прогнозирования риска возникновения негативных экологических последствий;

– создать эффективные, экологически чистые технологии реабилитации акваторий, подвергшихся негативному влиянию хозяйственной деятельности объектов ВТ, мойки грузовых танков и топливных цистерн танкеров; методики оценки экологического ущерба от загрязнения водной среды нефтью и нефтепродуктами;

– учебно-методические программы по обучению экипажей судов и пассажиров правилам поведения, действиям и способам защиты при ЧС с негативными экологическими последствиями;

– повысить образовательные стандарты в части изучения экологии ВТ на всех уровнях образовательного процесса специалистов ВТ;

– провести комплексные исследования по развитию и внедрению системы экологического мониторинга и экологического контроля на ВТ.

4. В области техники:

– усовершенствовать существующее (и разработать новое) современное природоохранное оборудование и средства экологического контроля для объектов ВТ, средств защиты экипажей судов, пассажиров и акваторий от воздействия неблагоприятных экологических факторов и практических рекомендаций по их использованию;

– модернизировать и развивать экологически безопасные виды ВТ, транспортных коммуникаций и топлива, в том числе неуглеродного;

– создать специальный флот и технические средства для сбора, комплексной переработки и утилизации различных видов отходов (образующихся при эксплуатации или попавших в водную среду в результате аварий объектов ВТ, включая затонувшее имущество).

5. В области экономики и финансов:

– разработать методики расчета компенсации экологического ущерба в результате экологических правонарушений и/или осуществления экологически опасных видов деятельности на ВТ;

– внедрить научно обоснованные методы стимулирования природоохранной деятельности на ВТ.

Из всего комплекса мер затронута лишь малая часть. Для практической реализации большинства из них, очевидно, потребуется проведение специальных теоретических и экспериментальных исследований с привлечением соответствующих специалистов, профильных организаций и соответствующих финансовых ресурсов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.
2. Закон РФ от 05.03.1992 № 2446-1 «О безопасности».
3. Протокол заседания Совета безопасности РФ от 30.01.2008 г. «О мерах по обеспечению экологической безопасности в РФ» (Пр-238 от 13.02 2008 г.).
4. Михрин Л.М. Предотвращение загрязнения морской среды с судов и морских сооружений. Книга 2. – С-Пб.: ООО «ИПК «Бионт», 2005 – 336 с.
5. Концепция развития внутреннего водного транспорта Российской Федерации. Распоряжение Правительства РФ от 03.07.2003 № 909-р.
6. Экологическая доктрина РФ (распоряжение Правительства РФ от 31.08.2002 № 1225-р).

УЧРЕЖДЕНИЕ: Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций (СПГУВК)

ТЕМА: Задача управления мультимодальной перевозкой

АВТОРЫ: Е.Д. КАРАВАЕВА, В.И. КАРАВАЕВ

Современные мировые тенденции развития транспорта ускоряют и делают дешевле транспортные перевозки, увеличивают объемы грузопотока. Этому способствуют снижение торговых барьеров между странами и открытие доступа к рынкам. Таким образом, создаются условия для развития прогрессивной логистической технологии – мультимодальной перевозки (МП). Ее можно определить как осуществляемую двумя (или более) видами транспорта международную перевозку, организованную оператором (принимающим на себя ответственность в целом за доставку груза), который выдает отправителю единый перевозочный документ, покрывающий весь путь следования груза [1]. Именно наличие оператора МП, принимающего на себя ответственность за все риски, связанные с перевозкой груза, является коренным отличием МП от всех остальных, ей родственных.

Стоит отметить, что в условиях неопределенности и рисков высоких финансовых потерь операторы МП вынуждены сталкиваться с серьезной проблемой планирования экономически выгодных маршрутов (при строгом соблюдении требований конечного потребителя к качеству исполнения заказов). Разработка эффективного инструмента для решения этой проблемы и является целью настоящей работы.

С точки зрения клиента, к основным преимуществам МП следует отнести:

– обеспечение сохранности груза;

– минимальное участие в процессе организации перевозки;

– возможность таможенного оформления и оказания других сопутствующих логистических услуг выдачи документа МП, принимаемого отечественными и зарубежными банками;

– финансовую прозрачность взаимоотношений сторон [2].

Главный интерес организатора такой перевозки (логистического оператора) – получение максимальной прибыли при выполнении всех условий договора перевозки. Это обеспечивается минимизацией затрат, связанных с осуществлением процесса перевозки и возможными потерями при нарушении условий договора (штрафные санкции за задержки, порчу груза и т. п.). Отметим, что рассматривается единичная, нетиповая перевозка.

Если анализировать процесс МП как объекта управления, то качество управления можно оценить по следующим критериям:

– общие затраты;

– прибыль;

– рентабельность перевозки;

– общая продолжительность доставки;

– величина потерь груза, коэффициент сохранности груза как возможный вариант соблюдения полной сохранности груза;

– соблюдение сроков доставки;

– изменение фактической стоимости доставки по сравнению с оговоренной.

Рассмотрим факторы, влияющие на качественные показатели перевозки.

Прежде всего, это выбранный маршрут и виды транспорта на каждом этапе. Общие затраты зависят от стоимости выполнения отдельного этапа, определяемой конкретной транспортной единицей, техническим средством, тарифом конкретного субподрядчика, направлением, расстоянием, скоростью доставки и т. п.

Продолжительность доставки определяется длительностью выполнения отдельных операций (зависит от используемых технических средств и, как следствие, скорости выполнения, различного рода задержек, которые могут быть связаны с дефицитом отдельных технических средств, расписанием их работы, отказами, погодными условиями, форс-мажорными обстоятельствами).

Величина потерь определяется особенностями груза, упаковки, способом доставки, расстоянием, продолжительностью доставки, скоростью движения, погодными условиями, особенностями техники, отказами, форс-мажорными обстоятельствами.

В целом все факторы можно разделить на технологические, природные, политические, экономические, правовые, социальные.

В качестве управляющих параметров МП могут выступать маршрут (набор промежуточных узлов), виды транспорта, конкретные транспортные компании – субподрядчики, конкретные транспортные средства, технические средства, способы упаковки.

При этом входными параметрами будут являться сведения о грузе (характер, количество), место отправления, место назначения, ограничения по сроку доставки и стоимости, время года, погодные условия, наличие путей сообщения, данные о перевозчиках и иных субподрядчиках (тарифы, география бизнеса, технические средства, расписания работы и т.д.).

Координаты состояния характеризуются текущими общими затратами, продолжительностью и потерями, а также средней скоростью.

В общем виде задачу управления МП можно представить следующим образом. Во-первых, необходимо выбрать такой вариант управляющих воздействий на систему (промежуточные пункты, виды транспорта, конкретные транспортные компании и транспортные средства, способы упаковки), чтобы доставка груза была осуществлена с наилучшими значениями качественных показателей при заданных ограничениях и начальных условиях. В качестве ограничений могут выступать технологические особенности доставки определенного груза (условия хранения и перевозки на территории выбранной страны, региона, города, скоростной режим, осевая нагрузка, климатические условия, экологические ограничения и т. п.), а также наличие на момент оказания услуги у исполнителя соответствующих технических средств. Кроме того, в качестве ограничений могут выступать определенные условия, задаваемые пользователем, например необходимость использования конкретного вида транспорта, внесение определенного этапа в цепочку и т. п.

Таким образом, алгоритм работы оператора МП принимает следующий вид.

Оператор принимает заявку от грузоотправителя. Она содержит сведения о грузе, местах отправления и назначения, ограничения по сроку доставки и стоимости. Решается предварительная задача оптимального управления. Определяются возможные варианты, включающие маршрут следования, виды транспорта, субподрядчиков и т. д., рассчитываются значения критериев управления. Следует отметить, что выполнение конкретного этапа возможно как силами оператора МП, так и внешними субподрядчиками. Далее, с помощью методов теории принятия решений, оператор делает выбор в пользу наиболее полно удовлетворяющего всем условиям варианта и заключает договора с клиентом и субподрядчиками. На стадии реализации перевозочный процесс организуется непосредственно путем последовательного воплощения разработанной на первоначальном этапе транспортно-технологической схемы, осуществляется оперативный контроль над процессом перевозки и действиями привлеченных для выполнения работ субподрядчиков. В ходе осуществления перевозки возможно изменение внешних условий, например сбой какого-либо этапа, внесение корректировок в условия доставки (это могут быть изменения в маршруте движения груза, изменение сроков доставки и запросы на предоставление дополнительных услуг: таможенная очистка, предоставление складских помещений и т. д.). В этом случае выполняется перерасчет управляющих воздействий, и дальнейшая доставка груза проводится иным оптимальным способом. Процесс МП завершается окончательными взаиморасчетами между всеми участниками, передачей груза грузополучателю и анализом эффективности всего комплекса управленческих решений, сопровождающих этот процесс.

Для реализации управления предлагается разработка автоматизированной системы управления МП, что может быть обеспечено решением следующих задач:

– построение математических моделей МП, связывающих критерии управления с входными и управляющими параметрами;

– математическая постановка задач оптимального управления МП, выбор методов их решения;

– разработка программного и технического обеспечения системы управления, реализующей оптимальное управление МП.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Конвенция «О международных смешанных перевозках грузов». ООН, Женева, 1980.

2. Гаврюшков Е.Н., Степанец А.В. Обоснование выбора варианта при организации мультимодальных перевозок грузов // «Транспортное дело России», спец. выпуск № 4, 2006. – с. 4-7.

УЧРЕЖДЕНИЕ: Новосибирская государственная академия водного транспорта (НГАВТ)

ТЕМА: Применение современных акустических средств защиты объектов от воздушного шума

АВТОРЫ: О.В. ЩЕРБАКОВА, старший преподаватель; М.К. РОМАНЧЕНКО, кандидат технических наук, старший преподаватель, заслуженный рационализатор РФ

Повышение энерговооруженности транспортных средств, в том числе и судов, появление новых отраслей промышленности и интенсификация уже существующих приводят не только к увеличению общего уровня шума, но и к росту диапазонов его частот. Влияние шума на здоровье человека зависит от характера, интенсивности и продолжительности воздействия шума. Причем даже относительно низкие уровни шума могут негативно повлиять на человека. И, несмотря на то что проблеме снижения шума уделяется большое внимание, она остается нерешенной и по-прежнему актуальной.

Работающие механизмы машин, систем вентиляции и кондиционирования являются основными источниками, повышающими уровни воздушного шума на судах. Это, безусловно, негативно сказывается на условиях обитаемости членов экипажа и пассажиров, может привести к профессиональным заболеваниям, а также к снижению работоспособности.

К акустическим средствам решения данной проблемы следует отнести звукоизоляцию, звукопоглощение и демпфирование [1]. При оборудовании и отделке судовых помещений необходимо использовать специальные звукоизолирующие модульные конструкции (зашивки). Это система из унифицированных элементов в сочетании с типовым оборудованием на основе принятого модуля позволяет охватить типовыми решениями максимальное количество помещений, независимо от назначения и типа.

Традиционные каркасно-обшивные облицовки широко представлены на отечественном и зарубежном рынке: Ecophon, Knauf, Шуманет-БМ. Стоит отметить, что модульная каркасно-обшивная облицовка (помимо судостроения) также широко используется в строительстве и промышленности [3]. Для повышения звукоизолирующей способности таких облицовок принципиальное значение имеет устройство узлов крепления каркаса к защищаемой поверхности, поскольку наличие жестких связей (звуковых мостиков) между стеной (перекрытием) и каркасом облицовки существенно ограничивает их звукоизолирующую способность (несмотря на наличие внутри эффективного звукопоглотителя, а также нескольких листов обшивки).

В настоящее время в российском судостроении разработаны и применяются бескаркасные модульные звукоизолирующие системы, например «Росун». Она создана в ЦНИИТС и внедрена в производство на Балтийском заводе [4].

В соответствии с санитарными требованиями к акустическим характеристикам относятся уровни шумов в обитаемых помещениях и индекс звукоизоляции разделительных перегородок. Индекс звукоизоляции воздушного шума (Ja) – числовая характеристика звукоизоляции ограждающих конструкций, измеряемая в децибелах.

Звукоизоляция ограждений между помещениями должна обеспечивать возможность отдыха членов экипажа даже в том случае, если в соседних помещениях идет активная жизнь (разговоры, музыка и т.п.).

Согласно [2] индекс звукоизоляции по воздушному шуму не должен быть ниже: между каютами – 30 дБ; между медицинскими помещениями и каютами, а также между каютами и кают-компанией, столовой, спортзалом или другими шумными помещениями (в которых максимальный уровень звука может достигать 80 дБ) – 45 дБ; между каютой и коридором – 30 дБ.

Исследуем имеющиеся на отечественном рынке модульные системы: М-100, «Росун», облегченные панели по ТУ 5637-073-07502259-01 и вибродемпфированные панели по ТУ 5637-001-45524812-01, сравним индексы звукоизоляции однорядных и двухрядных панелей (рис. 1).

Система М-100 – каркасная модульная. Для создания акустических свойств в ней применяют минеральные плиты ППЖ-200 или базальтовый картон. Испытания показали, что индекс звукоизоляции двухрядных панелей составляет 47 дБ, однорядных – 33 дБ. Недостаток такой системы в том, что уплотнение между стыками отдельных панелей недостаточное, это приводит к уменьшению звукоизоляции на 10-15 дБ [4].

Система «Росун» лишена этого недостатка и состоит из обечайки из металлопласта толщиной 0,7-0,8 мм с наклеенной внутри изоляцией толщиной 25 мм. Система устанавливается на направляющие и не требует обрешетника. Индекс звукоизоляции двухрядной панели составляет 47 дБ, а однорядной – 35 дБ.

Выполнять зашивки бортов, перегородок можно с помощью специальных облегченных панелей, выполненных по ТУ 5637-073-07502259-01. Они состоят из обечайки из металлопласта толщиной 0,7 мм, наклеенной внутри, с изоляцией толщиной 25 мм. Панели устанавливаются на направляющие, являются быстросъемными. Масса квадратного метра такой зашивки составляет 8-10 кг. Индекс звукоизоляции составляет 33-39 дБ.

Для судов с повышенной вибрацией корпуса, на ледоколах и в помещениях, расположенных в зонах с повышенной вибрацией, используют вибродемпфированные панели. Они выполнены по типу панелей М-100 с гофрированным листом из оцинкованной стали толщиной 1 мм, приклеенным к обечайке пластифицированной пленкой, и устанавливаются в каркас. Масса квадратного метра 16-20 кг. При испытаниях было установлено, что индекс звукоизоляции двухрядной панели составляет 46 дБ, однорядной – 34 дБ [4].

При анализе рассмотренных модульных систем из двухрядных панелей можно сделать вывод (см. рис. 1), что на октавных частотах – от 63 до 1000 Гц – звукоизоляция практически одинакова для всех образцов, кроме конструкций из специальных облегченных панелей по ТУ 5637-073-07502259-01. Это связано с тем, что масса последних невелика. На частотах больше 1000 Гц наибольшей звукоизоляцией обладают

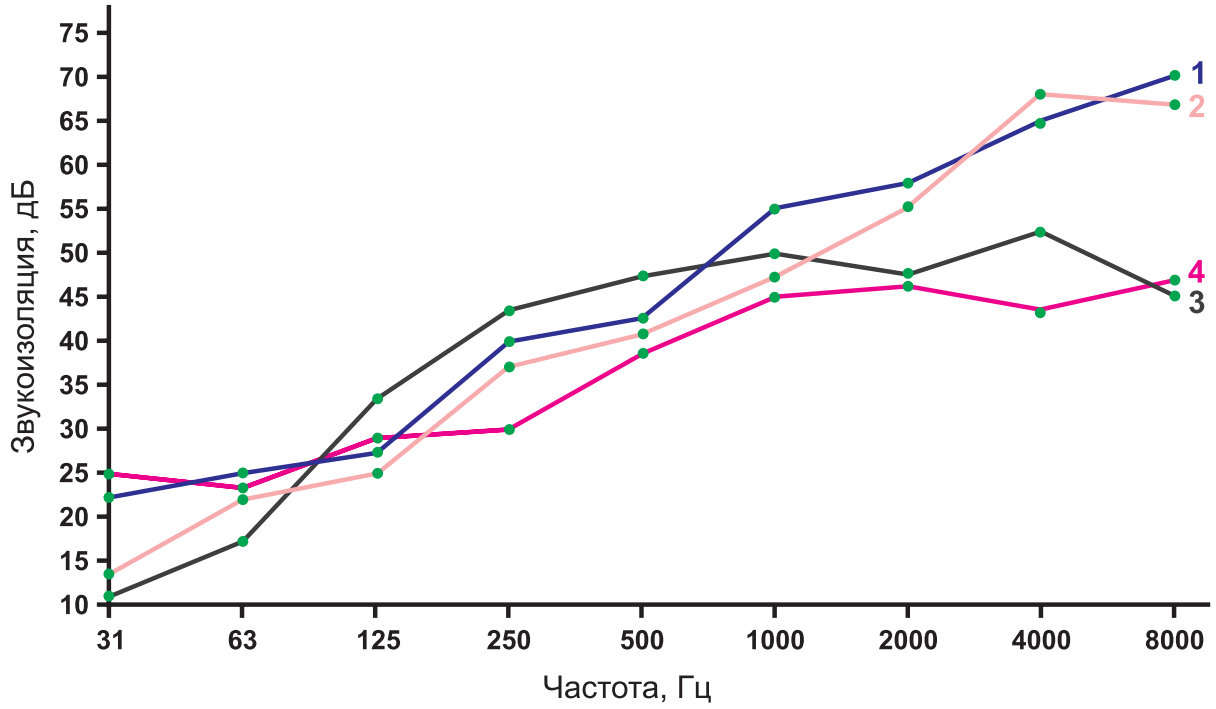


Рис. 1. Звукоизоляция модульных систем из двухрядных панелей: 1 – вибродемпфированные панели; 2 – система М100; 3 – система «Росун»; 4 – панели по ТУ 5637-073-07502259-01

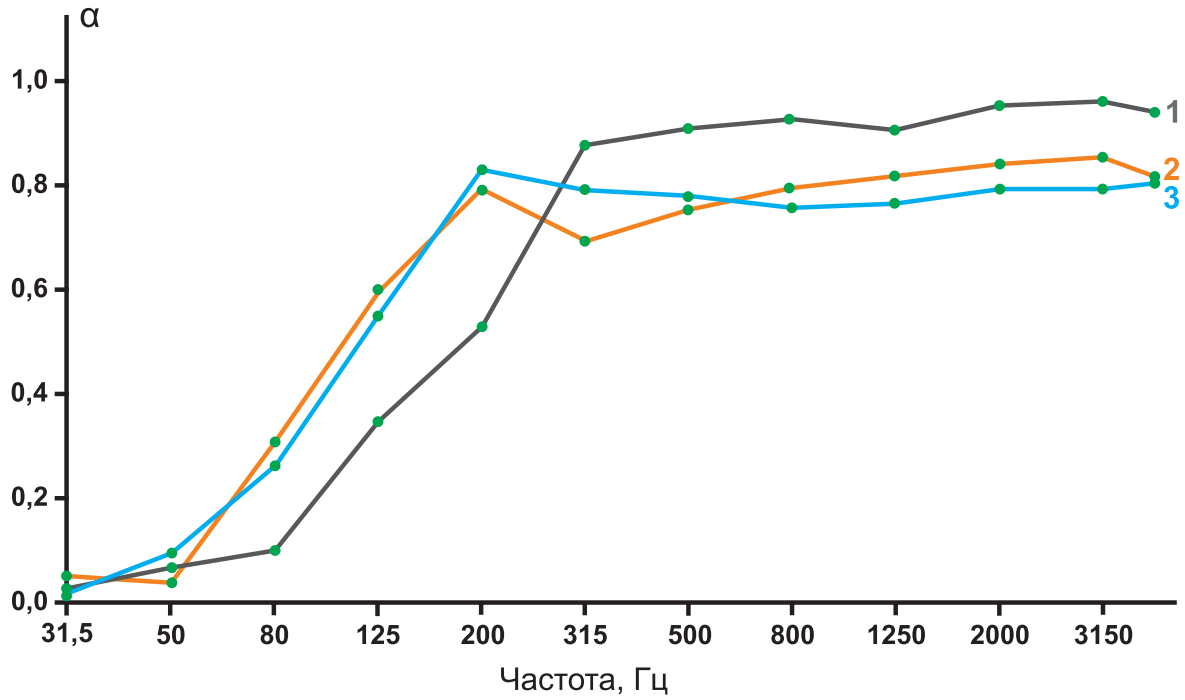


Рис. 2. Сравнение коэффициента звукопоглощения материалов: 1 – ИЗИС-Б; 2 – «Лайт-Баттс»; 3 – БВТМ-ПМ

модульная система М-100 и конструкция из вибродемпфированных панелей.

Часто для обеспечения защиты судов и оборудования от воздушного шума используют теплоизоляционные изделия на основе стеклянного и базальтового волокна. Сравним акустические характеристики некоторых материалов (рис. 2): БВТМ-ПМ, «Лайт-Баттс», ИЗИС-Б [4, 5].

Материал «Лайт-Баттс», производимый по лицензии фирмы Rockwool, по своим звукопоглощающим свойствам близок к БВТМ-ПМ. Он наиболее эффективен в области низких частот, в то время как ИЗИС-Б – в диапазоне средних и высоких частот.

Звукопоглощающие изделия из супертонкого волокна представляют собой маты из базальтовых штапельных волокон, облицованные акустически прозрачной оболочкой – стеклянной, базальтовой или кремнеземной тканью. Они пожаробезопасны, экологически чисты, не подвержены старению, обладают низкой гигроскопичностью. Для повышения звукопоглощения и снижения деформации иногда рекомендуется использовать покрытия совместно с металлической сеткой или перфорированным листом.

Одним из эффективных средств защиты от воздушного шума являются вибродемпфирующие материалы, наносимые на корпусные конструкции, каналы вентиляции, опорные детали приборной техники. Эти материалы при жестком соединении с металлической конструкцией ослабляют ее вибрацию, улучшая диссипативные характеристики. Для количественной оценки свойств конструкции используется коэффициент потерь энергии в ней. Эффективность вибродемпфирующего материала (ВДМ) определяется произведением динамического модуля упругости материала и его коэффициента потерь: ЕВДМ*ηВДМ, называемого модулем потерь. Чем больше его значение, тем выше эффект [6].

Наибольшее распространение в отечественном судостроении получили: покрытие «Випоком»; материал «Випонит» [7] (снижает уровень вибрации на 10-20 дБ, воздушного шума на 6-12 дБ); мастики «Мавип», «Адем». Все эти материалы соответствуют государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам.

Защита объектов от воздушного шума – это комплекс мер, сочетающий в себе не только акустические средства защиты, но и применение архитектурно-планировочных и организационно-технических методов, которые нужно учитывать и использовать уже на стадии проектирования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:
1. ГОСТ 12.1.029-80. Средства и методы защиты от шума. Классификация. М., 1980.
2. СН. 2.5.2.047 – 96. Уровни шума на морских судах. Санитарные нормы. Госкомсанэпиднадзор России. М., 1996.
3. Иванов Н.И. Борьба с шумом и вибрациями на путевых и строительных машинах. М.: Транспорт, 1987.
4. Алексеев С.А., Губанова Е.В., Попова Н.С., Ярыгин О.В. Современные средства защиты судов и кораблей от воздушного шума // Вестник технологии судостроения. 2004. № 12.
5. ТУ 21-5328981-07-92. Ивотские звукопоглощающие изделия из базальтового супертонкого волокна (ИЗИС-Б).
6. Иванов Н.И., Никифоров А.С. Основы виброакустики: Учебник для вузов. С-Пб.: Политехника, 2000.
7. ТУ 6-19-181-111-87. Материал слоистый листовой «Випонит».

УЧРЕЖДЕНИЕ: Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (МГА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова)

ТЕМА: Оценка экологического ущерба при аварийном переливе нефти на танкере

АВТОР: А.В. ТУРКИН, аспирант

К числу наиболее распространенных и вредных химических загрязнителей морской среды относятся нефть и нефтепродукты. Ежегодно в океан их попадает более 6 млн. т. Это происходит вследствие аварий танкеров, шельфовой добычи нефти, судоходства и морской деятельности. Известно, что 0,03% транспортируемой танкерами нефти и нефтепродуктов по различным причинам теряется. Разлитая нефть покрывает поверхность моря, растворяется в толще его вод, оседает на дно и, как правило, выплескивается на берег.

Неизбежным спутником любых танкерных операций были и продолжают оставаться аварии. И, несмотря на явную тенденцию снижения аварийности нефтеналивного танкерного флота, они остаются одним из основных источников экологического риска.

Анализ экологической безопасности операций погрузки танкеров целесообразно проводить на основе концепции приемлемого риска, величину которого оценивают по формуле:

$$R_э = \lambda_A \cdot Y_A, \text{ руб./год}, \qquad (1)$$

где $R_э$ – величина экологического риска, руб./год; λ_A – частота реализации аварии рассматриваемого типа (разлив нефтепродукта), 1/год; Y_A – ущерб, вызванный разливом, руб.

Расчет ущерба базируется на использовании утвержденной Приказом МПР «Методике исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства» (зарегистрировано в Минюсте РФ 15.05.07).

В случаях загрязнения водного объекта нефтепродуктами в результате аварии, размер вреда следует определять по формуле:

$$У = K_{вг} \cdot K_в \cdot K_{ин} \cdot K_{дл} \cdot Н, \qquad (2)$$

где: У – размер вреда, млн. руб.; $K_{вг}$ – коэффициент, учитывающий природно-климатические условия (в зависимости от времени года); $K_в$ – коэффициент, учитывающий экологические факторы; $K_{ин}$ – коэффициент индексации, учитывающий инфляционную составляющую экономического развития; $K_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект при непринятии мер по его ликвидации; Н – тариф для исчисления размера вреда (при загрязнении в результате аварий водных объектов загрязняющим веществом), определяется в зависимости от его массы М, млн. руб.

Согласно этой методике, ущерб от разлива 1 т нефти составляет около 3,5 млн. руб.

Для расчета величины ущерба предварительно необходимо оценить объем возможных разливов в результате потенциальных аварий. Последствия вероятных аварийных разливов в значительной мере будут определяться размерами зон распространения нефтепродуктов и степенью чувствительности к ним контактирующих компонентов окружающей среды.

В качестве примера расчета величины максимальных разливов, частоты, ущерба и экологического риска рассмотрена операция погрузки танкера на одном из проектируемых нефтяных терминалов, оснащенных выносным причальным устройством. Расчет частоты возникновения аварийных ситуаций производился для судна в процессе налива (при нарушении технологических операций по наливу).

При выполнении грузовых операций на терминале существует опасность возникновения аварийной ситуации, связанной с переливом танков судна. Обычно это происходит вследствие ошибочных действий (либо бездействия) персонала. Как показывает опыт нефтеперевалочных операций, вероятностная составляющая оценки риска в этом случае довольно высока, хотя определить количественные показатели расчетным путем достаточно сложно. С учетом отмеченного для расчетов использовались статистические данные по подобным авариям.

Анализ развития аварийной ситуации в случае возникновения перелива судна (инициирующее событие) производится методом дерева событий (рис.).

Следующие за переливом события могут быть охарактеризованы как минимальный перелив (порядка 0,1-0,5 т), когда объем утечки нефтепродуктов в основном удерживается конструкциями судна и последствия которого не повлекут загрязнения акватории, а также максимальный перелив, связанный с поступлением нефтепродуктов в море. В первом случае ситуация носит название инцидента либо предаварийной ситуации, а во втором – это авария, возможно, с последствиями в виде чрезвычайной ситуации, что определяется объемом разлива и акваторией места аварии. Максимальный перелив с определенной вероятностью возможен в случае времени перекачки в течение 1, 2 или 3 мин. с максимальным расходом нефтепродуктов.

На основании имеющихся статистических данных возникновение перелива при перевалке нефтепродуктов на суда возможно с частотой примерно $\lambda_П$ = 5·10-2 1/год. Частота возникновения каждого из сценариев развития аварийной ситуации (см. рис.) определится умножением частоты основного события на вероятность последующего (конечного) события.

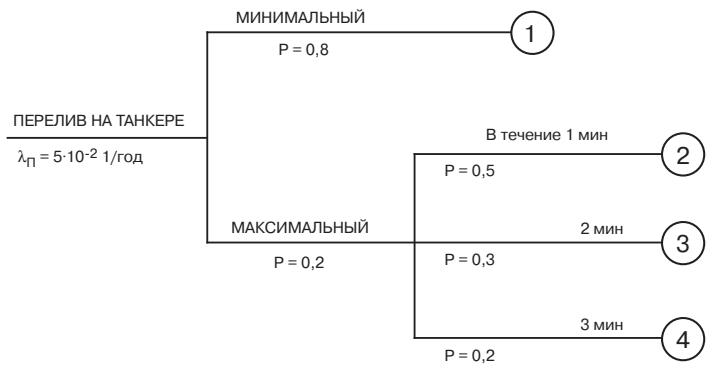
С целью планирования мероприятий по ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов осуществляется прогнозирование возможных масштабов разливов. При попадании нефтепродуктов на акваторию весь объем распределяется (растекается) по ее поверхности. Для приближенных расчетов радиуса загрязненной водной поверхности используется формула Фэя:

$$R = 51{,}6 \cdot \sqrt[6]{(1-\frac{\rho_н}{\rho_в}) \cdot Q^2} \cdot \sqrt[4]{t}\ \text{, м,} \quad (3)$$

где: $\rho_Н$ – плотность нефтепродукта, кг/м^3; $\rho_В$ – плотность воды, кг/м^3; Q – объем разлитого нефтепродукта, м^3; t – время растекания, ч.

В соответствии с Постановлением от 21.08.2000 г. № 613 Правительства РФ «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» время локализации разлива нефти на акватории не должно превышать 4 ч. Результаты расчетов частот возникновения, количества вылившейся нефти, площадей растекания за 4 ч, ущерба и экологического риска приведены в таблице.

Анализ результатов оценки риска при наливных операциях показывает, что максимальные величины массы разливов нефтепродуктов в результате потенциальных аварий, а также нанесенный ими ущерб могут быть значительны. Наибольшая величина сопутствующего риска связана с переливом танков судна. Как показывают расчеты, частота возникновения переливов, связанных с поступлением нефтепродуктов в море, в среднем составляет 1 раз в 100 лет.



Дерево событий при переливе танков судна

Показатели оценки риска при наливных операциях танкеров

Объект оценки риска	Сценарий развития аварии	Частота возникновения, 1/год	Максимальная расчетная масса разлива, т	Площадь растекания, тыс. м^2	Ущерб, млн. руб.	Риск, тыс. руб./год
Танкер (перелив)	1	4·10-2	0,1	-	-	-
	2	5·10-3	86	190,1	109,2	546
	3	3·10-3	172	301,8	208,1	624
	4	2·10-3	258	395,5	312,7	625

УЧРЕЖДЕНИЕ: Морская государственная академия имени адмирала Ф.Ф. Ушакова (МГА им. адмирала Ф.Ф. Ушакова)

ТЕМА: Анализ факторов, влияющих на безопасность эксплуатации судовых термомасляных котлов

АВТОРЫ: Р.Ю. АРУТЮНОВ, аспирант; В.А. ТУРКИН, профессор, доктор технических наук

Важную роль в предупреждении происшествий, происходящих при эксплуатации транспортного флота, играет процесс обеспечения безопасности функционирования элементов судовых энергетических установок (СЭУ). Известно, что основными источниками опасности на судне являются энергия и вредные вещества, которые накапливаются в технологическом оборудовании и в перевозимом грузе. Поэтому целесообразно своевременно (еще на стадии проектирования судна и его оборудования) акцентировать внимание на данном направлении.

Одним из важных и энергоемких элементов СЭУ являются вспомогательные котлы. В последнее время на морских и речных судах все более широко применяются термомасляные котлы – котлы, рабочей средой в которых является высокотемпературный органический теплоноситель (термомасло).

В отличие от паровых котлов, в котлах с органическим теплоносителем внутри трубок движется не вода и не пар, а термомасло – нефтепродукт с высокой температурой вспышки, нагретое до 200°С и более. Это масло не только поступает к потребителям теплоты (в подогреватель топлива главного двигателя, в сепараторы топлива и масла, в змеевики расходных топливных цистерн), но и используется для подогрева груза (например, на танкерах-асфальтовозах).

Система трубопроводов с подобным теплоносителем является герметичной и при нормальной эксплуатации исключает сброс загрязняющих веществ. Органический теплоноситель не вызывает коррозии внутренних поверхностей

Состав и характеристики учитываемых факторов опасности Таблица 1

Компонент	Код	Наименование фактора опасности	Доля в причинах аварийности
Рабочая среда	С01	Комфортность рабочей среды по физико-химическим параметрам	0,028
	С02	Качество информационной модели состояния среды	0,048
	С03	Возможность внешних опасных воздействий	0,045
	С04	Возможность внешних неблагоприятных воздействий	0,025
Персонал	Н01	Пригодность по физиологическим показателям	0,02
	Н02	Технологическая дисциплинированность	0,04
	Н03	Качество приема и декодирования информации	0,062
	Н04	Навыки выполнения работ	0,04
	Н05	Качество мотивационной установки	0,04
	Н06	Знание технологии работ	0,033
	Н07	Знание физической сущности процессов в системе	0,04
	Н08	Способность правильно оценивать информацию	0,043
	Н09	Качество принятия решения	0,06
	Н12	Самообладание в экстремальных ситуациях	0,056
	Н13	Обученность действиям в нештатных ситуациях	0,047
	Н14	Точность корректирующих действий	0,06
Оборудование	М01	Качество конструкции рабочего места оператора	0,045
	М02	Степень учета особенностей работоспособности человека	0,015
	М03	Оснащенность источниками опасных и вредных факторов	0,02
	М04	Надежность вспомогательных узлов и элементов	0,03
	М05	Безотказность основных узлов и элементов	0,055
	М06	Длительность действия опасных и вредных факторов	0,007
	М07	Уровень потенциала опасных и вредных факторов	0,007
	М08	Безотказность приборов и устройств безопасности	0,026
	Т01	Удобство подготовки и выполнения работ	0,02
	Т02	Удобство технического обслуживания и ремонта	0,038
	Т03	Сложность алгоритмов оператора	0,012
Технология	Т04	Возможность появления человека в опасной зоне	0,008
	Т05	Возможность появления других незащищенных элементов в опасной зоне	0,01
	Т06	Надежность технологических средств обеспечения безопасности	0,02

труб, в которых он движется, не приводит к отложению накипи. А это, наряду с отсутствием продуктов окисления, практически исключает необходимость химической промывки и очистки, способной привести к загрязнению окружающей среды.

В то же время термомасляные котлы обладают и некоторыми недостатками, основным из которых является высокая пожароопасность теплоносителя. Следовательно, проблема анализа безопасности при эксплуатации СЭУ, имеющих в своем составе термомасляные котлы, является актуальной и требующей исследования.

В контексте данной публикации под термином «безопасность» подразумевается следующее: «безопасность – это отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба». Такое определение приводится в руководстве Международной организации стандартизации ИСО/МЭК «Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видов деятельности». В свою очередь, термин «риск» трактуется как математическое ожидание ущерба, возможного вследствие возникновения аварии при эксплуатации судовых технических средств. При этом величина риска количественно рассчитывается как произведение частоты появления нежелательного события (аварии) на ущерб от его реализации.

Одним из принципиальных моментов анализа безопасности является необходимость проведения не только качественной, но и количественной оценки степени опасности эксплуатируемого оборудования. При обосновании рациональных способов априорной количественной оценки опасности судового оборудования следует исходить из условия неприемлемости (по этическим и экономическим соображениям) влияния проведения специальных испытаний на возможность возникновения происшествий и связанного с ними ущерба. Таким образом, наиболее подходящим способом определения вероятности их возникновения является разработанный в МГТУ имени Н.Э. Баумана метод имитационного моделирования с использованием логико-лингвистической модели процесса возникновения происшествий [1, 2].

Основной элемент функционирования имитационной модели – вероятность возникновения происшествия вследствие развития причинной цепи предпосылок. Ее инициаторами и составными частями служат ошибочные действия (или бездействие) персонала, неполадки и отказы технологического оборудования, а также нерасчетные воздействия на них внешних факторов.

В рамках рассматриваемой человеко-машинной системы и согласно статистическим данным об общих причинах аварийности, для имитационного моделирования принимаются во внимание только наиболее существенные причины. Их можно разделить на четыре группы по компонентам системы: факторы влияния условий рабочей среды, безопасности оборудования, уровня используемой технологии и факторы человека-оператора (таблица 1). Каждый из факторов оценивается с учетом ряда составляющих. Так, например, значение фактора «Качество мотивационной установки» определяется ответственностью оператора, его морально-волевыми качествами, влиянием коллектива, страхом потери работы, размером заработной платы. Аналогичным образом оцениваются и остальные факторы.

С целью формализации исходных данных используется балльная система оценок факторов, опирающаяся на универсальную лингвистическую шкалу («очень, очень низко», «очень низко», ..., «средне», ..., «очень, очень высоко» – всего 11 разрядов), что позволяет унифицировать как качественные, так и количественные параметры.

В общем виде решение рассматриваемой задачи (с использованием описанной имитационной модели) сводится к нахождению функциональной зависимости между оценками факторов опасности и вероятностью возникновения происшествия в человеко-машинной системе, то есть:

$$y=f(x_1, x_2, \dots x_{30}), \qquad (1)$$

где x_1, x_2, ... x_{30} – формализованные оценки факторов опасности.

Исходя из задачи исследования, при выполнении моделирования варьировались значения только 8 факторов, характеризующих степень безопасности термомасляного котла. Характеристика и значимость составляющих для каждого фактора представлены в таблице 2.

Поиск зависимости в явном виде (1) осуществлялся с применением методов планирования эксперимента, достаточно подробно описанных в работе [3]. Каждый из факторов варьировался на двух уровнях: «+1» – высокое значение фактора; «-1» – низкое значение.

При наличии 8 факторов число опытов в полном факторном эксперименте будет равно $N=2^k=2^8=256$. С целью сокращения количества опытов был реализован дробный факторный подход, матрица планирования которого строилась на полном эксперименте $N=2^5$. Реализация такого плана потребовала проведения 32 испытаний.

По результатам проведенного эксперимента в уравнении регрессии были рассчитаны значения коэффициентов при факторах. После оценки по критерию Стьюдента их значимости (и отбрасывании незначимых) уравнение регрессии приняло вид (формула 2), где: x_1 – фактор М03 (таблицы 1 и 2), x_2 – фактор М06; x_3 – фактор М01; x_4 – фактор М02; x_5 – фактор М05; x_6 – фактор М07; x_7 – фактор М08, x_8 – фактор М04.

При использовании зависимости (2) значения факторов необходимо подставлять в числовом виде. Соотношение между лингвистическими и числовыми значениями факторов безопасности представлено в таблице 3.

В качестве примера использования выражения (2) рассмотрим следующую ситуацию. Примем, что значения всех факторов безопасности термомасляного котла первоначально были оценены экспертами в данной области как «выше среднего», то есть числовые значения всех факторов были равны 0,0. Тогда из выражения (2) получим, что вероятность происшествия при эксплуатации котла за время несения одной вахты (4 ч) будет равна $1{,}73*10^{-4}$.

Пусть после выполненной доработки приборов и устройств безопасности значение фактора М08 (x_7) было

Формула 2

$$\begin{aligned}\tilde{y} = {} & 1{,}73\cdot10^{-4} - 4{,}37\cdot10^{-5}x_1 - 1{,}60\cdot10^{-5}x_2 - 6{,}95\cdot10^{-5}x_3 - 4{,}26\cdot10^{-5}x_4 - 4{,}26\cdot10^{-5}x_5 - \\ & -1{,}59\cdot10^{-5}x_6 - 3{,}38\cdot10^{-5}x_7 - 4{,}03\cdot10^{-5}x_8 + 6{,}2\cdot10^{-6}x_1x_2 + 1{,}63\cdot10^{-5}x_1x_3 + 1{,}02\cdot10^{-5}x_1x_4 \\ & + 7{,}3\cdot10^{-6}x_1x_5 + 4{,}8\cdot10^{-6}x_2x_3 + 1{,}68\cdot10^{-5}x_3x_4 + 1{,}65\cdot10^{-5}x_3x_5 + 7{,}9\cdot10^{-6}x_4x_5 - \\ & -3{,}8\cdot10^{-6}x_1x_2x_3 - 6{,}2\cdot10^{-6}x_1x_2x_4 - 3{,}5\cdot10^{-6}x_1x_2x_5 + 3{,}6\cdot10^{-6}x_1x_4x_5 + 7{,}1\cdot10^{-6}x_2x_3x_4 + \\ & + 7{,}8\cdot10^{-6}x_2x_3x_5 + 1{,}32\cdot10^{-5}x_2x_4x_5 + 1{,}07\cdot10^{-5}x_1x_2x_3x_4 + 8{,}6\cdot10^{-6}x_1x_2x_3x_5 + \\ & + 1{,}58\cdot10^{-5}x_1x_2x_4x_5\end{aligned}$$

оценено экспертами как «высокое», что соответствует числовому значению фактора 1,0. После подстановки значения $x_7 = 1,0$ **(значения остальных факторов остались равными 0,0) в зависимость (2), получим, что вероятность возникновения происшествия стала равной** $1,33*10^{-4}$**, то есть существенно снизилась.**

Таким образом, используя полученное выражение (2), можно уже на стадии проектирования судового оборудования произвести количественную оценку вероятности возникновения происшествий в процессе его эксплуатации.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Гражданкин А.И., Белов П.Г. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2000. – № 11. – С. 6–10.
2. Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. – М.: ГНТП «Безопасность», МИБ СТС, 1996. – 424 с.
3. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Высшая школа, 1978. – 319 с.

Характеристика и значимость факторов безопасности оборудования Таблица 2

Код и название фактора	Название составляющей фактора	Значимость фактора
М01, качество конструкции рабочего места	Физическая динамическая нагрузка	0,15
	Масса поднимаемого и перемещаемого груза	0,15
	Статическая нагрузка	0,15
	Рабочая поза	0,15
	Наклоны корпуса	0,15
	Перемещение в пространстве (переходы)	0,15
	Стереотипные движения	0,1
М02, степень учета особенностей работоспособности человека	Учет психофизиологических состояний человека	0,35
	Врабатываемость оборудования, оцениваемая по времени достижения работоспособности человека	0,35
	Защита от возможных неадекватных действий человека	0,3
М03, оснащенность источниками опасных и вредных факторов	Общее количество источников опасности (электроэнергия, механическая энергия, сжатый воздух и др.)	0,4
	Летальность энергоисточников	0,3
	Разрушающий потенциал энергоисточников	0,3
М04, надежность вспомогательных элементов	Надежность вспомогательных неответственных элементов установки, отказ которых не может явиться непосредственной причиной происшествия	1,0
М05, безотказность основных узлов и элементов	Надежность основных элементов конструкции установки, отказ которых может в определенных условиях привести к происшествию (в том числе КИП, средства сигнализации и защиты)	1,0
М06, длительность действия опасных и вредных факторов	Скорость срабатывания средств противопожарной защиты	0,3
	Скорость и надежность локализации возгораний	0,4
	Надежность средств индивидуальной защиты	0,3
М07, уровень потенциала опасных и вредных факторов	Объем запасов топлива	0,4
	Класс опасности горючих материалов	0,3
	Рабочее напряжение электроустановок	0,1
	Рабочее давление сжатых газов	0,1
	Механическая энергия установок	0,1
М08, безотказность приборов и устройств безопасности	Надежность приборов и устройств безопасности установки, отказ которых является непосредственной причиной возникновения происшествий (предохранительные клапаны и др.)	1,0

Соотношение между лингвистическими и числовыми значениями Таблица 3

Лингвистическое	Низкое	Ниже среднего	Среднее	Выше среднего	Хорошее	Очень хорошее	Высокое
Числовое	– 1,0	– 0,667	– 0,333	0,0	0,333	0,667	1,0

УЧРЕЖДЕНИЕ: Пермский государственный технический университет (ПГТУ)

ТЕМА: Валогенератор переменного тока на базе электрического дифференциального редуктора

АВТОРЫ: Н.Н. МАТУШКИН, проректор по учебной работе ПГТУ, профессор, доктор технических наук; Ю.Н. ХИЖНЯКОВ, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика», доцент, кандидат технических наук; А.А. ЮЖАКОВ, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика», профессор, доктор технических наук

Конструирование судового валогенератора переменного тока (ВПТ) стабильного напряжения и частоты с отбором мощности от вала дизеля с постоянным моментом и переменной частотой вращения, как показал анализ [1-8], является актуальной задачей и при решении требует выполнения ряда условий. К ним относятся: необходимая установочная мощность для питания потребителей; астатизм внешних характеристик по напряжению и частоте; максимальная форсировка по напряжению; диапазон регулирования 1:0,75; возможность длительного режима работы в условиях качки; надежная работа в условиях вибрации при температуре окружающей среды 0 ... +40^{0}С при вариации частоты вращения вала отбора мощности (ВОМ).

ВПТ с трехфазным ротором и регулятором частоты, выполненным на базе электрического дифференциального редуктора (ЭДР) с отбором мощности с вала дизеля через клиноременную передачу (КРП) и мультипликатор, рассматривается как преобразователь механической энергии в электрическую для питания нагрузки.

В качестве основного режима ВПТ принят режим с отрицательным скольжением, который достигается во всем диапазоне изменения частоты вращения ВОМ с помощью мультипликатора. Формирование поля статора ВПТ с круговой частотой ω_0 достигается в режиме отрицательного скольжения ВПТ (надсинхронный режим) путем подачи в его вращающийся ротор с переменной частотой вращения ω_C переменного трехфазного тока возбуждения, вызывающего встречное вращение вектора магнитного поля с частотой скольжения $\omega_C=\omega_P-\omega_0$, где $\omega_P\geq\omega_0$. Реактивная составляющая тока ротора ВПТ, определяющая его реактивную мощность, направлена в ротор и отвечает за создание магнитного потока ротора, компенсируя размагничивание ВПТ при активно-индуктивной нагрузке. Активная составляющая тока трехфазного ротора ВПТ, определяющая мощность скольжения P_c, зависит от частоты скольжения ω_C.

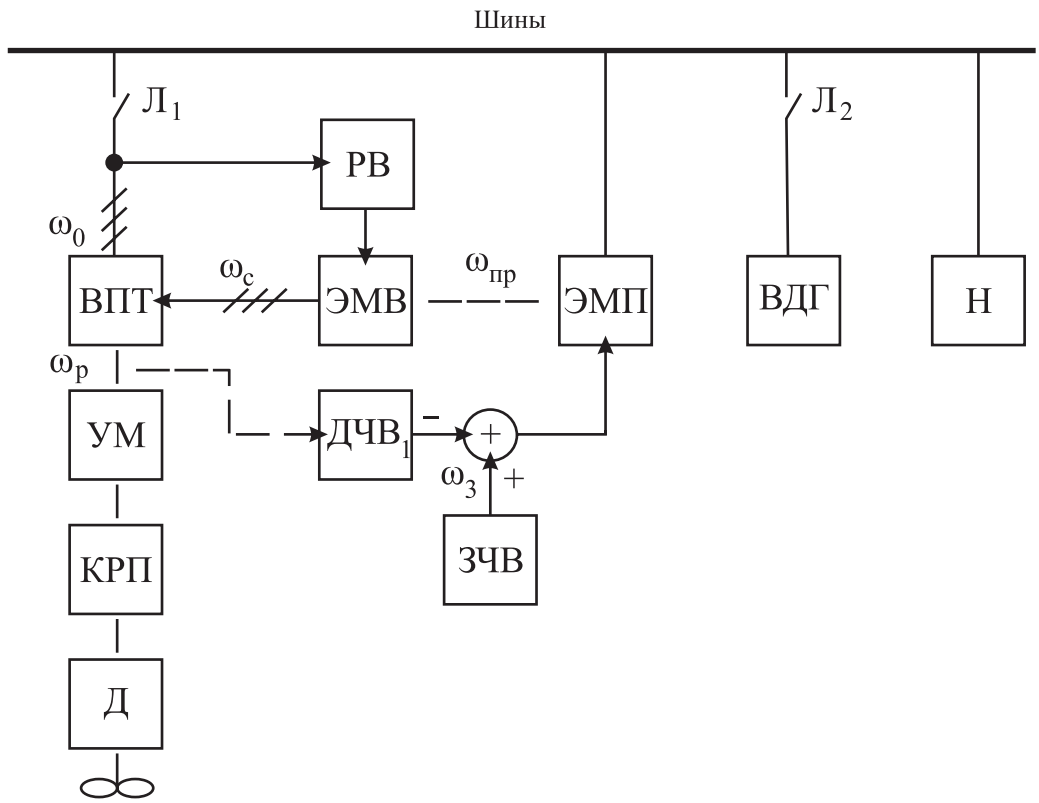


Рис. 1. Структурная схема ВПТ с электромеханическим регулятором частоты

На рис. 1 приведена структурная схема ВПТ с электромеханическим регулятором частоты. Электромеханический регулятор частоты ВПТ содержит: электромашинный возбудитель (ЭМВ), электромеханический преобразователь (ЭМП), регулятор возбуждения (РВ), датчик частоты вращения ротора (ДЧВ) ВПТ. ЭМВ с регулируемым возбуждением предназначен для генерации реактивной мощности в ротор ВПТ и формирования вектора вращения магнитного поля с частотой скольжения ω_C с целью формирования результирующего вектора вращения магнитного поля ВПТ с круговой частотой ω_0. ЭМП состоит из машины постоянного тока для плавного регулирования частоты вращения ротора ЭМВ и тиристорного преобразователя (ТП).

Так, изменение частоты вращения дизеля, работающего на гребной винт, зависящее от условий судоходства (глубины фарватера, интенсивности движения судов и т. д.), вызывает непосредственное изменение частоты вращения ротора ВПТ и, как следствие, частоты напряжения статора ВПТ. Поэтому необходимо компенсировать эти возмущения с максимальным быстродействием и точностью. На рис. 2 приведена структурная схема системы управления ВПТ с регулятором частоты. Система управления ВПТ содержит следящую систему по частоте вращения $\omega_{пр}$ ротора ЭМВ и систему стабилизации по напряжению на статоре ВПТ. Следящая система за частотой вращения ротора ω_P ВПТ содержит подчиненный контур тока якоря машины постоянного тока (МПТ) ЭМП, который включает в себя: задатчик частоты (ЗЧ) на шинах ВПТ, датчик частоты вращения $ДЧВ_1$ ротора ВПТ, датчик частоты вращения $ДЧВ_2$ якоря МПТ ЭМП, регуляторы частоты вращения (РЧВ) и регулятора тока (РТ), ТП ЭМП и датчик тока якоря (ДТЯ) МПТ ЭМП. Задача следящей системы по частоте – следить за изменением частоты вращения ротора ВПТ с целью стабилизации частоты на шинах с нагрузкой.

Задача подчиненного контура тока МПТ – обеспечить жесткость механической характеристики ЭМП. Выбор в качестве РЧВ и РТ ПИ-регуляторов позволяет свести к нулю ошибку регулирования по частоте на шинах ВПТ.

Система стабилизации напряжения ВПТ состоит из РВ и ЭМВ. В качестве регулятора возбуждения принят пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор). Возбуждение МПТ ЭМП может быть независимым и комбинированным. В случае применения в качестве МПТ с комбинированным возбуждением сериесную обмотку необходимо включать через выпрямительный мост с шунтовой обмоткой.

ЭМВ, механически соединенный с МПТ, вращаясь с частотой $\omega_{пр}$, в возбужденном состоянии формирует в роторе ВПТ трехфазное напряжение. Максимальное значение амплитуды фазного напряжения зависит от частоты вращения ротора $\omega_{пр}$ и тока в индукторе ЭМВ. Изменение ЭДС на выходе ВПТ от тока возбуждения ЭМВ с точностью до насыщения – линейная функция, которая при $r \ll \omega_C L$ вызывает линейное изменение тока в фазе ротора ВПТ. При снижении частоты скольжения до значения $0{,}1\omega_C$ активное сопротивление фазы ротора ВПТ становится соизмеримым с его индуктивным сопротивлением. С другой стороны, снижение $E_{ЭМВ}$ при этих частотах не обеспечит необходимое возбуждение ВПТ и нарушит его работу. Данный недостаток устраняется включением между ВОМ и ротором ВПТ мультипликатора, который корректирует вращение частоты вращения ротора ВПТ, исключая ее снижение ниже $\omega_P \geq \omega_0/p_{АГ}$ при изменении частоты вращения ВОМ в диапазоне $(1\text{-}0{,}75)\ \omega_{Д.НОМ}$. Связь меж-

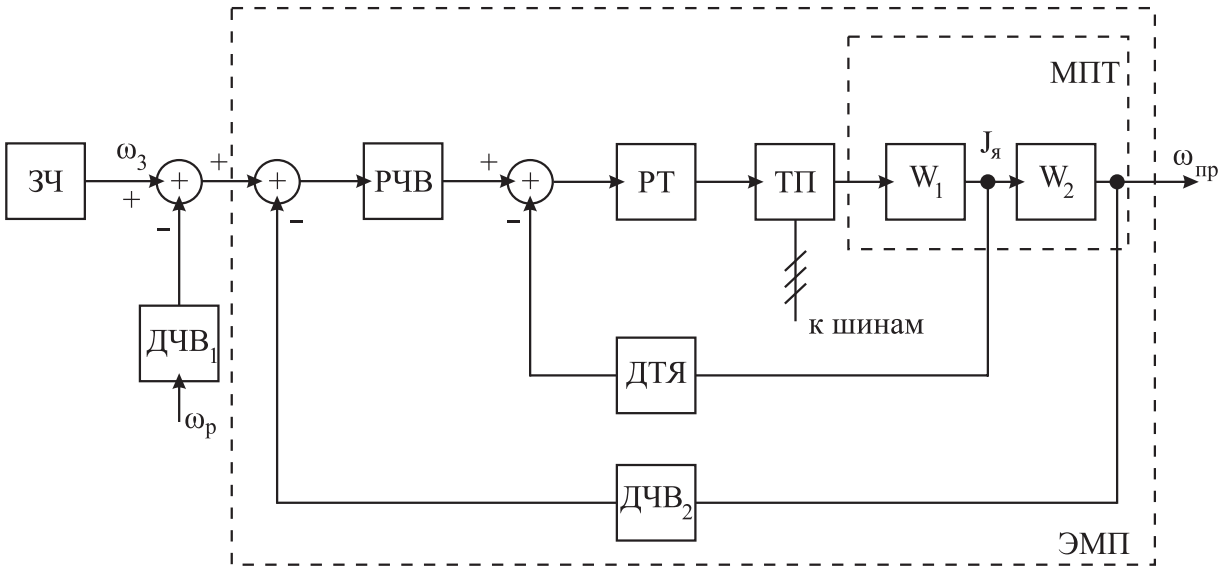


Рис. 2. Структурная схема электромеханического регулятора частоты ВПТ

ду частотой вращения ротора АГ и частотой вращения ротора ЭМВ [9]:

$$\omega_{ЭМВ} = \frac{\omega_р - \frac{\omega_0}{p_{ВПТ}}}{p_{ЭМВ}} = \frac{\omega_С}{p_{ЭМВ}}, \quad (1)$$

где $p_{ЭМВ}$ – число пар полюсов ЭМВ; $p_{ВПТ}$ – число пар полюсов ВПТ.

Рассмотрим принцип возбуждения ВПТ. Пусть линейный контактор $Л_1$ разомкнут и вспомогательный дизель-генератор (ВДГ) питает шины через линейный контактор $Л_2$. Дизель вращается с номинальной частотой вращения $\omega_{Д.НОМ}$ и через мультипликатор вращает ротор ВПТ с частотой вращения $\omega_Р$ или $K_1\omega_0/p_{ВПТ}$ (где K_1 – коэффициент запаса устойчивости, который измеряется ДЧВ и сравнивается с заданным значением $\omega_0/p_{ВПТ}$). На выходе элемента сравнения формируется сигнал рассогласования, который является заданием следящей системы частоты вращения якоря МПТ ЭМП. Текущее напряжение статора ВПТ равно нулю. Рассогласование напряжения $\Delta U=U_{зад}-U$ подается на вход РВ, который изменяет ток в индукторе ЭМВ. Так как сопротивление обмоток фаз ротора ВПТ прямо пропорционально частоте статора ЭМВ $\omega_С$, то ток в роторе ВПТ или статоре ЭМВ зависит только от тока в индукторе ЭМВ. Ток в обмотке ротора ВПТ определяет модуль вектора магнитного поля ротора, от величины которого при постоянной частоте вращения последнего зависит текущее напряжение статора ВПТ. В процессе возбуждения напряжение на выходе ВПТ изменяется до $U_{зад}$. При размыкании контактора $Л_2$ и замыкании контактора $Л_1$ ВПТ переходит в автономный режим работы на нагрузку. При включении активно-индуктивной нагрузки происходит размагничивание ВПТ. Напряжение на его выходе уменьшается, и РВ увеличивает возбуждение ЭМВ, компенсируя данное размагничивание, а активная составляющая тока нагрузки, создающая тормозной момент на роторе ВПТ, компенсируется отбором механической мощности с вала мультипликатора с последующим преобразованием с помощью ВПТ в электрическую энергию (как через статор, так и через ротор последнего).

Активная мощность скольжения на роторе ВПТ (собственные нужды) [9]:

$$P_С = \frac{p_{ВПТ}\omega_С P_н}{\omega_0 + p_{ВПТ}\omega_С}, \quad (2)$$

где $P_н$ – мощность активной нагрузки.

Полезная активная мощность статора ВПТ с учетом (2) [9]:

$$P_{ВПТ} = P_н - P_С = \frac{\omega_0 P_н}{\omega_0 + p_{ВПТ}\omega_С}. \quad (3)$$

ЭМВ в режиме работы ВПТ на холостом ходу выполняет роль генератора, вырабатывающего реактивную мощность возбуждения ВПТ при любой частоте скольжения $\omega_С$. При этом на роторе ЭМВ, механически связанном с якорем МПТ, действует вращающий момент, преодолевающий силы трения в электрических машинах и реакцию статора ЭМВ от тока в индукторе ВПТ. Для обеспечения работы МПТ в двигательном режиме ТП работает в режиме управляемого выпрямителя и для покрытия собственных нужд нагружает статор ВПТ активной мощностью. В процессе работы ВПТ с включенной нагрузкой на роторе ВПТ выделяется активная мощность скольжения. В роторе ВПТ в направлении статора ЭМВ протекает активный ток.

Вращающий момент, создаваемый ЭМВ, увеличивает тормозной момент на якоре МПТ. Угол открытия тиристоров ТП при этом лежит в пределах от $0{,}5\pi$ до π. Увеличение активной нагрузки приводит к смещению угла α ближе к π, а уменьшение – к $0{,}5\pi$, в положительные полупериоды питающего напряжения.

Таким образом, электрическая мощность скольжения с помощью ЭМВ преобразуется в механическую, которая с помощью МПТ преобразуется в электрическую энергию постоянного тока, а далее (с помощью ТП) – в электрическую мощность отбора мощности на собственные нужды. В процессе работы ВПТ (с включенной нагрузкой) изменение частоты скольжения $\omega_С$ и тока нагрузки определяет угол открытия тиристоров РТП в функции стабилизации частоты на шинах ВПТ.

С учетом (2) и (3) определим коэффициент полезного действия ВПТ:

$$\eta = \frac{P_{ВПТ}}{P_{ВПТ} + P_С} = \frac{\omega_0}{\omega_0 + p_{ВПТ}\omega_С}. \quad (4)$$

Если принять в (4) $p_{ВПТ}= 3$, $\omega_0= 1$, $\omega_С=0{,}2\omega_0/ p_{ВПТ}$, то $\eta=0{,}833$.

Динамическая ошибка при формировании вектора частоты на шинах выражается формулой (5) [9]:

$$\Delta = \left(\frac{\omega_0}{p_{ВПТ}} - \omega_р\right) e^{-\frac{t}{T}} t, \quad (5)$$

где

$$T = \frac{J_\Sigma R_A}{C_Е C_М};$$

R_A – сопротивление якорной цепи МПТ; $C_Е$, $C_М$ – конструктивные постоянные МПТ; $J_\Sigma=J_{ЭМВ}+J_{МПТ}$ – суммарный момент инерции.

Чем меньше постоянная времени ВПТ, пропорционально зависящая от суммарного момента инерции, тем меньше динамическая ошибка в формировании частоты на шинах ВПТ. ВПТ с электромеханическим регулятором частоты на базе ЭДР целесообразно использовать как компенсатор качки на судах река–море.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Брускин Д. Э. Генераторы, возбуждаемые переменным током. Уч. пособие для вузов / М.: Высш. школа, 1974. – 128 с.
2. Краснощапка М.М. Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты / Киев: Техника, 1974. С. 24 – 57.
3. Кудрявцев В.Н. Планетарные передачи. 2-изд., М.–Л.: 1966. – 307 с.
4. Лукин Г.Я. Изодромный гидромеханический привод вспомогательного судового синхронного генератора от главного двигателя. А.С. 1092101. Опубл. в Б.И. 18, 1984.
5. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 192 с.
6. Ботвинник М.М. Асинхронизированные синхронные машины. М.–Л.: ГЭИ, 1960. – 70 с.
7. Радин В.И., Загорский А.Е., Шакарян Ю.Г. Управляемые электрические генераторы при переменной частоте / М.: Энергия, 1978. – 152 с.
8. Ботвинник М.М., Шакарян Ю.Г. Управляемая машина переменного тока.– М.: Наука, 1969. – 140 с.
9. Хижняков Ю.Н. Судовые валогенераторы с дифференциальным редуктором. Перм. гос. техн. ун-т. Пермь, 1997. – 87 с.

АННОТАЦИИ

Речному транспорту нужен пассажирский флот! / Минеев В.И., Малышкин А.Г. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Подводятся итоги дискуссии в журнале «Речной транспорт (XXI век)» за 2005-2009 годы о проблемах социально значимых речных пассажирских перевозок. Формируются предложения по развитию этого вида перевозок и строительству речного пассажирского флота.

Ключевые слова: пассажирские перевозки, речной флот.

Контактная информация: nauka@aqua.sci-nnov.ru

Прогноз решения проблем речного транспорта России / Кузьмичев И.К.// Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Рассматривается комплекс вопросов о развитии речного транспорта в условиях экономического кризиса.

Ключевые слова: экономический кризис, речной транспорт, судоходные компании.

Контактная информация: nauka@aqua.sci-nnov.ru

Экологическая безопасность водного транспорта: проблемы, возможные пути решения / Новиков В.К., Фомин В.Г., Семенов А.А. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

На основе национальных и международных требований по обеспечению безопасности хозяйственной и иной деятельности приводится перечень проблемных направлений и мероприятий по повышению экологической безопасности функционирования водного транспорта: организационного, нормативно-правового, научно-методического, технического и финансово-экономического характера.

Ключевые слова: экологическая безопасность, водный транспорт.

Контактная информация: panterakaite@rambler.ru

Задача управления мультимодальной перевозкой / Караваева Е.Д., Караваев В.И. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Рассмотрен процесс мультимодальной перевозки как объект управления, осуществлена постановка задачи управления мультимодальной перевозкой.

Ключевые слова: мультимодальные перевозки, управление.

Контактная информация: Pantina05@yandex.ru

Применение современных акустических средств защиты объектов от воздушного шума / Щербакова О.В., Романченко М.К. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Проводится сравнительный анализ бескаркасных модульных звукоизолирующих систем, определяются эффективные вибродемпфирующие материалы, применяемые в качестве средств защиты от воздушного шума.

Ключевые слова: воздушный шум, звукоизолирущие системы, вибродемпфирующие материалы.

Контактная информация: rmk2010@mail.ru

Оценка экологического ущерба при аварийном переливе нефти на танкере / Туркин А.В. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Предложен анализ экологической безопасности операций погрузки танкеров на основе концепции приемлемого риска. При этом величина риска оценивается как произведение частоты на ущерб от аварии. Приводится зависимость для расчета величины ущерба, возникающего вследствие разлива нефти. Для оценки объема разлива в случае возникновения перелива судна (инициирующее событие) используется метод построения дерева событий.

Ключевые слова: экологическая безопасность, погрузка танкеров, разлив нефти.

Контактная информация: vladimir@cbts.ru

Анализ факторов, влияющих на безопасность эксплуатации судовых термомасляных котлов / Арутюнов Р.Ю., Туркин В.А. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Предложена имитационная модель (с использованием логико-лингвистического подхода) определения вероятности возникновения происшествий в процессе эксплуатации судовых котлов. Приводится уравнение регрессии, полученное при помощи метода планирования эксперимента, которое описывает зависимость вероятности возникновения происшествия от основных факторов безопасности (надежность и эргономичность) судового термомасляного котла.

Ключевые слова: судовой термомасляный котел, метод, имитационная модель, безопасность, надежность, эргономичность.

Контактная информация: vladimir@cbts.ru

Валогенератор переменного тока на базе электрического дифференциального редуктора / Матушкин Н.Н., Хижняков Ю.Н., Южаков А.А. // Речной транспорт (XXI век). 2010. – № 2 (44). – с.

Рассмотрено проектирование электромеханического регулятора частоты на базе электрического дифференциального редуктора валогенератора переменного тока с приводом от вала отбора мощности дизеля через мультипликатор с диапазоном 1:0,75.

Ключевые слова: валогенератор переменного тока, электрический дифференциальный редуктор, электромеханический преобразователь, синхронная машина, мультипликатор, регулятор возбуждения, клиноременная передача, вал отбора мощности.

Контактная информация: uz@at.pstu.ac.ru